

b) Qualidade do sedimento

A caracterização da qualidade do sedimento no Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Bloco BC-20 será feita com base nos seguintes estudos realizados na região:

- ★ Monitoramento da Atividade de Produção de Petróleo da Bacia de Campos (PETROBRAS, 2001);
- ★ Caracterização Ambiental para Complementação do Estudo de Viabilidade Ambiental da Unidade Estacionária de Produção Espadarte FPSO (PETROBRAS/CENPES, 2001);
- ★ Monitoramento Ambiental da Área de Influência do Emissário de Cabiúnas – Região de Macaé/RJ (PETROBRAS, 2002);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental do Oceano Profundo nos Campos de Exploração e Produção de Albacora Leste, Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002a);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental do Campo de Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2002b);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Área de Exploração e Produção do Campo de Marlim Sul - Pré-operação das Unidades P 40+38 (PETROBRAS/CENPES, 2002c);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental dos Campos de Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002d);
- ★ Relatório de Caracterização Ambiental da Área de Influência do Complexo PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Unidade de Produção FPSO- Espadarte – Bacia de Campos (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2004a);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Plataforma P-47, Bacia de Campos – Fase I Campanha 1 (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2004b);

- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Plataforma P-47, Bacia de Campos – Fase I Campanha 2 (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2005);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Plataforma P-47, Bacia de Campos – Fase II Campanha 1 (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2006);
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental da Unidade Estacionária de Produção PCE-01 da UN-BC (PETROBRAS/AS, 2006);
- ★ Relatório Final Integrado do Projeto de Monitoramento da Qualidade da Água e Efluentes da Plataforma Semissubmersível SS-06 - 9ª campanha Oceanográfica – Fase II e 8ª campanha de Bioincrustação e Ictiofauna (PETROBRAS/CONCREMAT, 2007).
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental e Caracterização do Sedimento Marinho, Referente à Área de Papa-terra – Bacia de Campos (PETROBRAS/ FUNDAÇÃO BIORIO, 2010).
- ★ Relatório do Monitoramento Ambiental e Caracterização do Sedimento Marinho, Referente à Área de Maromba – Bacia de Campos (PETROBRAS/ FUNDAÇÃO BIORIO, 2010).

Além destes estudos, serão utilizados trabalhos encontrados na literatura ou outros estudos que tenham sido realizados na área de influência desta atividade, como o Programa de Monitoramento Ambiental Oceânico da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994).

Algumas diferenças entre as estratégias amostrais adotadas nestes estudos para a coleta de sedimento encontram-se relacionadas no Quadro II.5.1.3-14, a seguir. A malha amostral integrada dos estudos utilizados encontra-se no Mapa II.5.1.3-2. O Quadro II.5.1.3-15 lista as diferentes metodologias analíticas utilizadas em cada estudo, bem como os parâmetros analisados.

Cabe ressaltar que toda a discussão dos resultados analisados será realizada levando-se em conta principalmente à profundidade das estações de coleta, já que este é um dos principais fatores controladores da distribuição dos parâmetros considerados no sedimento.

Como a taxa de sedimentação na região é baixa, da ordem de 0,005 a 0,03 cm.ano⁻¹ (MACARIO *et al.*, 2004; MOLLENHAUER *et al.*, 2004; MAHIQUES *et al.*, 2002) e a camada de sedimento avaliada na maioria dos estudos é de 2 cm de espessura, as pequenas variações sazonais que ocorrem no sedimento não serão detectadas. Contudo, esta variação foi detectada em FUNDESPA (1994) através da comparação dos valores de teor de finos e de matéria orgânica, obtidos na Bacia de Campos. O estudo escolhido mostrou-se melhor para verificação desta variação devido principalmente: (i) ao fato das duas campanhas terem sido realizadas em um período anterior à intensa atividade petrolífera na Bacia de Campos e (ii) à ampla distribuição espacial das estações de coleta na região. A variação média obtida foi menor que 10%, margem que pode ocorrer naturalmente entre as amostras já que o posicionamento das estações não é exatamente o mesmo, podendo variar em função da deriva da embarcação e do lançamento do próprio *Box-corer*.

Quadro II.5.1.3-14 - Estratégia amostral adotada nos estudos realizados na região da Bacia Campos.

ESTUDOS	MALHA AMOSTRAL	PERÍODO DE COLETA
Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994)	Baseada em radiais a partir da costa, com amostragens em 44 pontos, na região compreendida entre 21°30' e 23°30'S de latitude, 39°30' e 42°00'W de longitude, em profundidades variando de 10 e 200 metros.	Inverno de 1991 e verão de 1991/92
Pampo e Pargo (PETROBRAS, 2001)	Estações ao redor das plataformas de Pampo e Pargo, distribuídas em círculos concêntricos às plataformas, além de uma estação controle, localizada a 3000 m das plataformas.	Janeiro e julho de 1998
Espadarte (PETROBRAS/CENPES, 2001)	6 estações de coleta entre 700 e 1.000 m de profundidade	Setembro de 2000
ETE Cabiúnas (PETROBRAS, 2002)	Três estações ao redor do emissário, 1 logo após a saída e 11 paralelamente à costa, antes da operação do Emissário.	Abril e julho de 1998
Abacora (PETROBRAS/CENPES, 2002a)	12 estações de coleta entre 1.200 e 1.900 m.	Maior de 2002
Roncador (PETROBRAS/CENPES, 2002b)	Total de 5 estações dispostas sobre as isóbatas 1.200m (3), 1.350m (1), 1.700m (1).	Setembro de 2001
P-40 (PETROBRAS/CENPES, 2002c)	Estações no entorno da locação de P-40, posicionadas a 500 e 1.000m de distância da plataforma.	Novembro de 2001
Barracuda e Caratinga (PETROBRAS/CENPES, 2002d)	Três estações sobre 4 isóbatas (900, 1000, 1100 e 1200m).	Maior de 2002
Complexo PDET/AMEG (PETROBRAS/HABTEC, 2002)	Três estações em cada isóbata (10, 30, 50, 70 e 100m) e 6 estações na isóbata de 150 m.	Agosto 2002

(continua)

Quadro II.5.1.3-14 - (conclusão)

ESTUDOS	MALHA AMOSTRAL	PERÍODO DE COLETA
Espadarte (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2004a)	5 estações de coleta entre 750 e 850 m de profundidade, ao redor do FPSO Espadarte.	Abril de 2004
P-47 (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2004b; PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2005; PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2006)	8 estações no entorno da unidade P-47, sendo duas campanhas realizadas antes da instalação e uma campanha após a instalação.	Julho e dezembro de 2004
PCE-01 (PETROBRAS/AS, 2006)	Duas estações localizadas próximo à Unidade estacionária PCE-01.	Mai de 2006
SS-06 (PETROBRAS/CONCREMAT, 2007)	4 estações de coleta localizadas à 500 e 1.000 metros da Plataforma SS-06. Dez campanhas, sendo a 1ª de caracterização e as demais de monitoramento.	Novembro de 2001, Agosto de 2002, Abril de 2003, Setembro de 2003, Março de 2004, Setembro de 2004, Maio de 2005, Setembro de 2005, Maio de 2006, Março de 2007
Papa-terra (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2011)	8 estações de coleta dispostas a 100 e 250 m do ponto central onde será instalada a unidade. Estes 8 pontos foram realizados em triplicata, totalizando 24 amostras de sedimento.	25 de outubro a 04 de novembro de 2010
Maromba (PETROBRAS/FUNDAÇÃO BIORIO, 2011)	8 estações de coleta dispostas a 100 e 250 m do ponto central onde será instalada a unidade. Estes 8 pontos foram realizados em triplicata, totalizando 24 amostras de sedimento.	25 de outubro a 04 de novembro de 2010

Mapa II.5.1.3-2 - Localização das estações de coleta de sedimento amostradas em estudos realizados na região costeiro-oceânica da Bacia Campos. (A3).

Mapa II.5.1.3-2 - *Localização das estações de coleta de sedimento amostradas em estudos realizados na região costeiro-oceânica da Bacia Campos. (A3).*

Quadro II.5.1.3-15 - Resumo das metodologias de preparo e análise das amostras de sedimento nos estudos realizados na Bacia de Campos.

PARÂMETRO	PARGO E PAMPO ^A		ESPADARTE ^B		CABIÚNAS ^C		ALBACORA ^D	
	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo	extração Soxhlet diclorometano	GC-FID	extração ultrasom com diclorometano	GC-FID	extração Soxhlet diclorometano	GC-FID	extração Soxhlet diclorometano	GC-FID
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos		GC-MS fluorescência UV		GC-MS fluorescência UV		GC-MS		fluorescência UV
Metais Pesados	digestão HF:HNO ₃	ICP-AES (Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	digestão HNO ₃	ICP-AES (Ba, V)	digestão HF:HNO ₃	ICP-AES (Fe, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	digestão HF:HNO ₃	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)
	digestão (1HNO ₃ +3HCl) digestão HF:HNO ₃ digestão HNO ₃	ICP-AES + geração de hidretos (Hg, Se, As)			digestão (1HNO ₃ +3HCl) digestão HF:HNO ₃ digestão HNO ₃	ICP-AES + geração de hidretos (Hg, Se, As)	digestão (1HNO ₃ +3HCl)	ICP-AES + geração de hidretos (Hg)
Carbono Orgânico	descarbonatação e acidificação	analisador elementar	descarbonatação e acidificação	analisador elementar	descarbonatação	combustão a seco (analisador elementar)	acidificação	-
Nitrogênio total							oxidação a 925°C	analisador elementar CHNS/O
Fosforo	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> (1993)	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> 1993	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> (1993)	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> 1993
Carbonato	digestão HCl (1N)	gravimetria	-	-	Digestão HCl (1N)	gravimetria	digestão HCl (1,0 N)	gravimetria
Matéria Orgânica	-	-	-	(Concent. Carbono Orgânico)x2,2	-	-	calcinação 450°C/24h	gravimetria
Granulometria	secagem digestão HCl	peneiramento, pipetagem e gravimetria	secagem digestão HCl	peneiramento, pipetagem e gravimetria	secagem digestão HCl	peneiramento, pipetagem e gravimetria	secagem digestão HCl H ₂ O ₂	peneiramento, pipetagem e gravimetria

(continua)

Quadro II.5.1.3-15 - (continuação)

PARÂMETRO	RONCADOR ^E		P-40 ^F		BARRACUDA E CARATINGA ^G		PDET/AMEG ^H	
	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo	extração hexano+acetona	GC-Whole Oil	extração hexano+acetona	GC-Whole Oil	extração Soxhlet diclorometano	GC-FID	extração ultrasom n-hexano	GC-FID
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos		GC-MS		GC-MS		fluorescência UV	extração ultrasom n-hexano:tolueno (1:1)	GC-MS
Metais Pesados	digestão HF:HNO ₃ :HCl	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	digestão HF:HNO ₃ :HCl	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	digestão HF:HNO ₃	ICP-AES (Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, Zn)	digestão (1HNO ₃ +3HCl)	ICP-AES (Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Fe, V)
	digestão (1HNO ₃ +3HCl)	ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	digestão (1HNO ₃ +3HCl)	ICP-AES + geração de hidretos (Hg)	digestão (1HNO ₃ +3HCl)	ICP-AES + geração de hidretos (Hg)		ICP-AES + geração de hidretos (Hg)
Carbono Orgânico	acidificação	Determinador de Carbono	acidificação	Hedges & Stern (1984)	acidificação	-	-	-
Nitrogênio total	oxidação a 925°C	analisador elementar CHNS/O	oxidação a 925°C	analisador elementar CHNS/O	oxidação a 925°C	analisador elementar CHNS/O		
Fósforo	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> (1993)	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> (1993)	incineração digestão HClconc	Grasshoff <i>et al.</i> (1993)		
Carbonato	digestão HCl (1,0 N)	gravimetria						
Matéria Orgânica	-	-	calcinação 450°C/24h	gravimetria	calcinação 450°C/24h	gravimetria	calcinação 450°C/24h	gravimetria
Granulometria	secagem digestão HCl H ₂ O ₂	peneiramento, pipetagem e gravimetria	secagem digestão HCl H ₂ O ₂	peneiramento, pipetagem e gravimetria	secagem digestão HCl H ₂ O ₂	peneiramento, pipetagem e gravimetria	secagem digestão HCl H ₂ O ₂	peneiramento, pipetagem e gravimetria

(continua)

Quadro II.5.1.3-15 - (conclusão)

PARÂMETRO	ESPADARTE ^I		P-47 ^{J, K, L}		PCE-01 ^M		SS-06 ^N	
	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE	PREPARO	ANÁLISE
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo	técnica "Head Space"	GC-MS	EPA 8260 – Head Space	GC-MS	extração Soxhlet diclorometano	GC-DIC	extração diclorometano	GC
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos	extração n-hexano	GC-MS	extração ultrasom com hexano e tolueno			GC-MS		
Metais Pesados	digestão ácida	ICP-AES	Digestão completa	ICP-OES	HCl:HNO ₃ :H ₂ O ₂ para Hg – HNO ₃ :H ₂ SO ₄ :KMnO ₄ :K ₂ S ₂ O ₈ .	ICP-OES e HG/AAS	Digestão completa	ICP
Carbono Orgânico	Oxidação/absorção com NaOH	volumetria	Oxidação / Absorção NaOH	Volumetria	secagem	Método de titulação com dicromato	secagem	Método de titulação com dicromato / Analisador elementar
Nitrogênio total	-	-	-	-	Combustão adiabática	Cromatografia de íons	-	-
Fosforo	-	-	-	-	Oxidação com persulfato	Colorimetria	-	-
Carbonato	digestão HCl (1,0 N)	gravimetria	HCl (1N)	Gravimetria	digestão HCl (1,0 N)	gravimetria	HCl (1N)	Gravimetria
Matéria Orgânica	Oxidação/absorção com NaOH	(Concent. Carbono Orgânico)x1,724	Oxidação / Absorção NaOH	Volumetria	secagem	Calcinação	secagem	Calcinação
Granulometria	-	peneiramento, pipetagem e gravimetria	-	peneiramento, pipetagem e gravimetria	digestão HCl H ₂ O ₂	peneiramento, pipetagem e gravimetria	-	peneiramento, pipetagem e gravimetria

a Petrobras (2001)
 b Petrobras/Cenpes (2001)
 c Petrobras (2002)
 d Petrobras/Cenpes (2002a)
 e Petrobras/Cenpes (2002b)

f Petrobras/Cenpes (2002c)
 g Petrobras/Cenpes (2002d)
 h Petrobras/HABTEC (2002)
 i Petrobras/Fundação BioRio (2004a)
 j Petrobras/Fundação BioRio (2004b)

k Petrobras/Fundação BioRio (2005)
 l Petrobras/Fundação BioRio (2006)
 m Petrobras/AS (2006)
 n Petrobras/Concrenat (2007)

Por fim, foi ainda realizada uma campanha de caracterização da qualidade dos sedimentos na área do Bloco BC-20, especificamente nas proximidades dos campos de Maromba (PETROBRAS/BIORIO, 2010) e Papa-Terra (PETROBRAS/BIORIO, 2011). A campanha foi realizada durante os meses de outubro de novembro de 2010, sendo coletadas amostras em triplicada utilizando uma malha amostras radial concêntrica onde foram dispostas 8 estações a 100 e 250 m do ponto central onde serão instaladas as unidades (Figura II.5.1.3-10).

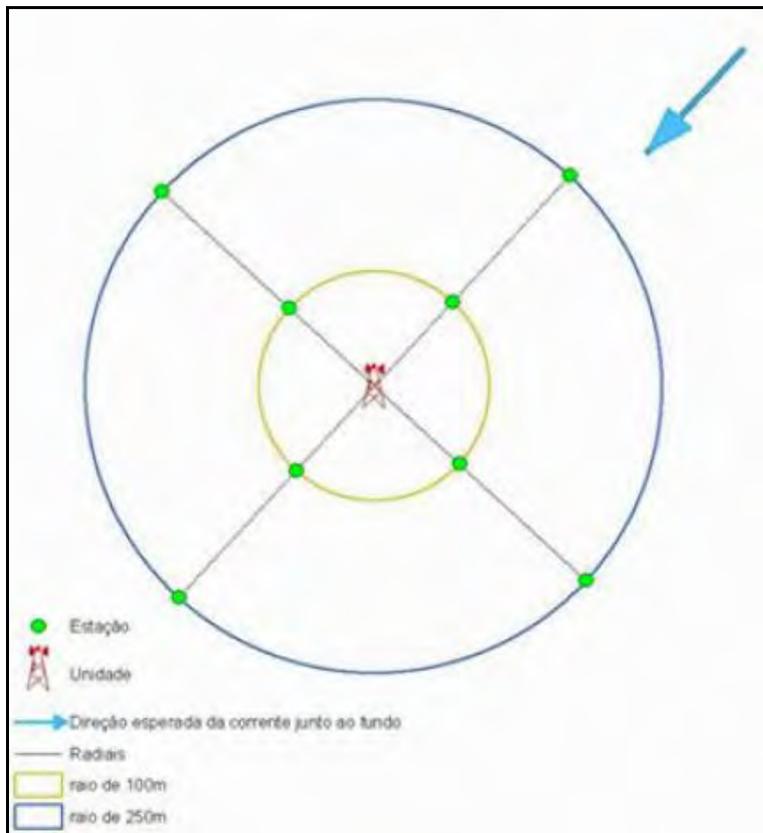


Figura II.5.1.3-10 - Diagrama esquemático para caracterização dos campos de Maromba e Papa-terra.

A coleta das amostras foi realizada com um amostrador tipo *Van Veen* de 230L de inox, sendo utilizados subamostradores para retirada das amostras utilizadas nas determinações dos parâmetros. As amostras destinadas à avaliação dos hidrocarbonetos (HTP, HPA e n-alcenos) foi realizada com os subamostradores de inox, previamente descontaminados com n-hexano. Para as

análises dos metais pesados, as amostras foram coletadas com espátula de plástico descartável. Todas as amostras destinadas à avaliação química foram retiradas da camada de 0-2cm e mantidas congeladas até o momento da análise. Para as análises da composição elementar da matéria orgânica (C, N e P) e avaliação granulométrica as amostras foram retiradas da camada de 0-10 cm e acondicionadas em sacos plásticos e mantidas congeladas até o momento da análise.

A análise granulométrica foi realizada através de peneiramento e pipetagem, sendo calculados os percentuais de cada fração por gravimetria. A determinação da matéria orgânica foi realizada por calcinação do sedimento a uma temperatura de 500°C durante 12 horas, sendo calculado o percentual por gravimetria. Já o teor de carbonatos foi determinado também por gravimetria através de digestão ácida (HCl 1,0N), com uma razão massa de amostra / volume de sedimento 1g:10mL.

A composição elementar da matéria orgânica (C, N e P) foi analisada conforme procedimentos descritos no Standard Methods¹.

Os metais pesados foram analisados através de digestão ácida e a determinação da concentração nos extratos foi realizada por Espectrometria de Absorção Atômica e Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) ou, no caso do Hg, por absorção atômica de vapor frio.

A determinação dos hidrocarbonetos poliaromáticos foi realizada por extração orgânica (n-hexano e Tolueno) com ultra-som e leitura por cromatografia gasosa com espectrômetro de massa acoplado (GC-MS). Para determinação dos n-alcanos presentes nas amostras de sedimento foi realizada uma extração com n-hexano, e a leitura dos extratos através de cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (GC-FID).

c) Textura sedimentar (granulometria, teor de carbonatos e matéria orgânica)

Levando-se em consideração os dados obtidos nas campanhas de caracterização ambiental descritas anteriormente, observa-se na Bacia de Campos que a composição granulométrica parece estar sendo controlada

¹ APHA, AWWA, WEF. Standard Methods of Examination of Water and Wastewater. 21ªed. Washington D.C.: American Public Health Association, 2005.

principalmente pela variação batimétrica, onde a presença de areia está associada à plataforma continental. Na maior parte das amostras analisadas na plataforma continental foram encontrados sedimentos caracterizados pela presença de areia média ou grossa e grande variação no teor de carbonatos, com valores de até 85%. Conforme relatado por FUNDESPA (1994), os sedimentos da plataforma continental com esta granulometria acumulam baixíssimos níveis de hidrocarbonetos, sejam esses biogênicos ou de petróleo.

Na plataforma continental entre 50 a 200 m de profundidade observa-se uma faixa de biodetritos na região central com elevados teores de carbonato e matéria orgânica, com valores médios de $44,3 \pm 23,1\%$ e $7,15 \pm 5,68\%$, respectivamente. Ainda na plataforma, encontra-se uma faixa de sedimentos contendo entre 50 e 75% de lamas na porção sul (sudoeste de Cabo Frio) e ao norte (próximo à desembocadura do Rio Paraíba do Sul). Uma outra região que merece destaque é a desembocadura do Canal das Flechas, que é a ligação da Lagoa Feia com o oceano, situada ao sul do Cabo de São Tomé, onde foram encontradas maiores concentrações da fração fina do sedimento (Figura II.5.1.3-11).

Na região do talude os sedimentos são caracterizados por um elevado teor de finos (silte + argila), com valores de até 94% de lama. A fração carbonática torna-se menos expressiva que na plataforma, com valor médio de $27,9 \pm 8,79\%$. Os resultados de teor de matéria orgânica no talude apresentaram valor médio de $3,77 \pm 5,28\%$, com alta variabilidade devido à diferença na profundidade das estações de coleta nos estudos realizados no entorno da P-47 e nos Campos de Barracuda e Caratinga, sendo de aproximadamente 250 e 950 m, respectivamente.

Nas profundidades maiores que 1.000 m, maior parte da área do Bloco BC-20, foram encontrados os maiores valores médios da fração fina do sedimento (silte + argila) e matéria orgânica ($11,7 \pm 2,87\%$).

Analisando os dados da região (Quadro II.5.1.3-16), observa-se que a granulometria até a isóbata de 200 m é caracterizada por complexos de fácies sedimentares. À medida que a profundidade aumenta, observa-se a presença de uma granulometria mais fina e homogênea, ou seja, com baixo desvio padrão entre as amostras (Figura II.5.1.3-11).

No geral, este padrão de distribuição granulométrica, com sedimentos mais grosseiros próximos à fonte (continente) e mais finos na área mais profunda, já foi registrado por Satyanaryana & Ramana (1994) para o mar da Arábia, além de ser amplamente descrito na literatura Summerhayes & Thorpe (1996 *apud* Petrobras/Cenpes, 2002c).

Quadro II.5.1.3-16 - Teor médio da fração fina (silte+argila), de carbonato e da matéria orgânica na Bacia de Campos (média e desvio padrão).

PROFUNDIDADE (m)	SILTE+ARGILA (%)	CARBONATO (%)	MATÉRIA ORGÂNICA (%)
0 a 50 m	16,2 ± 30,7 (75)	20,8 ± 25,2 (70)	0,63 ± 0,45 (9)
50 a 200 m	37,5 ± 32,4 (139)	44,3 ± 23,1 (139)	7,15 ± 5,68 (64)
200 a 1.000 m	73,5 ± 27,2 (20)	27,9 ± 8,79 (22)	3,77 ± 5,28 (28)
Maior que 1.000m	80,8 ± 12,1 (26)	31,4 ± 17,0 (21)	11,7 ± 2,87 (21)

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

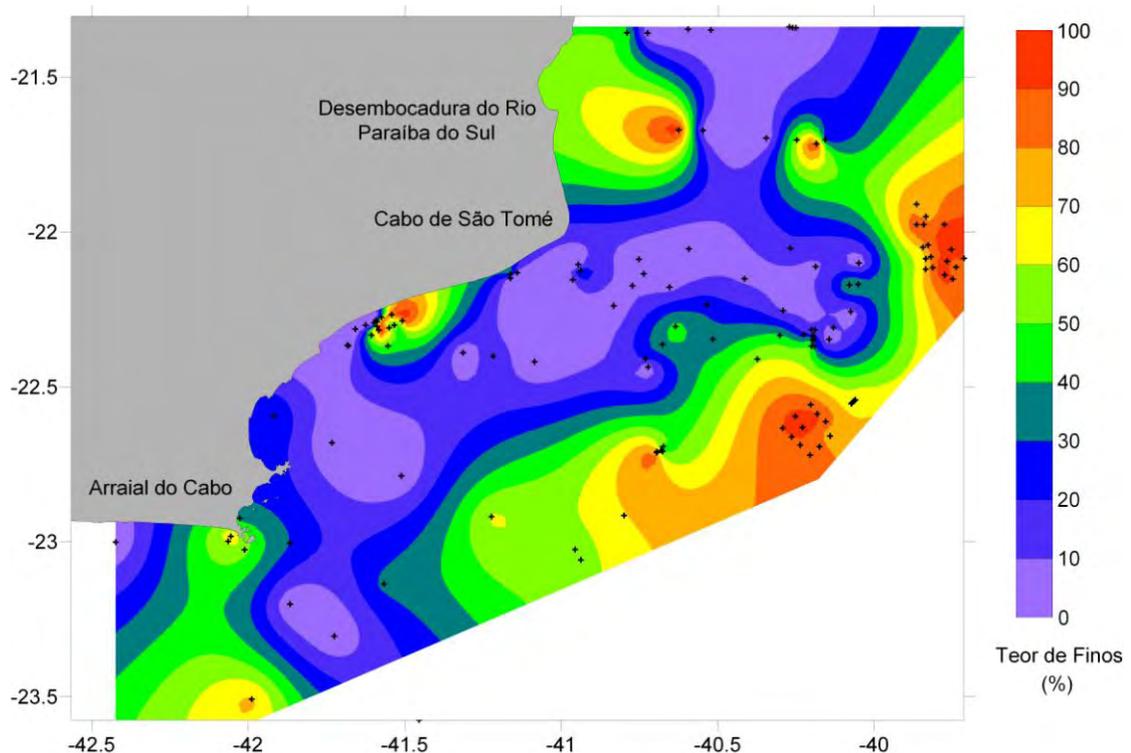


Figura II.5.1.3-11 - Distribuição espacial do teor de finos no sedimento da Bacia de Campos.

Especificamente na região do bloco BC-20, na região mais rasa, nas proximidades do campo de Maromba, o sedimento encontrado foi predominantemente composto por areia média, e, em alguns pontos foi classificado como areia fina. Já na área mais profunda do bloco, na área do campo de Papa-terra, o sedimento presente é composto por material fino (<63 μ m), chegando a apresentar até 90% da massa da amostra, onde o silte responde pela fração mais representativa.

d) Carbono orgânico, Nitrogênio e Fósforo

A caracterização química dos componentes da matéria orgânica tem elucidado alguns aspectos da geoquímica orgânica. Normalmente, isso envolve a determinação, no sedimento, de parâmetros como o percentual de Carbono (C), Nitrogênio (N) e Fósforo (P) (LIBES, 1992), já que estes são os principais elementos constituintes da matéria orgânica.

Os valores obtidos de carbono orgânico na região da Bacia de Campos apresentaram maiores valores na porção média e externa da plataforma continental (entre 50 e 200 m), com média de $1,41 \pm 0,99\%$, enquanto o nitrogênio total apresentou menores valores nesta mesma região ($0,08 \pm 0,06\%$). Já na região do talude (200 a 1.000 m) o comportamento observado foi o inverso, com menores concentrações de carbono e maiores concentrações de nitrogênio (Quadro II.5.1.3-17). O fósforo total apresentou uma tendência de aumento em direção ao fundo, com máximo valor médio na região mais profunda ($512 \pm 63,7 \mu\text{g.g}^{-1}$). Especificamente no Bloco BC-20, foram encontrados valores médios de $0,82 \pm 0,12\%$, $0,11 \pm 0,02\%$ e $606 \pm 85,5 \mu\text{g.g}^{-1}$ de C, N e P, respectivamente, no campo de Papa-Terra e $2,20 \pm 0,48\%$, $0,12 \pm 0,07\%$ e $650 \pm 86,2 \mu\text{g.g}^{-1}$ de C, N e P, respectivamente, no campo de Maromba.

Quadro II.5.1.3-17 - Teores de carbono orgânico (C org), nitrogênio total (N total) e fósforo total (P total) na Bacia de Campos (média e desvio padrão).

PROFUNDIDADE (m)	C ORG (%)	N TOTAL (%)	P TOTAL ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
0 a 50 m	1,30 ± 0,91 (19)	0,17 ± 0,10 (13)	225 ± 209** (18)
50 a 200 m	1,41 ± 0,99 (94)	0,08 ± 0,06 (41)	87,7 ± 96,1 (41)
200 a 1.000 m	1,08 ± 0,39 (28)	0,17 ± 0,06 (12)	324 ± 264 (12)
Maior que 1.000m	1,15 ± 0,33 (26)	0,16 ± 0,06 (26)	512 ± 63,7 (26)

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

** valores de fósforo orgânico.

As razões entre os elementos constituintes da composição elementar da matéria orgânica (C, N e P) é uma importante ferramenta nos estudos ambientais, pois podem fornecer indicações da origem da matéria orgânica.

Os valores obtidos de fósforo na maioria dos estudos realizados na Bacia de Campos determinaram a fração total do elemento no sedimento. Porém, para determinação da razão C:P, o correto seria a utilização dos dados de fósforo orgânico, logo existe uma certa sub-estimativa nos valores desta razão. Ressalta-se ainda que, provavelmente, a diferença ocasionada pelo método de determinação utilizado não é elevada, devido à distância da principal fonte de fósforo inorgânico para o ambiente marinho, que é o continente.

Os resultados obtidos para razão C:N e C:P apresentaram uma certa tendência de diminuição em direção ao fundo, indicando uma menor contribuição terrestre à medida que a profundidade aumenta (Quadro II.5.1.3-18).

A partir dos resultados obtidos nota-se uma menor contribuição terrestre à medida que a profundidade aumenta, pois a influência terrestre é cada vez menor. O valor da razão C:P na plataforma continental média/externa (50-200 m) possui alta variabilidade dos resultados, provavelmente em função da atividade petrolífera na região e/ou da diferença entre a metodologia utilizada para determinação destes elementos nos diferentes estudos.

Os valores das razões C:N:P encontram-se dentro da faixa de variação esperada para o ambiente marinho obtido na literatura (LERMAN *et al.*, 2004).

Quadro II.5.1.3-18 - Razões C:N, N:P e C:P na Bacia de Campos (média e desvio padrão) e outros compartimentos marinhos (Lerman et al., 2004).

COMPARTIMENTO		C:N	N:P	C:P
Bacia de Campos	0 a 50 m	20,8 ± 21,9 (13)	20,9 ± 22,5 (17)	285 ± 324 (11)
	50 a 200 m	11,6 ± 2,90 (41)	57,3 ± 99,3 (38)	719 ± 1170 (40)
	200 a 1.000 m	11,1 ± 4,72 (12)	19,0 ± 17,1 (10)	225 ± 236 (10)
	Maior que 1.000m	9,28 ± 4,79 (26)	7,30 ± 2,49 (26)	60,5 ± 20,6 (26)
Ambiente Marinho	Sedimento	12,5	20	250
	Fitoplâncton	6,97	15,5	108
	Zooplâncton	6,24	16,5	103
	Plâncton médio	6,62	16	106
	Plantas Bentônicas	18,3	30	550
	M.O. em Suspensão	7,69	47,6	366
	Particulado Orgânico	Superfície	55,3	1,9
Fundo		8,15	13	106
Ambiente Terrestre	Plantas Vasculares	91,3	9	822
	Gimnospermas	5,45 - 48,3	24-71	387-1160
	Angiospermas	até 44,6	13-42	até 580

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

M.O. – Matéria orgânica.

Com relação às razões C:N:P encontradas nas amostras coletadas, foram encontradas diferenças significativas entre os resultados, refletindo principalmente a variação granulométrica das amostras. Na área rasa do Bloco BC-20 foram encontrados altos valores das razões C:N e C:P (101 ± 173 e $88,9 \pm 22,7$, respectivamente) quando comparados aos valores na região profunda ($9,11 \pm 2,99$ e $35,6 \pm 5,80$, respectivamente), associados à maior concentração de material orgânico presente na plataforma continental, elevando os valores de Carbono Orgânico Total (COT) e conseqüentemente aumentando os valores destas razões. Já os valores da razão N:P não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para os conjuntos de dados da área rasa e profunda do Bloco BC-20, sendo encontrados valores médios de $4,09 \pm 2,63$ para o campo de Maromba e $4,06 \pm 0,69$ para o campo de Papa-Terra.

e) *Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP), n-alcanos e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA)*

Durante o Programa de Monitoramento Ambiental da Bacia de Campos (FUNDESPA, 1994), foram avaliados os valores de hidrocarbonetos (n-alcanos) obtidos através de cromatografia gasosa de alta resolução. Ao longo da campanha realizada durante o inverno de 1991, os sedimentos apresentaram valores na faixa de não detectável ($<0,02 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ para parafinas individuais) até um máximo de $2,08 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Na campanha do verão de 1992, as concentrações de hidrocarbonetos saturados oscilaram entre $<0,02 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a $5,49 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Ressalta-se que na região costeira, onde são grandes os aportes de matéria orgânica e de diversos poluentes provenientes do continente, maiores concentrações de hidrocarbonetos são esperadas (NISHIGIMA *et al.*, 2001).

No Quadro II.5.1.3-19, encontram-se resumidos os valores de HTP, n-alcanos e HPA registrados nos vários estudos realizados na área da Bacia de Campos.

Quadro II.5.1.3-19 - Concentração de HTP, n-alcanos e HPA na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão).

PROFUNDIDADE (m)	n-alcanos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HTP ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	HPA ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
0 a 50 m	1,61 ± 1,42 (23)	-	0,09 ± 0,09 (23)
50 a 200 m	2,17 ± 2,38 (30)	-	16,2 ± 13,7 (40)
200 a 1.000 m	3,08 ± 4,58 (16)	-	30,6 ± 58,1 (22)
Maior que 1.000m	0,43 ± 0,20 (9)	13,5 ± 11,5 (12)	0,11 ± 0,09 (21)

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

Com relação aos valores de n-alcanos, é observada uma diminuição nos valores de concentração nas profundidades maiores que 1.000 m. Ressalta-se ainda que grande parte das amostras apresentou valor de concentração inferior ao limite de detecção analítico. O maior valor médio foi de $30,6 \pm 58,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, encontrado na região do talude.

Os valores de concentração obtidos de HTP e HPA indicam uma alteração na região da plataforma continental externa e talude, que pode ser devida à atividade

petrolífera na área. Segundo Petrobras/Cenpes (2003), a região oceânica da Bacia de Campos não apresenta indícios de impacto relevante da atividade petrolífera, embora se verifique o acúmulo de alguns HPA's.

Especificamente na área do Bloco BC-20 os valores de HTP variaram de 2 a 18 $\mu\text{g.g}^{-1}$, sem variação significativa dos valores de concentração obtidos entre a área rasa e profunda. Já os n-alcanos presentes no sedimento tiveram comportamento relativamente controlado pela região de coleta, sendo apresentado na área rasa (Campo de Maromba) a maior parte dos valores detectáveis na faixa do C-27 ao C-37, conforme esperado para áreas sem contaminação, apesar da presença de alguns compostos de menor peso molecular (C-8 a C-18). Já na área profunda, além dos compostos lineares de maior peso molecular (tipicamente naturais - C-27 a C-37), foram encontrados n-alcanos mais leves, com 8 e 18 carbonos em sua estrutura, em todas as estações de coleta. Com relação aos valores de HPA encontrados nos sedimentos da região do Bloco BC-20, em todas as áreas foi encontrada principalmente a presença de naftalenos.

f) *Metais Pesados*

Para avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento da Bacia de Campos, os mesmos foram agrupados em função de suas características biogeoquímicas, tipos de fontes e comportamento no ambiente. Esse agrupamento foi realizado exclusivamente para possibilitar uma discussão clara e sintetizada dos resultados obtidos, e não representa o consenso da comunidade científica.

- *Suportes Geoquímicos (Fe, Al e Mn)*

Os Fe e Al possuem uma origem litogênica e apresentaram menores concentrações em profundidades maiores que 1.000 m. Já na plataforma continental e no talude a concentração destes metais apresentou grande variação entre as amostras analisadas.

O manganês, que é um metal redox-sensível, apresentou menores valores na região da plataforma continental, com uma média de $115 \pm 68,8 \mu\text{g.g}^{-1}$.

No Quadro II. 5.1.3-20 compara as concentrações de Fe encontradas nos estudos da Bacia de Campos com aquelas registradas em outros tipos de ambientes sedimentares. O quadro evidencia que, apesar da alta variação encontrada em alguns pontos, a média obtida para a região está dentro da faixa encontrada para sedimentos carbonáticos e arenito.

Quadro II.5.1.3-20 - Concentração Fe, Al e Mn na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

COMPARTIMENTO		Fe (mg.g^{-1})	Al (mg.g^{-1})	Mn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	$11,1 \pm 7,89$ (37)	$14,9 \pm 11,0$ (28)	192 ± 129 (28)
	50 a 200 m	$9,80 \pm 6,32$ (94)	$14,2 \pm 11,2$ (82)	$115 \pm 68,8$ (88)
	200 a 1.000 m	$33,0 \pm 8,43$ (13)	$38,7 \pm 7,37$ (13)	338 ± 144 (22)
	Maior que 1.000m	$9,57 \pm 3,36$ (17)	$11,8 \pm 3,18$ (17)	$271 \pm 89,2$ (26)
Rocha Sedimentar *		47	92	850
Argila de Mar Profundo *		-	-	6700
Arenito *		9,8	25	390
Sedimento Carbonático *		3,8	4,2	1100

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

Na área do Bloco BC-20 foram também observadas variações significativas destes metais em relação à profundidade. A área rasa apresenta menores concentrações desses metais, provavelmente relacionadas à composição do grão (tipicamente quartzosos e ricos em material orgânico). As concentrações médias de Fe, Al e Mn obtidas no campo de Papa-Terra foram de $25,0 \pm 1,76 \text{ mg.g}^{-1}$, $32,6 \pm 2,30 \text{ mg.g}^{-1}$ e $624 \pm 211 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente, e de $14,9 \pm 2,34 \text{ mg.g}^{-1}$, $24,2 \pm 4,98 \text{ mg.g}^{-1}$ e $163 \pm 60,4 \mu\text{g.g}^{-1}$, para o campo de Maromba.

- *Metais associados principalmente ao descarte da indústria do petróleo (Ba e V)*

O Ba, principal componente da Baritina, que é utilizada durante a perfuração de poços petrolíferos, apresentou maiores valores de concentração na região da plataforma continental e talude.

Já o V, comumente encontrado no petróleo como impureza, também apresentou mesmo comportamento, apresentando maiores valores de concentração na plataforma e talude. Na crosta terrestre, as concentrações de vanádio estão em torno de $150 \mu\text{g.g}^{-1}$ (WHO, 2000), sendo o intemperismo da crosta o principal caminho de entrada natural deste elemento no ambiente marinho (BISHOP, 1983; WHO, 2000).

No geral, as concentrações de Ba e V se mostraram dentro da faixa de variação encontrada na literatura, embora relativamente superiores ao esperado para sedimentos carbonáticos (Quadro II.5.1.3-21). Ressalta-se ainda que o Ba apresentou maiores valores de concentração na região da plataforma e do talude, indicando uma provável contribuição deste metal devido à atividade petrolífera na região.

Quadro II.5.1.3-21 - Concentração Ba e V na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

COMPARTIMENTO		Ba ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	V ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	82,3 ± 56,1 (35)	32,9 ± 25,5 (37)
	50 a 200 m	280 ± 263 (103)	31,4 ± 29,7 (94)
	200 a 1.000 m	338 ± 260 (28)	92,8 ± 37,4 (28)
	Maior que 1.000m	185 ± 72,0 (26)	45,1 ± 10,2 (26)
Rocha Sedimentar *		580	130
Argila de Mar Profundo *		2,3	120
Arenito *		190	20
Sedimento Carbonático *		10	20

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

Na área do campo de Papa-Terra as concentrações médias de Ba e V encontradas foram, respectivamente, de $132 \pm 7,45 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $37,0 \pm 2,44 \mu\text{g.g}^{-1}$. Já no campo de Maromba, na região mais rasa, os valores médios encontrados de Ba e V foram de $76,6 \pm 30,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, $23,7 \pm 7,18 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente.

- *Metais associados ao descarte de efluentes domésticos (Pb, Cu e Zn)*

A distribuição do Pb apresentou maiores valores de concentração na região do talude ($29,4 \pm 16,3 \mu\text{g.g}^{-1}$), e menor valor médio em regiões mais profundas ($8,06 \pm 2,27 \mu\text{g.g}^{-1}$). Foi observado um certo enriquecimento em Pb na região da Bacia de Campos, quando comparado com arenito e a sedimentos carbonáticos.

Os valores de concentração obtidos para o Cu não indicam este enriquecimento, observando-se ainda uma tendência de aumento com a profundidade, chegando a $16,4 \pm 4,90 \mu\text{g.g}^{-1}$.

O Zn apresentou-se dentro do esperado para regiões de sedimento carbonático, com uma leve tendência de aumento em direção ao fundo.

O Quadro II.5.1.3-22 apresenta os valores de concentração obtidos de Pb, Cu e Zn, comparando com dados da literatura.

Quadro II.5.1.3-22 - Concentração Pb, Cu e Zn na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

COMPARTIMENTO		Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	$12,7 \pm 7,30$ (29)	$7,57 \pm 5,52$ (37)	$18,8 \pm 14,7$ (37)
	50 a 200 m	$13,5 \pm 15,3$ (90)	$9,33 \pm 6,52$ (102)	$36,1 \pm 71,9$ (98)
	200 a 1.000 m	$29,4 \pm 16,3$ (22)	$14,2 \pm 3,36$ (22)	$52,0 \pm 20,9$ (22)
	Maior que 1.000m	$8,06 \pm 2,27$ (26)	$16,4 \pm 4,90$ (26)	$32,4 \pm 5,40$ (26)
Rocha Sedimentar *		20	45	95
Argila de Mar Profundo *		80	250	165
Arenito *		7	15	16
Sedimento Carbonático *		9	4	20

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

Os valores de concentração encontrados no Bloco BC-20 estiveram abaixo dos encontrados nos demais estudos considerados para caracterização ambiental regional. Contudo, foi possível observar ainda uma variação espacial, onde os valores de concentração obtidos nestes metais na área rasa (campo de Maromba) foram relativamente menores quando comparados com a região profunda (campo de Papa-Terra). As concentrações de Pb, Cu e Zn no campo de Maromba foram $5,73 \pm 0,90 \mu\text{g.g}^{-1}$, $4,93 \pm 5,32 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $15,8 \pm 4,30 \mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente, e $7,92 \pm 0,81 \mu\text{g.g}^{-1}$, $9,91 \pm 2,26 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $47,5 \pm 3,61 \mu\text{g.g}^{-1}$ no campo de Papa-Terra, respectivamente.

- *Metais que possuem maior impacto na biota (As, Hg e Cd)*

Os valores de Cd encontrados no talude foram relativamente elevados, chegando a até $2,11 \pm 0,85 \mu\text{g.g}^{-1}$, quando comparados aos valores da literatura para sedimentos carbonáticos e àqueles observados em outros estudos realizados na Bacia de Campos (Quadro II.5.1.3-23).

O Hg também apresentou maiores valores de concentração na região do talude. O estudo realizado em Barracuda e Caratinga apresentou maiores valores tanto de Hg quanto de Cd na região da Bacia de Campos.

Ressalta-se ainda que grande parte dos resultados obtidos nas demais regiões de Cd e Hg obtiveram valores abaixo do limite de detecção analítico. Com relação ao arsênio, dos estudos mapeados para a Bacia de Campos, apenas o estudo realizado por Petrobras/AS (2006) realizou análises deste metal. Neste, foram identificados valores de As variando entre 2,71 e 5,93 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

Quadro II.5.1.3-23 - Concentração Hg e Cd na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

COMPARTIMENTO		Hg ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	$0,06 \pm 0,06$ (37)	$0,57 \pm 0,23$ (8)
	50 a 200 m	$0,06 \pm 0,06$ (42)	$1,27 \pm 1,39$ (38)
	200 a 1.000 m	$0,66 \pm 2,44$ (16)	$2,11 \pm 0,85$ (22)

(continua)

Quadro II.5.1.3-23 - (conclusão)

COMPARTIMENTO		Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
	Maior que 1.000m	0,02 ± 0,01 (26)	0,74 ± 0,46 (8)
	Rocha Sedimentar *	0,40	0,30
	Argila de Mar Profundo *	<0,01 a 0,40	0,43
	Arenito *	0,03	0,02
	Sedimento Carbonático *	0,04	0,04

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

Na área do Bloco BC-20 foram encontrados valores médios de concentração de Hg e Cd de $0,06 \pm 0,05 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $0,22 \pm 0,07 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ no campo de Maromba e no campo de Papa-Terra os valores médios foram de $0,09 \pm 0,05 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $1,18 \pm 2,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente.

- *Outros metais (Cr e Ni)*

Os dados de Cr e Ni apresentaram comportamento similar, com valores de concentração elevados na região do talude, mais especificamente nos Campos de Barracuda e Caratinga. Os menores valores foram encontrados na região mais rasa, estando em consonância com os dados obtidos para arenitos e sedimentos carbonáticos (Quadro II.5.1.3-24).

Quadro II.5.1.3-24 - Concentração Cr e Ni na região da Bacia de Campos (média e desvio padrão) e comparação com outros ambientes.

COMPARTIMENTO		Cr ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Bacia de Campos	0 a 50 m	22,6 ± 21,6 (37)	12,1 ± 9,87 (31)
	50 a 200 m	23,7 ± 17,8 (100)	13,7 ± 16,6 (94)
	200 a 1.000 m	50,3 ± 17,7 (22)	46,4 ± 16,8 (16)
	Maior que 1.000m	28,5 ± 7,29 (26)	22,1 ± 7,55 (16)
	Rocha Sedimentar *	90	68
	Argila de Mar Profundo *	90	225
	Arenito *	35	2,00
	Sedimento Carbonático *	11	20,0

Valores em negrito – número de amostras consideradas.

* Förstner e Wittmann (1983).

Na área do Bloco BC-20 também foram encontrados maiores valores médios na região mais profunda, apresentando concentração de Cr e Ni de $24,2 \pm 6,73 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $7,73 \pm 1,72 \mu\text{g.g}^{-1}$ no campo de Maromba e $40,7 \pm 3,09 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $15,2 \pm 4,96 \mu\text{g.g}^{-1}$ no campo de Papa-Terra, respectivamente.