

## II.5.1.3 – Qualidade de Água e Sedimento

### 1. Introdução

Conforme o Termo de Referência (ELPN/IBAMA nº 051/02), instituído com o objetivo de elaboração do Estudo de Impacto Ambiental para a Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás no Campo de Siri, Bacia Potiguar, foi realizada a caracterização da qualidade da água marinha e do sedimento, apesar deste último não estar requisitado no TR, para a Área de Influência (Figura II.5.1.3-1, ao final deste documento), no que se refere aos parâmetros relacionados na Tabela abaixo:

**Tabela II.5.1.3-1: Parâmetros abordados neste estudo.**

COMPARTIMENTO	PARÂMETRO
Água	Oxigênio Dissolvido
	Potencial Hidrogeniônico - pH
	Nitrato
	Nitrito
	Amônia
	Fosfato
	Silicato
	Material Particulado em Suspensão - MPS
	Clorofila a
	Fenóis
	Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - HTP
	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos HPA
	Hidrocarbonetos Alifáticos Totais
	Sedimento
Teor de Carbonatos	
Carbono Orgânico	
Fósforo Orgânico	
Fósforo Total	
Nitrogênio Total	
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPA	
Hidrocarbonetos Alifáticos Totais	
Metais	

## **2. Metodologia**

Para a caracterização da qualidade da água e sedimento, utilizaram-se dados referentes às Campanhas do Programa de Monitoramento da Bacia Potiguar empreendidas pela PETROBRAS em julho de 2002 (1ª Campanha), maio de 2003 (2ª Campanha) e novembro de 2003 (3ª Campanha). Com relação aos dados referentes a 3ª Campanha, estão disponibilizados, até o momento, dados de qualidade da água (nutrientes, oxigênio dissolvido, pH, material particulado em suspensão) e clorofila a. Os demais parâmetros ainda se encontravam em análise, quando da confecção da presente Seção.

### **2.1 Malha Amostral**

#### **2.1.1 Qualidade da Água**

Com relação às amostras de água, são apresentados os resultados referentes a estações, distribuídas em duas malhas amostrais, conforme pode ser visualizada na Figura II.5.1.3-1, apresentada ao final desta Seção. As estações de coleta estão assim distribuídas:

- Malha amostral de caracterização ambiental da Bacia Potiguar;
- Malha amostral de monitoramento ambiental dos Emissários Submarinos do Pólo Industrial de Guamaré;

Vale ressaltar que o objetivo da adição no caso de alguns parâmetros, dos dados referentes à segunda malha supracitada, ao presente relatório, foi somente à verificação da influência pontual destes efluentes, na medida em que os mesmos não retratam as características da Bacia como um todo. Algumas estações da segunda malha estão localizadas na saída ou muito próximas a saída de efluente dos emissários submarinos, refletindo então na elevação dos valores médios de alguns parâmetros, podendo levar a resultados numéricos tendenciosos e irreais para a caracterização da Bacia Potiguar. Assim sendo, para evitar distorções, os mesmos dados não foram considerados nas análises estatísticas.

Considerando a maior variabilidade dos parâmetros quando em ambientes estuarinos, e por isso, a maior vulnerabilidade destes ecossistemas, o presente estudo apresenta, num segundo momento, os dados referentes ao Rio de Aratuá (Guamaré-RN) e a planície estuarina de Diogo Lopes (Macau-RN), visto que os mesmos são os ambientes estuarinos mais próximos ao Campo de Siri, e estão incluídos na Área de Influência do empreendimento. Assim, os mesmos são considerados neste estudo como “dados estuarinos” no confronto estatístico com os demais dados referentes à Bacia Potiguar (dados marinhos).

### **2.1.2 Qualidade do Sedimento**

Analogamente às estações de coleta de água foram distribuídas as amostragens de sedimento (Figura II.5.1.3-1). É importante ressaltar que a disposição das estações de coleta, tanto das amostras de água quanto às de sedimento, possuem localizações análogas havendo, alguns parâmetros, que só foram determinados em uma dada malha amostral. Esta variação, porém, não resulta em depleção da qualidade da caracterização ambiental proposta por esta Seção.

### **2.2 Coleta para Parâmetros Referentes ao Compartimento Água**

As sub amostras para análises dos diferentes parâmetros relacionados a seguir (do item 1.1.3.1 ao item 1.1.3.4) foram retiradas das garrafas de Niskin obedecendo a seguinte ordem: oxigênio dissolvido, pH, nutrientes, material e particulado em suspensão e clorofila a, sendo o mesmo procedimento repetido nas três Campanhas.

Para os parâmetros supracitados, amostras de água foram coletadas em 27 estações (BPot1 a BPot37), na 1ª Campanha amostral, na superfície e fundo nas estações com menos de 40m, e só na superfície nas estações com menos de 8m. Na estação BPot04, localizada no talude continental, que apresentou a maior profundidade, foram coletadas amostras nas profundidades de 0, 50, 100, 200 e 400 m. Outras 26 estações superficiais (E1 a E26) foram preestabelecidas, sendo coletadas amostras hidrológicas na superfície e camada de fundo quando a

profundidade assim o permitiu (não sendo apenas o parâmetro clorofila a analisado nestas estações). Já na segunda Campanha, além das estações citadas, foram adicionadas mais 16 estações, as quais foram distribuídas a N e NE da malha amostral inicial. Este padrão foi repetido ainda, na terceira Campanha.

### **2.2.1 Oxigênio Dissolvido e Potencial Hidrogeniônico (pH)**

As amostras para análise do oxigênio dissolvido foram coletadas em frascos de DBO de 150mL, fixadas e analisadas a bordo através do método de Winkler, modificado por Strickland & Parsons, (1965), utilizando-se uma bureta digital e agitador magnético. Após a fixação das amostras de oxigênio dissolvido, as amostras para determinação do pH foram coletadas e imediatamente medidas, através de um potenciômetro digital de bancada da marca Hanna. Antes de cada bateria de análises, o aparelho foi ligado para estabilizar os componentes, sendo, em seguida calibrado com soluções tampão de pH 7,0 e 10,0.

### **2.2.2 Nutrientes (Nitrato, Nitrito, Amônia, Fosfato e Silicato)**

As amostras de água para análise dos nutrientes foram acondicionadas em frascos de polietileno (300mL), previamente descontaminados, e imediatamente congeladas em freezer, na própria embarcação.

### **2.2.3 Material Particulado em Suspensão**

Para avaliação do material particulado em suspensão foram filtrados cerca de 1,5 a 3L para cada amostra de água, com filtros de acetato de celulose de 47mm de diâmetro e 0,45µm de porosidade, pré-pesados em laboratório. Ao final das filtrações, os filtros foram armazenados em freezer.

### **2.2.4 Clorofila a**

Para a análise de clorofila a, foram coletadas amostras com garrafas de Niskin de 10 litros. As coletas foram todas no período diurno e nas profundidades pré-estabelecidas. As amostras foram transferidas para bombonas de plásticos de 10 litros e levadas ao laboratório, sendo filtradas a vácuo em filtros de fibra-de-vidro de 47 milímetros de diâmetro com uma porosidade de 0,45 micrômetros. O volume filtrado variou entre 3,25 e 4,00 litros. Após a filtração, os filtros com as amostras foram acondicionados em papel laminado e postos no interior de envelopes contendo todos os dados referentes às amostras, sendo, em seguida, estocados no freezer a uma temperatura de -18°C.

### **2.2.5 Fenóis**

O padrão de distribuição dos pontos de coleta dos fenóis foi o mesmo do parâmetro clorofila a, sendo coletado nas duas malhas amostrais. As amostras para análise de fenóis foram coletadas com garrafa Go Flo de 2,5 litros, revestidas internamente com teflon, nas mesmas profundidades de coleta das amostras de água coletadas para análises de HPAs, n-Alcanos e TPH. Todo o material utilizado foi previamente descontaminado, lavando-se com detergente, água, água destilada, acetona e diclorometano.

### **2.2.6 Hidrocarbonetos (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - HTP, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA e Hidrocarbonetos Alifáticos Totais)**

Com relação aos hidrocarbonetos, os mesmos foram analisados em ambas malhas amostrais já mencionadas. Na primeira Campanha, a malha amostral foi composta de 52 amostras de água, correspondentes a 16 estações codificadas de BPot01 a 08, BPot11 a 23, BPot25, BPot27, BPot29 e 30, BPot35 a 37, cuja distribuição da coleta em profundidades foi a seguinte: (i) estações BPot01, 08, 19, 20, 25 e 37, com coleta apenas de água de superfície; (ii) estação BPot04, na superfície e nas profundidades de 50, 100, 200 e 400m; (iii) estação BPot05, na

superfície e nas profundidades de 50 e 100m; (iv) nas demais estações foram coletadas amostras de água na superfície e próximo ao fundo. Somou-se à esta, 26 estações de amostragem, denominadas E, com amostras de água coletadas na superfície (< 1m), sendo que nas estações E14 e E17 também foram coletadas amostras próximas ao fundo.

O padrão de disposição e número de estações na segunda Campanha foi um pouco modificado: A malha amostral contemplou 43 estações de coleta codificadas como BPot01 a BPot43. A distribuição da coleta em profundidades nessas estações foi a seguinte: (i) estações BPot01, BPot08 a BPot11, BPot16, BPot18 a BPot21, BPot25, BPot26, BPot36 e BPot37, com coleta de água na superfície (0,5 m de profundidade); (ii) estações BPot02 a BPot07, BPot12 a BPot15, BPot17, BPot22 a BPot24, BPot27 a BPot35, BPot38 a BPot43, com coleta de amostras de água na superfície e próximo ao fundo. No total foram obtidas 72 amostras, sendo 43 de superfície e 29 de fundo.

Outras 26 amostras de água de superfície (0,5 m) foram realizadas, à exemplo da primeira Campanha, sendo que nas estações E04, E17 e E22 também foram coletadas amostras próximas ao fundo, nas profundidades, respectivamente, de 9,0 m, 8,0 m e 7,0 m. No total foram obtidas 29 amostras.

Considerando as diferentes formas de introdução de hidrocarbonetos para o ambiente marinho, conclui-se que as zonas costeiras são aquelas que apresentam a maior diversidade de fontes. Assim sendo, as análises de hidrocarbonetos foram estendidas também para a região costeira, com 8 pontos de coleta de amostras de água superficiais no estuário do rio Aratuá e 10 amostras de água de diferentes pontos da planície estuarina de Diogo Lopes.

Em todas as coletas, o material utilizado, além do amostrador de água (garrafa do tipo Go Flo), consistiu de garrafas de vidro para a sub-amostragem de água, funis de separação, provetas, recipientes para armazenamento das alíquotas extraídas e solventes utilizados na extração dos hidrocarbonetos (diclorometano) e solventes diversos para descontaminação. Todos os solventes utilizados foram grau resíduo.

Todo o material (vidraria) utilizado foi previamente descontaminado com detergente, água, água destilada, acetona, hexano e diclorometano. O mesmo

procedimento de limpeza foi adotado antes da manipulação de cada lote de amostra, entre as diferentes estações e profundidades amostradas.

A coleta de água foi realizada com auxílio de garrafas do tipo Go Flo com capacidade para 2,5 litros. Em cada estação foram sub-amostrados da garrafa Go Flo 2 litros de água diretamente para frascos de vidro âmbar, previamente descontaminados. As amostras permaneceram sob refrigeração até a extração, que foi realizada a bordo da própria embarcação.

Anteriormente à extração, foram adicionados os padrões subrogados: n-dC16, n-dC24 e n-dC30 (fração alifática) e o p-terfenil-d14 (fração aromática). A adição destes padrões tem como objetivo o acompanhamento do desempenho da metodologia empregada. Usualmente, segundo critério de qualidade sugerido em Sauer e Boehm (1995), considera-se que o resultado da amostra pode ser considerado caso a recuperação do padrão subrogado, colocado no início do procedimento, seja, ao final, entre 40 e 125% da quantidade original. No entanto, para a fração alifática, foi utilizada a faixa de recuperação mais restrita, entre 60 e 120 %. Os padrões foram adicionados às amostras como soluções em acetona, uma vez que este solvente é miscível em água.

Na extração, realizada em funis de separação, foi utilizado diclorometano como solvente. Cerca de 30mL do solvente foram adicionados ao funil, seguido de agitação da mistura por cerca de 3 min e posterior repouso por 10 min. A fase orgânica foi recolhida em frasco de vidro e o procedimento todo foi repetido por mais duas vezes, totalizando o uso de 90mL de solvente. As alíquotas extraídas foram armazenadas sob refrigeração até a chegada ao laboratório em terra.

Todo o procedimento de extração foi adaptado a partir do método de referência recomendado pela UNESCO (1984).

### **2.3 Coleta para Parâmetros Referentes ao Compartimento Sedimento**

Para todas as análises de sedimento foi utilizada toda a malha amostral, havendo uma já mencionada adição, no caso da segunda Campanha, de pontos a N e NE da Bacia Potiguar.

### 2.3.1 Granulometria e Teor de Carbonatos

Na primeira Campanha, as amostras de sedimento foram coletadas, em triplicata, com amostrador Van Veen. Quando necessário, foi possível contar com o apoio de mergulhadores, que auxiliaram no fechamento dos amostradores.

Na segunda Campanha, as coletas realizadas a bordo das lanchas Piracicaba e Pegasus I foram feitas em triplicata com um coletor de PVC (10x10 cm), com volume aproximado de 0,8 Kg, inserido manualmente no substrato através de mergulho autônomo. A bordo do N/RB Astro Garoupa as amostras de sedimento foram coletadas em triplicata, na maioria das estações, com um amostrador pontual tipo Van Veen de aço-inox. Em algumas estações (Bpot04, BPot11, BPot17, BPot22, BPot24, BPot27, BPot28, BPot32 e BPot33), foram possíveis amostragens com o amostrador pontual tipo Box-corer, devido a granulometria mais fina nestas estações. Neste caso o sedimento foi subamostrado com o coletor de PVC (10x10cm), que foi inserido no sedimento retido na caixa do Box-corer. Cada amostra de sedimento coletada foi homogeneizada e uma subamostra foi então acondicionada em saco plástico etiquetado. As amostras foram mantidas a temperatura ambiente.

### 2.3.2 Carbono Orgânico ( $C_{org}$ ), Nitrogênio Total ( $N_{total}$ ), Fósforo Orgânico ( $P_{org}$ ) e Fósforo Total ( $P_{total}$ )

A coleta de sedimentos foi realizada com amostrador do tipo Van Veen. Após a recuperação do amostrador, foi feita a sub-amostragem da camada superficial do sedimento (~0-2 cm), com espátula metálica. As amostras foram acondicionadas em recipientes de alumínio, previamente descontaminados (450°C por 8 horas), e congeladas até o início do procedimento analítico.



### **2.3.3 Hidrocarbonetos (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos e Hidrocarbonetos Alifáticos Totais)**

As coletas de sedimentos superficiais e dos perfis sedimentares foram realizadas com amostrador do tipo Gravity corer manual. Após recuperação do amostrador, foi feita a sub-amostragem da camada superficial do sedimento (~0-2cm), com espátula metálica. Em cada tubo foi feita a extração das camadas de 2cm de espessura até o seu limite de preenchimento por sedimento. Todas as amostras foram acondicionadas em recipientes de alumínio, previamente descontaminados (450°C por 8 horas), e congeladas até o início do procedimento analítico.

### **2.3.4 Metais**

As amostras de sedimento foram coletadas em triplicata, através de um amostrador pontual tipo Van Veen de aço-inox ( apenas na 1ª campanha e nas 2 e 3ª campanhas nas estações com profundidades superiores a 8m, onde não foi possível a coleta com corer). Cada amostra foi retirada através de janelas existentes na parte superior do amostrador, tendo-se o cuidado de retirar apenas a camada superficial (0-2 cm).

Nas estações onde foi possível utilizar o box-corer, o sedimento foi sub amostrado através do mesmo coletor utilizado na amostragem da área rasa (corer de aço-inox), inserido manualmente no sedimento no interior da caixa coletora do “box corer”. Em seguida, o coletor foi levado ao laboratório, e recolhido os dois centímetros superficiais do sedimento.

As amostras de sedimento das estações em profundidades inferiores a 8 m foram recolhidas manualmente através de mergulhador autônomo, em triplicata com o emprego de um corer de aço inoxidável com tampas de teflon.

## 2.4 Análise dos Parâmetros referentes ao Compartimento Água

### 2.4.1 Nutrientes (Nitrato, Nitrito, Amônia, Fosfato e Silicato)

Na análise de nutrientes (amônia –  $N-NH_3 + N-NH_4^+$ ), nitrito-N, nitrato-N, fosfato-P e silicato-Si, as amostras de água foram descongeladas naturalmente, e imediatamente analisadas. A amônia-N ( $N-NH_3 + N-NH_4^+$ ) foi analisada utilizando-se o método do azul indofenol, descrito por Koroleff em Grasshoff *et al.* (1983). O nitrito foi determinado pelo método da sulfanilamida (Strickland e Parson, 1965). O nitrato foi determinado por redução em coluna de Cd-Cu (Strickland e Parson, 1965). O fosfato foi obtido pelo método do fosfo-molibdato (Strickland e Parson, 1965). O silicato pelo método do ácido ascórbico (Grasshoff *et al.*, 1983). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro Variant Cary E, em cubetas de 1cm, (silicato e nitrato) 5cm (nitrito) e 10cm (amônia e fosfato) de percurso óptico.

Para análise das concentrações dos nutrientes foi preparada uma bateria de padrões crescentes (reta padrão) com as concentrações de 0 (prova em branco) até o limite máximo recomendado por cada método analítico. A relação entre as variáveis concentrações e suas respectivas absorvâncias calculadas deverá ser absolutamente linear, sendo expressa pelo Coeficiente de Correlação Linear de Pearson ( $r$ ), cujo valor deverá ser o mais próximo de 1, sendo o mínimo de 0,99. As concentrações estão expressas em  $\mu\text{mol.L}^{-1}$ . Para o controle de qualidade analítico foram escolhidas ao acaso 10% das amostras para leituras em duplicata, com o objetivo de minimizar o erro randômico, com variação máxima admitida entre leituras da mesma amostra de <5%. Dependendo deste resultado o percentual de repetições poderia ser aumentado para 20%. O limite de detecção dos métodos encontra-se apresentado na Tabela II.5.1.3-2. Antes de cada processo de análise são realizadas provas em branco dos reagentes utilizados, através da substituição da alíquota da amostra por água deionizada, cuja leitura deverá estar o mais próxima possível de zero, o que nem sempre é possível devido às interferências óticas, sendo que, para determinar esta provável interferência são também realizadas provas em branco de turbidez, quando são realizadas leituras espectrofotométricas das alíquotas das amostras sem a adição

de reagentes. Provas em branco das cubetas são também conduzidas através das leituras espectrofotométricas das mesmas com água deionizada sem reagentes; em caso de se obter algum valor positivo e inferior a 10% da absorvância, esta leitura é incluída no cálculo da concentração do elemento analisado.

**Tabela II.5.1.3-2** :*Limites de detecção na análise dos principais nutrientes dissolvidos.*

NUTRIENTE	LIMITE DE DETECÇÃO $\mu\text{mol.L}^{-1}$
Amônia-N	0,01
Nitrito-N	0,01
Nitrato-N	0,03
Fosfato-P	0,02
Silicato	0,1

Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

#### **2.4.2 Material Particulado em Suspensão (MPS)**

A análise do Material Particulado em Suspensão (MPS) foi realizada por gravimetria. Os filtros foram secos em estufa a 50°C até peso constante e, repesados em balança analítica. A concentração do MPS foi obtida por diferença de peso do filtro antes da filtração e após a filtração, dividido pelo volume filtrado. Dos filtros utilizados na determinação de MPS também foram obtidas as concentrações das frações inorgânicas e orgânicas. Para tal, os filtros foram calcinados em mufla a 600°C, e novamente pesados. A fração inorgânica (MPI) foi obtida pela diferença entre o peso do filtro antes da calcinação e após a calcinação dividido pelo volume filtrado. A fração orgânica (MPO) foi obtida pela diferença de concentração entre o material particulado total e o inorgânico. Os resultados obtidos foram expressos em  $\text{mg.L}^{-1}$ .

#### **2.4.3 Clorofila a**

O método utilizado para extração da clorofila a foi o espectrofotométrico, descrito pela UNESCO (1966). A clorofila a foi determinada após extração em acetona a 90% por 24 horas. As leituras foram feitas no espectrofotômetro

Micronal B-280 nos comprimentos de ondas de 630, 645, 665 e 750 (nm), sendo os resultados expressos em  $\text{mg.m}^{-3}$ .

#### 2.4.4 Fenóis

Extração de amostras líquidas para análise de fenóis foi feita de acordo com o método EPA 3510C. As amostras líquidas, como recebidas, foram fortalecidas com padrões internos deuterados a concentrações definidas e extraídas com diclorometano ultra-puro em funil de separação com três alíquotas do solvente orgânico. Neste procedimento o volume total fornecido pelo cliente foi utilizado e a garrafa foi rinçada com diclorometano. Este volume rinçado foi agregado ao funil de extração na extração líquido-líquido. O extrato total foi então concentrado em um concentrador de célula fechada do tipo *Kuderna Danish* a um volume de 1mL. O extrato final foi fortalecido com padrões de recuperação a fim de se calcular a recuperação dos padrões internos durante as etapas de preparo da amostra.

Já a análise de fenóis foi feita de acordo com o método EPA 8270C. O extrato final obtido na etapa de extração foi injetado, sem divisão de fluxo, em uma coluna de fase estacionária DB-5 acoplada a um espectrômetro de massas HP-MSD 5973. A programação de CG é descrita a seguir. Injeção sem divisão de fluxo, com o injetor a 290°C. Temperatura inicial da coluna: 50°C. Isotherma por 2 minutos e taxa de aquecimento de 35°C/ min até a temperatura de 100 °C, taxa de aquecimento de 10°C/minutos até 310°C, com isoterma por 15minutos. O espectrômetro operou em monitoramento seletivo de íons. O tempo de amostragem foi determinado de modo a obter-se uma frequência de aquisição igual ou superior a 3 ciclos por segundo.

#### 2.4.5 Hidrocarbonetos (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - HTP, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA e Hidrocarbonetos Alifáticos Totais)

Em laboratório, o volume do extrato armazenado foi reduzido em evaporador rotatório, transferido para um vial e através de fluxo suave de  $\text{N}_2$  foi feita a troca de solvente (diclorometano para n-hexano). Em seguida, o extrato foi avolumado

a 10mL com n-hexano e separado em duas alíquotas, uma para a quantificação de THP e outra para a quantificação de n-alcanos e HPAs individuais.

A fração separada para THP foi evaporada até 1mL e injetada num cromatógrafo em fase gasosa (HP 6890 série II com injetor automático), sob as seguintes resumidas na Tabela II.5.1.3-3, a seguir.

**Tabela II.5.1.3-3: Condições cromatográficas para determinação de total de hidrocarbonetos de petróleo**

<b>EQUIPAMENTO</b>	Cromatógrafo HP 6890 – série II, com detector DIC - Estação de dados: Axterix
<b>COLUNA:</b>	HP – 5 (30 m x 0,32 mm x 0,25 µm) Hewlett Packard
<b>GASES:</b> <b>CARREADOR:</b> <b>MAKE-UP:</b> <b>DETECTOR:</b>	Hélio: 2 mL·min <sup>-1</sup> (pressão: 5psi à 60 °C) Nitrogênio: 33mL·min <sup>-1</sup> Ar: 360 mL·min <sup>-1</sup> ; Hidrogênio: 33 mL·min <sup>-1</sup>
<b>TEMPERATURA:</b> <b>INJETOR:</b> <b>DETECTOR:</b> <b>COLUNA:</b>	280 °C 300 °C 60 °C (0,5 min), taxa: 12 °C·min <sup>-1</sup> até 300 °C (5min)

A quantificação de THP foi realizada através de curvas de calibração externa, onde foram utilizados padrões de n-alcanos de cadeia contendo 12 a 30 átomos de carbono com concentrações variadas. O limite de detecção obtido foi 0,56µg·L<sup>-1</sup>.

A segunda alíquota separada do extrato bruto (a primeira usada para determinação de THP) foi evaporada até atingir um volume próximo de 1mL, para então ser feita a separação entre as frações alifáticas e aromáticas dos hidrocarbonetos através de cromatografia de coluna.

Na separação das frações de hidrocarbonetos aromáticos e n-alcanos foi usada uma coluna de vidro de 30cm de comprimento e 1,3cm de diâmetro, preenchida com sílica/alumina (11g de sílica ativada a 160°C e 1 g de alumina desativada a 2 %). A fração de hidrocarbonetos alifáticos (F1) (n-alcanos e isoprenóides) foi separada pela eluição com 55 mL de hexano. A fração contendo

os HPAs (F2) foi eluída em seguida com a adição de 50mL de mistura hexano:diclorometano (1:1).

Os hidrocarbonetos alifáticos da fração F1 foram identificados e quantificados por cromatografia em fase gasosa, utilizando as condições resumidas na Tabela II.5.1.3-4, a seguir:

**Tabela II.5.1.3-4** : Condições cromatográficas para determinação de hidrocarbonetos alifáticos.

<b>EQUIPAMENTO</b>	Cromatógrafo HP 6890 – série II, com detector DIC - Estação de dados: Axterix
<b>COLUNA:</b>	HP – 5 (30 m x 0,32 mm x 0,25 µm) Hewlett Packard
<b>GASES:</b> <b>CARREADOR:</b> <b>MAKE-UP:</b> <b>DETECTOR:</b>	Hélio: 2 mL·min <sup>-1</sup> (pressão: 5psi à 60 °C) Nitrogênio: 33mL·min <sup>-1</sup> Ar: 360 mL·min <sup>-1</sup> ; Hidrogênio: 33 mL·min <sup>-1</sup>
<b>TEMPERATURA:</b> <b>INJETOR:</b> <b>DETECTOR:</b> <b>COLUNA:</b>	280 °C 300 °C 60 °C (0,5 min), taxa: 6 °C·min <sup>-1</sup> até 300 °C (10 min)

Para a identificação do tempo de retenção dos compostos alifáticos foram injetadas soluções de n-alcenos de cadeia contendo 12 a 30 átomos de carbono, os compostos n-dC16 e n-dC30 utilizados como subrogados (para a determinação do rendimento do procedimento analítico), além do 9,10-diidroantraceno (utilizado como padrão interno de quantificação e que é adicionado diretamente ao extrato final antes da injeção). O limite de detecção obtido foi 48ng·L<sup>-1</sup> para n-alcenos individuais. A qualidade dos procedimentos analíticos é verificada regularmente através da determinação de MRCs (Materiais de Referência Certificados). O laboratório participou recentemente do exercício de intercalibração promovido pela Marine Environmental Laboratory, da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), de Mônaco, através do sedimento IAEA 416.

A fração contendo os HPAs (F2) foi concentrada em evaporador rotatório, avolumada a 1mL em hexano e analisada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (F2), sob condições resumidas na Tabela 4.3, abaixo.

A metodologia utilizada para a determinação dos 16 HPAs recomendados pela USEPA (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a) antraceno, criseno, benzo(b) fluoranteno, benzo(k) fluoranteno, benzo(a) pireno, indeno (1, 2, 3-c, d) pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(ghi)perileno) seguiu o método EPA-8270C. A quantificação foi baseada em padronização interna, utilizando-se como PI (Padrão Interno) uma mistura contendo naftaleno-d8, acenafteno-d10, fenantreno-d10, criseno-d12 e perileno-d12. O equipamento (Tabela II.5.1.3-5) foi calibrado através de oito soluções (5, 10, 20, 50, 100, 200, 400 e 1.000 ng·mL<sup>-1</sup>) contendo os 16 HPAs controlados pelo método e os padrões internos deuterados (100 ng·mL<sup>-1</sup>). O limite de quantificação da metodologia é de 2ng·L<sup>-1</sup>. Cabe ressaltar que os limites de quantificação para a zona costeira e oceânica são diferentes devido ao volume utilizado na extração.

**Tabela II.5.1.3-5: Condições instrumentais para determinação de HPAs individuais.**

<b>EQUIPAMENTO</b>	EM - Finnigan modelo Polaris Q GC – Finnigan modelo TraceGC
<b>COLUNA</b>	J&W XLB-ITD (30 m, 0,25 mm de di e 0,25 µm de filme)
<b>PROGRAMA DE TEMPERATURA</b>	50 °C durante 5 min 50 °C·min <sup>-1</sup> até 80 °C 6 °C·min <sup>-1</sup> de 80 °C a 280 °C 280 °C durante 25 min
<b>GÁS DE ARRASTE</b>	hélio 1,2 mL·min <sup>-1</sup>
<b>VOLUME DE INJEÇÃO</b>	2 µL

O procedimento EPA 8270C envolve a avaliação do sistema analítico através de um padrão de fragmentação, a decafluorotriphenilfosfina (DFTPP), e outros que servem para avaliar a coluna e o injetor do sistema cromatográfico (pentaclorofenol, benzidina, 4,4'-DDT). A quantificação se baseia em padronização interna utilizando padrões de HPAs deuterados.

As curvas de calibração obtidas apresentam coeficientes de correlação sempre superiores a 0,990 para todos os compostos. Em cada lote de dez corridas cromatográficas foi injetado no CG/EM um padrão analítico contendo todos os analitos de interesse para a verificação da calibração do equipamento.

## **2.5 Análise dos Parâmetros Referentes ao Compartimento Sedimento**

### **2.5.1 Granulometria e Teor de Carbonatos**

Em laboratório, as amostras foram inicialmente secas, quarteadas e lavadas. Posteriormente pesou-se 100g de cada amostra para separação granulométrica em Rot-up. Para determinação do  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de cálcio), foram separadas 10g, para o ataque do HCl (ácido clorídrico, diluído a 10%). As amostras foram submetidas ao peneiramento úmido, no qual foram utilizados as peneiras 0,062mm e 2,00mm, com o objetivo de lavar as amostras e separar a fração areia, este procedimento foi determinado para 94 amostras identificadas visualmente como areia.

Posteriormente essas amostras foram secas, pesadas e submetidas ao peneiramento seco, no qual foram utilizadas duas baterias de peneiras com as seguintes especificações: 1,4mm, 1mm, 0,710mm, 0,500mm, 0,350mm para a primeira bateria e 0,250mm, 0,177mm, 0,125mm, 0,088mm e 0,064mm para a segunda bateria. A duração de vibração para cada bateria foi de 20 minutos e posteriormente todo o material das referidas frações foram pesados.

As amostras (50 amostras) que apresentaram uma maior proporção de finos foram analisadas por granulômetro a laser. Após a determinação do carbonato e da matéria orgânica, foram utilizados 3g da fração menor do que 2,00mm, para análise granulométrica no granulômetro a laser da marca CILAS, modelo 180SP que alcança um range de 2,00 mm a 0,2 micrômetro.

Posteriormente, os sedimentos foram observados em lupa binocular e microscópio polarizante para caracterização textural e mineralógica dos grãos.

### **2.5.2 Carbono Orgânico ( $C_{org}$ ), Nitrogênio Total ( $N_{total}$ ) Fósforo Orgânico ( $P_{org}$ ) e Fósforo Total ( $P_{total}$ )**

As amostras de sedimento usadas na determinação de  $C_{org}$  e  $N_{total}$  foram as mesmas para determinação de hidrocarbonetos. Desta forma, o sedimento foi descongelado, homogeneizado no próprio recipiente de amostragem e uma alíquota de sedimento foi seca em estufa a 60°C até obtenção de peso constante.



Em seguida, foram peneiradas em malha de 1,25mm para remoção de fragmentos maiores e reduzidas a pó fino usando grau e pistilo de ágata.

A fração de carbono inorgânico dos sedimentos foi destruída através de ataque ácido (HCl 10%), sob pH controlado (~2). O ácido foi adicionado em etapas sucessivas até o pH estabilizar, caracterizando o fim da reação. O excesso de ácido foi removido por lavagens sucessivas com água destilada, separando-se a solução por centrifugação (3.000rpm por 5min.). No final, as amostras foram novamente secas a 60°C até peso constante.

Cerca de 5 a 10mg de sedimento seco foram precisamente ( $\pm 0,01\text{mg}$ ) pesados diretamente em cápsulas de estanho e inseridas no analisado elementar (CE Instruments, modelo EA1110) para a determinação de carbono orgânico ( $C_{\text{org}}$ ) e o nitrogênio total ( $N_{\text{total}}$ ) pelo método de combustão a seco (Hedges & Stern, 1984). O equipamento foi calibrado diariamente com um padrão de cistina (composição de 29,99 % de C e 11,66 % de N), analisado em triplicada, além de um branco. O cálculo da concentração foi realizado automaticamente pelo instrumento, considerando a área do pico gerado para cada composto e o fator de resposta de acordo com a calibração diária. Para verificar a calibração fez-se a determinação do padrão de cistina como amostra desconhecida.

A exatidão do método foi verificada com sedimento padrão (MESS-2), certificado para carbono orgânico. O limite prático de detecção foi de cerca de 0,6 mg g<sup>-1</sup> para  $C_{\text{org}}$  e de 0,1 mg g<sup>-1</sup> para  $N_{\text{total}}$ , calculado como três vezes o desvio-padrão de uma série (n=7) de análises para pequenas quantidades (cerca de 0,2 mg) do padrão de acetanilida e considerando-se a massa de sedimento usada na análise (Association, 1989). A precisão do método é melhor do que 2 % para ambos parâmetros.

O fósforo orgânico ( $P_{\text{org}}$ ) foi determinado por diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico, seguindo o método de ignição proposto por Aspila (1976). O fósforo total foi determinado em alíquotas de 100 a 500 mg de sedimento por oxidação a seco em 550°C durante 2 horas, seguido de extração em ácido clorídrico 1 M por 16 horas, sob agitação constante. Em outra alíquota da mesma amostra, o fósforo inorgânico é extraído pelo tratamento apenas com ácido clorídrico.

O teor de fósforo no extrato final, em ambos os casos, foi medido pelo método espectrofotométrico do azul de molibdênio (Grasshoff *et al.*, 1983). A quantificação foi feita através de curva de calibração ( $r > 0,999$ ) com solução-padrão de diidrogênio fosfato de potássio. O limite de detecção foi de  $2,8 \mu\text{g P g}^{-1}$ , calculado como sendo três vezes o desvio-padrão de uma série de leituras de brancos de procedimento.

### **2.5.3 Hidrocarbonetos (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs e Hidrocarbonetos Alifáticos Totais)**

Para determinação dos n-alcanos utilizou-se o método UNEP/IOC/IAEA (1992) e para os 16 hidrocarbonetos policíclicos aromáticos acima citados utilizou-se o método EPA 8270C. Foram tomadas alíquotas de cerca de 5 - 10 g de sedimento úmido, às quais foram adicionados sulfato de sódio anidro, 100 ng de p-terfenil-d14, como padrão subrogado para HPAs, e 2500 ng n-dC16 e n-dC30, como padrões subrogados para n-alcanos, procedendo-se à extração em Soxhlet por 24 horas, com uma mistura de diclorometano-acetona 1:1. O volume do extrato foi reduzido em evaporador rotatório, sendo trocado o solvente por n-hexano para passar para a fase de fracionamento abaixo descrita.

Na separação das frações de hidrocarbonetos aromáticos e n-alcanos foi usada uma coluna de vidro de 30 cm de comprimento e 1,3 cm de diâmetro, preenchida com sílica/alumina (11 g de sílica ativada a 160°C e 1 g de alumina desativada a 2%). A fração de hidrocarbonetos alifáticos (F1) (n-alcanos e isoprenóides) foi separada pela eluição com 55mL de hexano. A fração contendo os HPAs (F2) foi eluída em seguida com a adição de 50mL de mistura hexano:diclorometano (1:1).

Os hidrocarbonetos alifáticos da fração F1 foram identificados e quantificados por cromatografia em fase gasosa, utilizando as condições resumidas na Tabela II.5.1.3-6, a seguir:

**Tabela II.5.1.3-6: Condições cromatográficas para determinação de hidrocarbonetos alifáticos**

<b>EQUIPAMENTO</b>	Cromatógrafo HP 6890 – série II, com detector DIC - Estação de dados: Axterix
<b>COLUNA:</b>	HP – 5 (30 m x 0,32 mm x 0,25 µm) – Hewlett Packard
<b>GASES CARREADOR: MAKE-UP: DETECTOR:</b>	Hélio: 2 mL min <sup>-1</sup> (pressão: 5psi à 60 °C) Nitrogênio: 33mL min <sup>-1</sup> Ar: 360 mL min <sup>-1</sup> ; Hidrogênio: 33 mL min <sup>-1</sup>
<b>TEMPERATURA INJETOR: DETECTOR: COLUNA:</b>	280 °C 300 °C 60 °C (0,5 min), taxa: 6 °C min <sup>-1</sup> até 300 °C (10 min)

Para a identificação do tempo de retenção dos compostos alifáticos foram injetadas soluções de n-alcenos de cadeia contendo 12 a 30 átomos de carbono, os compostos n-dC16 e n-dC30 utilizados como subrogados (para a determinação do rendimento do procedimento analítico), além do 9,10-diidroantraceno (utilizado como padrão interno de quantificação e que é adicionado diretamente ao extrato final antes da injeção). O limite de detecção obtido foi 48 ng L<sup>-1</sup> para n-alcenos individuais. A qualidade dos procedimentos analíticos é verificada regularmente através da determinação de MRCs (Materiais de Referência Certificados). O laboratório participou recentemente do exercício de intercalibração promovido pela Marine Environmental Laboratory, da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), de Mônaco, através do sedimento IAEA 416.

A fração contendo os HPAs (F2) foi concentrada em evaporador rotatório, avolumada a 1 mL em hexano e analisada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (F2), sob condições resumidas na Tabela II.5.1.3-7.

**Tabela II.5.1.3-7: Condições instrumentais para determinação de HPAs individuais**

<b>EQUIPAMENTO</b>	EM - Finnigan modelo Polaris Q GC – Finnigan modelo TraceGC
<b>COLUNA</b>	J&W XLB-ITD (30 m, 0,25 mm de di e 0,25 µm de filme)
<b>PROGRAMA DE TEMPERATURA</b>	50 °C durante 5 min 50 °C min <sup>-1</sup> até 80 °C 6 °C min <sup>-1</sup> de 80 °C a 280 °C 280 °C durante 25 min
<b>GÁS DE ARRASTE</b>	hélio 1,2 mL min <sup>-1</sup>
<b>VOLUME DE INJEÇÃO</b>	2 µL

A metodologia utilizada para a determinação dos 16 HPAs recomendados pela USEPA (naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(1,2,3-c,d)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(ghi)perileno) seguiu o método EPA-8270C. A quantificação foi baseada em padronização interna, utilizando-se como PI (Padrão Interno) uma mistura contendo naftaleno-d8, acenafteno-d10, fenantreno-d10, criseno-d12 e perileno-d12. O equipamento foi calibrado através de oito soluções (5, 10, 20, 50, 100, 200, 400 e 1.000 ng mL<sup>-1</sup>) contendo os 16 HPAs controlados pelo método e os padrões internos deuterados (100 ng mL<sup>-1</sup>). O limite de quantificação da metodologia é de 2 ng L<sup>-1</sup>. Cabe ressaltar que os limites de quantificação para a zona costeira e oceânica são diferentes devido ao volume utilizado na extração.

O procedimento EPA 8270C envolve a avaliação do sistema analítico através de um padrão de fragmentação, a decafluortrifetilfosfina (DFTPP), e outros que servem para avaliar a coluna e o injetor do sistema cromatográfico (pentaclorofenol, benzidina, 4,4'-DDT). A quantificação se baseia em padronização interna utilizando padrões de HPAs deuterados.

As curvas de calibração obtidas apresentam coeficientes de correlação sempre superiores a 0,990 para todos os compostos. Em cada lote de dez corridas cromatográficas, foi injetado no CG/EM um padrão analítico contendo todos os analitos de interesse para a verificação da calibração do equipamento.

A exatidão é testada usando-se material de referência certificado NIST ou IAEA para HPAs em sedimentos. Os desvios padrões típicos são inferiores a 10% e o limite de detecção é de 0,4ng g<sup>-1</sup>.

#### 2.5.4 Metais Pesados

Para a determinação dos elementos maiores foi utilizada a espectrofotometria de absorção atômica (AAS) enquanto que para os elementos traço foi utilizada a técnica de ICP-MS. Usou-se o sistema de injeção em fluxo para a introdução de pequenas quantidades de amostra. Tanto os dados dos sedimentos marinhos quanto os estuarinos são referentes a fração total do sedimento. Foram determinados os seguintes elementos maiores: Al, Fe, Mn e Ba; e os elementos traço B, Cd, Cu, Ni, Pb, V e Zn.

As análises foram realizadas nas amostras de sedimento úmidas, visando evitar/ minimizar perdas de elementos voláteis. Os resultados obtidos nas determinações foram convertidos para base seca considerando-se a umidade das amostras individuais, determinada por secagem de sub-amostras em estufa, a 90°C, por aproximadamente 16hs (até peso constante). Segue um resumo dos métodos utilizados, sendo que a Tabela II.5.1.3-8 indica os métodos e respectivos limites de quantificação:

- Método SW 846 EPA 3052

As amostras (cerca de 1 g) foram tratadas com 5 mL de ácido nítrico concentrado e 1 mL de ácido fluorídrico concentrado, em vaso fechado de polímero de tetrafluoretileno (teflon, ostafon), sendo aquecida em forno, por microondas, em um ciclo de 5,5 minutos até atingir a temperatura de (180 +/- 5°C), e permanecendo nesta temperatura no restante do tempo até atingir os 5 minutos da digestão. Os vasos foram arrefecidos e o extrato filtrado e diluído a 5mL para, quantificação dos elementos de interesse. O desempenho do método e abertura para todos os elementos foi demonstrado no relatório de controle de qualidade fornecido pelo laboratório TASQA, contendo branco do método, duplicata de amostra controle da própria matriz e recuperação de padrão adicionado sobre a própria amostra controle.

• Método SM 3120 – B

Os extratos obtidos foram analisados por Espectrometria de Emissão por Plasma Indutivamente acoplado (ICP OES), em equipamento Jobin-Yvon modelo JY 138 Ultrace. As soluções foram nebulizadas em câmara concêntrica com auxílio de uma bomba peristáltica e um nebulizador Mira Mist (Burgener), todo o material em contato com o extrato é resistente à ação do ácido fluorídrico.

**Tabela II.5.1.3-8:** Valores obtidos para a análise do material de referência certificado MESS-3 Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and Other Constituents: MESS-3.

ELEMENTO	MÉTODO UTILIZADO (*)	LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO (mg.Kg <sup>-1</sup> )
Alumínio	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,13
Bário	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,01
Cádmio	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,01
Chumbo	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,01
Cobre	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,03
Cromo	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,03
Ferro	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,13
Magnésio	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,001

ELEMENTO	MÉTODO UTILIZADO (*)	LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO (mg.Kg <sup>-1</sup> )
Manganês	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,13
Mercúrio	EPA 7470 A - Mercury in Liquid Waste (Manual Cold-vapor Technique)	0,001
Níquel	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,001
Vanádio	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,04
Zinco	SM-3120 - B - Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado ("ICP OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry")	0,02

Obs. : Método de Digestão das amostras - SWEPA 3052 – "Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices" (Digestão ácida assistida por micro-ondas, de matrizes silicosas e de base orgânica).

• Método SW846 EPA 7470- A

A concentração de Hg nas amostras de sedimentos foi determinada através da técnica de Absorção Atômica com geração de vapor frio (CV-AAS). Utilizou-se como redutor uma solução de cloreto estanhoso. As medidas do sinal de absorção atômica do vapor de Hg foram feitas utilizando-se um Espectrometro de Absorção Atômica Perkin-Elmer, modelo Analyst AA-300, acoplado a sistema de geração de hidreto/vapor frio. O controle da qualidade analítica foi acompanhado pela análise do material de referência certificado Os dados obtidos encontram-se nas Tabelas II.5.1.3-9a e II.5.1.3-9b.

**Tabela II.5.1.3-9a:** Valores obtidos para os materiais de referência certificados HISS-1 e PACS-2 (n = 3). (1ª Campanha)

ISÓTOPO	HISS-1		PACS-2	
	Certificado (mg kg <sup>-1</sup> )	Encontrado (mg kg <sup>-1</sup> )	Certificado (mg kg <sup>-1</sup> )	Encontrado (mg kg <sup>-1</sup> )
51V	6,80 ± 0,78	4,82 ± 0,21	133 ± 5	100 ± 1
52Cr	30,0 ± 6,8	22,5 ± 1,2	90,7 ± 4,6	84,7 ± 1,3
60Ni	2,16 ± 0,29	1,70 ± 0,18	39,5 ± 2,3	31,0 ± 0,2
63Cu	2,29 ± 0,37	1,78 ± 0,15	310 ± 12	290,9 ± 2,1
66Zn	4,94 ± 0,79	5,85 ± 0,59	364 ± 23	368 ± 5
111Cd	0,024 ± 0,009	0,041 ± 0,010	2,11 ± 0,15	1,77 ± 0,05
137Ba	nc	132 ± 5	nc	184 ± 2
202Hg	0,01*	↓LOD	3,04 ± 0,20	1,65 ± 0,08
208Pb	3,13 ± 0,40	2,76 ± 0,08	183 ± 8	164 ± 2,2

**Tabela II.5.1.3-9b:** Valores obtidos para a análise do material de referência certificado MESS-3 Marine Sediment Reference Materials for Trace Metals and Other Constituents: MESS-3. (2ª Campanha)

ELEMENTO	ENCONTRADO	CERTIFICADO	D. PADRÃO	UNIDADE
Alumínio	7,94	8,59	+/- 0,23	%
Arsênio	20,29	21,20	+/- 1,10	mg/Kg
Bário	806,07	-	-	mg/Kg
Cádmio	0,23	0,24	+/- 0,01	mg/Kg
Chumbo	21,21	21,10	+/- 0,70	mg/Kg
Cobre	32,7	33,90	+/- 1,60	mg/Kg
Cromo	97,72	105,00	+/- 4,00	mg/Kg
Ferro	4,71	4,34	+/- 0,11	%
Magnésio		1,60	-	%
Manganês	331,77	324,00	+/- 12,00	mg/Kg
Mercúrio	0,11	0,091	+/- 0,009	mg/Kg
Níquel	48,08	46,90	+/- 2,20	mg/Kg
Vanádio	222	243,00	+/- 10,00	mg/Kg
Zinco	154,57	159,00	+/- 8,00	mg/Kg



### 3. Resultados e Discussões do Compartimento Água

#### 3.1 Oxigênio Dissolvido e Potencial Hidrogeniônico

Foi observado, desde a 1ª Campanha, que a Bacia Potiguar apresenta águas bem oxigenadas, com pH alcalino. O oxigênio dissolvido apresentou uma pequena diminuição na terceira Campanha, se comparado com as duas Campanhas anteriores (Anexo1). O valor mínimo (Tabela II.5.1.3-10) foi registrado justamente nesta Campanha, de 3,24ml.L<sup>-1</sup> detectado a 880m de profundidade na estação BPot32, situado dentro da camada de concentração mínima de oxigênio dissolvido, que se encontra a grandes profundidades, no talude ou área oceânica. A média das demais concentrações ficou em torno de 4,53ml.L<sup>-1</sup>, com um valor máximo de 5,09 ml.L<sup>-1</sup>, ambos valores obtidos em novembro.

**Tabela II.5.1.3-10: Estatística descritiva do oxigênio dissolvido (ml.L<sup>-1</sup>) na coluna d' água.**

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
O <sub>2</sub> diss (1ª Campanha)	46	5,02	4,64	5,67	0,15
O <sub>2</sub> diss (2ª Campanha)	98	4,63	4,34	5,43	0,19
O <sub>2</sub> diss (3ª Campanha)	99	4,52	3,24	5,09	0,18

O pH também se comportou da mesma forma que o O<sub>2</sub> dissolvido, apresentando variação relativa ainda menor (Tabela II.5.1.3-11), tanto entre as estações de coleta quanto na diferença sazonal (Anexo -2). Essas características podem ser explicadas devido a pouca ou nenhuma diferenciação climática apresentada ao decorrer do ano, no que diz respeito a sazonalidade, nesta região. As características granulométricas e os teores de matéria orgânica também asseguram uma maior homogeneidade dos resultados.

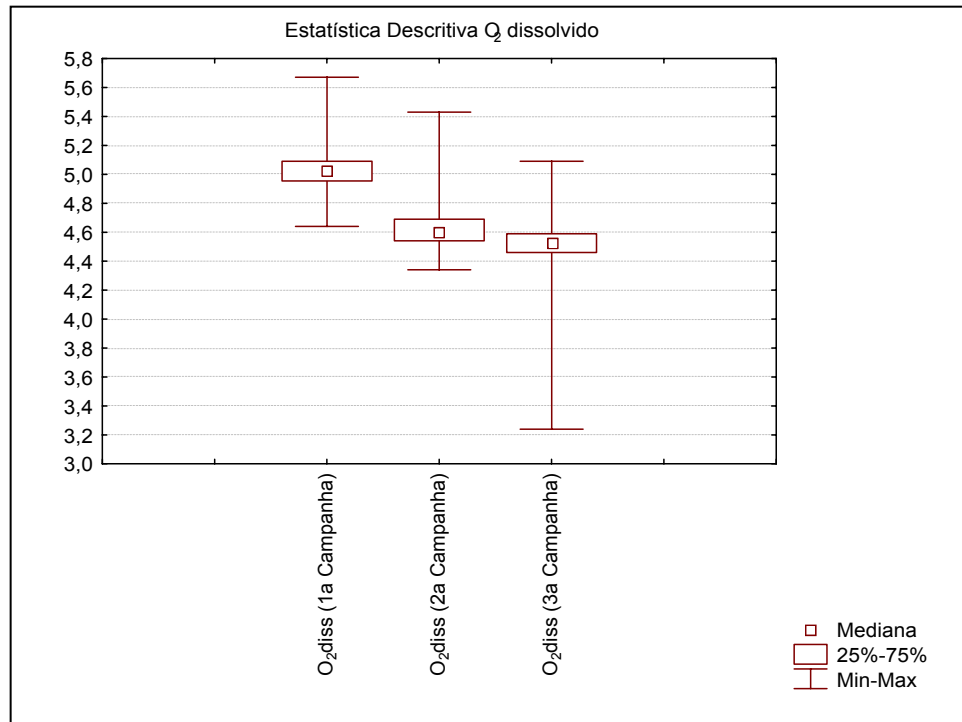
**Tabela II.5.1.3-11: Estatística descritiva do pH na coluna d' água, para as três Campanhas**

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
pH (1ª Campanha)	46	8,22	7,93	8,32	0,07
pH (2ª Campanha)	98	8,14	7,77	8,27	0,09
pH (3ª Campanha)	99	8,06	7,89	8,25	0,06

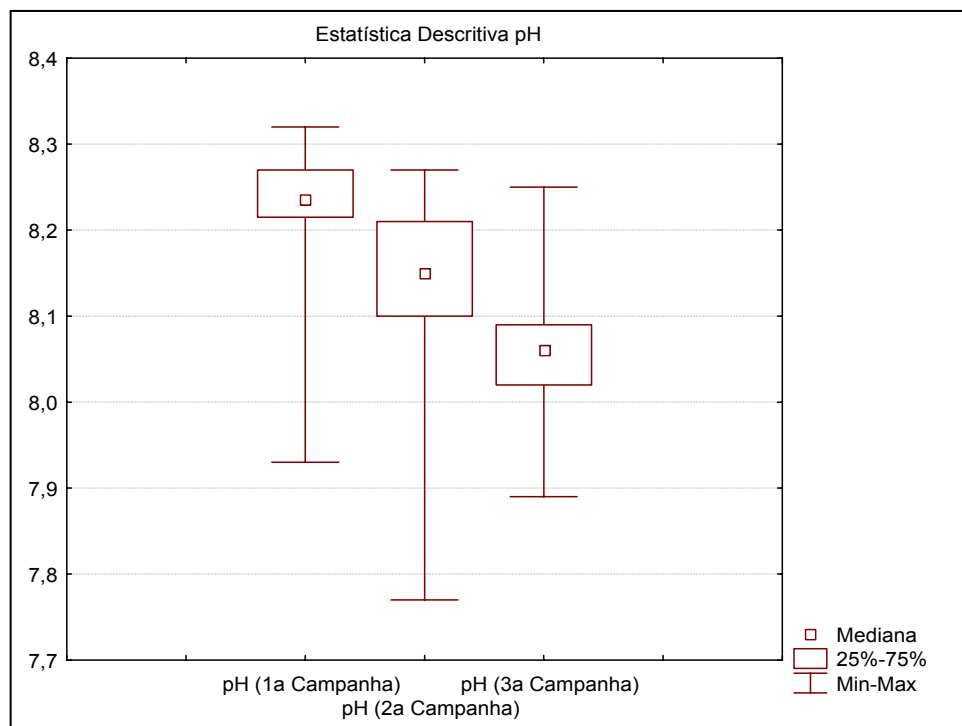
As concentrações de oxigênio dissolvido apresentaram-se elevadas, indicando que a área está em equilíbrio quanto ao consumo e disponibilidade deste gás (Figura II.5.1.3-2). Melo (1996), estudando uma área de deságüe de um emissário submarino de esgotos na costa de Fortaleza, registrou valores mínimos fora do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA (2005), para as águas da classe 5 e 6 (águas de proteção das comunidades aquáticas e à navegação comercial), valores de oxigênio iguais ou superiores a  $4\text{mg.L}^{-1}$  ( $2,80\text{ml.L}^{-1}$ ) e  $5\text{mg.L}^{-1}$  ( $3,50\text{ml.L}^{-1}$ ) respectivamente.

Da mesma maneira, o pH sempre alcalino, apresentou-se dentro da faixa aceita pela Resolução do CONAMA (loc.cit.) (Figura II.5.1.3-3) para as águas de classe 5 e 6, que determina valores entre 6,5 a  $8,5\text{ml.L}^{-1}$ .

Em geral o pH e o oxigênio dissolvido, diminuem seus valores em grandes profundidades, quando a degradação da matéria orgânica sedimentada desde a superfície consome este gás, alterando a relação ácido-base na água, provocando a diminuição do pH. Na Bacia Potiguar, a quantidade de matéria orgânica foi baixa e sua oxidação não foi o suficiente para modificar drasticamente a concentração do O.D.



**Figura II.5.1.3-2:** Variação do teor de oxigênio dissolvido (ml.L<sup>-1</sup>) na coluna d'água da Bacia Potiguar. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-3:** Variação do pH na coluna d'água da Bacia Potiguar. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

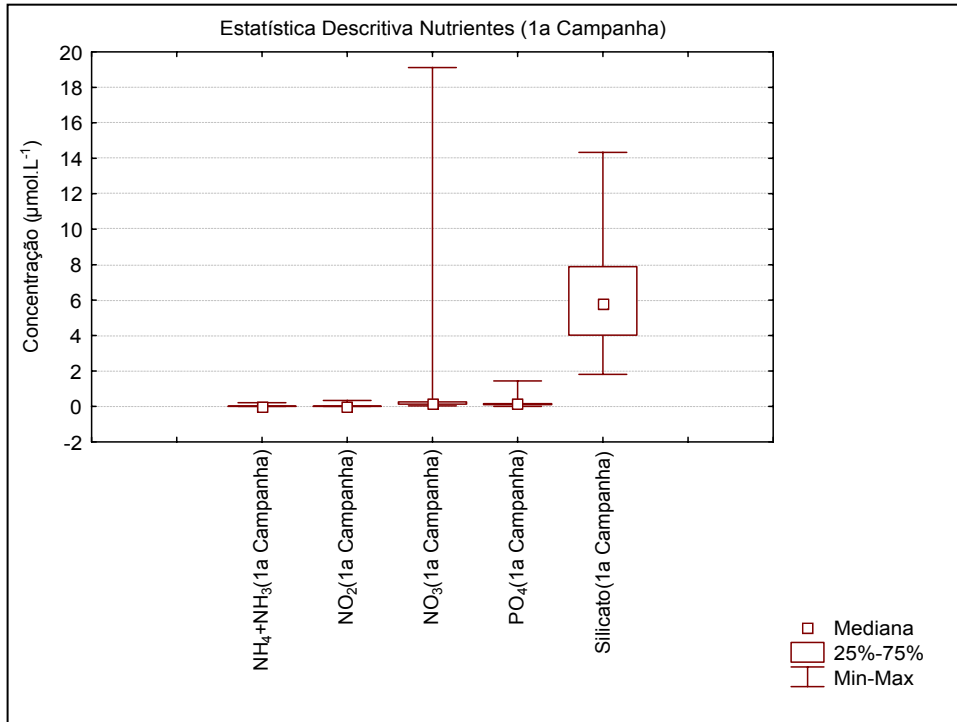
### 3.2 Nutrientes (Amônia - $NH_3+NH_4$ , Nitrito - $NO_2$ , Nitrato - $NO_3$ , Fosfato - $PO_4$ e Silicato)

Os nutrientes, de uma forma geral, apresentaram concentrações características de áreas oligotróficas em todas as Campanhas (Tabela II.5.1.3-12). Dentro da malha de caracterização da Bacia Potiguar, as concentrações máximas do nitrato-N e fosfato-N foram registradas nas maiores profundidades das estações do Talude, confirmando o padrão vertical de distribuição dos nutrientes nos oceanos (Anexos 3, 5 e 7).

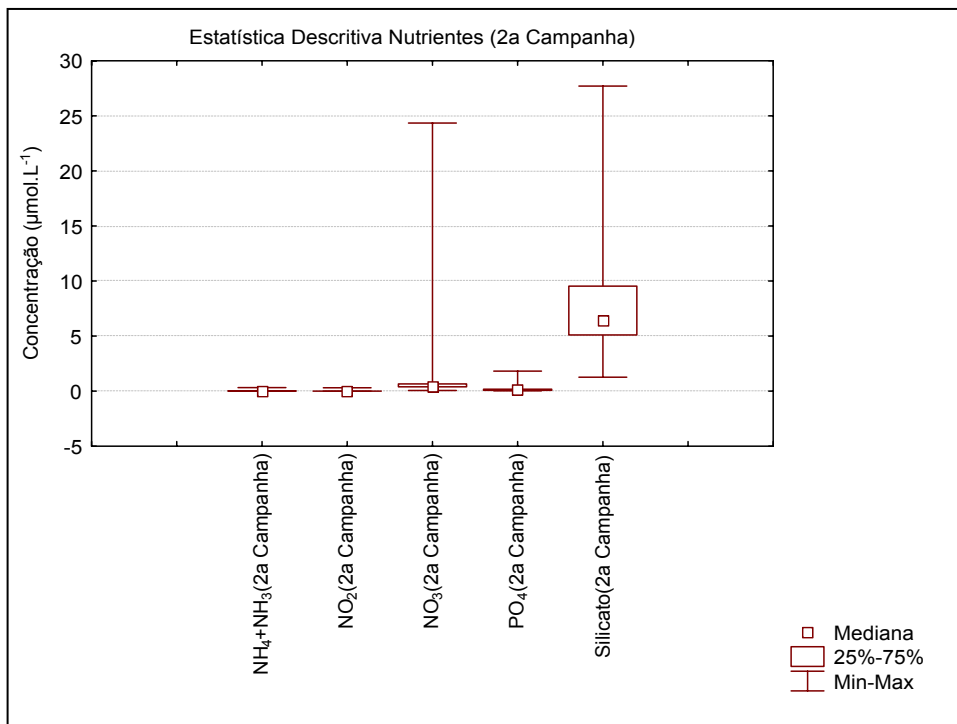
**Tabela II.5.1.3-12:** Estatística descritiva dos nutrientes na coluna d' água.  
Concentrações em  $\mu\text{mol/L}$

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
$NH_4+NH_3$ (1ª Campanha)	46	0,01	<L.D.	0,21	0,03
$NH_4+NH_3$ (2ª Campanha)	97	0,02	<L.D.	0,32	0,04
$NH_4+NH_3$ (3ª Campanha)	99	0,01	<L.D.	0,09	0,02
$NO_2$ (1ª Campanha)	46	0,01	<L.D.	0,34	0,05
$NO_2$ (2ª Campanha)	97	0,01	<L.D.	0,31	0,04
$NO_2$ (3ª Campanha)	99	0,08	<L.D.	0,71	0,16
$NO_3$ (1ª Campanha)	46	0,79	<L.D.	19,12	2,86
$NO_3$ (2ª Campanha)	97	1,62	<L.D.	24,35	4,04
$NO_3$ (3ª Campanha)	99	1,53	<L.D.	28,59	4,15
$PO_4$ (1ª Campanha)	46	0,18	<L.D.	1,44	0,22
$PO_4$ (2ª Campanha)	97	0,18	0,03	1,82	0,29
$PO_4$ (3ª Campanha)	99	0,13	<L.D.	1,67	0,29
Silicato(1ª Campanha)	46	6,05	1,81	14,33	2,76
Silicato(2ª Campanha)	97	7,81	1,27	27,71	4,30
Silicato(3ª Campanha)	99	12,06	3,40	29,28	4,63

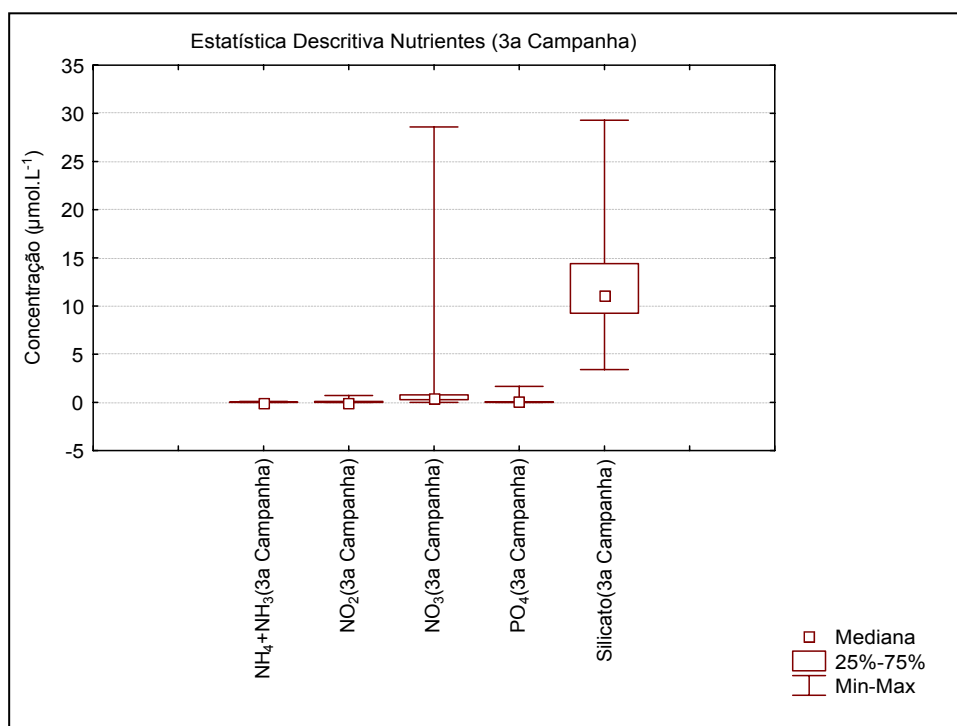
Nas Figuras II.5.1.3-4, II.5.1.3-5 e II.5.1.3-6, pôde-se observar que as medianas dos nutrientes nitrogenados estão aproximadas, e com pequenas variações quartílicas, exceto para o nitrato, pelo valor máximo registrado no Talude.



**Figura II.5.1.3-4:** Variação dos nutrientes ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na coluna d'água da Bacia Potiguar (1ª Campanha) Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-5:** Variação dos nutrientes ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na coluna d'água da Bacia Potiguar (2ª Campanha). Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-6:** Variação dos nutrientes ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na coluna d'água da Bacia Potiguar (3ª Campanha). Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

O silicato-Si foi o nutriente que apresentou um pequeno aumento na 3ª Campanha (Anexos 4, 6 e 8), comparando com as Campanhas realizadas em julho-agosto/2002 e maio/2003. A concentração média aumentou de  $5,97 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (1ª Campanha) e  $8,02 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (2ª Campanha) para  $12,19 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , com uma variação de  $3,40 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (BPot13, fundo) a  $29,28 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (BPot34, fundo). Os maiores valores foram registrados nas camadas de fundo, indicando ressuspensão de sedimento e regeneração do silicato-Si nas estações mais profundas, situadas no talude. Nas Figuras II.5.1.3-4, II.5.1.3-5 e II.5.1.3-6 observa-se maior variação quartílica do silicato-Si, comparando com os demais nutrientes.

Comparando os valores de nutrientes com os dados da Campanha REVIZEE IV (Macêdo & Flores Montes, 2002), na plataforma do Rio Grande do Norte, foi detectada concentrações de amônia um pouco mais elevada (media de  $0,510 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) do que no presente trabalho (médias de  $0,018$  e  $0,038 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , respectivamente para os grupo I e II de estações). Os demais nutrientes

apresentaram a mesma faixa de variação registrada na Campanha REVIZEE IV, com o nitrato sempre abaixo de  $1 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , o silicato sempre abaixo de  $15 \mu\text{mol.L}^{-1}$  e o fosfato sempre abaixo de  $0,50 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , com exceção da estação localizada no talude, que apresentou fosfato mais elevado em maiores profundidades.

Na área da Bacia Potiguar, apesar das concentrações de fosfato estarem abaixo de  $0,50 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , as concentrações dos nutrientes nitrogenados que foram muito baixas seriam o fator determinante para uma relação N/P bem abaixo da relação de Redfield (16) nas duas primeiras Campanhas (Tabela II.5.1.3-13). Isto indica o nitrogênio como fator limitante em toda a área estudada. Nas estações mais profundas, principalmente nas estações da caracterização da bacia, a relação N/P aumentou com a profundidade, confirmando o que Keller loc.cit. observou sobre a regeneração dos dois nutrientes (N e P) na coluna de água. O ciclo do nitrogênio (que se apresenta com mais etapas), retarda a remineralização nas camadas superficiais, enquanto o fósforo além de mineralizar mais rápido é auxiliado pelo processo chamado de “buffer do fosfato”, que regula as concentrações deste nutriente no meio através da liberação deste por partículas em suspensão e através do sedimento de fundo. A média de 21,94, porém, indica um aumento do nitrogênio em relação ao fosfato em uma grande parte da malha da 3ª Campanha, em comparação com as Campanhas anteriores.

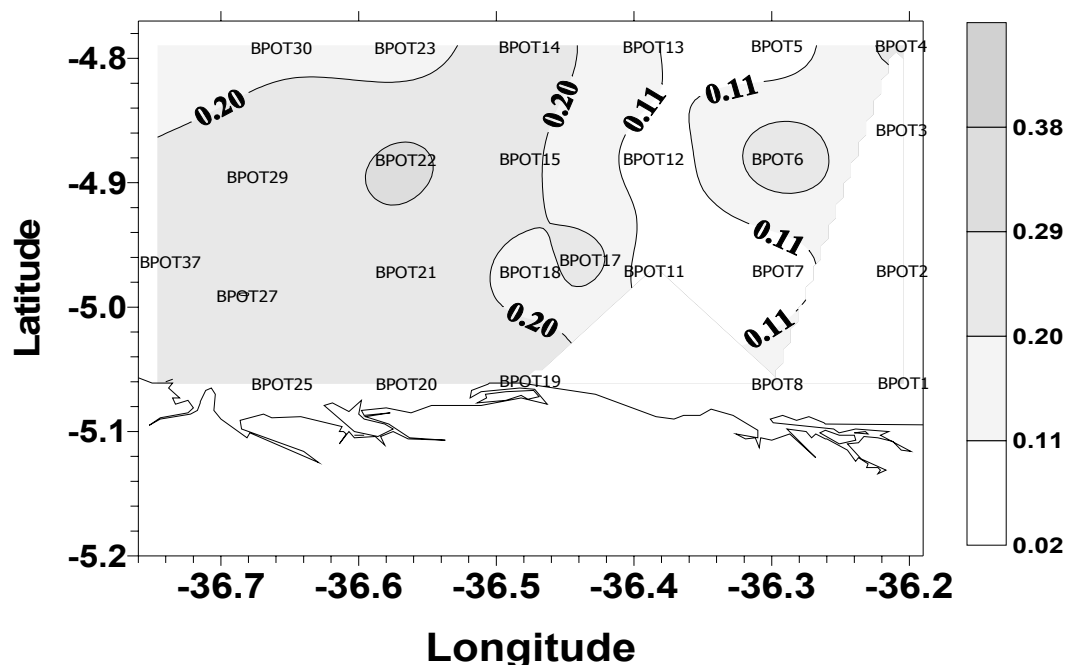
**Tabela II.5.1.3-13.** Relação de Redfield na Bacia Potiguar

MÉDIA DA RELAÇÃO N/P DE REDFIELD		
1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha
2,30	7,97	21,94

Margalef & Vives apud Ressurreição (1990), consideram o fósforo elemento limitante em 50% dos casos onde as concentrações são inferiores a  $0,50 \mu\text{mol.L}^{-1}$ . Entretanto outros autores como Schindler apud Graneli et alii (1988), afirmaram que os compostos de nitrogênio são os limitantes para o desenvolvimento fitoplanctônico. Keller (1989) comenta que nunca o fósforo será limitante nos oceanos (principalmente em áreas oligotróficas oceânicas), devido a sua rápida reciclagem dentro do sistema.

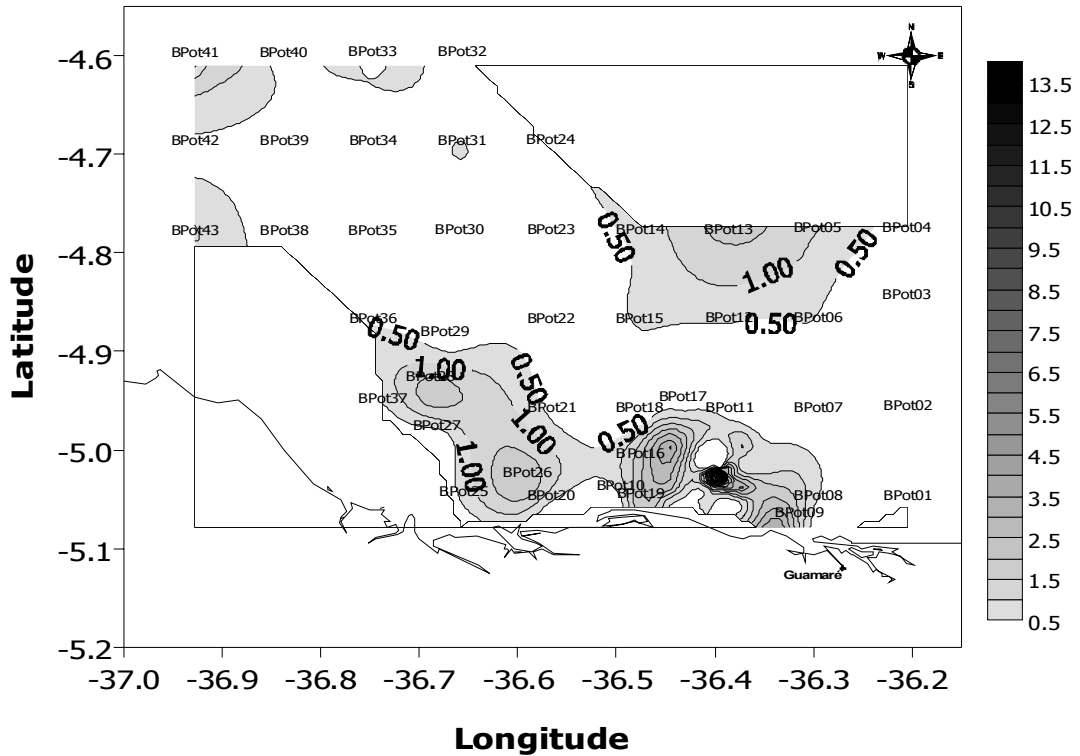
Pôde-se observar que o nitrato (estágio mais elevado de oxidação do nitrogênio), nas estações mais profundas da caracterização da área da Bacia Potiguar, apresentou concentrações mais elevadas, confirmando a hipótese da remineralização do nitrogênio nestas profundidades. Isto leva a crer, que nas estações pouco profundas, apesar da coluna de água estar com déficit de nitrogênio, o sedimento de fundo pode conter quantidades de nutrientes suficientes para o equilíbrio trófico neste compartimento.

Nas Figuras II.5.1.3-7 a II.5.1.3-12 observa-se a variação dos parâmetros Nitrato, Fosfato e Silicato na Bacia Potiguar

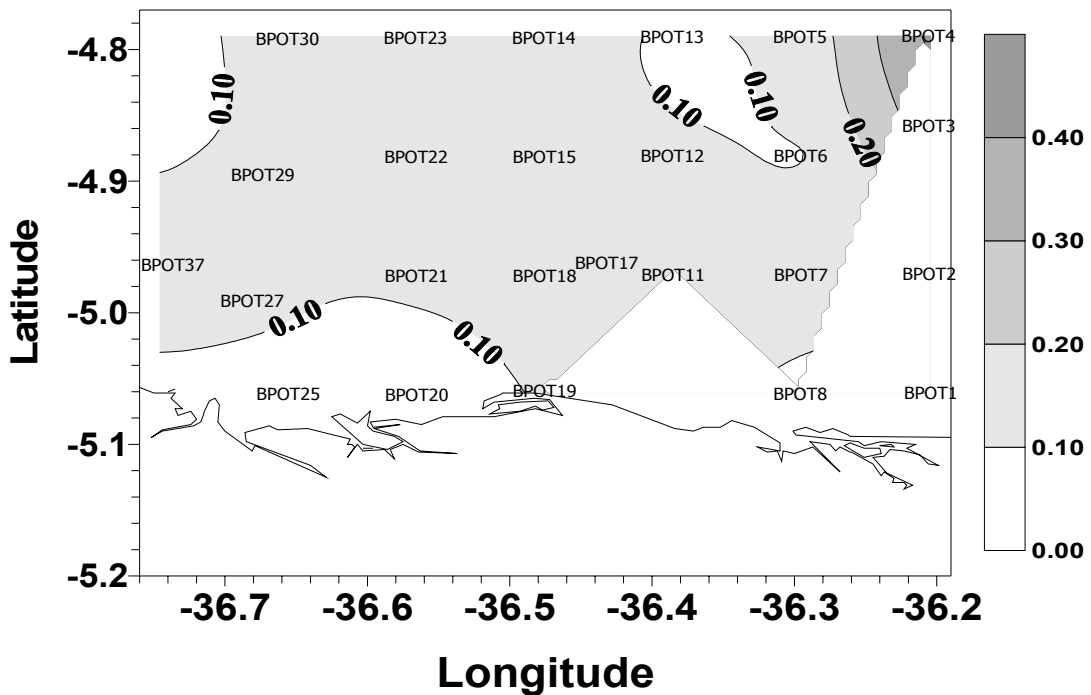


**Figura II.5.1.3-7:** Variação do nitrato-N ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na camada superficial da Bacia Potiguar em maio de 2003. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

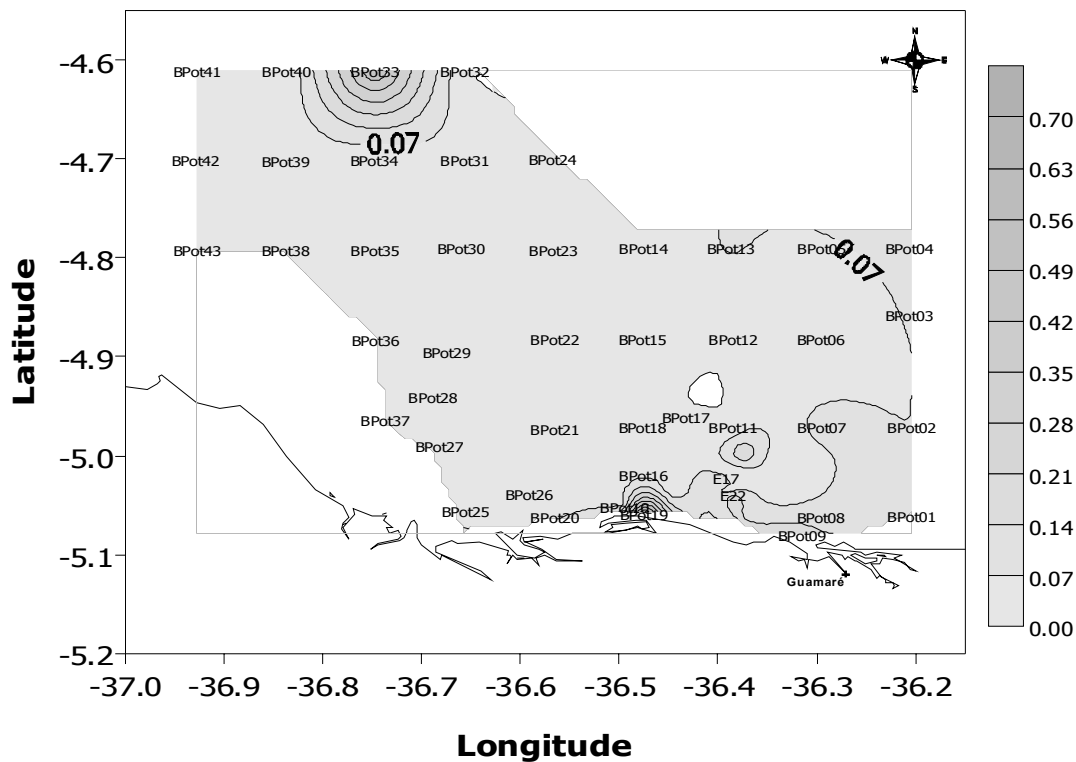




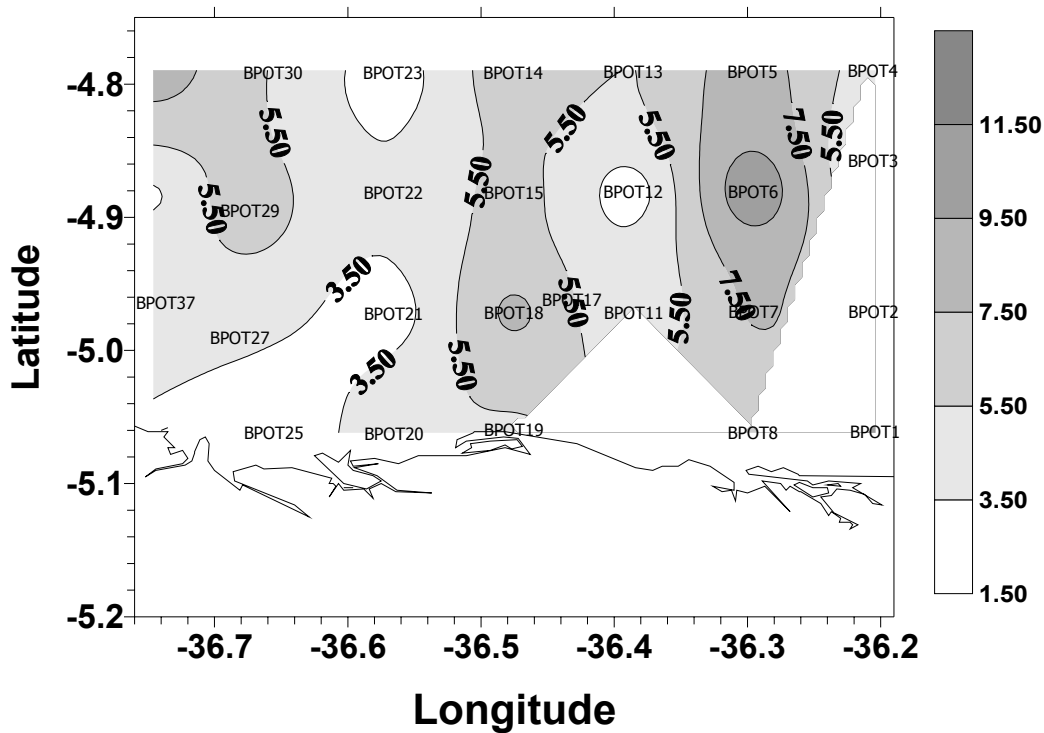
**Figura II.5.1.3-8:** Variação do nitrato-N ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na camada de fundo da Bacia Potiguar em novembro de 2003. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



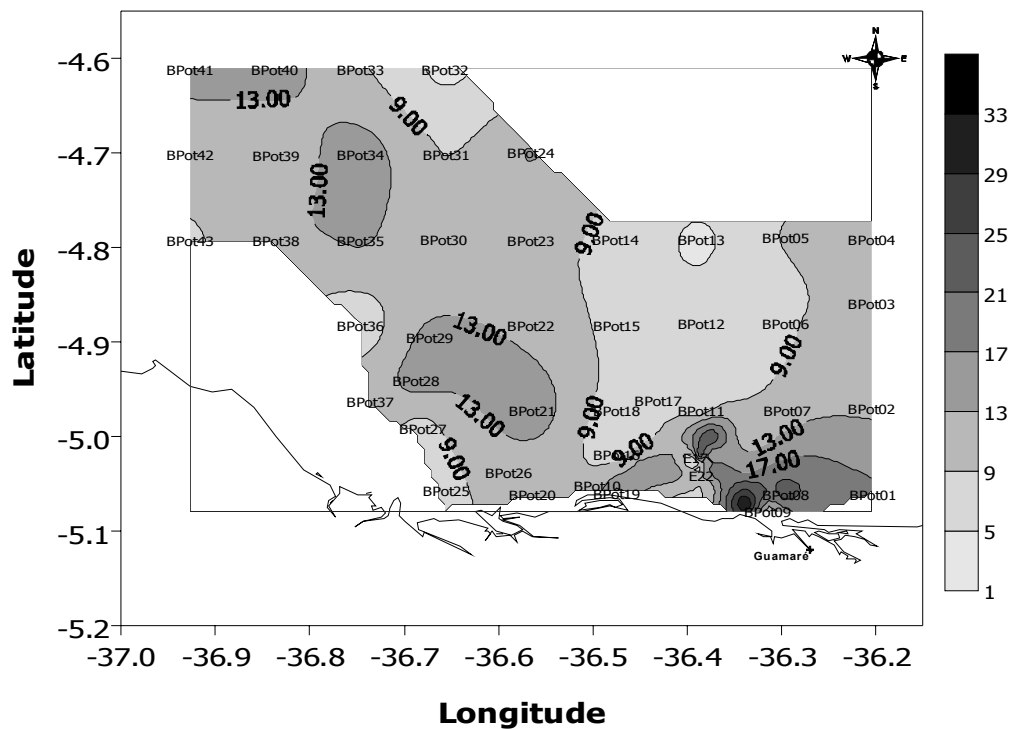
**Figura II.5.1.3-9:** Variação do fosfato-P ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na camada superficial da Bacia Potiguar, em maio de 2003. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-10:** Variação do fosfato-P ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na camada de fundo da Bacia Potiguar, em novembro de 2003. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-11:** Variação do Silicato-Si ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na camada superficial da Bacia Potiguar em novembro de 2003. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-12:** Variação do Silicato-Si ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na camada de fundo da Bacia Potiguar em novembro de 2003.

Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

### 3.3 Material Particulado em Suspensão (MPS)

As concentrações do material particulado total, inorgânico e orgânico, confirmam a transparência da água (Anexos–9, II.5.1.3–10 e II.5.1.3–11). Em algumas estações não foi detectado material em suspensão. O valor máximo registrado para o material particulado total não ultrapassou a  $5,00\text{mg.L}^{-1}$ , sendo este de  $3,81\text{mg.L}^{-1}$ , enquanto que do material particulado inorgânico foi  $2,94\text{mg.L}^{-1}$  (estação BPot07, camada próxima ao fundo) e do material particulado orgânico  $1,01\text{mg.L}^{-1}$  (estação BPot13, na superfície).

A estatística descritiva desses parâmetros pode ser visualizada na Tabela II.5.1.3-14. Os materiais particulados orgânicos (M.P.O.) e inorgânicos (M.P.I.) apresentaram valores medianos em torno de  $2,0\text{mg.L}^{-1}$ . A dispersão do M.P.I., porém, mostrou-se muito mais assimétrica do que o M.P.O., além de apresentar

uma concentração máxima bem mais elevada e um maior valor do quartil superior.

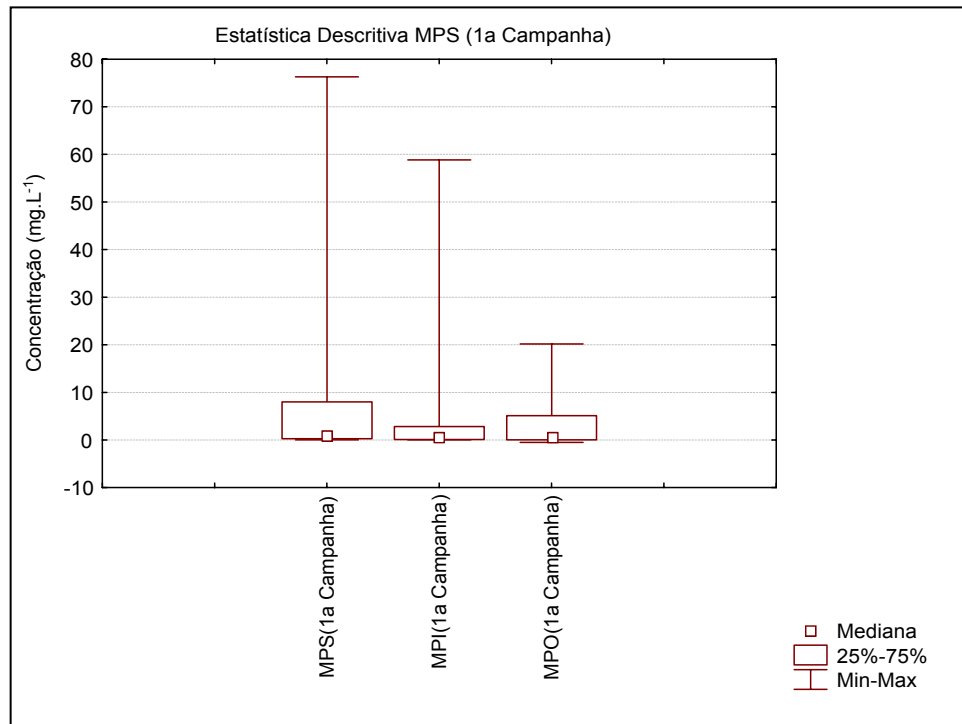
**Tabela II.5.1.3-14:** Estatística descritiva do material particulado em suspensão na coluna d' água

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
MPS(1ª Campanha)	46	8,31	0,06	76,30	15,01
MPS(2ª Campanha)	98	1,12	<L.D.	11,13	1,67
MPS(3ª Campanha)	98	1,81	<L.D.	14,24	2,53
MPI(1ª Campanha)	46	4,93	0,03	58,86	10,76
MPI(2ª Campanha)	98	0,28	<L.D.	1,500	0,29
MPI(3ª Campanha)	98	0,62	<L.D.	14,24	1,62
MPO(1ª Campanha)	46	3,37	<L.D.	20,18	5,00
MPO(2ª Campanha)	98	0,80	<L.D.	9,63	1,46
MPO(3ª Campanha)	98	1,72	<L.D.	8,80	1,90

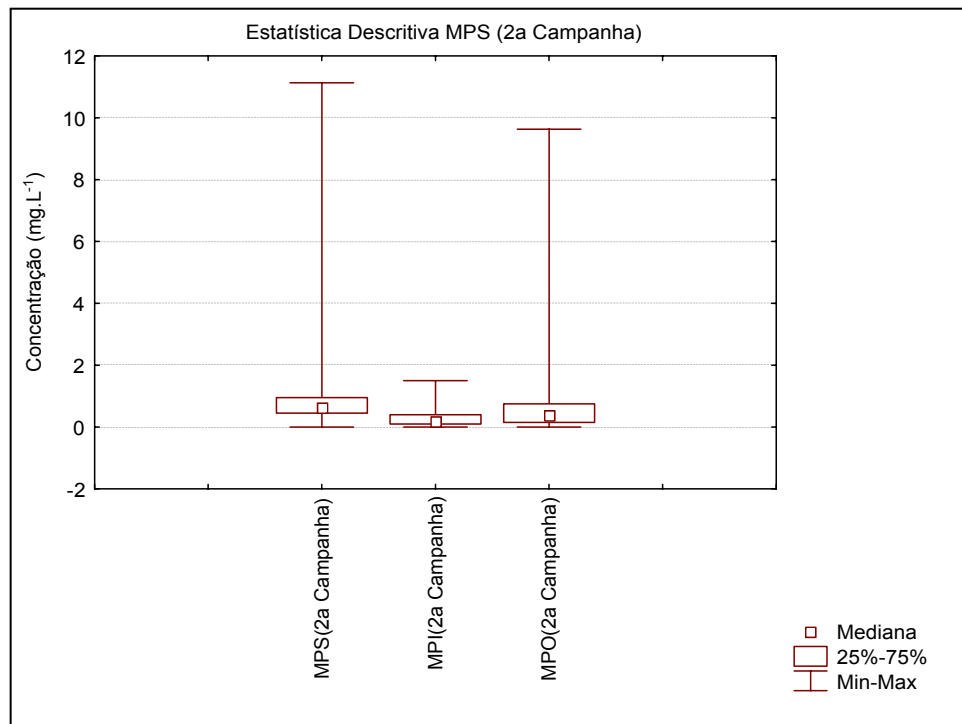
A maioria das concentrações do material em suspensão (M.P.O e M.P.I.) no presente trabalho, apresentaram-se menor que  $1\text{mg.L}^{-1}$  (Tabela II.5.1.3-14). Chester & Stone (1979), relatam que o material particulado em águas costeiras varia de 0,1 a 3,0  $\text{mg.L}^{-1}$ . Longe da costa, em oceano aberto, os valores podem cair para  $\leq 0,010\text{ mg.L}^{-1}$ . Quando existe material antropogênico na costa, os elementos importantes comumente encontrados são: produtos de esgoto, elementos nucleares, hidrocarbonetos de petróleo, pesticidas, PCBs e outros orgânicos sintéticos (Chester, 1990). Porém, em geral esse material é encontrado quando há influência de estuários e o material em suspensão pode alcançar valores em torno de 9  $\text{mg.L}^{-1}$ , como aconteceu na costa do Espírito Santo (influência do Rio Paraíba do Sul), de acordo com Knoppers *et al* (1996).

Em geral, as concentrações do material particulado orgânico em áreas não influenciadas por estuários, estão relacionadas à produção dos organismos planctônicos. As concentrações registradas neste estudo, estão dentro das faixas encontradas em áreas costeiras e até mais baixas, comparado com algumas áreas com desembocadura de rios.

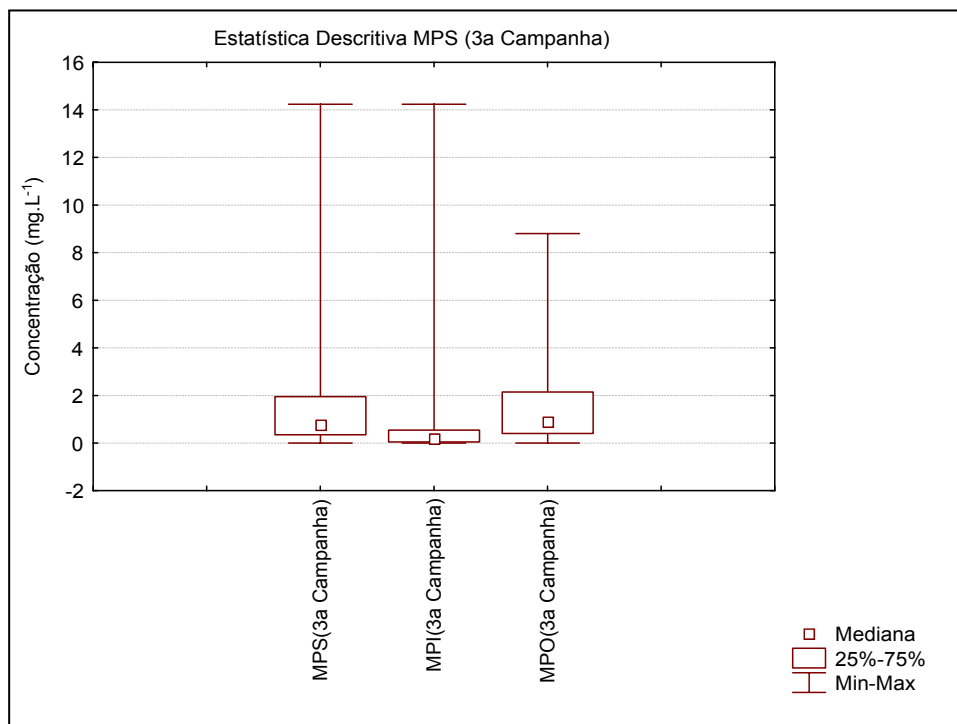
A caracterização do material particulado em suspensão, para cada uma das Campanhas encontram-se nas Figuras II.5.1.3-13 a II.5.1.3-15.



**Figura II.5.1.3-13: Caracterização do Material Particulado em Suspensão (1ª Campanha).** Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-14: Caracterização do Material Particulado em Suspensão (2ª Campanha).** Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-15:** Caracterização do Material Particulado em Suspensão (3ª Campanha). Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

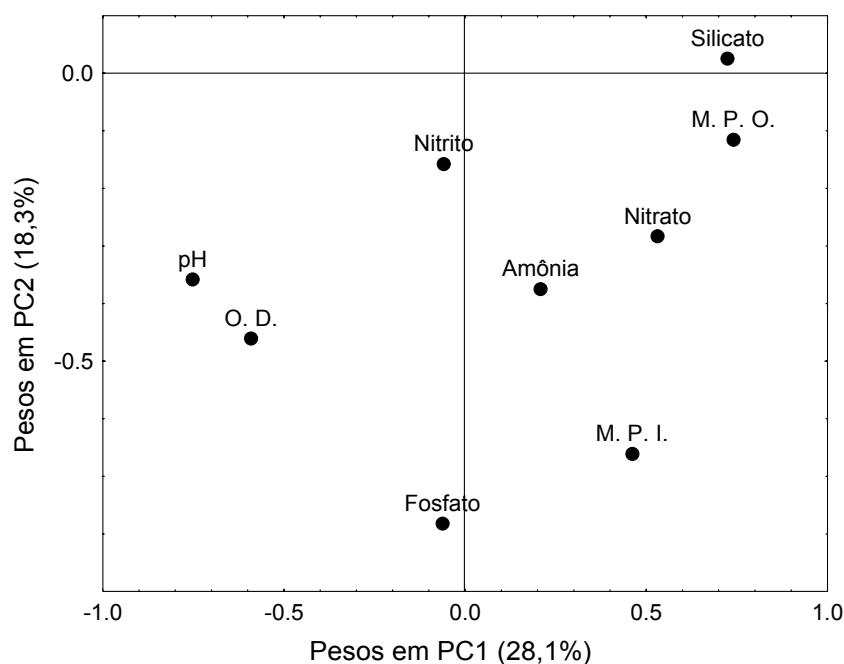
### 3.4 Confronto Estatístico da Qualidade da Água das Três Campanhas.

Para comparar as Campanhas 1º, 2º e 3º, foi realizado uma PCA para cada grupo de estações em separado (malha da caracterização ambiental e malha de monitoramento ambiental dos emissários), com os dados das três Campanhas.

A PCA explicou 28,10% da variância total, destacando-se o M.P.O (peso=0,74), o silicato-Si (peso= 0,72) e o nitrato-N (peso=0,53), que correlacionaram-se negativamente com o pH (peso= -0,75) e O.D. (peso=-0,59). Esses nutrientes variando inversamente com o O.D. e diretamente proporcional ao M.P.O (principalmente o nitrato), indica que o processo de mineralização está em evidência dentro das 3 Campanhas realizadas na área (Tabela II.5.1.3-15 e Figura II.5.1.3-16).

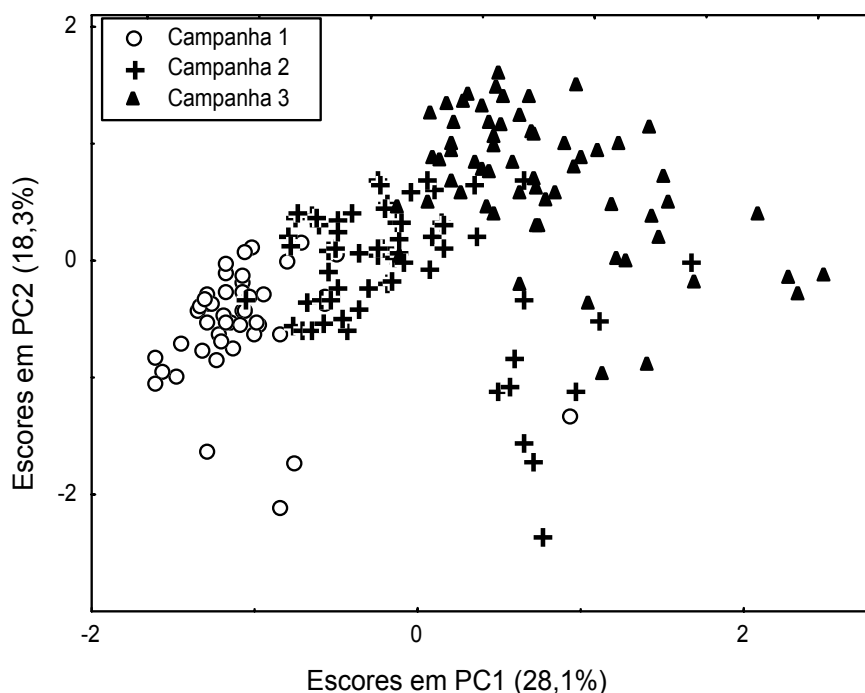
**Tabela II.5.1.3-15:** Pesos nas duas primeiras componentes principais da análise da comparação dos dados das campanhas julho/2002, maio/2003 e novembro/2003, das estações de coleta da malha de monitoramento ambiental dos emissários submarinos. Os valores mais significativos estão em negrito.

VARIÁVEL	PC1	PC2
O. D.	<b>-0,59</b>	-0,46
pH	<b>-0,75</b>	-0,36
Amônia	0,21	-0,37
Nitrito	-0,06	-0,16
Nitrato	<b>0,53</b>	-0,28
Fosfato	-0,06	<b>-0,78</b>
Silicato	<b>0,72</b>	0,03
M. P. I.	0,46	<b>-0,66</b>
M. P. O	<b>0,74</b>	-0,12
Variância explicada (%)	28,1	18,3



**Figura II.5.1.3-16:** Pesos das variáveis nas duas primeiras componentes principais, dos dados da malha amostral de caracterização ambiental da Bacia Potiguar, na comparação entre as Campanhas julho-agosto/2002, maio/2003 e novembro/2003. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

Na Figura II.5.3-17, dos escores, pode-se observar claramente na PC1 uma separação entre as três Campanhas. Como está caracterizado neste gráfico, há um aumento claro do M.P.O., M.P.I., nitrato-N e silicato-Si da 1ª Campanha à 3ª Campanha. Maiores valores de pH e OD, foram observados na primeira Campanha.

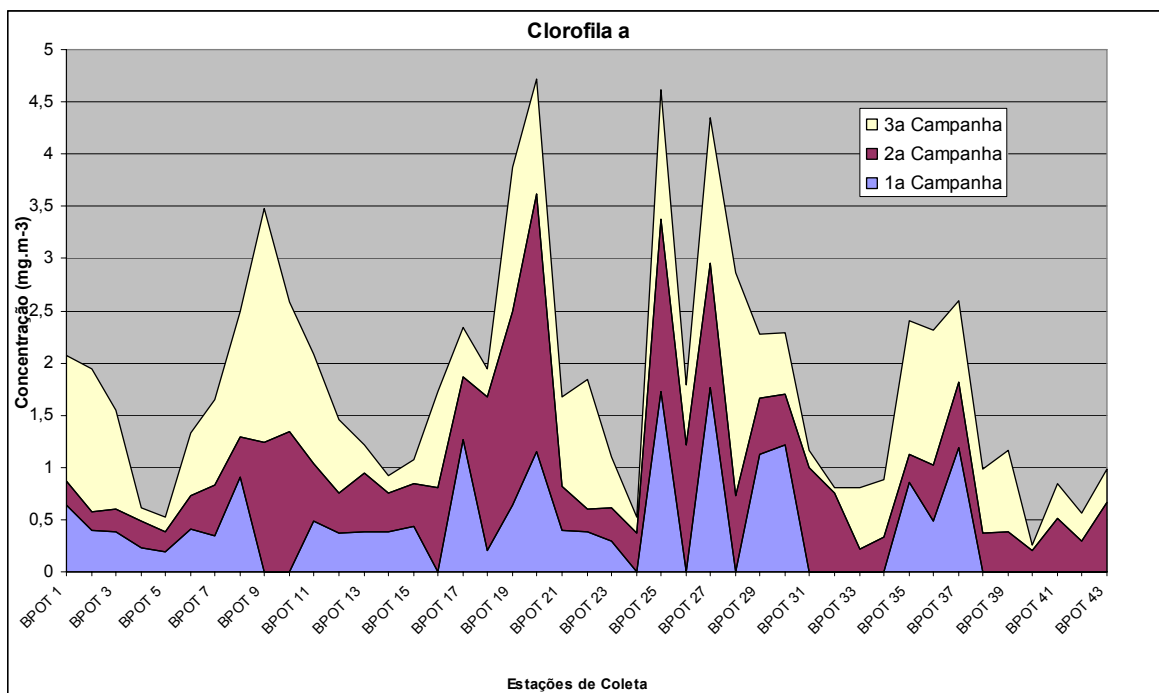


**Figura II.5.1.3-17:** Escores das amostras nas duas primeiras componentes principais, na comparação entre as Campanhas julho/2002, maio/2003 e novembro/2003, na malha da caracterização ambiental da Bacia Potiguar. Os símbolos dos pontos indicam se ela é da 1ª Campanha (O), da 2ª Campanha (+) ou da 3ª Campanha (▲). Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

### 3.5 Clorofila a

Os teores de clorofila a na Bacia Potiguar referentes as três Campanhas apresentaram-se de forma variável, sendo que a maioria das amostras foi baixa, à exceção de certos pontos cujos teores estiveram acima de  $1,00 \text{ mg.m}^{-3}$  (Figura II.5.1.3-18).





**Figura II.5.1.3-18:** Distribuição espacial das concentrações de clorofila a obtidas. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

A primeira vista observa-se que apesar de apresentarem diferenças quanto a concentração, o padrão de variação entre as estações se manteve. Levando-se em conta a distribuição horizontal da biomassa fitoplanctônica na camada superficial (0.5m), verificou-se que algumas estações consideradas mais costeiras como a BPot09, BPot27 e BPot28 mostraram maior concentração da clorofila a, provavelmente relacionado à presença de águas estuarinas que se encontram mais concentradas em sais nutrientes, entretanto, as estações BPot30, BPot34 e BPot35, que apesar de estarem bem mais afastada da costa também mostraram teores elevados de clorofila a.

No que se refere à distribuição da biomassa fitoplanctônica percebeu-se que a maioria das amostras analisadas são características de ambiente oligotrófico, fato este que também já foi constatado anteriormente em outras áreas da região nordeste do Brasil, por Costa (1991), Passavante e Feitosa (1995); Feitosa *et al.* (1997) e por Medeiros *et al.* (1999).

Essa característica está diretamente relacionada ao tipo de massa d'água que banha a região estudada tratando-se de uma corrente de águas mornas e

pobre em sais nutrientes dissolvidos acarretando uma baixa biomassa e produtividade algal.

Apesar da Bacia Potiguar apresentar esta característica oligotrófica, vale salientar que algumas estações estiveram fora deste padrão apresentando concentrações de clorofila a igual ou superior a  $1,0 \text{ mg.m}^{-3}$  possivelmente devido ao fato de sofrerem influência continental e conseqüentemente receberem um maior aporte de sais nutrientes, elevando assim a biomassa fitoplanctônica nestes pontos amostrados.

Ao compararmos os resultados obtidos nas três Campanhas realizadas observamos que o teor de clorofila a apresentou variações entre as estações, mas isso já era de se esperar, em função da dinâmica ambiental. Entretanto, vale salientar que a 3 Campanha apresentou um discreto aumento no valor médio total em relação as demais. Outrossim, foi que a referida Campanha mostrou um maior número de estações com teores acima de  $1 \text{ mg.m}^{-3}$ . Este fato possivelmente estar atrelado aos fortes ventos presentes no mês de novembro, o que deve ter provocado uma maior mistura na coluna d'água, facilitado pela pequena profundidade local.

### 3.6 Fenóis

Os resultados de fenóis na Bacia Potiguar, em ambas as Campanhas se mostraram muito baixas, tanto no que diz respeito aos dados referentes a Bacia, como nos pontos mais próximos aos emissários. Na primeira Campanha os resultados variaram de nd até  $1,95 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  para a malha amostral referente a bacia Potiguar, e de nd a  $0,41 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$  para os dados referentes ao monitoramento dos emissários submarinos, com a exceção da estação E17, localizada na saída do efluente no emissário I, que apresentou uma concentração de  $6,05 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ . Na segunda Campanha o mesmo padrão se repetiu, apresentando valores, em ambas as malhas amostrais, abaixo dos limites de detecção, configurando um ambiente livre de contaminação por compostos fenólicos.

Quanto à legislação para amostras de ecossistema também há poucos registros de limites toleráveis de fenóis em ambientes costeiros, apenas a legislação canadense faz referência de limite de fenóis de  $4 \mu\text{g.L}^{-1}$  para água doce,

destinadas à vida aquática. Todas as amostras de água do mar analisadas neste estudo estiveram em níveis muito abaixo deste limite, exceto a estação E17 ( $6\mu\text{g.L}^{-1}$ ).

No caso específico do Canadá (Canadian Environmental Quality Guidelines), observa-se na Tabela II.5.1.3-16, que as águas são classificadas em quatro grupos: água para a comunidade (ou seja, água de beber); água para recreação e estética; água para vida aquática (subdividida em água doce e água marinha) e água para uso em agricultura (irrigação e consumo animal). Todas as amostras de água do mar analisadas neste estudo se encontraram em concentração inferior aos critérios estabelecidos para o Canadá.

**Tabela II.5.1.3-16:** Legislação canadense para fenóis ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ).

PARÂMETRO	COMUNIDADE	RECREAÇÃO E ESTÉTICA	VIDA AQUÁTICA		AGRICULTURA	
			ÁGUA DOCE	ÁGUA DO MAR	IRRIGAÇÃO	CONSUMO ANIMAL
Fenóis	–	–	4,0	–	–	2,0

\* Água para objetivo estético.

A literatura aponta que a toxicidade das águas produzidas diminui rapidamente após o descarte, devido a grande diluição com a água do mar. Efeitos tóxicos agudos em organismos da coluna d'água expostos a concentrações maiores que a concentração de efeito não observado (CENO) são de ocorrência rara, porque o tempo de exposição é muito curto para induzir toxicidade (Flynn, *et al*, 1996).

Em geral os parâmetros fenóis se encontraram em níveis de base, ou seja concentração encontrada para ambientes não impactados. A diluição, associada à volatilização e a biodegradação de compostos orgânicos presentes na água produzida são processos importantes que minimizam o impacto do efluente (água produzida) descartado de plataformas e emissários no mar (E&P Forum, 1994, Flynn, *et al* 1996, Santos, - 1999).

Estudos com amostras de duas plataformas (óleo e gás) do Mar do Norte indicaram que 90% do Carbono Orgânico Total e 99% dos fenóis e HPAs foram degradados 8 dias após o início dos testes de biodegradabilidade realizados em

laboratório, e os testes de volatilização mostraram a remoção de 90% de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e HPAs (preferencialmente naftalenos, que são os compostos policíclicos majoritários na água produzida) e 50% de fenóis (Flynn, *et al*, 1996). Este fato também foi verificado na costa da Austrália, onde um experimento foi realizado coletando-se água do mar durante uma semana (1.000L), em amostrador contínuo colocado na estrutura da plataforma, à 20m do ponto da descarga. As concentrações de HPAs no oceano foram muito baixas ( $<0,5\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), mesmo próximo ao local de alto volume de descarte de água produzida, evidenciando que estas descargas provavelmente não representam qualquer risco significativo para o ambiente marinho (Terrens, 1997).

### **3.7 Hidrocarbonetos (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - HTP, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA e Hidrocarbonetos Alifáticos Totais)**

#### **3.7.1 Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP)**

Na primeira Campanha destacaram-se as amostras BPot04 (superfície), BPot05 (superfície) e BPot07 (fundo), que apresentaram as maiores concentrações (18,2; 60,17 e  $10,87\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente) (Anexo–12). Nas demais estações a variação observada foi entre 0,62 e  $6,91\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (Tabela II.5.1.3-17). Já na segunda Campanha os valores se mostraram mais homogêneos não apresentando valores tão discrepantes (Figura II.5.1.3-19). Os maiores valores se apresentaram nas estações Bpot32, BPot37 e Bpot43, em superfície e profundidade, no caso desta última estação (11,79, 12,81, 11,63 e  $12,24\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente). No caso das estações costeiras, as mesmas se mostraram com valores menos elevados e mais heterogêneos, não excedendo os valores de 12,01 e  $9,27\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  para a 1ª e a 2ª Campanha respectivamente (Tabela II.5.1.3-17).

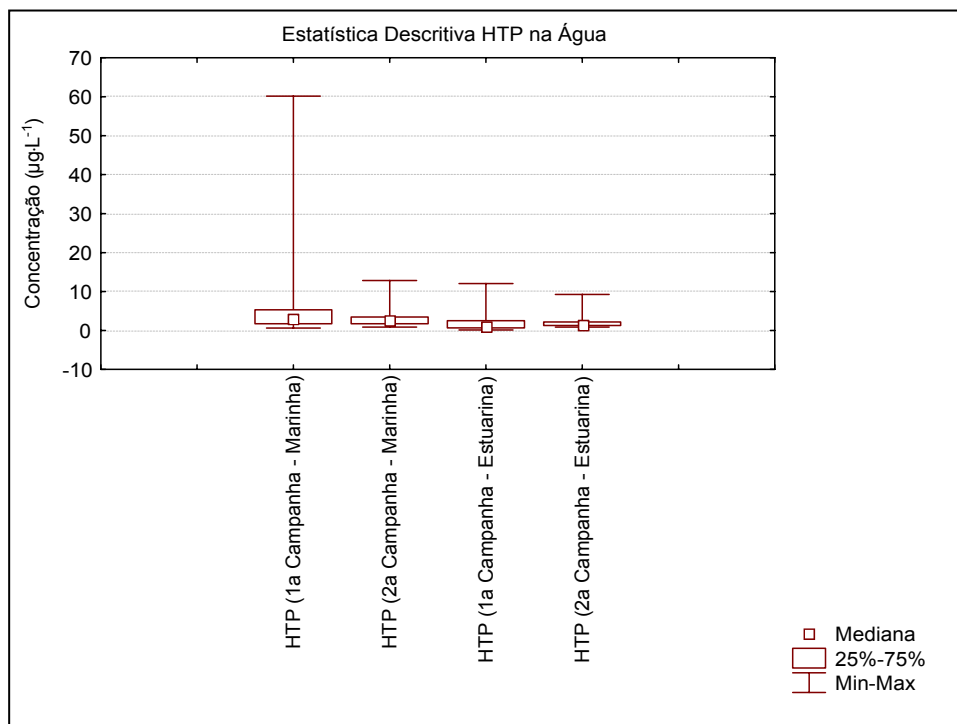
Na saída do emissário (E17) foi observada, na primeira Campanha, uma concentração de HTP de  $225,4\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , sendo a maior concentração obtida na região e compatível com a presença das prováveis fontes. O mesmo padrão se repetiu na segunda Campanha, quando o valor registrado nesta estação foi de

163,11 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ . Neste ponto, assim como em outros mais próximos, se faz indispensável esclarecer que tais valores refletem a influência pontual do efluente, não representando a situação da Bacia Potiguar como um todo.

Conforme destacado pela literatura internacional (Breuer *et al.*, 2004; Patin,1999), a utilização da variável HTP não é segura para a avaliação da contaminação por hidrocarbonetos, uma vez que ela é pouco específica – conjugando compostos de origem natural e antrópica – e não qualitativa, o que impede uma avaliação de fontes. Assim sendo, este parâmetro deve ser considerado mais uma ferramenta que deve ser conjugada com outros parâmetros.

**Tabela II.5.1.3-17: Estatística Descritiva de HTP (valores em  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )**

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
1ª Campanha (Marinha)	52	5,63	0,62	60,17	10,38
2ª Campanha (Marinha)	64	3,43	0,87	12,81	2,84
1ª Campanha (Estuarina)	11	2,39	0,15	12,01	3,32
2ª Campanha (Estuarina)	11	2,02	0,86	9,27	1,72



**Figura II.5.1.3-19:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos HPAs na água. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004).

### 3.7.2 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA

Na maior parte das amostras da primeira Campanha, não foram verificadas concentrações expressivas de HPAs individuais, nas amostras de água da Bacia Potiguar, sendo que em boa parte das amostras a grande maioria dos compostos estava presente em concentrações abaixo do limite de detecção do método ( $2 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (Anexos–13 e II.5.1.3–14).

Quando se considera o somatório dos 16 HPAs estudados mais os compostos alquilados do nafatleno, o perileno e o dibenzotiofeno, as concentrações das amostras da primeira Campanha, onde foi possível detectar os compostos aromáticos variam entre 3 e  $238 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  em praticamente todas as estações, sendo a média de  $42 \pm 45 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  (sem considerar as estações com concentrações elevadas, como será discutido a seguir). Observa-se que nessas baixas concentrações há predomínio de HPAs com 2-3 anéis aromáticos, e que a

distribuição dos valores é relativamente aleatória em relação à profundidade e à localização das estações.

Apesar disso, foram encontradas concentrações relativamente elevadas de HPAs individuais em 8 estações, da primeira Campanha, sendo 6 delas nas amostras de superfície e 2 nas de fundo: BPot04 ( $2.502\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), BPot05 ( $663\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), BPot12 ( $326\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), BPot13 ( $1.811\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), BPot17 ( $931\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ; esta para a amostra de fundo), BPot19 ( $714\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), BPot 29 (tanto na amostra de superfície –  $1.882\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ , como na de fundo –  $1.365\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ). A maior parte desses altos valores está associada a compostos aromáticos com faixa de peso molecular relativamente baixa, entre 2 e 4 anéis aromáticos (neste caso até o pireno), sendo que mais de 50% da concentração total de HPAs é representado pelo naftaleno.

As estações com as maiores concentrações de HPAs estão localizadas ao N/NE do Campo de Ubarana (BPot04, 05, 12 e 13), no Campo de Cioba (estação BPot17) e próximo à costa (BPot19) e BPot29.

Também na segunda Campanha, não foi verificada concentrações expressivas de HPAs individuais (na maior parte das amostras). Do total de amostras, 53 apresentaram o somatório de todos os HPAs inferior ao limite individual de quantificação de cada composto ( $2\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

Nas demais amostras, 9 apresentaram o somatório dos 16HPAs da USEPA entre  $20$  e  $50\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ . Observa-se que nessas baixas concentrações há predomínio de HPAs com 2-3 anéis aromáticos, e que a distribuição dos valores é relativamente aleatória em relação à profundidade e à localização das estações. Na amostra BPot19, de superfície, foi determinada uma concentração relativamente elevada de HPAs ( $83\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), com clara predominância do pireno, cuja concentração corresponde a mais de 40% do total.

A amostra BPot37 (superfície) foi a que apresentou o valor mais elevado do somatório dos 16 HPAs controlados pela USEPA ( $115\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Cerca de 50% deste total se refere ao naftaleno.

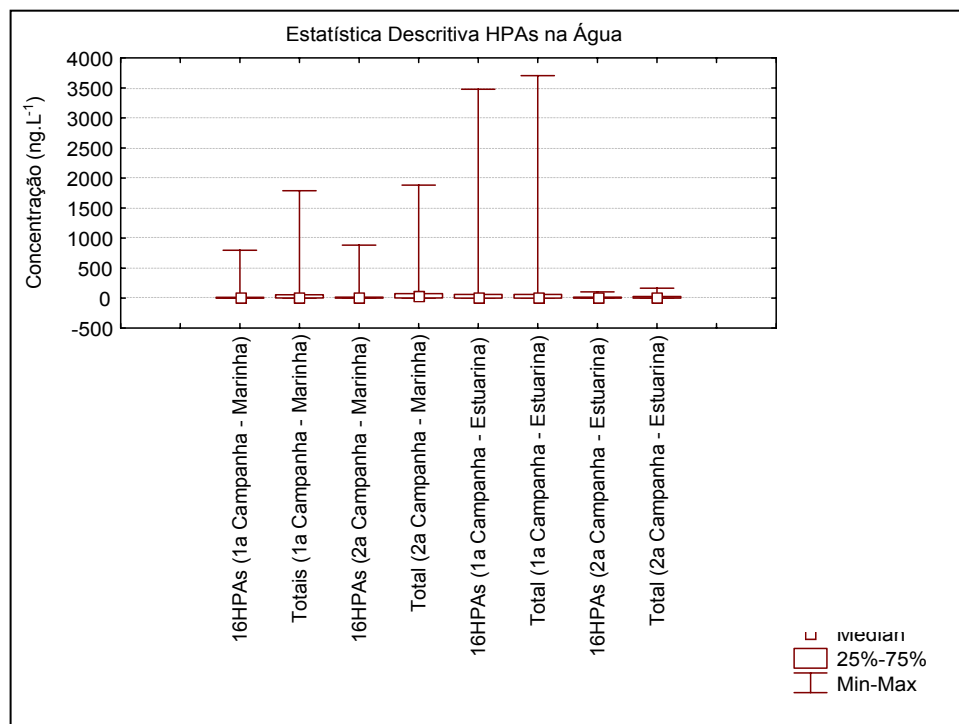
Nos resultados referentes à caracterização da Bacia Potiguar, percebe-se uma maior homogeneidade nas concentrações encontradas na segunda Campanha (Tabela II.5.1.3-18).

Em relação aos dados referentes do Rio Aratuá e a planície estuarina de Diogo Lopes, de uma forma geral, as concentrações dos 16 HPAs prioritários da USEPA, mais o dibenzotiofeno, os alquilnaftalenos e o perileno, nas amostras coletadas na planície estuarina de Diogo Lopes foram baixas, com a exceção das amostras AR10 e DL06 (na primeira Campanha), as demais apresentaram baixas concentrações dos 16 HPAs prioritários do USEPA, bem como dos alquilnaftalenos, dibenzotiofeno e perileno. Na maior parte da amostras há predomínio de HPAs leves, principalmente de naftalenos.

**Tabela II.5.1.3-18: Estatística descritiva e comparação entre os dados de HPAs resultantes nas diferentes Campanhas.**

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
16HPAs (1ª Campanha - Marinha)	52	200,91	<L.D.	1789,00	459,23
Total (1ª Campanha - Marinha)	52	220,45	<L.D.	1882,00	484,27
16HPAs (2ª Campanha - Marinha)	64	12,03	<L.D.	115,00	20,58
Total (2ª Campanha - Marinha)	64	14,24	<L.D.	150,00	25,59
16HPAs (1ª Campanha - Estuarina)	11	250,31	<L.D.	3478,00	862,59
Total (1ª Campanha - Estuarina)	11	267,25	<L.D.	3704,00	918,79
16HPAs (2ª Campanha - Estuarina)	11	14,08	<L.D.	105,00	23,56
Total (2ª Campanha - Estuarina)	11	20,24	<L.D.	166,00	36,93





**Figura II.5.1.3-20:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos HPA's no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

Quanto aos dados coletados na área de influência direta dos Emissários, no somatório dos compostos individuais da primeira Campanha, é possível identificar dois grupos de amostras. O primeiro é representado por amostras com concentrações baixas, com média de  $19,5 \pm 12,1 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  (sem considerar os naftalenos alquilados), e é formado pelas estações E03, E05, E06, E07, E10, E13, E14 (sup. e fundo), E15, E16, E17 (fundo) e E19. Nas estações E04 e E08, mesmo para o somatório dos HPA's, a concentração foi abaixo de  $2 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ .

O segundo grupo de estações apresenta concentrações para o somatório de HPA's relativamente altas, que são: E1 ( $1.930 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E9 ( $105 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E11 ( $143 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E12 ( $107 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E17 ( $1.145 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E18 ( $264 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E20 ( $323 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ), E21 ( $863 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e E22 ( $863 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Estas estações representam 34% das estações amostradas (9 em 26).

As estações E01 e E09 são próximas à costa, mas as demais estações com valores elevados estão mais diretamente relacionadas com o lançamento do emissário: a estação E17 é localizada no ponto de extrusão do efluente, as estações E18, 20 e 21 distam cerca de 500 m do ponto de extrusão e as estações

E20 e E21 cerca de 1500 m. A estação E22 é na saída do novo emissário na região.

Já na segunda Campanha, o maior valor de alifáticos totais foi medido na estação E17, na superfície, ( $57,82\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), localizada acima do difusor do emissário I. Apenas nessa amostra foi encontrada a presença de MCNR. Na amostra E23, na superfície, localizada ao norte do difusor do emissário II, também foi encontrada concentração de alifáticos totais ( $27,33\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) superior à observada nas demais estações, mas nesse caso a contribuição é devido à presença de n-alcenos e outros compostos resolvidos. Outra amostra que merece destaque é a E12 (superfície), com concentração de alifáticos totais de  $27,33\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  e com distribuição de compostos resolvidos semelhante à medida na estação E23.

### 3.7.3 - Hidrocarbonetos Alifáticos Totais (Água)

Assim como observado para os HPAs individuais, os hidrocarbonetos alifáticos individuais também apresentaram baixas concentrações na maioria das amostras coletadas na malha amostral de caracterização ambiental da Bacia Potiguar (Anexos–15 e II.5.1.3–16). Em sua maioria, os valores obtidos para a os n-alcenos individuais encontram-se abaixo do limite de detecção do método analítico, que foi de  $< 48\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ .

No entanto, quando se considera o somatório dos n-alcenos individuais (n-C12 a n-C34) mais os isoprenóides (pristano e fitano), a concentração média foi de  $1.884\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  e  $725\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  na primeira e segunda Campanha, respectivamente, para as amostras de superfície e de  $2.520\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  e  $982\text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$  para as amostras próximas ao fundo.

O fato de serem encontradas maiores concentrações médias para o total de n-alcenos nas amostras de fundo e a distribuição vertical em determinadas estações sugerem que há processos de ressuspensão de sedimentos do fundo, uma vez que se trabalhou com amostras não filtradas, o que implica em quantificação de hidrocarbonetos dissolvidos e dispersos (associados ao material particulado em suspensão). No entanto, a não conformidade dos dados de HPAs a esta distribuição não corrobora esta hipótese.

A distribuição dos n-alcanos não é uniforme para todas as estações, com estações tendo predomínio de n-alcanos leves e outras com predomínio de compostos mais pesados. Um fato relevante a ser destacado é que em nenhuma amostra da malha amostral da Bacia Potiguar, na primeira Campanha, foi encontrada a presença de mistura complexa não-resolvida (MCNR), que é um indicador amplamente utilizado de contaminação petrogênica (Readman *et al.*, 2002). Já na segunda Campanha, a estação BPot19 em superfície e Bpot39 e Bpot43, também contém traços de hidrocarbonetos petrogênicos, devido à presença de MCNR, sendo na primeira estação a concentração muito baixa e nas duas últimas mais elevadas. Como discutido anteriormente, tal resultado caracteriza a presença de hidrocarbonetos petrogênicos, mas faltam indícios mais consistentes para apontar as fontes específicas para tais compostos. Nas estações BPot3 e BPot24 (ambas no fundo) também foram encontradas concentrações mais elevadas (sem correspondência com a superfície) de alifáticos totais com significativa contribuição de MCNR. No entanto, para essas amostras não é possível apontar a fonte para os hidrocarbonetos encontrados.

Por fim, a ausência de concentrações significativas de n-alcanos individuais exclui a possibilidade de avaliar as contribuições autóctones e alóctones de matéria orgânica para a região de estudo. Para isto, seria necessário coletar um volume maior de amostras para melhorar a sensibilidade na detecção de tais compostos.

As amostras da malha de monitoramento dos emissários submarinos também apresentaram concentrações baixas de alifáticos totais. Apenas a estação E17, na superfície, apresentou um valor mais elevado em ambas as Campanhas. Nessa amostra, a maior parte dos alifáticos totais são devido à MCNR, mas a contribuição de n-alcanos individuais é pequena. Tal distribuição dos alifáticos totais na amostra E17s indica a presença de hidrocarbonetos petrogênicos em processo de degradação, reflexo da contribuição do lançamento do emissário I no local. Já nas amostras E12s e E23s, que apresentaram valores intermediários para alifáticos totais, não foi medida MCNR e há grande contribuição de n-alcanos individuais e outros alifáticos resolvidos.

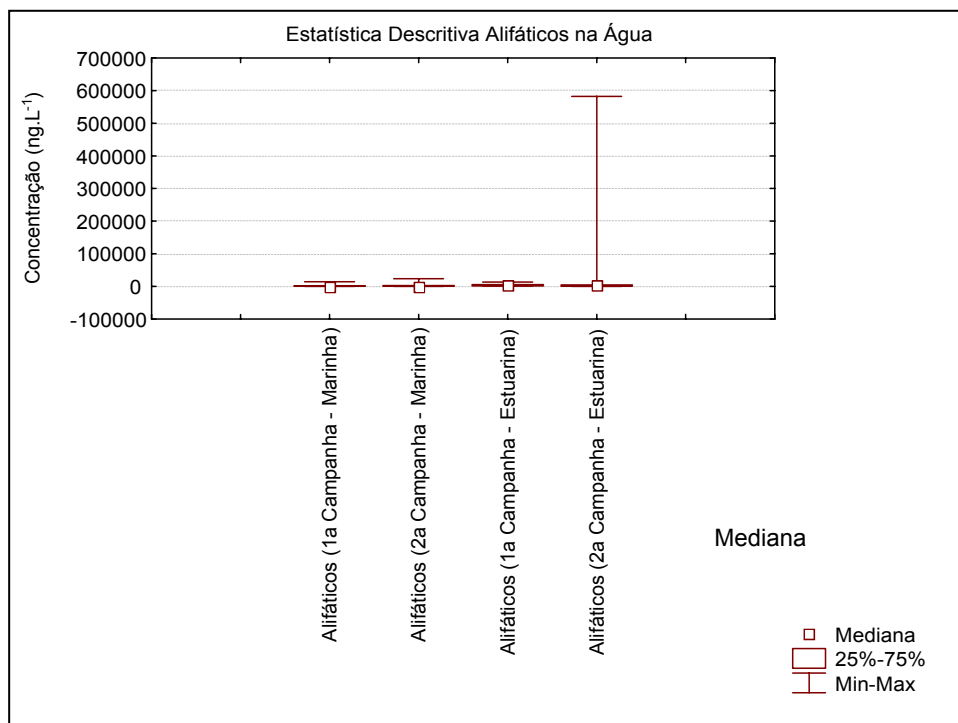
Finalizando, em comparação com dados de literatura (Burns & Codi, 1999; Cincinelli *et al.*, 2001), os resultados de alifáticos totais específicos da

2ª Campanha de coleta, considerando as duas malhas amostrais, caracterizam a região como tendo níveis típicos de áreas marinhas e costeiras livres de contaminação petrogênica.

A Tabela II.5.2.3-19 e a Figura II.5.1.3-21 fornecem a estatística descritiva e o comparativo dos dados alifáticos entre as Campanhas

**Tabela II.5.1.3-19:** Estatística descritiva e comparação entre os dados de Alifáticos resultantes nas diferentes Campanhas.

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
1ª Campanha Marinha	52	2070,24	329,88	14461,2	2601,3
2ª Campanha Marinha	64	3502,84	233,00	23900,0	5384,4
1ª Campanha Estuarina	11	37885,22	354,00	581115,0	136009,6
2ª Campanha Estuarina	11	4181,42	1167,00	13434,0	3170,3



**Figura II.5.1.3-21:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos HPA's no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

## 4. Resultados e Discussões do Compartimento Sedimento

### 4.1 Granulometria e Teor de Carbonatos

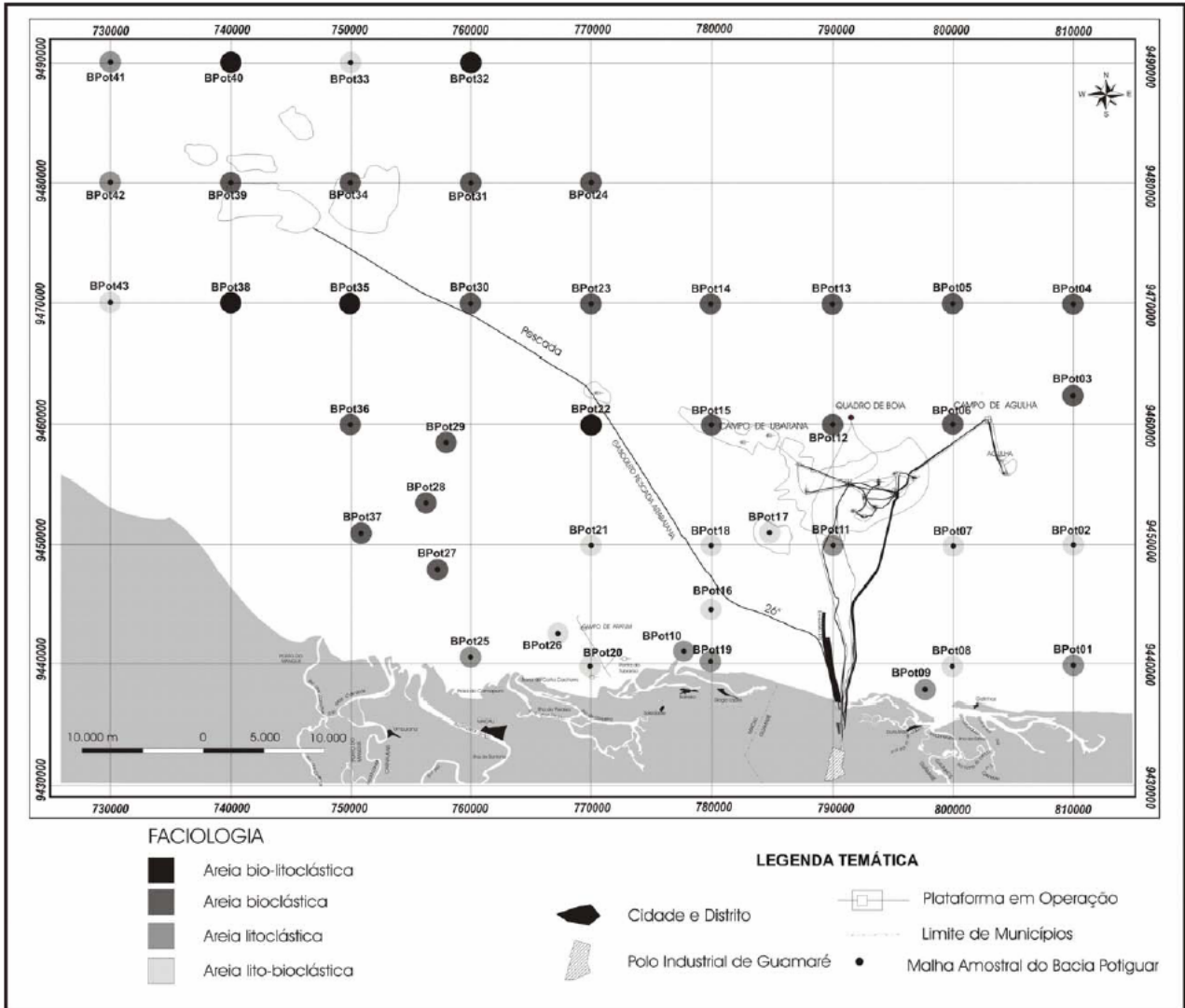
Para caracterizar a sedimentologia da área foi elaborado o mapeamento faciológico e de teores de carbonato (Figuras II.5.1.3-22 e II.5.1.3-23). Para o mapeamento faciológico utilizou-se a nomenclatura proposta por Freire *et al.* (1997) para o Nordeste do Brasil, adaptada de Dias (1996). É importante ressaltar que esta classificação foi adotada para efeitos de comparações com os trabalhos de Costa Neto (1997), Tabosa (2000), e Vital *et al.* (2002 a e b), os quais representam uma grande parcela dos trabalhos realizados na plataforma do Rio Grande do Norte.

Desta forma, os sedimentos da área foram classificados em seis fácies distintas: Areia Biolitoclástica (AB1b), Areia Bioclástica (AB2b), Areia Litoclástica (AL1b), Areia Litobioclástica (AL2b), Lama Calcária (LB2) e Marga Arenosa (LL2), visualizada na (Tabela II.5.1.3-20).

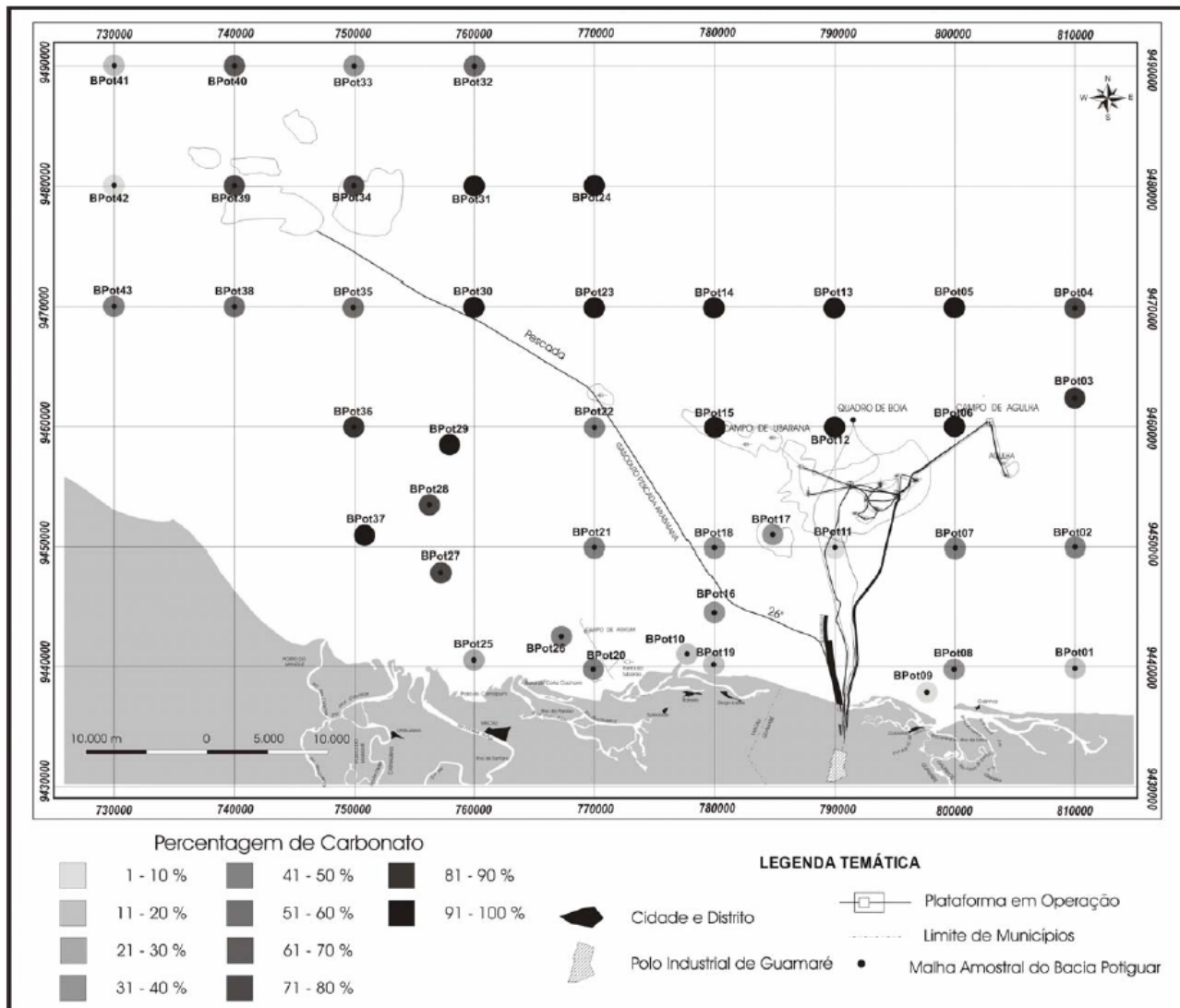
**Tabela II.5.1.3-20:** Classificação proposta para o Nordeste do Brasil.

Subdivisões Principais	Seixos, Grânulos Coquinas ou Rodolitos (L<15%;Md>2mm)	Areias (L<15%;areia+lama>50%;Md<2mm)		Sedimentos Lamosos L>15%
		15%<superior a 2mm<50%	Superior a 2mm<15%	
Sedimento Litoclástico (Carbonatos<30%)	SL 1 Cascalho litoclástico	AL1 <sup>a</sup> Areia litoclástica com grânulos e cascalhos	AL1b Areia litoclástica	LL1 Lama terrígena
Sedimento Litobioclástico (Carbonato=30 a 50%)	SL 2 Cascalho litobioclástico	AL2 <sup>a</sup> Areia litobioclástica com grânulos e cascalhos	AL2b Areia litobioclástica	LL2 Marga arenosa
Sedimento Biolitoclástico (Carbonatos=50 a 70%)	CB1 Cascalho biolitoclástico	AB1 <sup>a</sup> Areia biolitoclástica com grânulos e cascalhos	AB1b Areia bioclástica	LB 1 Marga calcária
Sedimento Bioclástico (Carbonato>70%)	CB2 Cascalho bioclástico	AB2 <sup>a</sup> Areia bioclástica com grânulos e cascalhos	AB2b Areia bioclástica	LB2 Lama calcária

Fonte: Freire *et al.* (1997) adaptada de Dias (1996).



**Figura II.5.1.3-22: Distribuição Faciológica dos Sedimentos.** Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-23: Distribuição dos Teores de Carbonato de Cálcio.** PETROBRAS (2003, 2004)

## 4.2 Carbono Orgânico(Corg), Nitrogênio Total (Ntotal) e Fósforo Orgânico (Porg) e Fósforo Total (Ptotal) nos sedimentos

As concentrações de  $C_{org}$  foram similares para as duas Campanhas:  $0,19 \pm 0,17$  % (Bacia Potiguar. Em muitas amostras, os valores encontrados para  $C_{org}$  e  $N_{total}$  ficaram abaixo do limite de detecção do método (0,06 e 0,1 %, respectivamente).

As concentrações médias de  $P_{org}$  obtidas para as duas Campanhas foram de  $69 \pm 65 \mu\text{g g}^{-1}$  e  $121,15 \pm 113,7 \mu\text{g g}^{-1}$  respectivamente.. Algumas amostras obtiveram concentrações inferiores ao limite de detecção do método ( $2,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

A razão molar C/N apresentou valores na faixa de 3,5 a 12,9; ao passo que a razão C/P variou entre com 2,8 a 389,9 para a região da Bacia Potiguar. Os sedimentos estudados possuem concentrações extremamente baixas de matéria orgânica, aqui representadas através de  $C_{org}$ ,  $N_{total}$  e  $P_{org}$ . Os valores encontrados são condizentes com a característica granulométrica do sedimento, com predomínio de areia (variando de média a grossa). O predomínio de areia caracteriza uma região onde não há tendência de acúmulo de matéria orgânica, que predominantemente se associam com a fração fina do sedimento (Ruttenberg & Goñi, 1997).

Também não se observa distribuição preferencial nas concentrações C, N e P em função da sua localização (proximidade da linha de costa, dos emissários ou de uma plataforma).

Em termos comparativos, Jennerjahn e Ittekkot (1997) citam concentrações médias de Corg de  $1,47 \pm 0,67\%$  e de Ntotal de  $0,14 \pm 0,05$  %. Nos sedimentos próximos ao emissário de Cabiúnas, as médias oscilaram entre 0,81 e  $2,13 \pm 0,24$  e 0,80 % para Corg entre 0,24 e  $0,80 \pm 0,03$  e 0,06 % para Ntotal, sendo que os maiores valores referem-se a amostras de lama e a grande oscilação nas médias é devido a diferenças entre duas amostragens consecutivas (PETROBRAS, 2003). Esses dois resultados confirmam que os sedimentos em Guamaré são empobrecidos em matéria orgânica.

As razões molares C:N e C:P são geralmente utilizadas como indicadoras de fontes de matéria orgânica. Entretanto, devido a grande variabilidade da razão C/P, a razão C/N é mais comumente abordada, embora as duas devam ser



interpretadas em conjunto (Hedges *et al.*, 1986; Meyers, 1994). Valores de C/N da ordem de 4 a 10 e C/P de cerca de 106 refletem material de origem fitoplanctônica, ao passo que C/N superior a 20 e C/P entre 800 a 2000, indicam matéria orgânica terrestre (Bordovsky, 1965; Ingall & Cappellen, 1990; Meyers, 1994).

A interpretação das razões molares face à origem da matéria orgânica neste ambiente, apresenta-se prejudicada uma vez que a maioria dos resultados obtidos para C, N e P estão abaixo do limite de detecção do método.

Considerando a razão C/N, nas amostras onde foi possível calculá-la, nota-se que a região da Bacia Potiguar é caracterizada pela presença de material orgânico de origem fitoplanctônica. A razão C/P, por sua vez, apresentou uma grande variabilidade, embora também indique, em grande parte, uma origem fitoplanctônica das amostras.

Com relação aos dados dos ecossistemas costeiros, na planície estuarina de Diogo Lopes pode-se observar que a estação DL01 apresenta teor de carbono mais elevado. Esta estação corresponde à área de manguezal ao fundo da planície. No estuário do Rio Aratuá o maior valor de concentração de carbono orgânico foi encontrado na estação AR02. A planície estuarina de Diogo Lopes apresentou maiores teores de carbono e menores razões carbono/nitrogênio nos sedimentos. Os pontos de maiores teores de carbono nos dois estuários coincidem com as áreas mais protegidas ao fundo dos dois sistemas.

### **4.3 Hidrocarbonetos no Sedimento**

O estudo dos sedimentos para avaliar a contaminação ambiental por hidrocarbonetos de petróleo é de especial interesse porque esse compartimento pode agir como depósito de contaminantes produzidos pela atividade antrópica e, desta forma, gerar um quadro integrado dos eventos que ocorrem na coluna d'água (Bouloubassi & Saliot, 1993). Contribui para isto o caráter lipofílico dos hidrocarbonetos, que favorece a associação ao material particulado em suspensão e à matéria orgânica, levando ao aumento na sua taxa de deposição, e a relativa persistência à decomposição bacteriana de alguns compostos, principalmente dentro do grupo dos HPAs (Readman *et al.*, 1986). São

observadas duas características fundamentais na distribuição dos hidrocarbonetos nos sedimentos, tanto em relação à fração de aromáticos quanto à de alifáticos: (i) concentrações baixas em praticamente todas as estações, com valores medidos da ordem de grandeza do intervalo de confiabilidade dos métodos utilizados; e (ii) grande variabilidade (>50%) entre os valores individuais das réplicas coletadas. Essas duas características são válidas tanto para os sedimentos coletados na 1ª Campanha quanto na segunda. Diversos trabalhos mostram a tendência de se encontrar maiores concentrações de contaminantes em sedimentos finos e/ou com alto teor de matéria orgânica, embora tal fato deva ser analisado com cautela, em função da magnitude das fontes locais e dos processos de interação e transporte entre hidrocarbonetos e fase particulada (Grimalt *et al.*, 1984; Lipiatou & Saliot, 1991; Volkman *et al.*, 1992; Bouloubassi & Saliot, 1993; Dachs *et al.*, 1999; Bouloubassi *et al.*, 2001; Louati *et al.*, 2001; Readman *et al.*, 2002; Zhou & Maskaoui, 2003).

No caso dos sedimentos coletados na Bacia Potiguar, nas duas Campanhas, fica evidente que a granulometria foi o fator mais significativo no controle da distribuição dos hidrocarbonetos. A maioria das amostras são compostas por areia (variando entre areia fina e grossa) o que reflete o caráter não deposicional da região e tem como consequência direta as baixas concentrações de hidrocarbonetos (aromáticos e alifáticos).

A seguir serão discutidos alguns detalhes sobre a distribuição dos hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, a despeito das baixas concentrações encontradas.

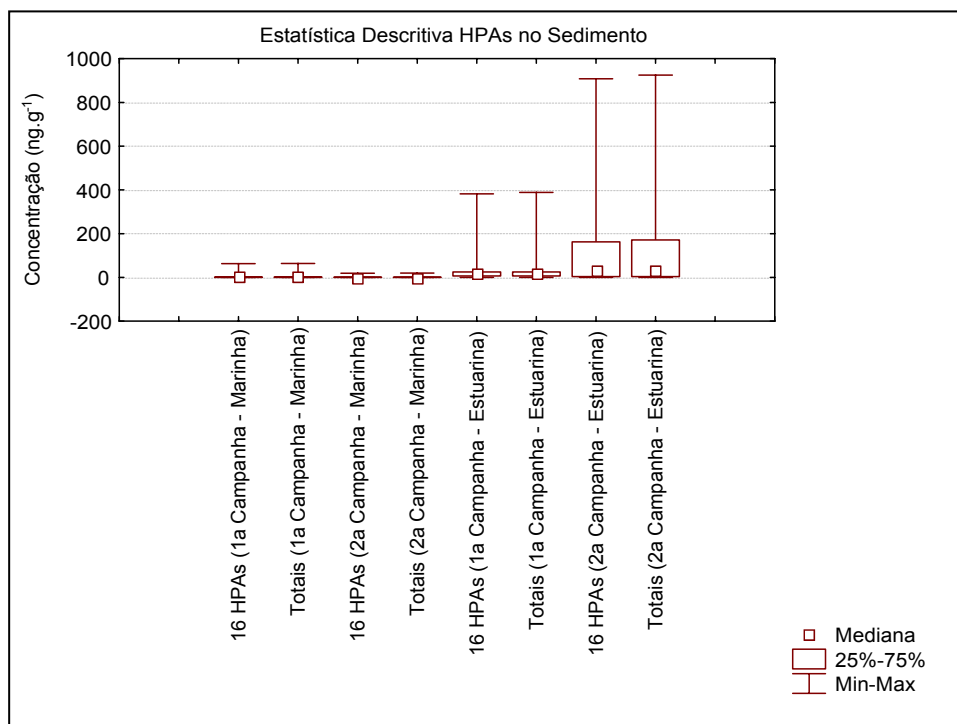
#### **4.3.1 Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA**

A Tabela II.5.1.3-21 apresenta os dados referentes aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos assim como sua estatística descritiva. A partir destes dados obteve-se o gráfico exposto na Figura II.5.1.3-24.

**Tabela II.5.1.3-21:** Estatística descritiva e comparação entre os dados de HPAs resultantes nas diferentes Campanhas.

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
16 HPAs (1ª Campanha - Marinha)	144	2,98	<L.D.	63,00	8,90
Total (1ª Campanha - Marinha)	144	3,02	<L.D.	64,00	9,06
16 HPAs (2ª Campanha - Marinha)	125	1,18	<L.D.	19,00	2,69
Total (2ª Campanha - Marinha)	125	1,23	<L.D.	20,00	2,83
16 HPAs (1ª Campanha - Estuarina)	11	60,10	<L.D.	382,00	117,80
Total (1ª Campanha - Estuarina)	11	61,00	<L.D.	389,00	120,02
16 HPAs (2ª Campanha - Estuarina)	11	117,51	<L.D.	908,00	176,81
Total (2ª Campanha - Estuarina)	11	123,33	<L.D.	925,00	183,07

As concentrações para o somatório dos 16 HPAs variaram entre menor que o limite de quantificação (0,6 ng.g<sup>-1</sup>) em ambas as Campanhas e 63 ng.g<sup>-1</sup> e 19 ng.g<sup>-1</sup>, respectivamente, para as Campanhas na Bacia Potiguar. Essas concentrações caracterizam áreas livres de contaminação por hidrocarbonetos de petróleo. Tal afirmação baseia-se na comparação dos resultados do presente trabalho com outros publicados para diferentes partes do mundo. Readman *et al.* (2002) e Zhou & Maskaoui (2003) apresentam informações das concentrações de HPAs para diversas áreas sujeitas a diferentes níveis de contaminação, nas quais as concentrações de HPAs oscilam entre 0,3 ng.g<sup>-1</sup> e a mais de 700 g.g<sup>-1</sup>, sendo os maiores valores medidos nos locais cronicamente impactados. Um outro exemplo mais próximo é o da região do emissário de Cabiúnas (R.J.), onde os sedimentos coletados antes e após o início da operação do emissário apresentaram concentrações dos 16 HPAs entre 8 e 647 ng.g<sup>-1</sup> e foram considerados não impactados por hidrocarbonetos (PETROBRAS, 2003).



**Figura II.5.1.3-24:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos HPAs no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

Já na nos ambientes costeiros, observa-se uma elevação destes valores, tanto na primeira, quanto na segunda Campanha. Foram observadas concentrações mais elevadas de HPAs nas amostras de sedimento na planície estuarina de Diogo Lopes, em relação ao estuário do rio Aratuá. Porém, observa-se que as concentrações mais expressivas são valores isolados, se mantendo a média dos resultados relativamente baixa. Os resultados obtidos devem ser comparados com outras áreas estuarinas no mundo para se avaliar o nível de contaminação do sedimento em relação aos HPAs. Por exemplo, Readman *et al.* (2002) e Zhou e Maskaoui (2003) apresentam tabelas com concentrações de HPAs para diversas áreas sujeitas a diferentes níveis de contaminação, nas quais as concentrações de HPAs oscilam entre 0,3 ng.g<sup>-1</sup> e a mais de 700 de µg.g<sup>-1</sup>, sendo os maiores valores medidos nos locais cronicamente impactados. Valores da ordem de dezenas de ng.g<sup>-1</sup> são sempre relacionados a áreas sob pequena influência antrópica. Desta forma, e considerando os dados acima, para os estuários estudados, na grande maioria das amostras coletadas os sedimentos

caracterizam áreas com pouca ou nenhuma influência antrópica, já que as concentrações de HPAs variaram entre não-detectável a 99 ng.g<sup>-1</sup>. No entanto, os valores da ordem de centenas de ng.g<sup>-1</sup> já são correlacionados a regiões onde há um afastamento das condições naturais em decorrência de atividades antrópicas. Os dados levantados para os estuários estudados são comparáveis com os dos manguezais das Ilhas do Caribe, onde a influência antrópica, embora existente, é pouco marcante. Os maiores valores de HPAs estão relacionados, na sua grande maioria, a regiões portuárias.

#### **4.3.2 Hidrocarbonetos Alifáticos Totais (Sedimento)**

Da mesma maneira que encontrado para os HPAs, as concentrações de alifáticos são baixas na grande maioria das amostras, com muitos dos n-alcenos individuais (n-C12 a n-C34) presentes em níveis abaixo do limite de detecção do método (< 10 ng g<sup>-1</sup>). A concentração média de alifáticos nos sedimentos foi de 471,7ng g<sup>-1</sup> e 566,5ng.g<sup>-1</sup> na primeira e na segunda Campanha, respectivamente.

Outro resultado semelhante ao encontrado para os HPAs foi a grande variabilidade nas concentrações de alifáticos entre as réplicas de uma estação. Com isto, as concentrações mais altas desse parâmetro foram encontradas em apenas uma réplica de amostra em determinada estação.

Em relação à mistura complexa não-resolvida (MCNR), que aparece como uma rampa nos cromatogramas e é um bom indicador da presença de contaminação petrogênica em sedimentos (Bouloubassi & Saliot, 1993), apenas em algumas amostras da primeira Campanha, ela foi quantificada. É o caso da amostra BPot08a, BPot10 (nas três réplicas) e na BPot19b. Nessas amostras, a concentração de MCNR variou entre 613 e 10.467 ng g<sup>-1</sup>.

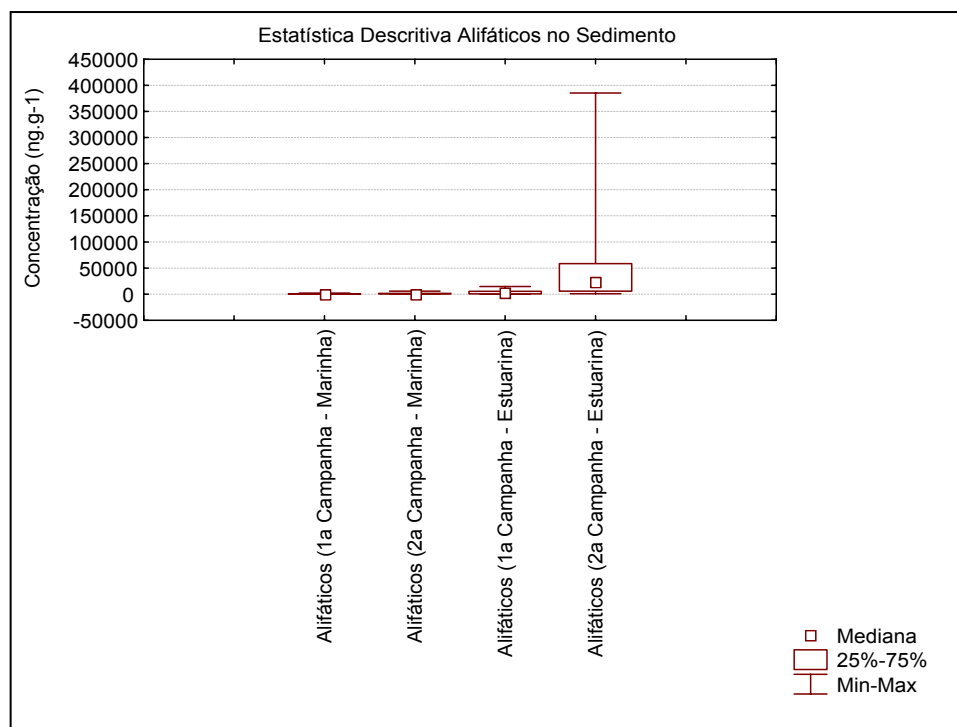
Já na segunda Campanha a mistura complexa não-resolvida foi quantificada em 72 % das amostras analisadas, embora na grande maioria dos casos (percentil 75) em concentrações abaixo de 1,90 g.g<sup>-1</sup>. A MCNR representou entre 60 e 80 % dos alifáticos totais nas amostras com maiores concentrações de alifáticos. Por outro lado, algumas amostras apresentaram percentuais significativos de MCNR (< 40 – 50 % do total), mesmo em concentrações de alifáticos totais abaixo de 2,0g.g<sup>-1</sup>. É o caso das estações BPot02, BPot21,

BPot22, BPot23 e BPot24. Nas amostras da malha de monitoramento dos emissários submarinos do Pólo Industrial de Guamaré, a grande maioria das estações (~90 % do total) também apresentou concentrações baixas de HC alifáticos totais, menores do que  $2,5 \text{ g.g}^{-1}$ . Apenas as estações E11, E16 e E22 tiveram concentrações médias (em relação às três réplicas coletadas em cada ponto) entre 2,5 e  $4,1 \text{ g.g}^{-1}$ . Esses resultados são provavelmente associados com a proximidade da costa (caso das estações E11 e E16) e do lançamento do emissário II, no caso da estação E22. Em nenhuma estação das duas malhas amostrais os valores encontrados de alifáticos totais obtidos em ambas as Campanhas, evidenciam alterações de origem antrópica, visto que em sedimentos costeiros com baixos teores de matéria orgânica as concentrações de alifáticos são da ordem de  $10 \text{ g.g}^{-1}$  (Volkman *et al.*, 1992; Bouloubassi & Saliot, 1993).

A Tabela II.5.1.3-22 e a Figura II.5.1.3-25 indicam a estatística descritiva e comparativa referente aos resultados obtidos de hidrocarbonetos alifáticos no sedimento.

**Tabela II.5.1.3-22** : Estatística descritiva e comparação entre os dados de Hidrocarbonetos Alifáticos resultantes nas diferentes Campanhas ( $\text{ng.g}^{-1}$ )

	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Alifáticos (1ª Campanha - Marinha)	144	471,09	14,00	2125,0	581,28
Alifáticos (2ª Campanha - Marinha)	125	1225,92	285,00	5696,0	1008,83
Alifáticos (1ª Campanha - Estuarina)	11	3862,73	165,00	14704,0	4513,45
Alifáticos (2ª Campanha - Estuarina)	11	44431,33	790,00	385451,0	58342,30



**Figura II.5.1.3-25:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Hidrocarbonetos Alifáticos no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

#### 4.4 Metais

As concentrações de elementos maiores e traço medidas em sedimentos da Bacia são apresentadas na Tabela II.5.1.3-23. Alguns elementos traço, particularmente o Hg, Cu e em menor grau o Cd e o Ni, apresentaram concentrações não detectáveis em várias estações em ambas as Campanhas analisadas.

**Tabela II.5.1.3-23: Comparação entre as concentrações de metais encontradas nas duas Campanhas.**

Metal	n	1ª CAMPANHA	n	2ª CAMPANHA
Fe	36	2505 ± 1959 (553 – 5554)	125	1315 ± 1786 (<0,13 – 7823)
Mn	36	89,5 ± 82,9 (14,5 – 265,3)	125	26,1 ± 29,3 (<0,03 – 153)
Al	36	1717 ± 1408 (308 – 4992)	125	2923 ± 4228 (78 – 17137)
Ba	36	112,5 ± 141,7 (3 – 503)	125	64,5 ± 80,6 (0,3 – 384,7)
V	36	5,76 ± 5,47 (0,3 – 16,51)	125	7,39 ± 711 (<0,04 – 46,6)
Cr	36	7,92 ± 7,13 (1,0 – 25,12)	125	7,57 ± 5,52 (<0,13 – 7823)
B	36	3,8 ± 1,1 (2,17 – 5,59)	125	-
Ni	36	1,68 ± 1,54 (0,4 – 4,36)	125	0,81 ± 1,53 (<0,01 – 7,65)
Cu	36	1,92 ± 1,62 (0,72 ± 6,21)	125	0,52 ± 1,16 (<0,03 – 6,6)
Zn	36	7,91 ± 10,5 (0,3 – 35,9)	125	1,73 ± 3,71 (<0,02 – 16,9)
Cd	36	0,16 ± 0,29 0,02 – 1,1	125	0,26 ± 0,55 (<0,1 – 5,2)
Pb	36	5,12 ± 5,01 (0,55 – 18,7)	125	1,36 ± 2,01 (<0,01 – 9,3)
Hg	36	<0,001-0,06	125	<0,001
Mg	36	-	125	10.803 ± 5.425 (1.548 – 21.400)

Os resultados obtidos em relação a granulometria, teor de carbonatos e de carbono orgânico mostram que os sedimentos da Bacia Potiguar apresentam características similares às relatadas para sedimentos da plataforma continental nordeste brasileira por diversos autores (Muller *et al.* 1999, Freire *et al.*, 2003). Porém, com teores mais elevados de carbonatos e menores de carbono orgânico, e também menores que aqueles relatados para a plataforma continental sudeste do Brasil e na Bacia de Campos (Tabela II.5.1.3-24). O menor aporte fluvial e condições semi-áridas no continente e o caráter oligotrófico da Corrente do Brasil Norte, explicam estas diferenças.



**Tabela II.5.1.3-24:** Comparação entre as principais características sedimentológicas da Bacia Potiguar e de sedimentos de outras regiões da Plataforma Continental Brasileira.

VARIÁVEL	PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA SE DO BRASIL, <sup>1,2</sup>	PLATAFORMA INTERNA NE DO BRASIL <sup>4</sup>	BACIA DE CAMPOS <sup>3,5</sup>	GUAMARÉ	BACIA POTIGUAR
C-org. (%)	0,05 - 2,45	0,34 - 16,5	0,18 - 0,22	<0,06-0,74	<0,06-0,85
Carbonato (%)	0,01 - 2,66	0,2 - 95	10 - 20	5,4-69	11-98
Fração<0.63μ	0,2 - 96,9	-	1,7 -100	0,4-32	1,2-84

Fonte: 1. Lacerda et al. (2003); 2. Carvalho et al. (1993<sup>a,c</sup>); 3. Rezende et al. (2002); 4. Freire et al. (2003); 5. Ovalle et al. (2000).

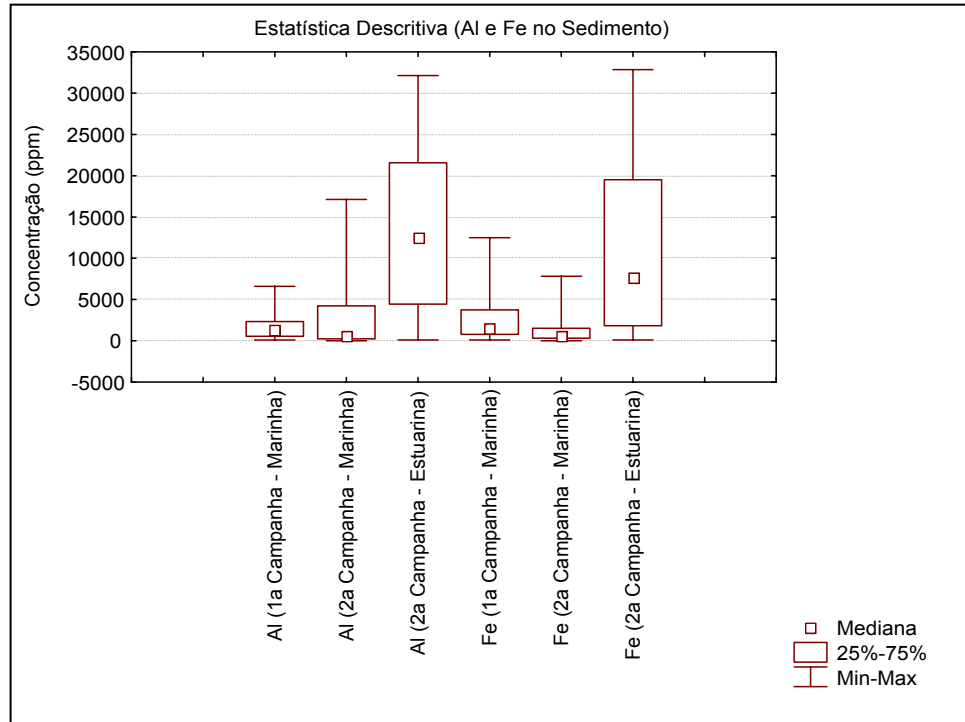
#### 4.4.1 Elementos Maiores

As concentrações de elementos maiores são dominadas pelo Fe e pelo Al, seguidas pelo Ba e pelo Mn. Como esperado, as concentrações não mostram nenhuma anomalia em relação aos demais setores da plataforma continental brasileira. Devido as características sedimentológicas dos sedimentos da plataforma potiguar, as concentrações dos elementos maiores encontram-se no limite inferior das faixas de concentração relatadas para sedimentos da plataforma sudeste e Bacia de Campos (Rezende *et al.* 2003, Carvalho *et al.* 1993<sup>a,c</sup>), e dentro da faixa reportada para sedimentos da plataforma nordeste (Muller *et al.* 1999, Freire *et al.* 2003) (Tabela II.5.1.3-25).

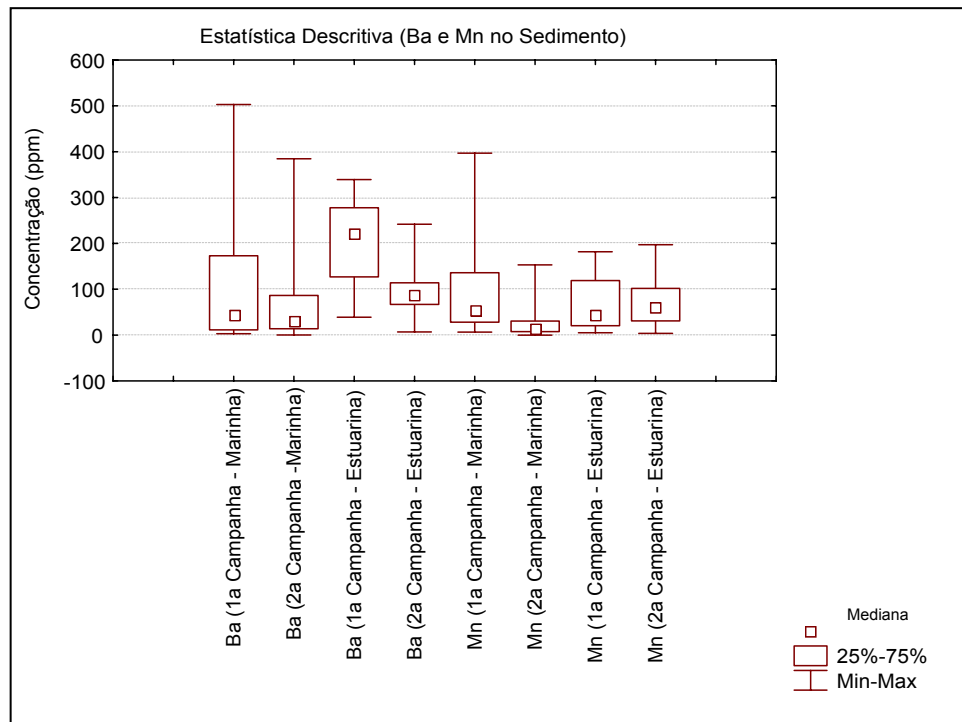
**Tabela II.5.1.3-25: Estatística descritiva e comparação dos resultados obtidos em cada Campanha, referentes aos elementos maiores:**

ELEMENTOS MAIORES	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Al (1ª Campanha - Marinha)	36	1728,35	113,00	6595,00	1411,41
Al (2ª Campanha - Marinha)	125	2842,72	5,00	17137,00	4177,87
Al (2ª Campanha - Estuarina)	11	13417,53	423,00	32147,00	9592,51
Ba (1ª Campanha - Marinha)	36	112,48	3,00	503,00	147,99
Ba (2ª Campanha - Marinha)	125	64,46	0,25	384,66	80,62
Ba (1ª Campanha - Estuarina)	11	196,76	39,00	339,00	92,54
Ba (2ª Campanha - Estuarina)	11	88,24	6,80	242,00	45,89
Fe (1ª Campanha - Marinha)	36	2449,48	239,50	12500,00	2352,47
Fe (2ª Campanha - Marinha)	125	1314,70	0,00	7823,00	1785,79
Fe (2ª Campanha - Estuarina)	11	11336,65	232,00	32848,00	9713,59
Mn (1ª Campanha - Marinha)	36	98,45	6,41	397,00	98,92
Mn (2ª Campanha - Marinha)	125	26,10	<L.D.	153,00	29,31
Mn (1ª Campanha - Estuarina)	11	67,68	5,03	182,00	58,61
Mn (2ª Campanha - Estuarina)	11	66,76	3,70	197,00	43,28

Na Figura II.5.1.3-26, observa-se uma aparente enriquecimento de Al e Fe nas estações costeiras, provavelmente devido a suas fontes e características mineralógicas apresentadas em ambos os meios. Já um padrão inverso é observado no caso do Ba e Mn. A Figura II.5.1.3-27 apresenta a estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Al e Fe no sedimento.



**Figura II.5.1.3-26:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Al e Fe no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-27:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Ba e Mn no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

A maior parte dos metais pesados presentes em sedimentos da plataforma encontra-se associada às frações finas dos sedimentos, particularmente argilas (Rezende *et al.* 2003; Lacerda *et al.* 2003). O teores baixos de silte e argila na maior parte das amostras devem resultar em concentrações relativamente baixas de metais. Além disto, as argilas da plataforma nordeste são principalmente compostas por caulinita, em comparação aos sedimentos da plataforma sudeste dominados por esmectita (Muller *et al.* 1999, Mabesoos & Coutinho 1970, Mabesoos *et al.* 1972, Milliman & Summerhayes 1975, Summerhayes *et al.* 1975, 1976, Tintelnot, 1996), contribuindo ainda mais com baixas concentrações de metais devido a menor superfície relativa de adsorção da caulinita em relação a esmectita (Muller *et al.* 1999).

A comparação entre as concentrações de elementos maiores nas plataformas continentais internas da região nordeste e sudeste, e Bacia de Campos com as áreas amostradas na Bacia Potiguar pode ser visualizada na Tabela II.5.1.3-26.

**Tabela II.5.1.3-26:** Comparação entre as concentrações de elementos maiores da Bacia Potiguar e de sedimentos de outras regiões da Plataforma Continental Brasileira. 1. Lacerda *et al.* (2003); 2. Carvalho *et al.* (1993<sup>a,c</sup>); 3. Rezende *et al.* (2002); 4. Freire *et al.* (2003); 5. Ovalle *et al.* (2000).

ELEMENTO	PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA SE DO BRASIL, <sup>1,2</sup>	PLATAFORMA INTERNA NE DO BRASIL <sup>4</sup>	BACIA DE CAMPOS <sup>3,5</sup>	GUAMARÉ	BACIA POTIGUAR
Al	8600-31400	180-1690	6800-10600	204-3334 (1380)	308-4992 (1717)
Fe	6100-16400	2520-8550	5800-6900	783-4299 (1671)	2505-5554 (2505)
Mn	70-90	9-210	74-88	77,9-20,6 (77,9)	14,5-265,3 (89,5)
Ba	112-124	-	165-188	69,7-68,1 (69,7)	3-503 (112,5)

#### 4.4.2 Elementos Traço

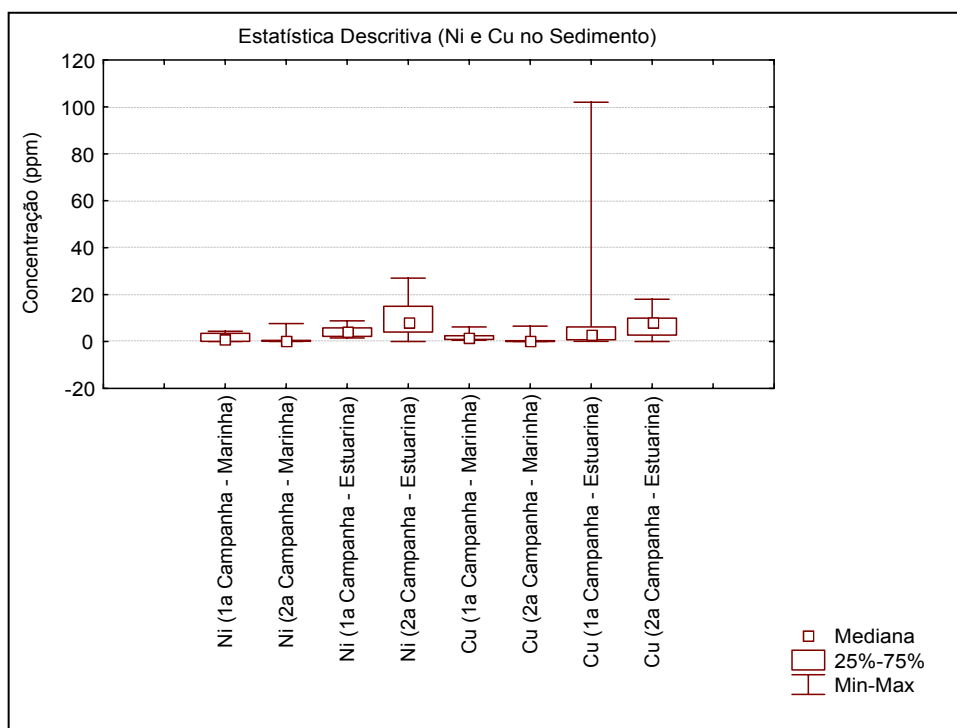
A Tabela II.5.1.3-27 apresenta a análise estatística e a comparação entre os resultados obtidos nas diferentes Campanhas executadas na Bacia Potiguar. Os mesmo dados são representados nas Figuras II.5.1.3-28, II.5.1.3-29, II.5.1.3-30 e II.5.1.3-31.

Já na Tabela II.5.1.3-28 apresenta as concentrações de elementos traço nos sedimentos da Plataforma Potiguar e de outros setores da Plataforma Continental Brasileira. As concentrações são dominadas pelo Cr, V, Zn e Pb, seguido pelo Cu e pelo Ni. As concentrações de Cd e Hg são particularmente baixas, mesmo quando comparadas com as concentrações verificadas na Plataforma Nordeste (Freire *et al.* 2003; Marins *et al.* 2002b).

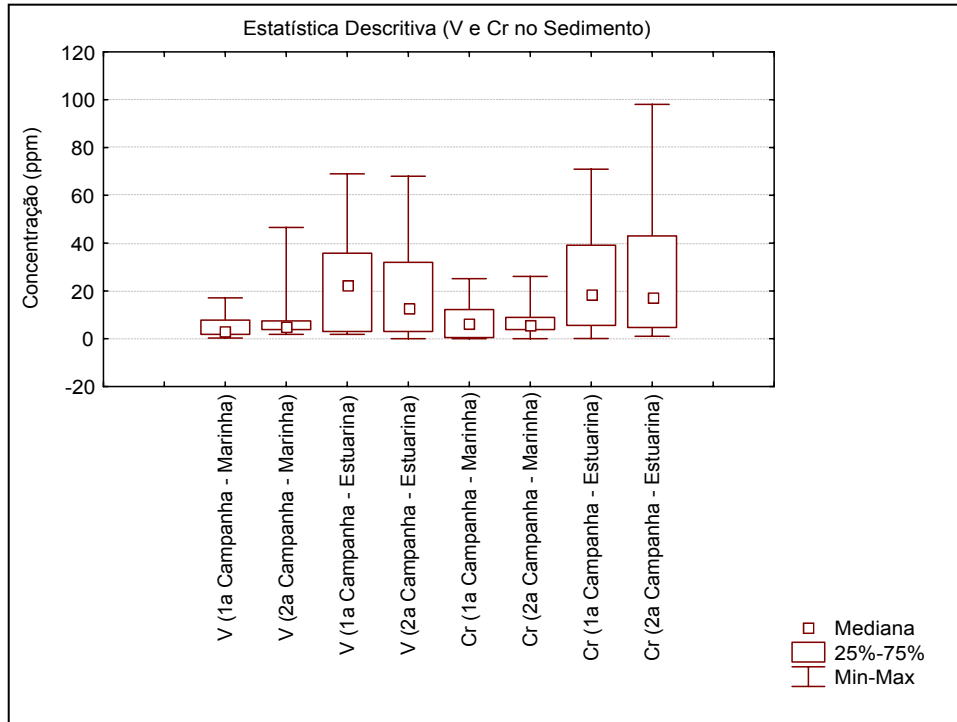
**Tabela II.5.1.3-27: Estatística descritiva e comparação dos dados de metais traço referentes aos resultados obtidos nas diferentes Campanhas**

METAIS TRAÇO	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
V (1ª Campanha - Marinha)	36	5,72	0,30	17,10	5,72
V (2ª Campanha - Marinha)	125	7,52	1,83	46,55	7,07
V (1ª Campanha - Estuarina)	11	24,62	1,80	69,00	21,11
V (2ª Campanha - Estuarina)	11	19,63	<L.D.	68,00	18,29
Cr (1ª Campanha - Marinha)	36	7,66	<L.D.	25,12	7,71
Cr (2ª Campanha - Marinha)	125	7,56	<L.D.	26,03	5,52
Cr (1ª Campanha - Estuarina)	11	24,74	0,12	70,90	21,32
Cr (2ª Campanha - Estuarina)	11	25,79	1,00	98,00	23,72
Ni (1ª Campanha - Marinha)	36	1,61	<L.D.	4,36	1,67
Ni (2ª Campanha - Marinha)	125	0,79	<L.D.	7,65	1,52
Ni (1ª Campanha - Estuarina)	11	4,19	1,50	8,80	2,20
Ni (2ª Campanha - Estuarina)	11	9,11	<L.D.	27,00	6,89
Cu (1ª Campanha - Marinha)	36	1,94	0,58	6,21	1,68
Cu (2ª Campanha - Marinha)	125	0,52	<L.D.	6,60	1,15
Cu (1ª Campanha - Estuarina)	11	8,67	0,04	102,00	20,94
Cu (2ª Campanha - Estuarina)	11	7,15	<L.D.	18,00	4,79
Zn (1ª Campanha - Marinha)	36	7,86	<L.D.	35,90	11,03
Zn (2ª Campanha - Marinha)	125	2,47	<L.D.	102,00	9,68
Zn (1ª Campanha - Estuarina)	11	20,10	6,50	43,70	11,12
Zn (2ª Campanha - Estuarina)	11	27,75	2,00	86,00	17,61

METAIS TRAÇO	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Cd (1ª Campanha - Marinha)	36	0,16	0,02	1,10	0,30
Cd (2ª Campanha - Marinha)	125	0,26	<L.D.	5,20	0,54
Cd (1ª Campanha - Estuarina)	11	0,06	<L.D.	0,30	0,09
Cd (2ª Campanha - Estuarina)	11	<L.D.	<L.D.	<L.D.	0,00
Hg (1ª Campanha - Marinha)	36	<L.D.	<L.D.	0,06	0,01
Hg (2ª Campanha - Marinha)	125	<L.D.	<L.D.	0,06	0,01
Pb (1ª Campanha - Marinha)	36	5,12	0,55	18,70	5,22
Pb (2ª Campanha - Marinha)	125	1,36	<L.D.	9,30	2,01
Pb (1ª Campanha - Estuarina)	11	381,73	8,80	4503,00	1125,08
Pb (2ª Campanha - Estuarina)	11	14,36	0,58	104,00	21,29

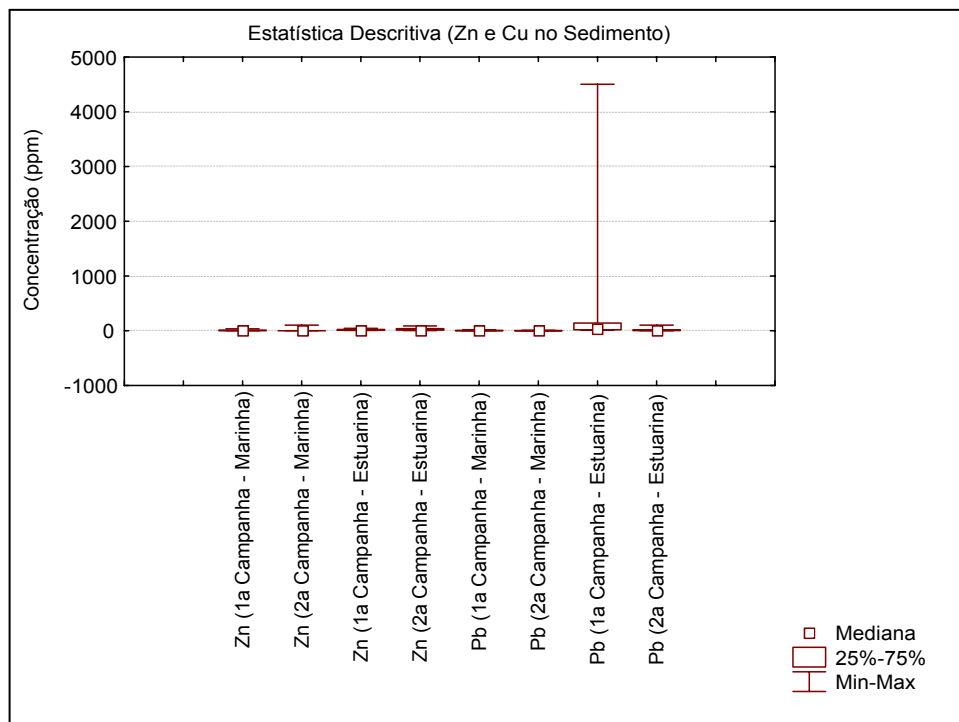


**Figura II.5.1.3-28:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Ni e Cu no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

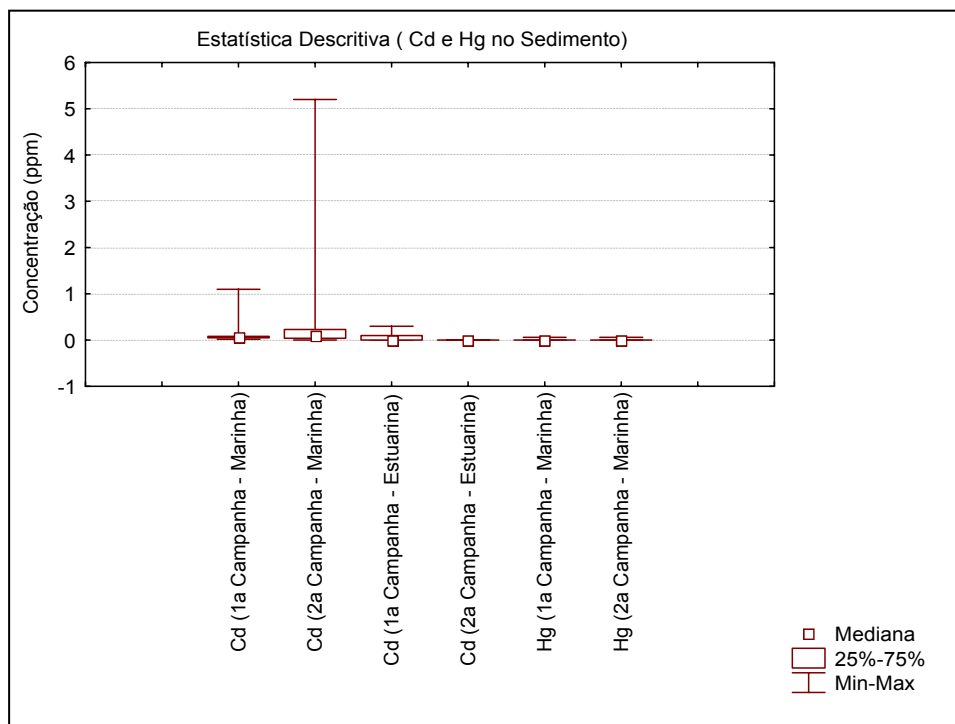


Mediana

**Figura II.5.1.3-29:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de V e Cr no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-30:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Zn e Pb no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)



**Figura II.5.1.3-31:** Estatística descritiva referente aos resultados obtidos de Cd e Hg no sedimento. Fonte: PETROBRAS (2003, 2004)

Da mesma forma que para os elementos maiores, as concentrações não mostram nenhuma anomalia em relação aos demais setores da Plataforma Continental Brasileira (Tabela II.5.1.3-28). Também devido às características sedimentológicas dos sedimentos da Plataforma Potiguar, as concentrações dos elementos traço também se encontram no limite inferior das faixas de concentração relatadas para sedimentos da Plataforma Sudeste e Bacia de Campos, ou mesmo inferiores à estas faixas (Rezende *et al.* 2003, Carvalho *et al.* 1993<sup>a,c</sup>), e dentro da faixa reportada para sedimentos da Plataforma Nordeste (Muller *et al.* 1999, Freire *et al.* 2003, Marins *et al.* 2002b).



**Tabela II.5.1.3-28:** Comparação entre as concentrações de elementos traço da Bacia Potiguar e de sedimentos de outras regiões da Plataforma Continental Brasileira. 1. Lacerda et al. (2003); 2. Carvalho et al. (1993<sup>a,c</sup>); 3. Rezende et al. (2002); 4. Freire et al. (2003); 5. Ovalle et al. (2000); 6. Muller et al. (1999).

ELEMENTO	PLATAFORMA CONTINENTAL INTERNA SE DO BRASIL, <sup>1,2,6</sup>	PLATAFORMA INTERNA NE DO BRASIL <sup>4,6</sup>	BACIA DE CAMPOS <sup>3,5</sup>	GUAMARÉ	BACIA POTIGUAR
Cr	76-84	3-39	14-15	4,4-20,8 (8,18)	1-25,1 (7,92)
Cu	19-29	3-42	3,4-6,3	0,7-4,55 (1,71)	0,72-6,21 (1,92)
Ni	25-36	4-12	6,2-7,7	0,62-5,05 (1,55)	0,4-4,36 (1,68)
Pb	17-38	16-47	5,5-6,7	1,2-8,27 (3,93)	0,55-18,7 (5,12)
V	-	-	15,7-17	2,83-13,2 (7,08)	0,3-16,5 (5,76)
Zn	78-147	99-270	24,5-28,9	1,06-26,5 (9,28)	0,3-35,9 (7,91)
Cd	0,1-0,32	0,03-0,36	-	0,01-0,2 (0,07)	0,02-1,1 (0,16)
Hg	0,013-0,08	0,06-0,25	0,012-0,06	<0,001-0,1	<0,001-0,06

#### 4.5 Valores de “background” regional e da assinatura continental

Estudos realizados em diversos campos “offshore” de petróleo mostraram a grande dificuldade de avaliação de alterações nas concentrações de metais contaminantes, sem uma detalhada caracterização do “background” regional e da influência potencial do aporte continental sobre a plataforma. Por exemplo, Lacerda et al. (1993) demonstraram que a influência da descarga do Rio Paraíba do Sul na Bacia de Campos, sobre as concentrações de Hg em sedimentos, pode atingir até 1000 m de profundidade, cerca de 60 milhas da costa.

Da mesma forma, estudo utilizando traçadores de material continental verificou a extensão da influência do aporte terrígeno sobre a concentração de metais pesados nos sedimentos plataforma continental da região sudeste (Carvalho et al. 1993b). Em

áreas sob influência de aportes fluviais na Bacia de Campos, por exemplo, as variações das concentrações de “background” são superiores as variações encontradas nos sedimentos sob influência das plataformas de Pargo e Pampo (Ovalle *et al.* 2000), não permitindo caracterizar nenhum processo de contaminação dos sedimentos por metais pesados. Na plataforma continental nordeste do Brasil entre os litorais do Ceará e do Rio Grande do Norte, a presença de “bolsões” de sedimentos terrígenos relíquias e a de materiais continentais trazidos pelo Rio Jaguaribe, também influenciam significativamente as concentrações de metais pesados nos sedimentos da plataforma (Muller *et al.* 1999; Freire *et al.* 2003).

Levando-se em consideração os baixos teores de elementos típicos da Bacia Potiguar, tal influência é fortemente determinante das concentrações de metais, não sendo possível portanto detectar qualquer influência das atividades de exploração realizadas na Bacia Potiguar, sobre a concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos.