

**Projeto de Monitoramento Ambiental da  
Atividade de Perfuração Marítima na Área  
Denominada Área Geográfica da Bacia de  
Santos - Poço Piracaba – SP3**

**RTAA - Relatório Técnico de Avaliação Ambiental  
3ª Campanha (Fase de Pós-Perfuração 2)**

**Volume Único**

**RTAA\_SP3\_C3\_BSD\_21082015-01**

**Revisão 01  
Novembro/2015**



**E&P**







## ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO.....	23/232
II - OBJETIVOS.....	25/232
III - ÁREA DE ESTUDO .....	26/232
III.1 - BACIA DE SANTOS.....	26/232
III.2 - CAMPO DE PIRACABA .....	34/232
III.2.1 - Qualidade do Sedimento .....	36/232
III.2.2 - Macrofauna Bentônica.....	40/232
III.3 - HISTÓRICO DA ATIVIDADE .....	45/232
IV - MATERIAL E MÉTODOS .....	47/232
IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO .....	47/232
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO .....	56/232
IV.2.1 -Matéria Orgânica Total (MOT) e Carbono Orgânico Total (COT).....	56/232
IV.2.2 -Carbonatos.....	56/232
IV.2.3 -Granulometria.....	57/232
IV.2.4 -Nitrogênio Total .....	57/232
IV.2.5 -Fósforo Total .....	58/232
IV.2.6 -Metais.....	58/232
IV.2.7 -Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) .....	59/232
IV.2.8 -Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) .....	59/232
IV.2.9 -Macrofauna Bentônica.....	62/232
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS .....	63/232
IV.3.1 -Qualidade do sedimento.....	63/232

---

IV.3.2 - Biota aquática .....	66/232
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	68/232
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA.....	70/232
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	72/232
V.1 - QUALIDADE DO SEDIMENTO.....	72/232
V.1.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos.....	72/232
V.1.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total .....	86/232
V.1.3 - Metais .....	98/232
V.1.4 - Hidrocarbonetos.....	132/232
V.2 - MACROFAUNA BENTÔNICA.....	140/232
V.2.1 - Avaliação da Amostragem .....	141/232
V.2.2 - Análise Qualitativa .....	143/232
V.2.3 - Análise Quantitativa .....	147/232
V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos .....	150/232
V.2.5 - Análise de Cluster .....	159/232
VI - ANÁLISE INTEGRADA .....	162/232
VI.1 - RELAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE MACROZOOBENTOS COM O AMBIENTE.....	162/232
VI.1.1 -Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos .....	162/232
VI.1.2 -Relações entre os Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos .....	165/232
VI.1.3 -Padrão de Relação das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas .....	169/232
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	174/232

---

---

VIII - BIBLIOGRAFIA.....	179/232
IX - ANEXOS.....	197/232
X - EQUIPE TÉCNICA .....	231/232



## FIGURAS

FIGURA	PÁG.
<b>Figura III.1-1</b> – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos.	27/232
<b>Figura III.1-2</b> – Seção geológica esquemática da Bacia de Santos.	29/232
<b>Figura III.1-3</b> – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.	33/232
<b>Figura III.2-1</b> – Localização da área de estudo.	34/232
<b>Figura III.2-2</b> – Localização do poço Piracaba – SP3, do poço Baúna-TP2, do sistema de Desenvolvimento da Produção (DP) de Baúna & Piracaba e do Teste de Longa Duração (TLD) de Tiro & Sidon.	36/232
<b>Figura III.3-1</b> – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço Piracaba-SP3 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.	46/232
<b>Figura IV.1-1</b> – Diagrama do MV Kommandor.	48/232
<b>Figura IV.1-2</b> – Malha amostral com as coordenadas executadas para coleta de sedimentos na atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.	49/232
<b>Figura IV.1-3</b> – Mini Box-corer 30 x 30 x 50 cm utilizado na coleta das amostras de sedimento da presente campanha.	52/232
<b>Figura IV.1-4</b> – Esquema de distribuição dos corers no Box-corer (30 x 30 x 50 cm) para sub-amostragem dos parâmetros solicitados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.	54/232
<b>Figura V.1-1</b> – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	73/232
<b>Figura V.1-2</b> – Diagrama de Shepard para cada uma das 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	79/232
<b>Figura V.1-3</b> – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	81/232
<b>Figura V.1-4</b> – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	83/232
<b>Figura V.1-5</b> – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	84/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-6</b> – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	86/232
<b>Figura V.1-7</b> – Concentração média de carbono orgânico total nas 16 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	89/232
<b>Figura V.1-8</b> – Concentração média de matéria orgânica total nas 16 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	89/232
<b>Figura V.1-9</b> – Distribuição espacial das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento de pós-perfuração do Poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	90/232
<b>Figura V.1-10</b> – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	91/232
<b>Figura V.1-11</b> – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	92/232
<b>Figura V.1-12</b> – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	93/232
<b>Figura V.1-13</b> – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	95/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-14</b> – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	96/232
<b>Figura V.1-15</b> – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	97/232
<b>Figura V.1-16</b> – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	98/232
<b>Figura V.1-17</b> – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	101/232
<b>Figura V.1-18</b> – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	102/232
<b>Figura V.1-19</b> – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos	103/232
<b>Figura V.1-20</b> – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	104/232
<b>Figura V.1-21</b> – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	105/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-22</b> – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	106/232
<b>Figura V.1-23</b> – Distribuição espacial das concentrações de manganês (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos	107/232
<b>Figura V.1-24</b> – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	108/232
<b>Figura V.1-25</b> – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	109/232
<b>Figura V.1-26</b> – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	110/232
<b>Figura V.1-27</b> – Distribuição espacial das concentrações de bário e zinco (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	111/232
<b>Figura V.1-28</b> – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	112/232
<b>Figura V.1-29</b> – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	113/232
<b>Figura V.1-30</b> – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	114/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-31</b> – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	115/232
<b>Figura V.1-32</b> – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	116/232
<b>Figura V.1-33</b> – Distribuição espacial das concentrações de vanádio, cromo e níquel (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos	117/232
<b>Figura V.1-34</b> – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	118/232
<b>Figura V.1-35</b> – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	119/232
<b>Figura V.1-36</b> – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	120/232
<b>Figura V.1-37</b> – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	121/232
<b>Figura V.1-38</b> – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	122/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-39</b> – Distribuição espacial das concentrações de cobre e chumbo (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos	123/232
<b>Figura V.1-40</b> – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	124/232
<b>Figura V.1-41</b> – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	125/232
<b>Figura V.1-42</b> – Distribuição espacial das concentrações de MCNR e HTP (µg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	135/232
<b>Figura V.1-43</b> – Concentrações de MCNR (µg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	136/232
<b>Figura V.1-44</b> – Concentrações de HTP's (µg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	137/232
<b>Figura V.1-45</b> – Distribuição espacial das concentrações de n-alcanos (µg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	138/232
<b>Figura V.1-46</b> – Concentrações de n-alcanos (µg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.	139/232

FIGURA	PÁG.
<p><b>Figura V.2-1</b> – Número cumulativo de táxons por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração, C2 = campanha de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = campanha de pós-perfuração, 2º retorno) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de táxons esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.</p>	142/232
<p><b>Figura V.2-2</b> – Box plots representativos dos valores de riqueza (nº de táxons) das comunidades macrozoobentônicas encontrados nas três campanhas do programa de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.</p>	144/232
<p><b>Figura V.2-3</b> – Porcentagem de riqueza de taxa dos filós bentônicos na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase pós-perfuração, 2º retorno).</p>	145/232
<p><b>Figura V.2-4</b> – Box plots representativos da densidade (ind/m<sup>2</sup>) das comunidades macrozoobentônicas encontrados nas três campanhas do programa de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.</p>	148/232
<p><b>Figura V.2-5</b> – Densidade de organismos (ind/m<sup>2</sup>) dos filós bentônicos na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno). A barra laranja representa a densidade média dos filós ± desvio-padrão.</p>	149/232
<p><b>Figura V.2-6</b> – Número de taxa dos filós bentônicos nas dezesseis estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno). A linha cinza representa a média das estações.</p>	151/232
<p><b>Figura V.2-7</b> – Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).</p>	152/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.2-8</b> – Densidade de organismos dos filos bentônicos (ind/m <sup>2</sup> ) nas dezesseis estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno). A linha cinza representa a média das estações.	153/232
<b>Figura V.2-9</b> – Distribuição espacial da densidade total (ind/m <sup>2</sup> ) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).	154/232
<b>Figura V.2-10</b> – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade bentônica nas dezesseis estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno).	156/232
<b>Figura V.2-11</b> – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).	157/232
<b>Figura V.2-12</b> – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).	158/232
<b>Figura V.2-13</b> – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade bentônica nas dezesseis estações na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno).	160/232
<b>Figura V.2-14</b> – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade bentônica nas dezesseis estações na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno).	161/232
<b>Figura VI.1-1</b> - Análise de componentes principais entre os indicadores biológicos de macrozoobentos e as variáveis ambientais das estações de coleta da 3a campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos.	165/232

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.1-2</b> - Análise de componentes principais entre os contaminantes (metais) e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos.	168/232
<b>Figura VI.1-3</b> - Análise de agrupamento das 16 estações de amostragem da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, com base nas variáveis ambientais, contaminantes e biológicas.	170/232
<b>Figura VI.1-4</b> - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais (granulometria, nutrientes e matéria orgânica), contaminantes e biológicas nas estações da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos.	170/232



## TABELAS E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
<b>Tabela III.2-1</b> – Concentrações de COT, MOT, N e P totais encontrados em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.	38/232
<b>Tabela III.2-2</b> – Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.	39/232
<b>Tabela IV.1-1</b> – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das estações amostrais previstas e reposicionadas da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.	50/232
<b>Tabela IV.1-2</b> – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das réplicas (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.	51/232
<b>Quadro IV.1-1</b> – Parâmetros, frações coletadas, forma de acondicionamento e preservação das amostras no compartimento sedimento e macrofauna bentônica, conforme procedimentos realizados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.	55/232
<b>Tabela IV.2-1</b> – Escala de Wentworth utilizada para classificação dos grãos.	57/232
<b>Tabela IV.2-2</b> – Resumo dos métodos utilizados, com os respectivos limites de quantificação e detecção, para os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.	61/232
<b>Tabela V.1-1</b> – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 16 estações de amostragem no entorno do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	74/232
<b>Tabela V.1-2</b> – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 16 estações de amostragem no entorno do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.	75/232
<b>Tabela V.1-3</b> – Análise de variância das frações granulométricas das 16 estações de coleta durante 3ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba-SP3 (fase pós-perfuração). $p < 0,05$ . F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste.	82/232
<b>Tabela V.1-4</b> - Concentrações médias de carbonato (%) nas diferentes estações da atual campanha monitoramento ambiental.	83/232

<b>TABELA OU QUADRO</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela V.1-5</b> – Concentrações médias de carbono orgânico total e matéria orgânica total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento do Poço Piracaba-SP3.	88/232
<b>Tabela V.1-6</b> – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento.	94/232
<b>Tabela V.1-7</b> – Concentração média de metais (mg/kg) em cada estação da atual campanha de monitoramento ambiental e valores de referência TEL e PEL.	128/232
<b>Tabela V.1-8</b> - Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação para a segunda campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ), valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ( $5 < FE < 10$ ) e valores em roxo indicam enriquecimento severo ( $10 < FE < 25$ ).	129/232
<b>Tabela V.1-9</b> - Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação para a atual campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ), valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ( $5 < FE < 10$ ) e valores em roxo indicam enriquecimento severo ( $10 < FE < 25$ ).	130/232
<b>Tabela V.1-10</b> - Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores no TLD de Tiro & Sidon, poço Piracaba-SP3 e DP de Baúna e Piracaba, Bacia de Santos. n.d. = não detectado.	131/232
<b>Tabela VI.1-1</b> - Correlação de Spearman entre os dados de matéria orgânica, nutrientes e granulometria e os dados de diversidade, equitatividade, riqueza e densidade total de macrozoobentos. Correlações significativas estão destacadas em vermelho $p < 0,05$ .	163/232
<b>Tabela VI.1-2</b> - Correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a 3ª campanha monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos. Valores em vermelho indicam correlações significativas ( $p < 0,05$ ).	166/232

## **ANEXOS**

<b>Anexo IX-1 – Cartas de Consulta e Aceite de Tombamento</b>
<b>Anexo IX-2 – Cartas de Destinação de Resíduos</b>
<b>Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3,</b>
<b>Anexo IX-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica</b>



## **I - INTRODUÇÃO**

A expansão da exploração de petróleo e gás no Brasil, principalmente após a descoberta das reservas do pré-sal, tem se configurado uma das principais metas de desenvolvimento, por ser essencial para a conquista da autossuficiência energética.

Desta forma, o bom desempenho das atividades petrolíferas em bacias marítimas deve ser induzido e fomentado, garantindo que tais atividades não prejudiquem a disponibilidade e conservação dos recursos ambientais que possuem enorme valor ecológico e econômico. Assim, o monitoramento ambiental de tais áreas produtoras se torna fundamental para garantir a harmonia entre exploração de recursos naturais e preservação ambiental.

Devido ao fato da perfuração de poços produtores de petróleo ser uma fonte potencial de impactos ambientais, e com a finalidade de avaliar e monitorar a qualidade ambiental na região ao redor dos poços perfurados, foi proposta a execução de um projeto de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração (PMAEper), cuja origem se deu no licenciamento ambiental da atividade de perfuração marítima na Área Geográfica da Bacia de Santos (AGBS).

O projeto consiste na avaliação da qualidade ambiental no entorno de poços representativos, em três momentos: uma campanha anteriormente a perfuração do poço, uma segunda campanha aproximadamente um mês após o término da perfuração e a terceira campanha aproximadamente 6 meses após a segunda. A avaliação ambiental da região é realizada com base em parâmetros físico-químicos do sedimento e parâmetros biológicos da macrofauna bentônica.

O presente documento relata as atividades desenvolvidas durante a realização da 3ª campanha (campanha pós-perfuração) do poço Piracaba-SP3, 2º retorno, sendo descritos os procedimentos técnicos realizados em campo, as metodologias de análise e os resultados obtidos para parâmetros físicos e químicos do sedimento e para a macrofauna bentônica. A campanha foi realizada no período de 12 a 14 de fevereiro de 2014, a bordo do navio de pesquisa MV *Kommandor*, para avaliar a região após a perfuração do poço. Seus resultados servirão como dados de base para a comparação dos resultados obtidos

---

anteriormente (campanha de pré-perfuração e 1º retorno da campanha pós-perfuração).

## **II - OBJETIVOS**

O projeto de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração (PMAEper) marítima na área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos tem por objetivo avaliar e monitorar a qualidade ambiental da região de entorno de poços de petróleo na AGBS.

O objetivo da campanha em questão foi caracterizar a área no entorno do poço Piracaba-SP3, posteriormente a sua perfuração, a fim de se estabelecer um diagnóstico ambiental da área, considerando um período de médio a longo prazo após o início da atividade.

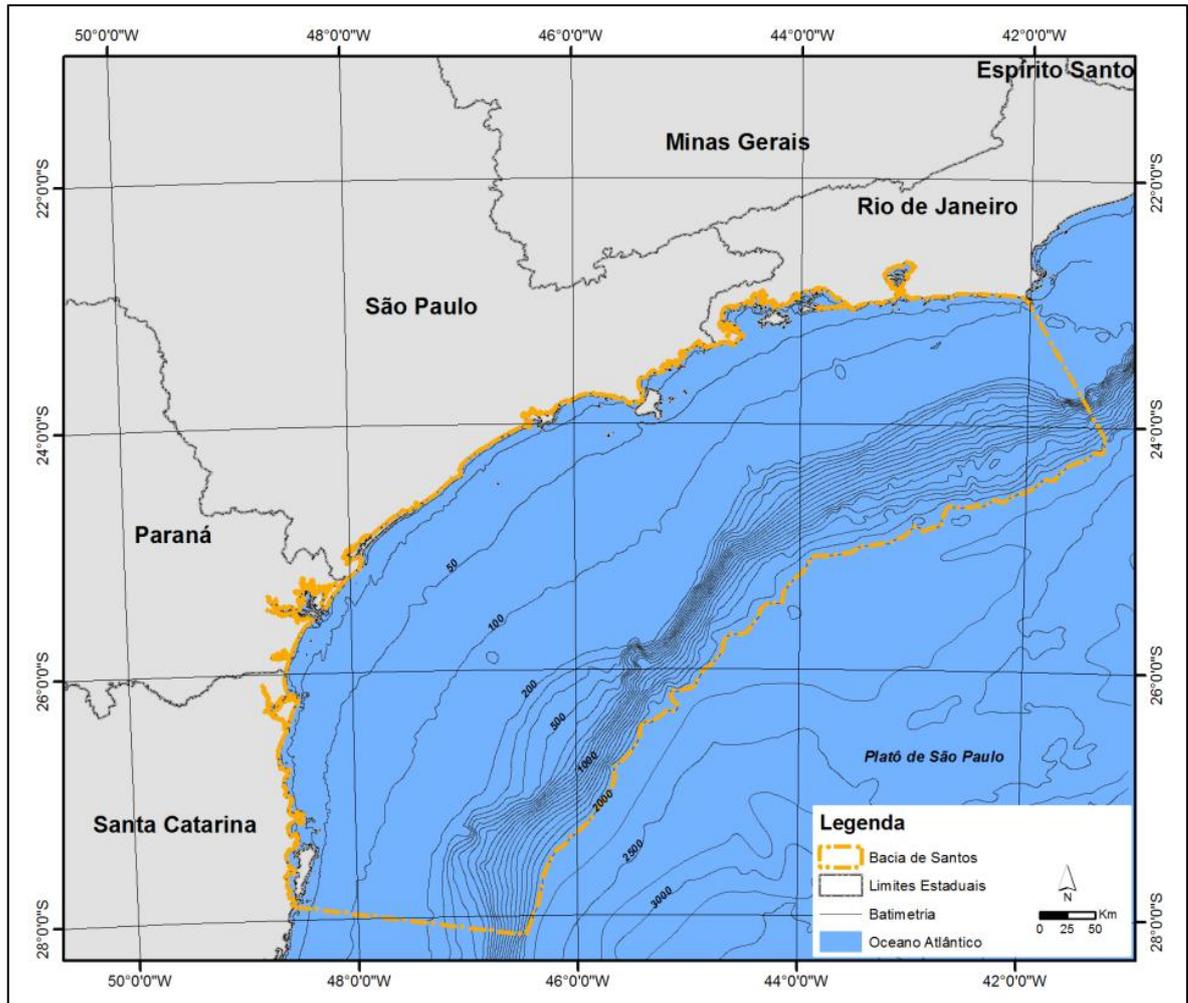
Os objetivos específicos desta campanha de pós-perfuração foram:

- Avaliar as características físico-químicas do sedimento;
- Caracterizar quali-quantitativamente as comunidades bentônicas da região;
- Identificar, descrever e avaliar os impactos oriundos da perfuração do poço, através do acompanhamento e comparação entre os resultados obtidos nas campanhas anteriores.

### **III - ÁREA DE ESTUDO**

#### **III.1 - BACIA DE SANTOS**

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km<sup>2</sup>, entre os paralelos 23° e 28° Sul. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos ao Alto de Cabo Frio, e ao sul com a Bacia de Pelotas ao alto de Florianópolis. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca Leste, enquanto que a leste, a Bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006). A BS tem um formato de lua crescente, ou seja, a plataforma continental é mais estreita nas proximidades de Cabo Frio (50 km) e Cabo de Santa Marta (70 km), onde a isóbata de 200 m, próxima à quebra da plataforma continental, aproxima-se da costa, e mais larga na parte central (230 km), em frente ao litoral de São Paulo, onde aquela isóbata encontra-se mais afastada da linha costeira (SOUZA, 2000) (Figura III.1-1).



**Figura III.1-1** – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos.

A Bacia de Santos formou-se a partir de processos de rifteamento quando da separação afroamericana, na Era Mesozóico. A deposição de sedimentos ocorreu inicialmente em condições flúvio-lacustres, passando posteriormente pelo estágio de bacia evaporítica e evoluindo até se consolidar como bacia de margem passiva (CHANG *et al.*, 2008).

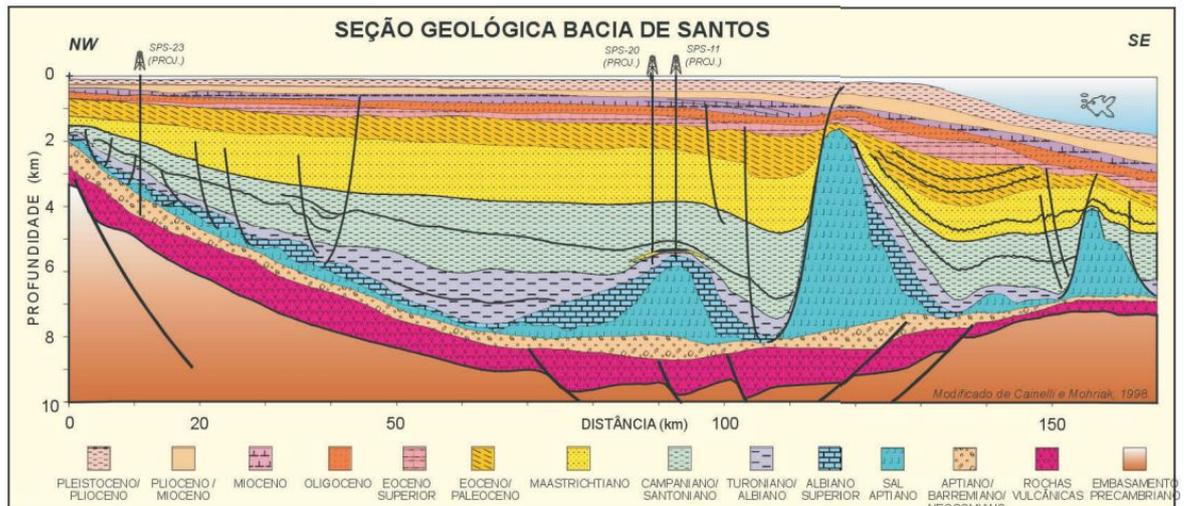
A margem continental sudeste brasileira é caracterizada por feições típicas de uma margem passiva, mas também por estruturas transversais, cujas implicações tectônicas ainda não são completamente conhecidas e por um magmatismo intensificado, relacionado aos inúmeros eventos desde o Mesozóico (STANTON, 2009).

A principal feição fisiográfica da margem sudeste brasileira é o Platô de São Paulo, onde se localiza a Bacia de Santos (BIZZI *et al.*, 2003). Esta feição

apresenta largura entre 125 e 500 km e se estende até a isóbata de 3.000 m, cujas características magnéticas e topográficas representam uma crosta intermediária, constituída por diques basálticos intrudidos em crosta continental distendida (ASMUS, 1984). O limite sul desta feição é a Zona de Fratura de Rio Grande, que coincide com o limite sul da Bacia de Santos (KUMAR e GAMBOA, 1979) enquanto que o limite norte desse platô localiza-se junto à Cadeia Vitória-Trindade, na latitude de 20°S (BIZZI *et al.*, 2003).

De acordo com Bizzi *et al.* (2003), o desenvolvimento de arcabouço tectono-estratigráfico da Bacia de Santos envolveu três megassequências sísmicas. A megassequência sinrifte ou continental, de idade neocomiana/barremiana, registrando-se siliciclásticos grosseiros (Formação Guaratiba) assentados discordantemente sobre rochas vulcânicas, de idade aproximada de 130–120 Ma (PEREIRA E FEIJÓ, 1994 *apud* BIZZI *et al.*, 2003), englobados na Formação Camboriú. A megassequência transicional caracteriza-se pela deposição de siliciclásticos e evaporitos aptianos, depositados acima da discordância *break-up*, em ambiente marinho restrito, registrando-se carbonatos, anidrita e halita na Formação Ariri. A terceira fase tectônica corresponde à megassequência pósrifte ou marinha, associada à subsidência térmica durante a deriva dos continentes, caracteriza-se por depósitos siliciclásticos (Formação Florianópolis) e carbonáticos (Formação Guarujá) de idade eo/meso-albiana, que posteriormente foram recobertas por sistemas transgressivos clástico/carbonáticos (Formação Itanhaém) do Neo-Albiano ao Eo/Cenomaniano (PEREIRA *et al.*, 1986).

A Figura III.1-2 apresenta uma seção geosísmica esquemática da Bacia de Santos, na região do campo de Merluzza, situado a cerca de 180 km da costa do município de Santos, no litoral de São Paulo, mostrando sequências estratigráficas sinrifte e pós-rifte e diápiros de sal próximos da quebra da plataforma continental.



Fonte: Bizzi et al. (2003).

**Figura III.1-2 – Seção geológica esquemática da Bacia de Santos.**

Análises sismo-estratigráficas para interpretação de sistemas deposicionais, com ênfase à exploração de petróleo, foram feitas por Brown & Fischer (1977). Essa análise foi complementada por técnicos da Petrobras, com a integração de dados geofísicos e geoquímicos para um modelo geológico da plataforma sul, visando objetivos favoráveis à prospecção de hidrocarbonetos. Trabalhos similares também foram feitos na tentativa de elucidar a evolução tecno-sedimentar da plataforma continental sul-brasileira, por meio de dados sísmicos e de poços. A halocinese foi o principal agente causador das estruturas adiastróficas que modelaram a seção pós-rifte da Bacia de Santos. Essas estruturas apresentam importante influência nas acumulações de petróleo, especialmente com relação à migração e à geração de trapas (GONÇALVES *et al.*, 1979).

Pereira & Macedo (1990) apresentaram um panorama geral da Bacia de Santos e destacaram a Formação Guaratiba como a principal rocha geradora de hidrocarbonetos. Posteriormente o trabalho de Chang *et al.* (2008), mostrou que na Bacia de Santos ocorrem dois intervalos geradores de hidrocarbonetos: a porção superior da Formação Guaratiba e a porção inferior da Formação Itajaí-Açu. Segundo estes autores, na formação Guaratiba os óleos de origem salina foram gerados a partir de rochas depositadas em ambiente lacustre salino (Formação Guaratiba), durante o Aptiano (andar Alagoas), no estágio final da fase rifte (sin-rifte III), quando o sistema de lagos passou a receber influência de águas

salinas provindas do sul, tornando-se salinizado em função do incremento de aridez no final do Cretáceo Inferior. Enquanto que na porção inferior da Formação Itajaí-Açu a deposição ocorreu em ambiente marinho anóxico, durante o Cenomaniano/Meso-Turoniano, período correlacionável ao segundo evento anóxico do Cretáceo.

Tratando-se da granulometria, há um predomínio das frações sedimentares mais finas e as frações lamosas estão associadas às variações batimétricas (da quebra do talude ao assoalho oceânico). Silte e argila predominam em 90% das amostras da Bacia e as areias predominam nos 10% restantes. Existem também, na plataforma externa se estendendo até o talude, faixas recobertas por sedimentos carbonáticos biogênicos (biolitolásticos, litobioclásticos e bioclásticos), sendo, portanto, os teores de carbonato muito variáveis (0,1 – 97%) (PETROBRAS/ICF, 2010).

No Oceano Atlântico Sudoeste, a circulação geral é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil, de origem tropical, com sentido para sul, e pelo fluxo oposto da Corrente das Malvinas, de origem subantártica.

A Corrente do Brasil (CB) é a corrente de contorno oeste do Giro Subtropical do Atlântico Sul. Ela se origina próximo aos 10°S, a partir da bifurcação do ramo mais setentrional da Corrente Sul Equatorial (CSE) e carrega águas quentes e oligotróficas em direção às altas latitudes. Imediatamente ao sul de Cabo Frio, a mudança na orientação da linha da costa de NE-SW para E-W, faz com que a CB gire ciclonicamente para oeste, aproximando-se da quebra da plataforma continental, como consequência da conservação da vorticidade potencial (SOUZA, 2000). Nesta região, a CB penetra na plataforma continental cruzando as isóbatas quase perpendicularmente e após isso, gira anticlonicamente para sudoeste (TCHERNIA, 1980). Influenciada pelo sistema de ventos prevalecente e pela rotação da Terra, a CB tende a defletir para leste, à medida que a corrente segue para o sul, acompanhando a linha de quebra da plataforma. Essa tendência é acentuada e ao redor de 35-38°S, onde se encontra com a Corrente das Malvinas, criando uma região com fortes gradientes térmicos, conhecida como Convergência Subtropical (LEGECKIS & GORDON, 1982; OLSON *et al.*, 1988) e sua componente na direção leste se torna mais e mais marcante, até a CB se separar da costa e formar a Corrente do Atlântico Sul (TCHERNIA, 1980).

Campos *et al.* (1995) forneceram estimativas de transporte para a CB dentro da Bacia de Santos, através de dados hidrográficos com alta resolução horizontal e estimaram o transporte da CB em 7,5 Sv. A CB dentro da Bacia de Santos se estende em média até 750 m de profundidade.

O fluxo da Corrente do Brasil ocorre na direção SW ao longo da Bacia de Santos durante todo o ano. Entretanto, no verão a CB se apresenta mais intensa, e contínua, com velocidades médias de até 0,8 m/s no norte da BS, enquanto que no inverno a CB encontra-se mais afastada da costa, com velocidades médias abaixo de 0,5 m/s (PETROBRAS/ICF, 2010).

Com relação às massas d'água, cinco delas podem ser observadas na região:

- Água Costeira (AC): origina-se da mistura entre águas costeiras de origem continental e as águas de plataforma. É caracterizada por valores de salinidade baixos (REZENDE, 2003);
- Água Tropical (AT): flui para S/SW na camada superficial da Corrente do Brasil (0-200 m), ao longo do talude continental e próximo à quebra da plataforma continental. Apresenta baixas concentrações de nutrientes e oxigênio dissolvido. A AT é definida por temperatura e salinidade superiores a 20 °C e 36,4, respectivamente (MIRANDA, 1982);
- Água Central do Atlântico Sul (ACAS): subjacente a AT, é também transportada para S/SW pela Corrente do Brasil entre 200 e 500 m de profundidade, ao longo do talude continental e próximo à quebra da plataforma continental. É uma massa d'água rica em nutrientes inorgânicos com maiores concentrações de oxigênio. A ACAS é definida por temperatura e salinidade inferiores a 20 °C e 36,4, respectivamente (MIRANDA, 1982, REZENDE, 2003).
- Água Intermediária Antártica (AIA): Os estudos de Müller *et al.* (1998) fornecem o padrão em mesoescala da bifurcação do fluxo da AIA ocorrendo dentro da Bacia de Santos, onde move-se em direção ao equador ao norte de 25°S, enquanto apresenta-se como uma corrente de contorno oeste bem definida, em níveis subpicnoclínicos, fluindo para o sul em 28°S. Boebel *et al.* (1999) observaram que o eixo da bifurcação da AIA ocorre à longitude de Santos, mas com o eixo da divergência ocorrendo

praticamente paralelo ao talude em torno de 28°S. O escoamento associado à AIA, denominada de Corrente de Contorno Oeste Intermediária pelos autores, fluiria praticamente para o norte no interior da Bacia de Santos. Os limites termohalinos da AIA são 3° - 6°C para temperatura e 34,2 - 34,6 para salinidade, sendo demarcada pelo mínimo de salinidade no diagrama T-S (MÜLLER *et al.*, 1998).

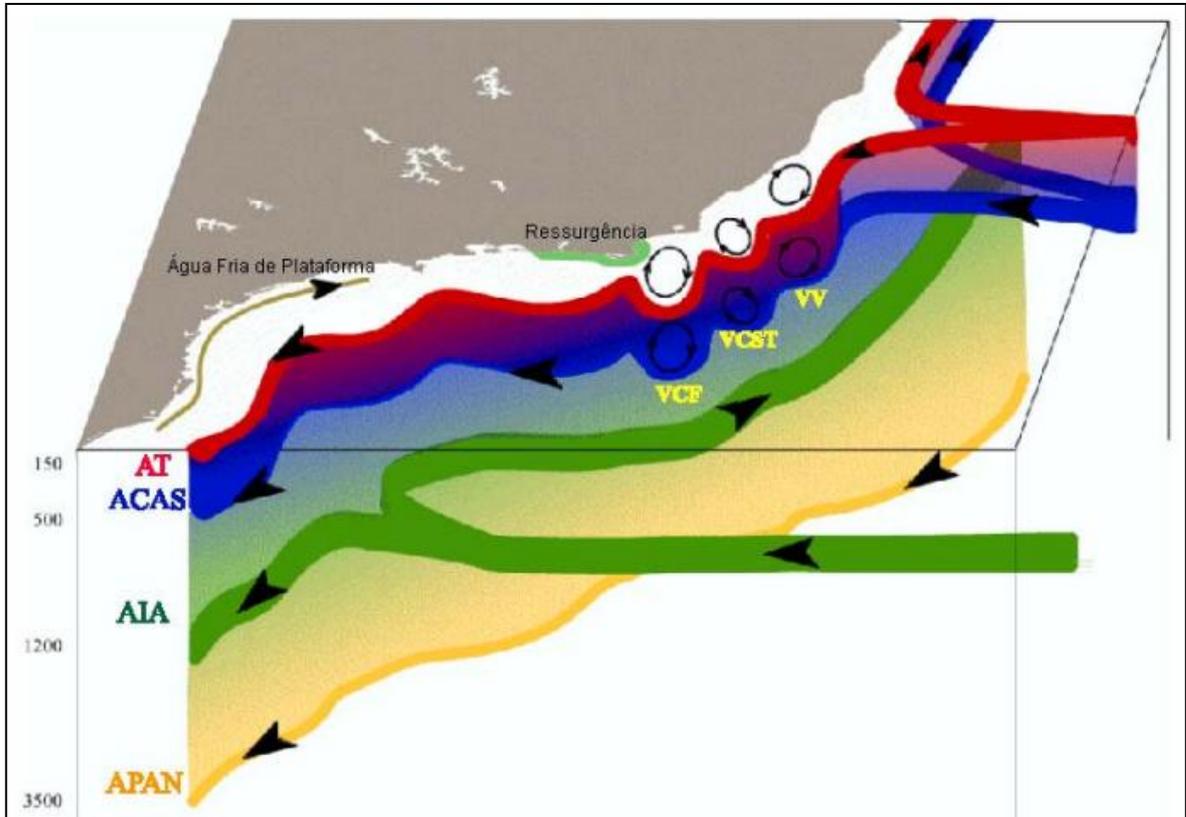
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN): Subjacente à AIA, a APAN apresenta temperaturas entre 3°C - 4°C e salinidades entre 34,6 - 35, ocupando níveis entre 1.500 e 3.000 m, fluindo para o sul ao longo do contorno oeste, ao largo do sudeste brasileiro, até cerca de 32°S. É formada no Hemisfério Norte na junção das Correntes da Groelândia e Labrador (SILVEIRA *et al.*, 2000).

Na Figura III.1-3 é apresentada uma representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil. Observam-se as correntes de contorno, sua atividade de mesoescala e as massas d'água transportadas por elas. Em vermelho está a Água Tropical (AT), ocupando a camada mais superficial, indo até 150 m de profundidade. Logo abaixo encontra-se a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), em azul, ocupando a lâmina d'água até aproximadamente 500 m. Em seguida encontra-se a Água Intermediária Antártica (AIA), em verde, até aproximadamente 1.200 m. A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), em amarelo, é a massa d'água mais profunda, encontrada a 3.500 m de profundidade (GODOI, 2005).

A análise do regime de ondas na BS mostra que a direção média se concentra entre E, SE e S. Enquanto que as ondulações de *swell* tem origem predominante de leste (entre 45 e 135°), ondas de sul são, também, frequentes. Para o *wind sea*, percebe-se uma inversão na importância das direções principais, sendo sul a que possui maior ocorrência, seguida de leste (PETROBRAS/ICF, 2010).

Petrobras/ICF (2010) verificaram que existem duas direções predominantes para as maiores ondas, ENE e SSW. A altura significativa é, em média, de 1,5 m, mas alturas de até 3,5 m são observadas com frequência, sendo que as maiores alturas estão associadas ao quadrante SE. A maioria dos registros para ondas do tipo *swell* são provenientes de E (45,5 %), com alturas entre 0 a 1 m (67,8 %) e períodos entre 7 e 10s (73,3%). De maneira geral, as ondas do tipo *wind sea*

apresentaram maiores alturas, associadas a menores períodos de ondas, entre 0,5 e 1,5 m (52,8 %), provenientes de S (38,6 %), e entre 5 e 8 s (79,6 %).



Fonte: Godoi (2005).

**Figura III.1-3** – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.

Com relação à caracterização meteorológica, a Bacia de Santos está localizada em uma região tropical e subtropical, onde as temperaturas oscilam entre 1 e 20 °C no inverno e mantêm uma média de 25 °C durante o verão. Em geral, as águas sobre a Corrente do Brasil apresentam temperaturas cerca de 1 a 3 °C mais elevadas em relação à costa. A pressão de vapor varia de 15 a 27 mb ao longo do ano e a umidade relativa gira em torno de 83%. A direção do vento predominante é NE, com tempestades raras ao longo do ano e com cobertura média de nuvens de 55%. A frequência média de precipitação é de 5%, com a quantidade de chuva variando de 50 a 200 mm/mês. Além disso, a Bacia de Santos está suscetível aos sistemas meteorológicos frontais do Sul, que influenciam diretamente as correntes superficiais (PETROBRAS/ICF, 2010).

### III.2 - CAMPO DE PIRACABA

O campo de Piracaba localiza-se na região sul da Bacia de Santos, aproximadamente 300 milhas náuticas a sudoeste da cidade do Rio de Janeiro/RJ e a 100 milhas náuticas a leste da cidade de Itajaí/SC. O campo foi descoberto em setembro de 2008, em lâmina d'água de 240 m, no antigo bloco exploratório BM-S-40 (NAUMANN, 2009) (Figura III.2-1).

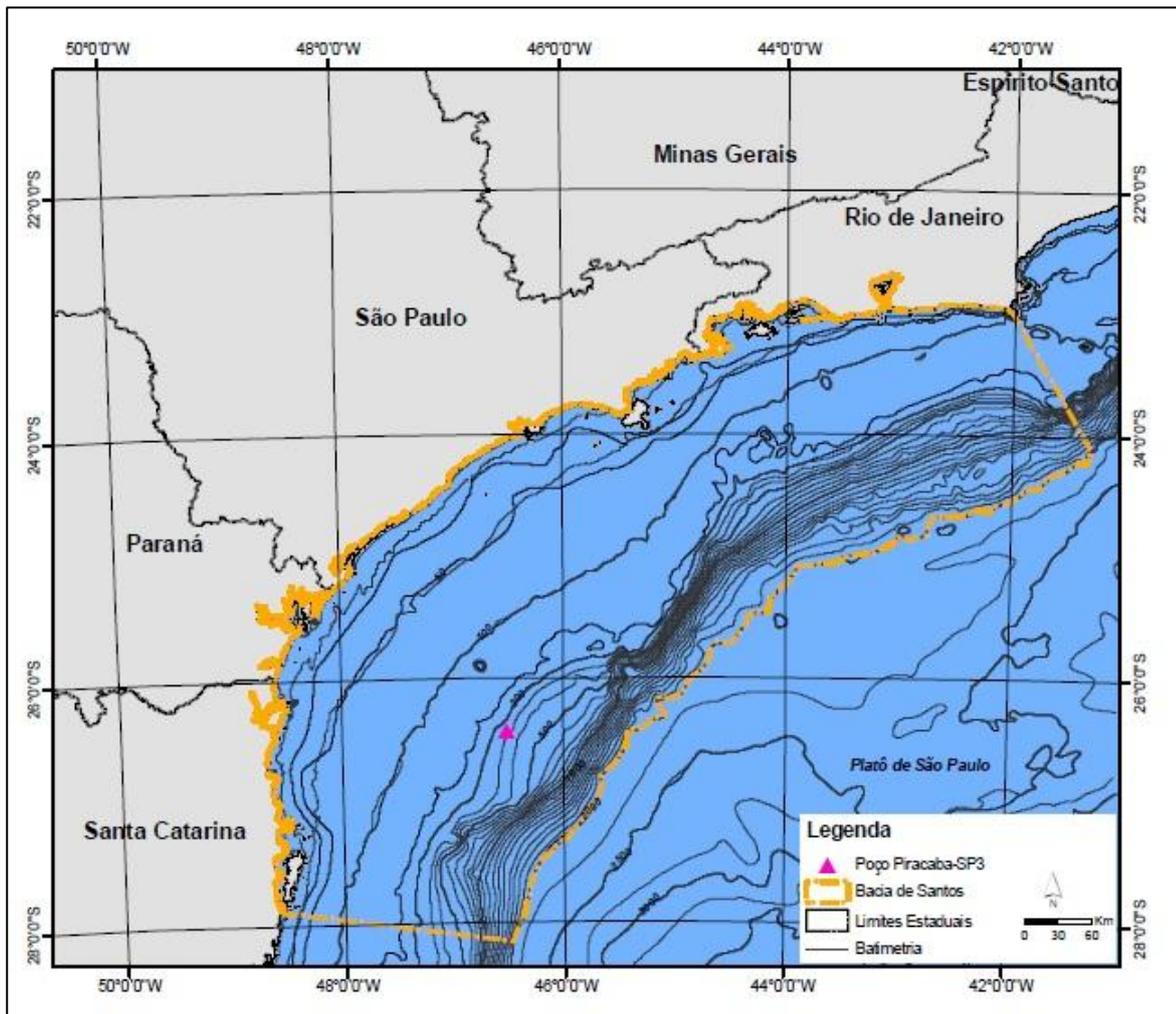
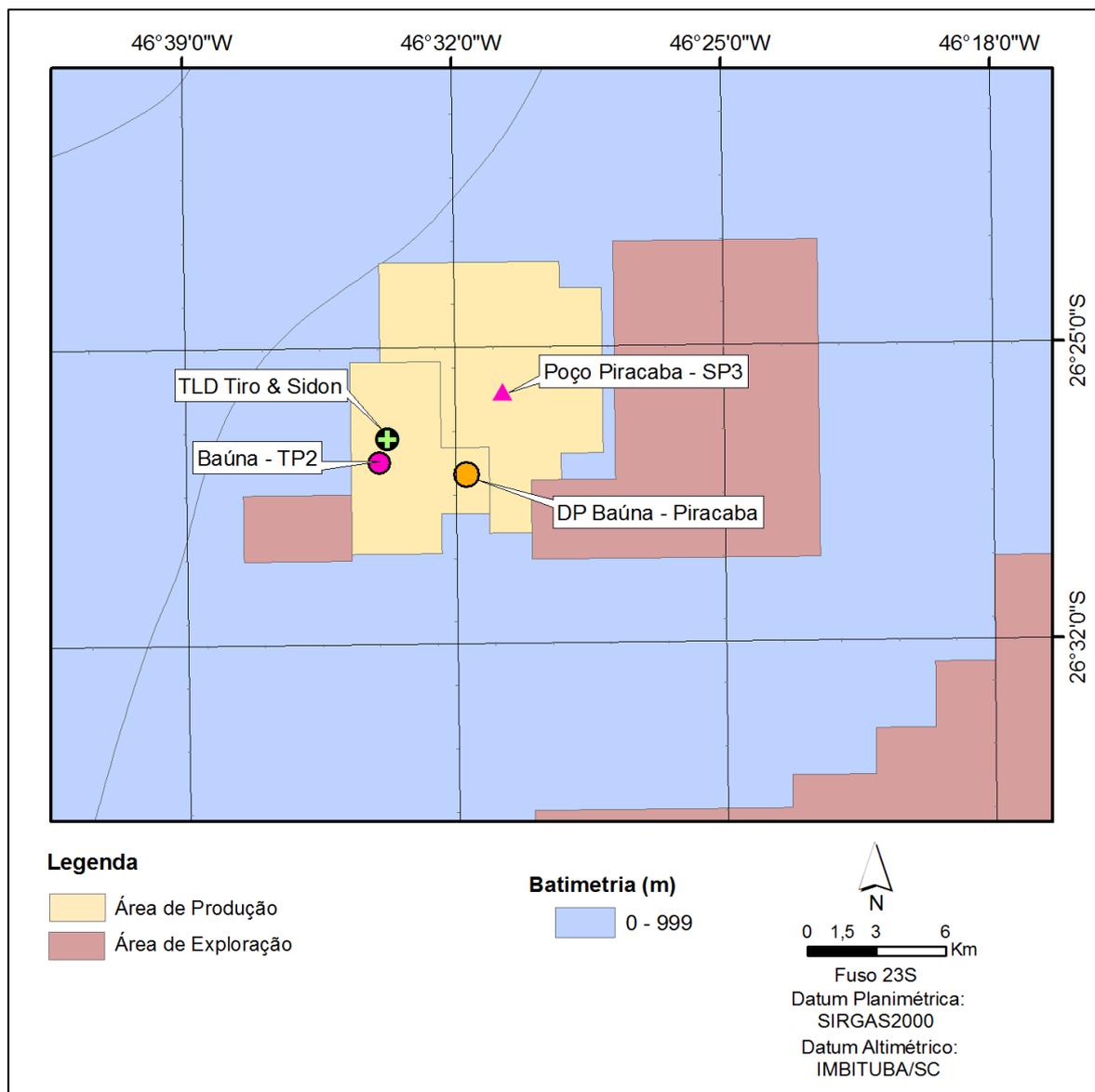


Figura III.2-1 – Localização da área de estudo.

Considerando que este relatório se refere à 2ª campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, apresenta-se a seguir uma sucinta caracterização ambiental da área de estudo baseada em bibliografia disponível para a região. Esta caracterização objetiva descrever os padrões de *background* para fins de

comparação com os resultados apresentados neste relatório. Os dez principais estudos utilizados nesta caracterização foram o Estudo de Impacto Ambiental para o Desenvolvimento da Produção de Petróleo no Bloco BM-S-40, Áreas de Tiro & Sidon, Bacia de Santos (PETROBRAS/ICF, 2010), os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das quatro primeiras campanhas de monitoramento (dezembro/2009, novembro/2010, janeiro/2012 e janeiro/2013) do Projeto de Monitoramento Ambiental do Teste de Longa Duração (TLD) na área de Tiro & Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das duas primeiras campanhas de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos - Poço Piracaba-SP3 (fase pré-perfuração e fase de pós-perfuração, 1º retorno) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015), o Relatório Ambiental da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002) e os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das duas primeiras campanhas de monitoramento (abril/2012 e junho/2013) do projeto de monitoramento ambiental do desenvolvimento da produção de petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d).

Importante destacar que o monitoramento do TLD de Tiro & Sidon é realizado a partir de dados primários coletados a cerca de 5 km a sudoeste da área onde foi perfurado o poço Piracaba-SP3, enquanto que o DP de Baúna e Piracaba é realizado a partir de dados coletados a 4km a sudoeste do poço Piracaba-SP3 (Figura III.2-2). Também é importante ressaltar que as três últimas campanhas de monitoramento do TLD na área de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a) e a segunda campanha do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014d) foram realizadas quando já havia um empreendimento instalado e operando na área, portanto, já havia uma fonte de impacto e os dados não podem ser considerados como representativos de um meio prístino.



**Figura III.2-2** – Localização do poço Piracaba – SP3, do poço Baúna-TP2, do sistema de Desenvolvimento da Produção (DP) de Baúna & Piracaba e do Teste de Longa Duração (TLD) de Tiro & Sidon.

### III.2.1 - Qualidade do Sedimento

As variações dos sedimentos que compõem o fundo marinho são produto de processos geológicos e físicos, químicos e biológicos. Estas variações ocorrem de forma espacial e temporal, em escalas distintas. Com isso, os tipos de grãos encontrados, seu grau de selecionamento, teor de carbonato, diâmetro médio e

outras características sedimentares são produto dos múltiplos processos atuantes no meio (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

A BS apresenta, de forma geral, predominância de sedimentos de granulometria fina, onde a fração lamosa está diretamente associada a alterações batimétricas. No entanto, na plataforma interna observa-se uma tendência de aumento da granulometria do sedimento (PETROBRAS/ICF, 2010). O estudo de caracterização da Bacia de Santos mostrou um predomínio de silte e argila (90,1% das amostras), sendo 89,2% das amostras compostas por silte e 0,9% de argila (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

Nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon e do DP de Baúna e Piracaba, observa-se que a fração granulométrica predominante em todas as campanhas foi areia muito fina na maioria das estações amostradas, seguida por estações com maiores contribuições de silte e areia fina (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014c, 2014d). Nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba SP3, a fração predominante também foi areia muito fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015). De forma geral, observa-se que os sedimentos na região de estudo apresentam um pobre selecionamento granulométrico nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon e do poço Piracaba SP3 e moderadamente selecionado nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, característica comum em ambientes de pouca energia tais como regiões oceânicas, com maior participação das frações mais finas, sugerindo a inexistência de um mecanismo de transporte eficiente, resultando numa tendência deposicional dos grãos.

Os teores de carbonatos ao contrário, apresentaram significativa variação entre as campanhas de monitoramento já realizadas no TLD de Tiro & Sidon. Na primeira campanha de monitoramento em 2009 os valores de carbonato estiveram entre 13,69% e 33,78%, na segunda entre 33,23% e 46,02%, na terceira campanha, o teor de carbonatos variou entre 7,60% e 13,23%, e na quarta variou entre 8,20 e 14,00% (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a). Na campanha de pré-perfuração do poço Piracaba-SP3, as concentrações de carbonato variaram entre 8,40 e 15,40% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b) e na campanha de pós-

perfuração variaram entre 22,00 e 26,67% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Na primeira e segunda campanha de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, os valores de carbonato variaram entre 8,20 e 14,33% e entre 3,47 e 26,00%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d).

A Tabela III.2-1 apresenta a síntese dos resultados obtidos para carbono orgânico total (COT), matéria orgânica total (MOT), nitrogênio total e fósforo total nas quatro campanhas de monitoramento realizadas no TLD de Tiro & Sidon, na porção mais ao sul da Bacia de Santos, nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba-SP3 e nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba. As concentrações desses parâmetros apresentaram ampla variação entre as campanhas de monitoramento. As concentrações de MOT e COT variaram entre não detectado e 8,10% e de não detectado e 3,23%, respectivamente. Já as concentrações de nitrogênio total variaram entre 47,94 e 2.913,20 mg/kg, enquanto que as de fósforo total variaram entre 97,00 e 1.742,40 mg/kg.

**Tabela III.2-1** – Concentrações de COT, MOT, N e P totais encontrados em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.

Campanha	MOT (%)		COT (%)		Nitrogênio total (mg / kg)		Fósforo total (mg / kg)	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
<b>C1 TLD T&amp;S<sup>1</sup></b>	0,34	1,07	0,19	0,61	353,80	2.615,60	478,60	763,40
<b>C2 TLD T&amp;S<sup>2</sup></b>	0,60	1,32	0,35	0,77	1.023,20	2.913,20	848,30	1712,40
<b>C3 TLD T&amp;S<sup>3</sup></b>	0,62	1,61	0,36	0,93	47,94	164,08	176,25	352,69
<b>C4 TLD T&amp;S<sup>4</sup></b>	n.d.	8,10	n.d.	3,23	202,13	522,33	180,67	343,33
<b>C1 Piracaba SP3<sup>5</sup></b>	n.d.	1,03	n.d.	1,03	205,33	640,83	97,00	221,00
<b>C2 Piracaba SP3<sup>6</sup></b>	2,80	4,13	0,10	1,19	141,40	649,23	419,03	792,93
<b>C1 DP B&amp;P<sup>7</sup></b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	316,33	595,67	287,33	528,33
<b>C2 DP B&amp;P<sup>8</sup></b>	2,60	3,73	0,10	0,87	111,50	438,40	455,27	691,33

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2011a); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2011b); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014a); 5 = Petrobras/Bourscheid (2014b); 6 = Petrobras/Bourscheid (2015); 7 = Petrobras/Bourscheid (2014c); 8 = Petrobras/Bourscheid (2014d).

Com relação aos metais, observa-se que, de forma geral, as concentrações destes parâmetros seguem a distribuição esperada para ambientes naturais (LACERDA; MARINS, 2006), obedecendo a seguinte classificação: Fe > Al > Mn > Ba > Zn > V > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd > Hg (Tabela III.2-2).

**Tabela III.2-2** – Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.

Fonte		Alumínio	Bário	Cromo	Cobre	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
C1 TLD Tiro & Sidon <sup>1</sup>	Mín	3.939,00	8,53	9,27	2,97	9.652,00	164,80	4,58	2,92	9,88	17,22
	Máx	12.326,00	33,96	13,67	5,53	14.813,00	413,10	7,46	5,29	19,40	27,32
C2 TLD Tiro & Sidon <sup>2</sup>	Mín	9.264,74	11,79	11,42	3,17	12.984,00	160,42	5,57	3,27	15,91	21,33
	Máx	13.839,30	69,87	14,95	4,83	16.776,00	641,21	8,90	4,88	20,82	27,72
C3 TLD Tiro & Sidon <sup>3</sup>	Mín	8.591,07	10,39	12,07	3,85	11.963,00	136,46	7,96	2,27	15,81	23,25
	Máx	12.710,20	35,60	21,38	5,55	19.909,00	528,12	12,03	4,08	24,13	36,56
C4 TLD Tiro & Sidon <sup>4</sup>	Mín	4.426,67	14,63	7,41	0,18	7.286,67	272,33	5,29	n.d.	12,87	18,50
	Máx	9.946,67	58,67	11,33	1,29	14.066,67	545,33	7,82	n.d.	20,93	26,90
C1 Piracaba SP3 <sup>5</sup>	Mín	2.516,67	11,97	7,34	0,55	5.850,00	309,33	5,18	n.d.	9,87	16,80
	Máx	3.720,00	43,90	9,75	4,59	8.753,33	525,67	8,11	1,79	13,50	23,70
C2 Piracaba SP3 <sup>6</sup>	Mín	2.360,00	15,00	9,59	1,62	6.210,00	305,00	5,58	n.d.	10,53	17,80
	Máx	6.496,67	909,27	13,30	2,89	11.166,67	523,67	8,06	n.d.	19,83	24,93
C1 DP B&P <sup>7</sup>	Mín	3.993,33	8,93	8,67	n.d.	8.863,33	378,33	3,63	3,20	10,07	17,33
	Máx	4.696,67	15,33	10,23	n.d.	10.413,33	536,33	5,73	3,80	45,33	21,00
C2 DP B&P <sup>8</sup>	Mín	2.423,33	18,00	8,93	1,90	5.866,67	323,33	5,73	n.d.	10,53	17,33
	Máx	4.506,67	27,00	13,67	2,47	9.300,00	463,33	7,03	n.d.	16,67	23,33

Fonte: 1. Petrobras/Analytical Solutions, 2011a / 2. Petrobras/Analytical Solutions, 2011b / 3. Petrobras/Analytical Solutions, 2013 / 4. Petrobras/Bourscheid, 2014a / 5. Petrobras/Bourscheid, 2014b / 6. Petrobras/Bourscheid, 2015 / 7. Petrobras/Bourscheid, 2014c / 8. Petrobras/Bourscheid, 2014d.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) que variaram entre não detectado e 24,72 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014c, 2014d). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de HTP's entre 2,27 mg/kg a 10,83 mg/kg. PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS (2002) também mostraram um aumento nos níveis de HTP's nos sedimentos mais próximos à costa, onde as concentrações variam de 0,4 até 127,6 mg/kg (média de 6,76 mg/kg  $\pm$  14,16 mg/kg). Nas campanhas de monitoramento do Poço Piracaba SP3, as concentrações de HTP's foram encontradas apenas em 3 amostras da primeira campanha, variando de 10,93 a 129,99 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b) e em 5 amostras da segunda campanha, variando entre 1,62 e 24,43 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

As concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) observadas em estudos na região apresentaram valores entre 0,0002 e 0,13 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002) e 0,0018 mg/kg e 0,37 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a). No entanto, também há registros em que nenhum dos pontos amostrados a concentração de HPA's superou o limite de detecção do método de análise (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2015). Já para os parâmetros de mistura complexa não resolvida (MCNR) e n-alcanos, salvo algumas exceções, todas as concentrações estiveram abaixo do limite de detecção dos métodos de análise em laboratório. Nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba SP3 foram detectadas concentrações de MCNR variando de 10,89 a 102,23 mg/kg e de 0,15 a 14,45 mg/kg, respectivamente, e de n-alcanos variando de não detectado a 13 mg/kg e de 0,61 e 267,46 mg/kg, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015)

### **III.2.2 - Macrofauna Bentônica**

De acordo com o EIA/RIMA para o Desenvolvimento da Produção de Petróleo do Bloco BM-S-40, Área de Tiro & Sidon, Bacia de Santos, para a região Sul-

Sudeste onde está localizado o Bloco BM-S-40 as famílias de bentos que se destacam são: Turridae, Epitoniidae, Eulimidae, Trochidae, Marginellidae, Muricidae, Barleeidae, Olividae e Seguenziidae. As espécies que apresentam destaque são: *Seguenzia hapala*, *Amphissa cancellata*, *Brookula conica*, *Kurtziella serga*, *Drilliola loprestiana*, *Solariella lúbrica*, *Siphonochelus riosi*, *Amphissa cancellata* e *Rimosodaphnella morra* (PETROBRAS/ICF, 2010).

A comunidade bentônica da primeira campanha de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon foi composta por 73 táxons, sendo possível identificar seis filos: Annelida, Arthropoda, Echinodermata, Mollusca, Nematoda e Sipuncula. A riqueza específica variou entre 28 e 55 táxons. Em geral, o filo Annelida foi o que contribuiu com o maior número de espécies, além do filo Mollusca e Arthropoda, ambos com menores contribuições (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a).

A densidade total verificada para a campanha foi de 10.047,2 ind/m<sup>2</sup>, com valores máximo e mínimo de 635,56 ind/m<sup>2</sup> e 334,44 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente. O filo Mollusca foi o que apresentou maior percentual de contribuição nas amostragens, ou seja, apresentou a maior abundância de organismos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a).

O índice de diversidade apresentou valor máximo e mínimo igual a 4,68 e 3,50 bits/ind, com média de 4,30 bits/ind. A equitabilidade variou de 0,73 a 0,82, com média de 0,78 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a).

Em relação à segunda campanha de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon, foram encontrados 123 táxons, pertencentes a seis filos: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Cnidaria, Echinodermata e Mollusca. A riqueza específica apresentou valor mínimo igual a 39 táxons e máximo de 65 táxons.

O filo Annelida e Mollusca foram os que contribuíram com o maior número de táxons, sendo assim os que apresentam a maior riqueza. O filo Echinodermata foi o que apresentou menor contribuição (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011b).

A densidade total da macrofauna bentônica registrada para a campanha foi de 108.191,67 ind/m<sup>2</sup>, apresentando valor máximo igual a 10.383,00 ind/m<sup>2</sup> e mínimo igual a 2.541,67 ind/m<sup>2</sup>. A densidade média foi de 5.151,98 ind/m<sup>2</sup> (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011b).

O índice de diversidade apresentou valor máximo e mínimo de 4,32 bits/ind e 3,44 bits/ind, respectivamente. A média verificada para a campanha foi de 3,90 bits/ind. Já os valores de equitabilidade variaram entre 0,79 e 0,96, com média de 0,88 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011b).

Na terceira campanha de monitoramento do TLD de Tiro e Sidon foram registrados 124 táxons, os quais se distribuíram nos seguintes seis filos: Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Cnidaria, Echinodermata e Mollusca.

O filo Mollusca contribuiu com 45% do total de táxons (61 táxons), enquanto o filo Annelida contribuiu com 35% (40 táxons), Arthropoda com 10% (11 táxons), Bryozoa com 4% (5 táxons) e Cnidaria e Echinodermata com 3% cada (3 táxons cada) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2013).

Em relação à riqueza, essa obteve valor mínimo igual a 32 táxons e máximo igual a 66 táxons. O filo Annelida contribuiu com o maior número de táxons entre as amostragens (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2013).

A densidade média registrada para a campanha foi de  $9.853,97 \pm 3.536,54$  ind/m<sup>2</sup>, a densidade máxima foi de 16.183,33 ind/m<sup>2</sup> e a mínima de 4.266,67 ind/m<sup>2</sup>. Os maiores valores para diversidade e equitabilidade foram de 5,15 bits/ind e 0,94, respectivamente; já os menores valores obtidos foram de 3,84 bits/ind e 0,83 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2013).

A comunidade bentônica da quarta campanha de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon foi composta por 70 táxons, sendo possível identificar sete filos: Annelida, Arthropoda, Mollusca, Nematoda, Sipuncula, Nemertea e Nematomorpha. A riqueza específica variou entre 11 e 27 táxons. Em geral, o filo Annelida foi o que contribuiu com o maior número de espécies, além do filo Arthropoda e Nemertini, ambos com menores contribuições (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a).

A densidade média verificada para a campanha foi de 468,68 ind/m<sup>2</sup>, com valores máximo e mínimo de 1.064 ind/m<sup>2</sup> e 176 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente. O filo Annelida foi o que apresentou maior percentual de contribuição nas amostragens, ou seja, apresentou a maior abundância de organismos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a).

O índice de diversidade apresentou valor médio de 1,87 bits/ind, enquanto que a equitabilidade apresentou média de 0,95 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a).

A comunidade bentônica da primeira campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3 (fase de pré-perfuração) foi composta por 71 táxons, sendo possível identificar seis filos: Annelida, Arthropoda, Mollusca, Nemertini, Nematoda e Sipuncula. A riqueza específica variou entre 5 e 23 táxons. Em geral, o filo Annelida foi o que contribuiu com o maior número de espécies, além do filo Mollusca e Arthropoda, ambos com menores contribuições (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b).

A densidade média verificada para a campanha foi de  $481,69 \pm 253,06$  ind/m<sup>2</sup>, com valores máximo e mínimo de 2.434 ind/m<sup>2</sup> e 308 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente. O filo Annelida foi o que apresentou maior percentual de contribuição nas amostragens, ou seja, apresentou a maior abundância de organismos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b).

O índice de diversidade apresentou valor máximo e mínimo igual a 2,21 e 0,73 bits/ind, com média de 1,84 bits/ind. A equitabilidade variou de 0,67 a 0,99, com média de 0,67 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b).

A comunidade bentônica da segunda campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração) foi composta por 46 táxons, sendo possível identificar sete filos: Annelida, Arthropoda, Mollusca, Nemertini, Nematoda, Sipuncula e Echinodermata. A riqueza específica variou entre 8 e 18 táxons. Em geral, o filo Annelida foi o que contribuiu com o maior número de espécies, além do filo Mollusca e Arthropoda, ambos com menores contribuições (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

A densidade média verificada para a campanha foi de  $1.023 \pm 297$  ind/m<sup>2</sup>, com valores máximo e mínimo de 1.640 ind/m<sup>2</sup> e 486 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente. O filo Annelida foi o que apresentou maior percentual de contribuição nas amostragens, ou seja, apresentou a maior abundância de organismos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

O índice de diversidade apresentou valor máximo e mínimo igual a 1,84 e 0,93 bits/ind, com média de 1,48 bits/ind. A equitabilidade variou de 0,64 a 1,00, com média de 0,94 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

Na primeira campanha de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, foram registrados 70 táxons, os quais se distribuíram nos seguintes seis filos: Nemertea, Nematoda Annelida, Sipuncula, Mollusca e Crustacea. O filo com maior número de taxa foi Annelida, com riqueza média de  $16 \pm 2,5$  taxa. Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram média máxima de  $1 \pm 0,2$  (Arthropoda) e mínima de  $0,1 \pm 0,1$  (Mollusca e Nematoda). (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c).

Em relação à riqueza, foi registrado valor mínimo igual a 9 táxons e máximo igual a 30 táxons. O filo Annelida contribuiu com o maior número de táxons entre as amostragens (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c).

A densidade média registrada para a campanha foi de  $122 \pm 22$  ind/m<sup>2</sup>. Os maiores valores para diversidade e equitabilidade foram de 4,68 bits/ind e 0,97, respectivamente; já os menores valores obtidos foram de 2,99 bits/ind e 0,89 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c).

Em relação à segunda campanha de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, foram encontrados 40 táxons, pertencentes a sete filos: Arthropoda, Nemertini, Echinodermata, Sipincula, Mollusca, Nematoda e Annelida. A riqueza específica apresentou valor mínimo igual a 16 táxons e máximo de 29 táxons.

O filo Annelida e Arthropoda foram os que contribuíram com o maior número de táxons, sendo assim os que apresentam a maior riqueza. Os filos Echinodermata e Mollusca foram os que apresentaram menor contribuição (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014d).

A densidade média da macrofauna bentônica registrada para a campanha foi de  $486,50 \pm 149,48$  ind/m<sup>2</sup>, apresentando valor máximo igual a 739,33 ind/m<sup>2</sup> e mínimo igual a 294,33 ind/m<sup>2</sup> (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014d).

O índice de diversidade apresentou valor máximo e mínimo de 2,12 bits/ind e 1,54 bits/ind, respectivamente. A média verificada para a campanha foi de 1,88 bits/ind. Já os valores de equitabilidade variaram entre 0,90 e 0,99, com média de 0,95 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014d).

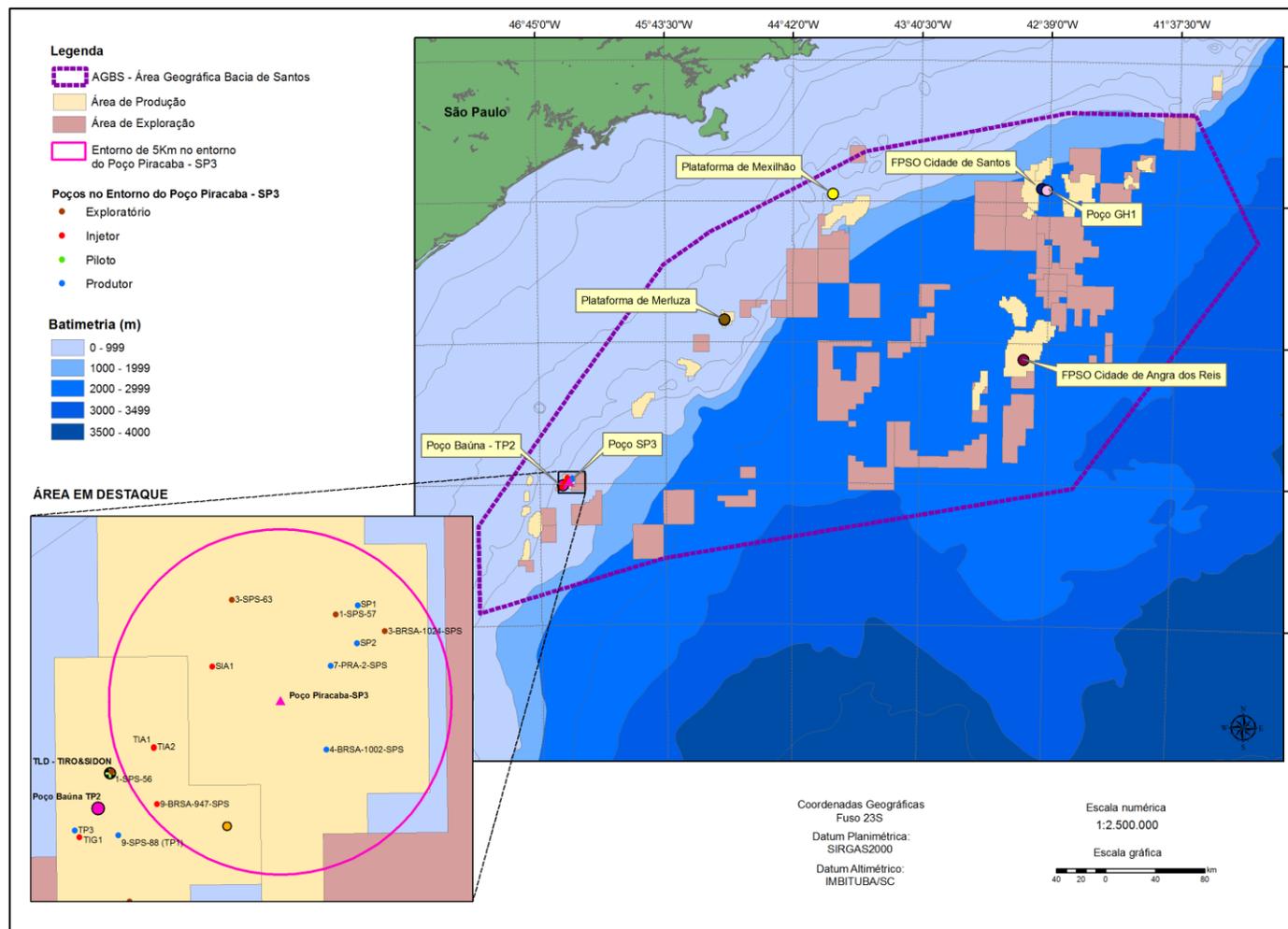
### **III.3 - HISTÓRICO DA ATIVIDADE**

A Petrobras conta, atualmente, com uma licença ambiental para perfuração de 120 poços por ano na área denominada Área Geográfica Bacia de Santos (AGBS). Esta área é constituída pelos campos explorados pela Petrobras e áreas de concessão para exploração, com a extensão de 40.663 km<sup>2</sup> em lâmina d'água de até 2.500 metros. Conforme acordado com o órgão ambiental licenciador, e conforme descrito no Estudo de Impacto Ambiental para a atividade de perfuração marítima na Área Geográfica Bacia de Santos (PETROBRAS/ICF/BMA, 2006), foi estabelecida, como medida de monitoramento ambiental da atividade de perfuração, a necessidade de realização do monitoramento da qualidade do sedimento e comunidade bentônica no entorno de dois poços representativos por ano, sendo o poço Piracaba-SP3 um dos poços selecionados para o primeiro ano do projeto.

O poço Piracaba-SP3, perfurado no atual Campo de Piracaba, integra o sistema de desenvolvimento da produção nos Campos de Baúna e Piracaba, Bloco BM-S-40 (DP de Baúna e Piracaba). Segundo o Relatório de Sustentabilidade (PETROBRAS, 2011), tais campos, descobertos em 2008, tem capacidade de produção de 80 mil bpd e 2 milhões de m<sup>3</sup>/dia de gás. Os dados iniciais apresentavam volumes recuperáveis estimados em 23,85 milhões de m<sup>3</sup> (150 milhões de barris de óleo equivalente).

Além do DP de Baúna e Piracaba, atualmente já instalado e operando por meio da unidade FPSO Cidade de Itajaí, a área á foi explorada anteriormente, através do Teste de Longa Duração (TLD) de Tiro & Sidon, cuja operação foi realizada através da plataforma SS-11, entre os anos de 2009 e 2012. Outras perfurações também já foram realizadas na área. No entorno do Poço Piracaba-SP3, em um raio de 5 km, existem 12 poços: 9-BRSA-947-SPS, TIA1, TIA2, SIA1, SPS-63, 3-SPS-63, SP1, 1-SPS-57, 3-BRSA-1024-SPS, SP2, 7-PRA-2-SPS e 4-BRSA-1002-SPS (Figura III.3-1).

Os poços 9-BRSA-947-SPS, TIA1, TIA2, SIA1 e SPS-63 são injetores de água, enquanto os poços 3-SPS-63, 1-SPS-57 e 3-BRSA-1024-SPS são exploratórios. Os poços SP1, SP2, 7-PRSA-2-SPS e 4-BRSA-1002-SPS são produtores (PETROBRAS/ICF, 2010 e dados fornecidos pela Petrobras).

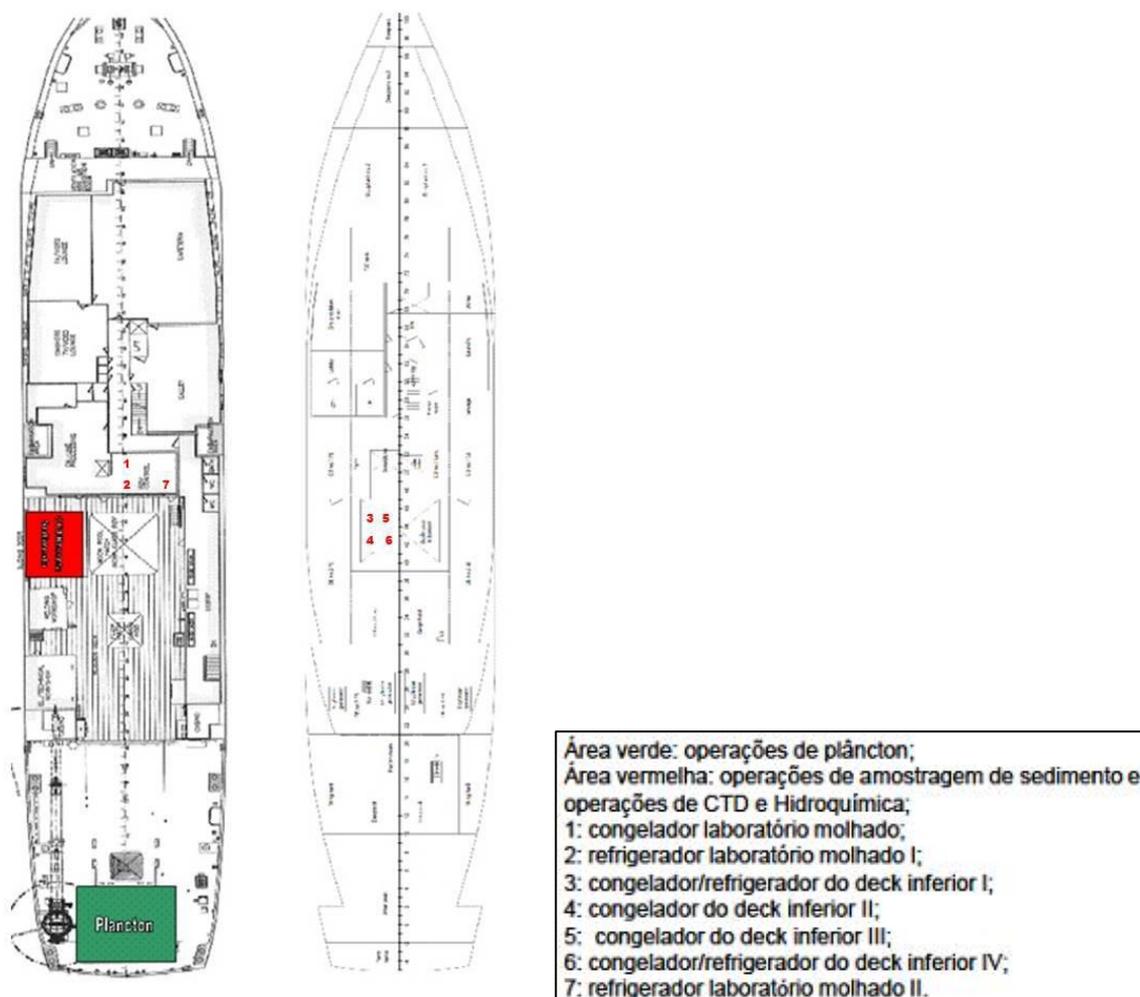


**Figura III.3-1** – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço Piracaba-SP3 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.

## **IV - MATERIAL E MÉTODOS**

### **IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO**

Durante a campanha, realizada entre os dias 12 e 14 de fevereiro de 2014 a bordo do navio de pesquisa MV *Kommandor* (Figura IV.1-1), foram coletadas amostras de sedimento para análise físico-química e dos organismos bentônicos associados em 16 estações no entorno do local onde foi perfurado poço Piracaba-SP3, em local com profundidade aproximada de 270 metros. O trânsito rumo à primeira estação SP3\_8 foi iniciado às 18h04min do dia 12/02/2014. As amostragens foram finalizadas às 03h04min do dia 14/02/2014 na estação SP3\_16R.



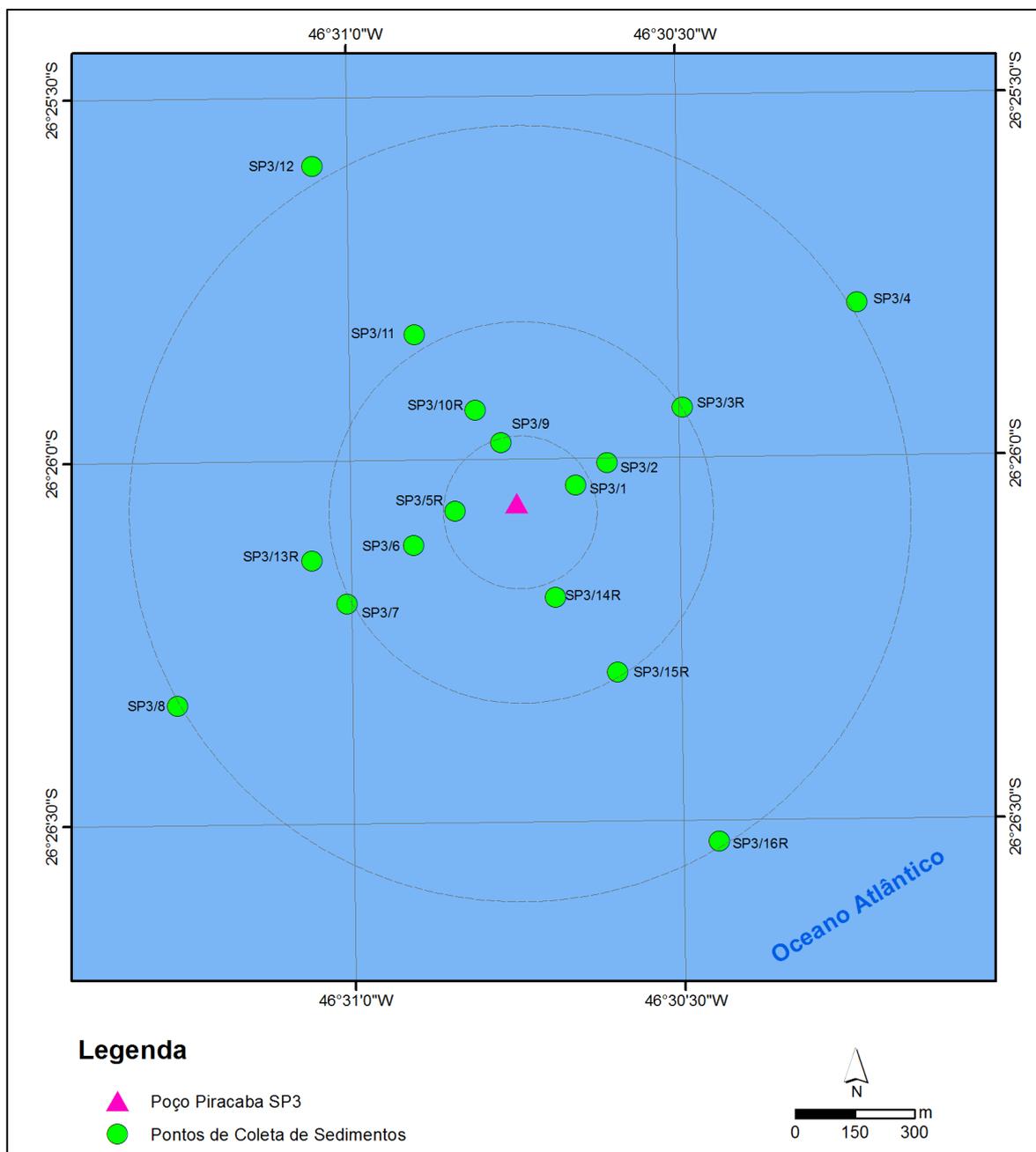
Fonte: Relatório Técnico de Bordo Gardline (RL-3A00.00-5521-996-GB1-005B.pdf).

**Figura IV.1-1** – Diagrama do MV Kommandor.

As estações de coleta foram dispostas em quatro círculos concêntricos ao redor da futura localização do poço, com raios de 100, 250, 500 e 1.000 m. Em cada raio foram posicionadas quatro estações dispostas perpendicularmente entre si. As estações foram orientadas de maneira que um dos eixos estivesse paralelo às linhas batimétricas e o outro, perpendicular. A Figura IV.1-2 apresenta o mapa da malha amostral realizada durante a campanha.

As coordenadas definidas para as estações amostrais da campanha podem ser observadas na Tabela IV.1-1, onde também constam as coordenadas das estações reposicionadas. Vale ressaltar que as estações SP3\_5, SP3\_13, SP3\_14, SP3\_15 e SP3\_16 foram reposicionadas em função da proximidade de obstáculos observados no SGO – Sistema de Gerenciamento de Obstáculos,

tendo sido renomeadas para SP3\_5R, SP3\_13R, SP3\_14R, SP3\_15R e SP3\_16R.



**Figura IV.1-2** – Malha amostral com as coordenadas executadas para coleta de sedimentos na atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.

**Tabela IV.1-1** – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045º) das estações amostrais previstas e reposicionadas da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.

Estações	Coordenadas Originais		Reposicionamentos	
	Norte	Este	Norte	Este
SP3/1	7075373,53	349338,32	-	-
SP3/2	7075430,38	349417,02	-	-
SP3/3R	7075571,73	349607,19	-	-
SP3/4	7075840,00	350048,00	-	-
SP3/5R	7075276,00	349103,00	7075307,33	349034,09
SP3/6R	7075220,00	348929,00	-	-
SP3/7	7075070,00	348761,00	-	-
SP3/8	7074811,00	348333,00	-	-
SP3/9	7075480,74	349149,49	-	-
SP3/10	7075563,55	349084,24	-	-
SP3/11	7075756,00	348931,00	-	-
SP3/12	7076184,00	348672,00	-	-
SP3/13R	7075242,00	349240,00	7075179,82	348672,00
SP3/14R	7075113,00	349317,00	7075087,63	349286,92
SP3/15R	7074898,00	349445,00	-	-
SP3/16R	7074469,00	349701,00	-	-

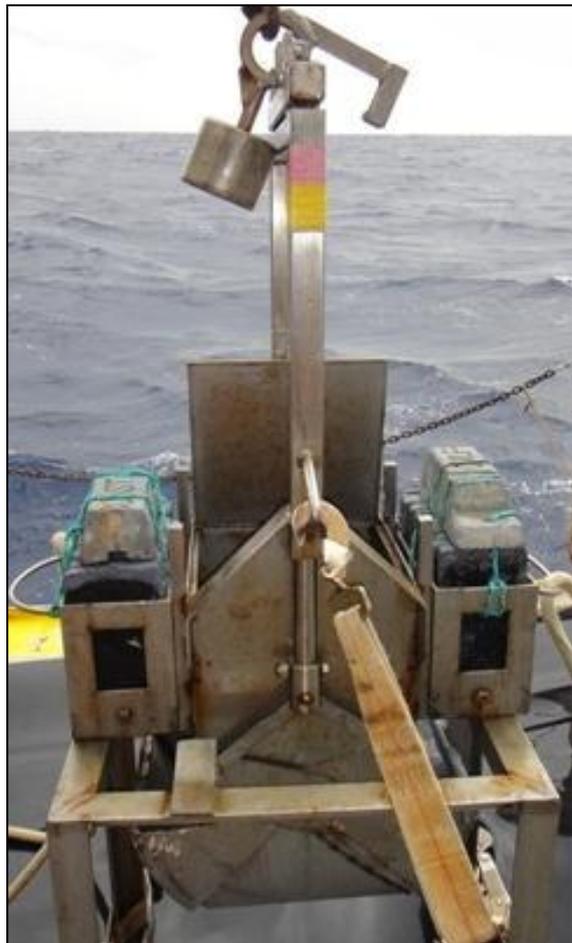
As amostragens foram realizadas em triplicata (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem. As coordenadas de coleta de cada uma das réplicas são apresentadas no Tabela IV.1-2.

**Tabela IV.1-2 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045º) das réplicas (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.**

Estações	Coordenadas Coletadas UTM					
	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
SP3_1	7075364,60	349342,35	7075363,83	349340,59	7075363,16	349344,04
SP3_2	7075427,63	349422,64	7075424,72	349420,61	7075424,39	349421,75
SP3_3R	7075561,28	349603,31	7075558,16	349601,73	7075558,71	349603,58
SP3_4	7075832,51	350041,99	7075833,28	350040,70	7075831,95	350042,65
SP3_5R	7075297,84	349025,30	7075295,54	349031,01	707529,01	349030,54
SP3_6R	7075211,24	348924,58	7075209,79	348922,79	7075212,63	348921,38
SP3_7	7075061,56	348758,40	7075060,36	348754,43	7075061,42	348749,09
SP3_8	7074794,49	348332,39	7074797,41	348325,25	7074799,54	348326,00
SP3_9	7075471,09	349145,41	7075470,07	349149,39	7075469,59	349148,57
SP3_10	7075548,68	349087,92	7075549,33	349087,82	7075549,91	349086,25
SP3_11	7075754,73	348928,00	7075755,77	348929,36	7075756,34	348931,44
SP3_12	7076181,38	348667,68	7076179,73	348666,13	7076179,88	348665,03
SP3_13R	7075172,26	349333,53	7075171,38	349334,63	7075171,44	349330,56
SP3_14R	7075081,49	349332,05	7075085,90	349330,81	7075084,35	349329,03
SP3_15R	7074946,49	349494,85	7074942,86	349498,39	7074943,61	349498,17
SP3_16R	7074543,38	349699,26	7074541,08	349697,93	7074540,08	349692,38

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento de amostras, empregados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3 estiveram em conformidade com as orientações recomendadas em reunião de pré-campanha e preconizadas em protocolo de coleta elaborado pelo CENPES/PDEDS/AMA (2009).

As amostragens de sedimento e de bentos foram realizadas utilizando o equipamento mini Box-corer 30 x 30 x 50 cm (Figura IV.1-3) com beacon acoplado ao cabo do amostrador, distante 30 m do mesmo.



**Figura IV.1-3** – Mini Box-corer 30 x 30 x 50 cm utilizado na coleta das amostras de sedimento da presente campanha.

As amostras coletadas foram destinadas à análise dos seguintes parâmetros:

- Teor de matéria orgânica total (MOT);
- Carbono orgânico total (COT);
- Teor de carbonatos;
- Granulometria;
- Nitrogênio total;
- Fósforo total;
- Metais (Fe, Al, Ba, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn, Ni, V, Hg e Mn);
- Hidrocarbonetos (HPA's, n-alcanos, MCNR e HTP's), e;
- Macrofauna bentônica.

Para iniciar a coleta das amostras, o amostrador era posicionado no convés e aberto para avaliação pelos técnicos responsáveis. Foram considerados os seguintes critérios para aceitação das amostras:

- Completo fechamento do amostrador;
- Sedimento não encostando na tampa do amostrador;
- Sedimento, em sua lateral menos profunda, com pelo menos 5 cm de profundidade;
- Distribuição homogênea do sedimento no interior do amostrador;
- Mínima perturbação do sedimento superficial;
- Profundidade de, no mínimo, 12 cm de sedimento, e;
- Espaço para distribuição dos mini-corers sobre a superfície não perturbada do sedimento.

Após a validação das amostras, foi medida a profundidade do sedimento no amostrador e inserido um termômetro de mercúrio nos primeiros 5 cm do sedimento para verificação da temperatura.

Além disso, foram realizados registros fotográficos do procedimento, assim como o registro fotográfico das características físicas do sedimento (coloração, aspecto e presença de organismos na superfície) e sifonamento do sobrenadante, quando necessário.

Os materiais retidos através do sifonamento, em puçá com malha de 300  $\mu$ m, foram transferidos para um pote plástico devidamente identificado e destinado ao armazenamento de amostra da macrofauna bentônica. Em seguida, foram sub-amostrados parâmetros físico-químicos e biológicos de sedimento para análise posterior em laboratório, iniciando-se sempre pelas amostras de hidrocarbonetos e metais.

Os corers de aço inoxidável e as colheres metálicas utilizadas para coleta de hidrocarbonetos foram descontaminados com acetona e n-hexano. Após isso, os mesmos foram embalados em papel alumínio para evitar contaminação. Para coleta de metais utilizou-se corers de PVC lavados com extran e colheres plásticas novas.

A distribuição esquemática dos corers no amostrador utilizado pode ser observada na Figura IV.1-4.



**Figura IV.1-4** – Esquema de distribuição dos corers no Box-corer (30 x 30 x 50 cm) para sub-amostragem dos parâmetros solicitados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.

A desmobilização da campanha ocorreu no dia 20/02/2014 no estaleiro Mac Laren – Niterói/RJ, com o envio de duas remessas de amostras aos laboratórios de análise. As amostras destinadas às análises de macrofauna bentônica foram encaminhadas ao Laboratório Lótica - Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S e as amostras destinadas às análises dos parâmetros físico-químicos foram enviadas para a empresa Ecolabor - Comercial Consultoria e Análises Ltda. O Quadro IV.1-1 apresenta os parâmetros coletados, com suas respectivas frações, formas de acondicionamento e preservação.

**Quadro IV.1-1** – Parâmetros, frações coletadas, forma de acondicionamento e preservação das amostras no compartimento sedimento e macrofauna bentônica, conforme procedimentos realizados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3.

Parâmetros	Fração	Acondicionamento	Preservação
<b>MOT / COT</b>	0-10 cm (1/2 corer 10x10x10 cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>Granulometria e carbonatos</b>	0-10 cm (1/2 corer 10x10x10 cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>Hidrocarbonetos</b>	0-2 cm (1 corer 10x10x2 cm)	Recipiente de alumínio	Congelamento
<b>Metais</b>	0-2 cm (1 corer 10x2 cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>N / P</b>	0-10 cm (1 corer 10x10x10 cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>Macrofauna bentônica</b>	0-10 cm (4 corers 10x10x10 cm)	8 potes plástico de 1L ou salvo exceções	Formol a 4%

## **IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO**

### **IV.2.1 - Matéria Orgânica Total (MOT) e Carbono Orgânico Total (COT)**

O tratamento prévio para descarbonatação da amostra consistiu na adição do ácido sulfúrico concentrado. A determinação de COT teve como base sua oxidação a CO<sub>2</sub> por íons dicromato, em meio fortemente ácido. A quantidade de íons Cr III reduzidos foi medida indiretamente por titulação dos íons dicromato em excesso, com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal, sendo o valor expresso em % de carbono. A metodologia de referência é Apostila de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais, 2<sup>o</sup>. ed. revisada e ampliada, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995 e EMBRAPA, 1997. Esta metodologia também foi validada para sedimento marinho.

A matéria orgânica foi obtida por calcinação a 550 °C (após descarbonatação) conforme metodologia SMEWW 22<sup>a</sup> Ed. - Método(s): 2540-B/C/D.

### **IV.2.2 - Carbonatos**

O teor de carbonato no sedimento foi determinado em uma alíquota lavada e seca de sedimento, com adição de solução de ácido clorídrico a 10% até que não haja mais reação pela observação da liberação de CO<sub>2</sub> em intervalos regulares. A amostra foi enxaguada, e depois de retirado o excesso de água, foi seca em estufa a 60°C. Depois, a amostra foi pesada.

A diferença percentual entre a massa inicial e a massa final da amostra expressa o teor de carbonatos existente. O método utilizado é parte da norma da CETESB utilizada para eliminação de carbonato – N.T. CETESB L6.160 nov/95.

### IV.2.3 - Granulometria

A análise granulométrica foi realizada por método mecânico, de modo a garantir a descrição de, pelo menos, 95% do peso inicial de cada amostra. A fração inferior a 63 micrometros foi separada por pipetagem e a fração superior, por peneiramento a seco. Tal metodologia foi baseada na Norma Técnica L6.160 da CETESB nov/95. Na Tabela IV.2-1 consta a escala Wentworth utilizada para classificação dos grãos.

**Tabela IV.2-1 – Escala de Wentworth utilizada para classificação dos grãos.**

TAMANHO DO GRÃO d(mm)	Escala Wentworth Ø	NOME DO MATERIAL
64 a 4	-6 a -2	seixos
4 a 2	-2 a -1	grânulos
2 a 1	-1 a 0	areia muito grossa
1 a 0,5	0 a 1	areia grossa
0,5 a 0,25	1 a 2	areia média
0,25 a 0,125	2 a 3	areia fina
0,125 a 0,063	3 a 4	areia muito fina
0,063 a 0,032	4 a 5	silte grosso
0,032 a 0,016	5 a 6	silte médio
0,016 a 0,008	6 a 7	silte fino
0,008 a 0,004	7 a 8	silte muito fino
0,004 e menor	8 e menor	argilas

### IV.2.4 - Nitrogênio Total

A determinação do nitrogênio Kjeldahl total - NKT em sedimentos consiste em três etapas: digestão, destilação e reação. Uma alíquota do sedimento “*in natura*” é digerida com ácido sulfúrico concentrado, sulfato de cobre e sulfato de potássio em bloco digestor até a temperatura de 380°C. Nesta etapa o nitrogênio orgânico é transformado em amônia. Após a digestão, que pode ser observada pela coloração levemente amarelada, a amostra é destilada em meio alcalino para liberação da amônia que é recebida em solução de ácido bórico.

A quantificação é realizada conforme o método de nitrogênio amoniacal, sendo que a faixa de calibração esteve entre 0,12 a 5000 mg/kg de N. O resultado obtido foi corrigido para base seca. O método analítico utilizado foi 4500 N org.

B/NH<sub>3</sub> C/NH<sub>3</sub> G, que é baseado no protocolo do SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22<sup>a</sup> Ed.

#### **IV.2.5 - Fósforo Total**

A determinação de fósforo total em sedimentos consistiu em duas etapas: digestão ácida e reação. Uma alíquota de sedimento “*in natura*” foi digerida com adição de ácidos inorgânicos. Numa primeira fase adicionou-se ácido nítrico e ácido sulfúrico concentrado, depois foi aquecido em chapa até digestão da matéria orgânica e, em seguida, adicionou-se ácido perclórico concentrado para finalizar a digestão completa da matéria orgânica. Após a digestão, seguiu a reação do fósforo pelo método molibdato de amônio/ácido ascórbico, método de referência 4500-P E do SMEWW. O princípio do método baseia-se na reação do molibdato de amônia e tartarato de antimônio e potássio com ortofosfato em meio ácido que, com a adição de ácido ascórbico, forma um complexo de azul de molibdênio, cuja intensidade é lida no espectrofotômetro de absorção visível, no comprimento de onda 880 nm.

#### **IV.2.6 - Metais**

Os metais alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (Pb), vanádio (V) e zinco (Zn) foram determinados através de digestão ácida com ácido nítrico e tratamento para eliminação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio e ácido clorídrico, seguida de espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido (ICP-OES). As metodologias utilizadas foram baseadas nos métodos 3051A e 6010C da USEPA SW 846.

O mercúrio (Hg) foi analisado através da digestão ácida, adicionado de cloridrato de hidroxilamina e filtrado, e análise em espectrômetro de absorção atômica com geração de vapor frio (CV-AAS), após redução com borohidreto de sódio. A metodologia utilizada foi baseada no método 7471B da USEPA SW 846.

Os metais em sedimentos foram digeridos através de abertura parcial das amostras.

#### **IV.2.7 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's)**

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) foram analisados conforme protocolo da United States Environmental Protection Agency – USEPA, métodos 8270D, EPA 3550C – extração ultrassônica e EPA 3630C – Silica gel *Clean up* (modificado). Inicialmente, as amostras foram secas em estufa a 40°C até obtenção de peso constante, e adicionadas de mistura de *surrogates* (traçadores 2-fluorbinila e terfenil-d14) para avaliação da eficiência do processo de extração, realizado com diclorometano. Após repouso, resfriamento e concentração da amostra, a mesma foi fracionada em coluna de sílica gel, com a fração aromática recolhida com eluição de mistura de diclorometano: n-hexano 3:1.

Padrões internos e/ou externos deuterados foram adicionados à amostra para quantificação de HPA's, realizada através de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (CG-MS) com monitoramento seletivo de íons dos 16 HPA's prioritários da USEPA. Para análise dos HPA's alquilados, o extrato foi novamente analisado, porém, com a aquisição em varredura cíclica de íons. Os padrões internos utilizados na determinação de HPA's foram: Naftaleno d8; Acenafteno d10; Fenantreno d10; Criseno d12 e Perileno d12.

Além do uso dos traçadores e padrões internos e/ou externos, foi realizado o controle de qualidade das análises de HPA's através da análise de um branco a cada 20 amostras analisadas. Ressalta-se novamente que todos os padrões analíticos são certificados e rastreáveis.

#### **IV.2.8 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)**

A determinação dos HTP's, n-alcanos e MCNR da série C10 a C40 foi realizada de acordo com as metodologias EPA 3550C – extração ultrassônica,

EPA 3630C – Silica gel *Clean up* (modificado) e EPA 8015D – *Nonhalogenated Organics Using* CGFID. A preparação das amostras seguiu o mesmo procedimento dos HPA's, com extrato final filtrado em funil contendo leito de sílica gel, para remoção de possíveis compostos polares, como esteróis e ácidos orgânicos. Após concentração, a amostra foi analisada por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG-FID).

Na determinação de HTP's, n-alcanos e MCNR foram utilizados os seguintes padrões: padrão para calibração de uma mistura de n-alcanos de n-C10 a n-C40 mais pristano e fitano da marca Accustandard, lote 2120441086, referência DRH-008S-R2. Como traçadores foram utilizados as substâncias n-eicosano d42 e n-tetracosano d50.

A MCNR foi analisada através da quantificação do aumento relativo da linha de base do cromatograma, proveniente dos compostos não resolvidos cromatograficamente em elevado nível de degradação, quantificada diretamente pelo padrão n-C24 deuterado.

Os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) foram quantificados pela soma dos n-alcanos, MCNR e compostos resolvidos cromatograficamente e não identificados como n-alcanos, referenciados nos laudos laboratoriais como mistura complexa resolvida (MCR), mas chamados neste relatório de hidrocarbonetos resolvidos de petróleo (HRP).

Além do uso dos traçadores e padrões internos e/ou externos, foi realizado o controle de qualidade através da análise de um branco a cada 20 amostras analisadas.

A Tabela IV.2-2 apresenta uma síntese dos métodos analíticos utilizados para as análises físico-químicas do sedimento.

**Tabela IV.2-2 – Resumo dos métodos utilizados, com os respectivos limites de quantificação e detecção, para os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.**

<b>ANÁLISE DE SEDIMENTO</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Limites de Quantificação (LQ)</b>	<b>Limites de Detecção (LD)</b>	
Carbonatos	N.T. CETESB L6.160	0,3%	0,1%	
Nitrogênio Total	SMEWW 4500 N org. B / NH <sub>3</sub> C / NH <sub>3</sub> G	109 mg N/kg	30 mg N/kg	
Fósforo	SMEWW 4.500-P E	26 mg P/kg	9 mg P/kg	
Granulometria	N.T. CETESB L6.160 Método mecânico	#	#	
COT	Oxidação com Dicromato de potássio – IAC	0,3%C	0,1%C	
MOT	SMEWW 2540-B/C/D	0,3%	0,1%	
Metais	Alumínio (Al)	USEPA SW 846 EPA 3051A EPA 6010C	19,7 mg Al/kg	6,2 mg Al/kg
	Bário (Ba)		2,1 mg Ba/kg	0,7 mg Ba/kg
	Cádmio (Cd)		0,4 mg Cd/kg	0,1 mg Cd/kg
	Cromo (Cr)		1,7 mg Cr/kg	0,5 mg Cr/kg
	Cobre (Cu)		1,1 mg Cu/kg	0,4 mg Cu/kg
	Ferro (Fe)		8,1 mg Fe/kg	2,6 mg Fe/kg
	Níquel (Ni)		1,0 mg Ni/kg	0,3 mg Ni/kg
	Manganês (Mn)		0,7 mg Mn/kg	0,2 mg Mn/kg
	Chumbo (Pb)		2,5 mg Pb/kg	0,8 mg Pb/kg
	Vanádio (V)		0,5 mg V/kg	0,1 mg V/kg
	Zinco (Zn)		1,0 mg Zn/kg	0,3 mg Zn/kg
Mercúrio (Hg)	USEPA SW 846 EPA 7471B	0,038 mg Hg/kg	0,012 mg Hg/kg	
HPA's	Acenafteno	EPA 8270D, EPA 3550C	0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Acenaftileno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Antraceno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (a) antraceno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (a) pireno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Benzo (b) fluoranteno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (g,h,i) perileno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Benzo (k) fluoranteno		0,1 µg/kg	0,05 µg/kg
	Criseno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Dibenzo (a,h) antraceno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Fenantreno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Fluoranteno		0,1 µg/kg	0,03 µg/kg

## ANÁLISE DE SEDIMENTO

Parâmetros		Método analítico	Limites de Quantificação (LQ)	Limites de Detecção (LD)
HPA's	Fluoreno	EPA 8270D, EPA 3550C	0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Indeno (1,2,3-cd) pireno		0,1 µg/kg	0,05 µg/kg
	Naftaleno		0,1 µg/kg	0,03 µg/kg
	2 – metil-naftaleno		1,0 µg/kg	0,5 µg/kg
	Pireno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
HTP's, n-alcanos e MCNR		EPA 3550C, EPA 8015D	# # #	# # #

#### IV.2.9 - Macrofauna Bentônica

As análises da macrofauna bentônica foram realizadas pelo laboratório LÓTICA Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental onde as amostras foram lavadas cuidadosamente em peneiras sobrepostas, com malhas de 300 e 500 µm. O material foi triado sob microscópio estereoscópico e os organismos encontrados foram separados em grandes grupos e conservados em álcool a 70%.

Posteriormente, com auxílio de microscópio estereoscópico, os organismos foram identificados, primeiramente ao nível de família, com posterior identificação ao menor nível taxonômico possível, principalmente para os grupos mais abundantes da endofauna bentônica, e quantificados de acordo com os níveis taxonômicos identificados.

Importante destacar que, do filo Mollusca, foram considerados apenas organismos que apresentavam corpo mole no interior das conchas, ou seja, conchas vazias não foram consideradas.

Para a identificação dos macroinvertebrados marinhos bentônicos foram consultadas as obras dos autores Amaral & Nonato (1982a, 1982b, 1984, 1994, 1996), Amaral *et al.* (2005), Bowman e Gruner (1973), Cutler & Cutler (1980), Ditadi & Migotto (1982), Garraffoni & Lana (2003), Kinsley & Koenig (1978), Kensley (1982), Melo (1996, 1999), Montú (1998), Pires-Vanin (1998), Rios (2009), Rizzo & Amaral (2007), Rouse & Pleijel (2001) e Thomé *et al.* (2010).

Após a identificação, as amostras de macrofauna bentônica foram tombadas junto ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), instituição fiel depositária das amostras de macrofauna bentônica coletadas pelo Projeto de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Santos. A carta de aceite da instituição consultada e a carta de tombamento são apresentadas no Anexo IX-1. No Anexo IX-2 são apresentadas as cartas de destinação de resíduos.

## **IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS**

### **IV.3.1 - Qualidade do sedimento**

Os dados referentes às concentrações dos parâmetros obtidas através da análise laboratorial foram compilados em matriz de dados em razão da estação de coleta correspondente. A concentração média e desvio padrão dos parâmetros analisados para cada estação foram obtidos através da média das concentrações nas três réplicas coletadas.

Valores não detectados, isto é, valores abaixo do limite de detecção do método de análise ( $nd < LD$ ) foram substituídos por valores nulos (zero) e considerados nas análises estatísticas. Valores abaixo do limite de quantificação ( $< LQ$ ) foram substituídos pela metade do LQ ( $LQ/2$ ).

Após a classificação granulométrica do sedimento coletado, a análise da granulometria do sedimento foi realizada através do software Sysgran 3, onde foram obtidos o diagrama de Sheppard e a caracterização e classificação granulométrica através do método de Folk & Ward.

A partir da concentração de carbonatos realizou-se a classificação do sedimento conforme Larssonneur (1977), que estabeleceu as seguintes categorias: litoclásticos ( $CaCO_3 < 30\%$ ), litobioclásticos (30 a 50%), bio-litoclásticos (50 a 70%) e bioclásticos ( $>70\%$ ).

O enriquecimento ou depleção dos metais no sedimento foi feito a partir do cálculo do fator de enriquecimento (FE), que é um índice usado como ferramenta para avaliar a extensão da poluição por metais (WOITKE et al., 2003; SELVARAJ

et al., 2004). Os metais Fe (ferro), Al (alumínio) e Sc (escândio) são os mais usados como elementos de referência, pois são conservativos (GOMES *et al.*, 2009) e neste relatório utilizou-se o Al como elemento de referência. Os valores de referência utilizados para sedimento no presente estudo foram os valores encontrados na primeira campanha de monitoramento do poço SP3 (fase de pré-perfuração). As análises foram feitas estação a estação, considerando os reposicionamentos. O fator de enriquecimento (FE) foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$FE = \frac{(\text{Metal}_x / \text{Al}_x)}{(\text{Metal C1}_x / \text{Al C1}_x)}$$

onde,

[Metal<sub>x</sub>] = concentração do elemento no sedimento em uma dada estação x

[Metal C1<sub>x</sub>] = concentração do elemento na primeira campanha de monitoramento na mesma estação x

[Al<sub>x</sub>] = concentração do elemento Al (elemento conservativo) no sedimento da mesma estação x

[Al C1<sub>x</sub>] = concentração do elemento Al na primeira campanha de monitoramento na mesma estação x.

No caso de concentrações não detectadas na primeira campanha de monitoramento foi utilizada a metade do LD. Valores de FE inferiores a 1 indicam que não houve enriquecimento, enquanto que valores entre 1 e 3 indicam que houve um enriquecimento pequeno. Já valores entre 3 e 5 indicam que houve enriquecimento moderado e valores entre 5 e 10 que houve enriquecimento de moderado a severo. Valores entre 10 e 25 indicam enriquecimento severo, entre 25 e 50, enriquecimento muito severo e acima de 50, enriquecimento extremamente severo (TAYLOR, 1964 *apud* APRILE & BOUVY, 2008).

Algumas relações ou índices são utilizados para a identificação da origem dos hidrocarbonetos alifáticos ou da sua maior contribuição no ambiente marinho, bem como para a avaliação do grau de degradação e intemperismo em que o óleo encontra-se no ambiente (VOLKMAN *et al.*, 1992; COLOMBO *et al.*, 1989). Na presente campanha, foi possível a utilização da relação entre a MCNR e os

alifáticos resolvidos (HRP) (MCNR/HRP). Valores da razão MCNR/HRP superiores a 4 confirmam a presença de resíduos relacionados ao petróleo, segundo Lipiatou & Saliot (1991).

Atualmente o único instrumento legal que aborda a caracterização da qualidade de amostras sedimentos marinhos é a Resolução CONAMA nº 454/2012 que “*Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional*”. Apesar da supracitada resolução não legislar diretamente sobre o escopo do presente projeto, uma vez que há interface no tema abordado por ambos (legislação e projeto), optou-se por utilizar a referida resolução, com as devidas ressalvas, para fins de comparação das concentrações de alguns dos parâmetros amostrados a fim de subsidiar a caracterização da qualidade dos sedimentos. Para tal, as concentrações observadas nesta campanha foram comparadas aos limites estabelecidos pelo CONAMA para sedimentos nível 1, cuja definição é transcrita a seguir: “*Nível 1- limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota*”.

Para avaliar a qualidade dos sedimentos foi utilizado um critério interpretativo, estabelecido pela legislação canadense (MACDONALD *et al.*, 1996) e adotado pela CETESB (CETESB, 2001), uma vez que não há normatização específica no Brasil. O critério define dois limites para sedimentos de águas salobras e salinas: o TEL (*Threshold Effect Level*), que indica o nível abaixo do qual não ocorre efeito adverso à comunidade biológica; e o PEL (*Probable Effect Level*), que é o nível acima do qual é provável a ocorrência de efeito adverso à comunidade biológica. A faixa entre esses níveis representa uma possível ocorrência de efeito adverso à biota. Também foi calculado um índice da qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral, baseado na comparação dos valores obtidos com os valores de base TEL e PEL. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral, são calculados, respectivamente, conforme apresentado a seguir:

$$SeQI_{\text{área}} = 100 - \left( \left( \sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2} \right) * 1.732^{-1} \right)$$

$$SeQI_{\text{ponto}} = 100 - \left( \left( \sqrt{F1^2 + F3^2} \right) * 1.414^{-1} \right)$$

onde,

F1 = representa a porcentagem de variáveis que não atendem as suas respectivas diretrizes, ao menos uma vez durante o período considerado, em relação ao total de variáveis medidas;

F2 = representa a porcentagem de testes individuais das variáveis que não atendem as suas respectivas diretrizes;

F3 = representa o montante de valores do teste das variáveis que não atendem suas diretrizes.

Os valores deste índice variam de 0 a 100, onde o valor máximo indica a maior qualidade do sedimento (CCME, 2007).

### **IV.3.2 - Biota aquática**

Inicialmente foi feita uma avaliação da amostragem, ou seja, uma avaliação do esforço amostral nas três campanhas de monitoramento do poço Piracaba SP3, através do gráfico do número cumulativo de táxons por área amostrada (uma unidade de área corresponde a uma réplica, ou seja, um corer de 30 x 30 cm). Também foi utilizado o estimador de riqueza e a curva de Jackknife 1ª ordem, calculado a partir da fórmula abaixo:

$$S_{\text{Jack1}} = S_{\text{obs}} + L \left( \frac{a-1}{a} \right)$$

onde,

$S_{\text{Jack1}}$  = estimador de riqueza Jackknife de 1ª ordem

$S_{\text{obs}}$  = número total de espécies observadas em todas as amostras

$L$  = número de espécies que ocorrem só em uma amostra (espécies únicas)

$a$  = número de amostras (HELTSHE & FORRESTER, 1983).

A caracterização da macrofauna bentônica foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição em taxa e riqueza de taxa (número de taxa). A riqueza de taxa foi utilizada em detrimento da riqueza de espécies dada a grande dificuldade na identificação desses indivíduos em nível de espécie. Esse impedimento ocorre devido à fragilidade desses exemplares em conjunto com a utilização de soluções com formol, que apesar de ajudarem na conservação das amostras também podem degradar estruturas do organismo. Portanto, as comunidades foram avaliadas dessa forma para que não ocorresse perda de dados. As réplicas (R1, R2 e R3) foram utilizadas cumulativamente, com intuito de aumentar a proximidade com os valores de riqueza reais do local.

Além da análise qualitativa, também foi feita avaliação quantitativa dos dados, utilizando a densidade de organismos ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ), onde foram utilizadas médias das réplicas (R1, R2 e R3).

Para ambas as análises, foram considerados valores mínimos e máximos dos parâmetros, bem como valores médios, acompanhados do desvio-padrão, o qual descreve a dispersão dos dados em torno dessa média, indicando a variação dos valores encontrados (VIEIRA, 2008). Os taxa também foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos), bem como a distribuição quali-quantitativa dentro desses grupos.

Para completar a caracterização das comunidades, além do índice de riqueza, foram utilizados outros índices ecológicos, os índices de diversidade ( $H'$ ) e equitabilidade ( $J'$ ). Os mesmos foram calculados através do programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In Multi Ecological Research). Esses índices complementam a avaliação das comunidades, pois revelam a complexidade da estrutura das mesmas em função do número de espécies e da distribuição das abundâncias das mesmas (PIELOU, 1977; SHANNON, 1948; SIMPSON, 1949).

O índice de diversidade utilizado foi o de diversidade de Shannon-Wiener, apresentando a fórmula:

$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

onde,

$p_i$  = probabilidade de ocorrência de cada espécie em relação ao total, ou seja, o número de indivíduos (ou células) da espécie é dividido pelo número total de indivíduos (ou células) da amostra (SHANNON, 1948).

A equitabilidade corresponde à razão entre o índice de diversidade calculado e a diversidade máxima que a amostra poderia alcançar, tendo sido calculada a partir da diversidade de Shannon-Wiener. Este índice evidencia anomalias ligadas à ocorrência de amostras com um número baixo de espécies e foi calculado a partir da seguinte fórmula:

$$J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

$$H_{\max} = \log S$$

onde,

$H'$  = índice de diversidade de Shannon-Wiener

$H_{\max}$  = diversidade máxima que a amostra poderia alcançar para o número total de  $N$  indivíduos

$S$  = número total de espécies (PIELOU, 1977).

A equitabilidade varia no intervalo de 0 a 1, sendo as comunidades mais homogêneas aquelas com valores mais próximos de 1, ou seja, aquelas que apresentam maior diversidade. Logo, este índice indica a homogeneidade das comunidades em termos de participação de cada táxon (KREBS, 1999; PIELOU, 1977).

#### **IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA**

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade do sedimento e da macrofauna (riqueza de taxa e densidade) das três campanhas de monitoramento já realizadas (fase de pré-perfuração, fase de pós-perfuração 1º retorno e fase de pós-perfuração 2º retorno) foi feita utilizando Diagramas de Caixa (*Box-Plot*). Esse gráfico contém um valor central que descreve a tendência

dos dados, que no caso foi a mediana das amostras. Além disso, esse tipo de diagrama contém dois valores de dispersão de dados, uma caixa (*Box*) e os fios de bigode (*Whiskers*). O *Box* representou o primeiro e terceiro quartis e os *Whiskers* os valores mínimo e máximo observados. Todos os diagramas foram plotados usando o *software* STATISTICA 10.0.

Para avaliar se houve diferença significativa nos parâmetros da qualidade do sedimento e da macrofauna entre as campanhas e entre as estações amostrais foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA – *one way*), quando satisfeitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade e análises de variância não paramétricas (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*) quando não satisfeitos os pressupostos. As análises de variância paramétricas ou não paramétricas foram realizadas através do *software* Systat SigmaPlot 12.5.

Importante destacar que conforme manual do SigmaPlot 12.5, o *software* testa automaticamente a normalidade (*Shapiro Wilk's test*) e homocedasticidade (*Hartley test*) do conjunto de dados previamente à análise. Caso os pressupostos sejam atendidos procede-se a ANOVA - *one way*; caso contrário o *software* retorna mensagem alertando o usuário e questiona se o mesmo deve rodar a análise de variância não paramétrica correspondente (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*). Nos casos em que os dados não satisfizeram os requisitos necessários para aplicação de estatística paramétrica e considerando as divergências entre distribuição normal e não normal, optou-se por realizar testes não paramétricos. Para todos os testes aplicados foi considerado um valor de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das amostras apresentou diferenças quando testadas par a par. No caso da ANOVA - *one way*, foi usado o teste *a posteriori* de *Tukey HSD*, e no caso da *Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*, foi usado o teste de medianas.

Para completar a caracterização da biota aquática, foram realizadas análises multivariadas (escalonamento multidimensional – MDS e dendrograma de agrupamento - *cluster*). Ambas as análises multivariadas foram realizadas no programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In Multi Ecological Research).

O MDS foi executado utilizando matriz de similaridade *Bray-Curtis* com os dados brutos. Essa análise é uma ferramenta útil para comparar similaridades na composição de comunidades (CLARKE; WARWICK, 2001). A mesma foi utilizada com intuito de comparar a estrutura das diferentes comunidades nas estações de coleta. O MDS gera um valor de *stress*. Quanto menor o valor do *stress*, melhor é o ajuste entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,20, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE; WARWICK, *op. cit.*).

O *Cluster* também é utilizado para verificar a similaridade na estrutura de comunidades (VALENTIN, 2012).

#### **IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA**

A análise integrada foi realizada para o ambiente bentônico das estações de coleta amostradas para a terceira campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos. Essa análise objetiva integrar os dados biológicos e ambientais coletados na área de estudo para investigar possíveis respostas biológicas às variações ambientais. Assim, para fins de comparação entre o ambiente abiótico e a porção biótica do ambiente bentônico (organismos bentônicos), foram utilizadas as 16 estações amostrais que continham dados biológicos, ambientais e de contaminantes.

Previamente à realização das análises de correlação e ordenação os dados foram objeto de análises estatísticas para investigar a normalidade dos dados e a homocedasticidade. Ambos foram verificados através do teste de Shapiro Wilk e do teste de Levene, respectivamente. Como alguns dados não satisfizeram os requisitos necessários para aplicação de estatística paramétrica optou-se por realizar testes não paramétricos. A seguir, todas as variáveis foram transformadas em  $\log(x+1)$ , para padronização, antes das análises.

Foram realizadas correlações de Spearman para avaliar a correlação entre os dados ambientais, contaminantes e os biológicos.

Na sequência, duas ACP foram realizadas: uma considerando os indicadores biológicos como variáveis ativas e os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes como variáveis suplementares; e outra utilizando os dados de

contaminantes como variáveis ativas e os indicadores biológicos como variáveis suplementares. Em ambas as ACPs, as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância  $d$  ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983), que deve ser maior ou igual a  $(2/m)^{0,5}$ , onde  $m$  = número de variáveis. Além das ACP, uma análise de agrupamento (Cluster) e uma MDS também foram realizadas. A análise de agrupamento (Cluster) foi utilizada para verificar a similaridade entre as estações de amostragem. Também foi realizada uma análise de escalonamento multidimensional (MDS), que rearranja a distribuição das variáveis de estudo, visando detectar as menores dimensões significativas e, assim, explicando as similaridades ou dissimilaridades entre elas. Esta técnica não métrica representa em um espaço reduzido o escalonamento dos objetos (amostras), preservando as suas distâncias. Essa é uma técnica de ordenação adequada a dados não normais, ou em escalas arbitrárias, descontínuas, ou de outra forma questionável (McCUNE e MEFFORD, 2011).

Ressalta-se que as variáveis não detectadas no presente estudo (cádmio, mercúrio, HPA) e as detectadas apenas em uma estação (HTP, MNCR e n-alcenos em SP3\_1 e chumbo SP3\_5R) foram desconsideradas nas análises dos dados para evitar a indeterminação dos dados devido à presença de muitos zeros.

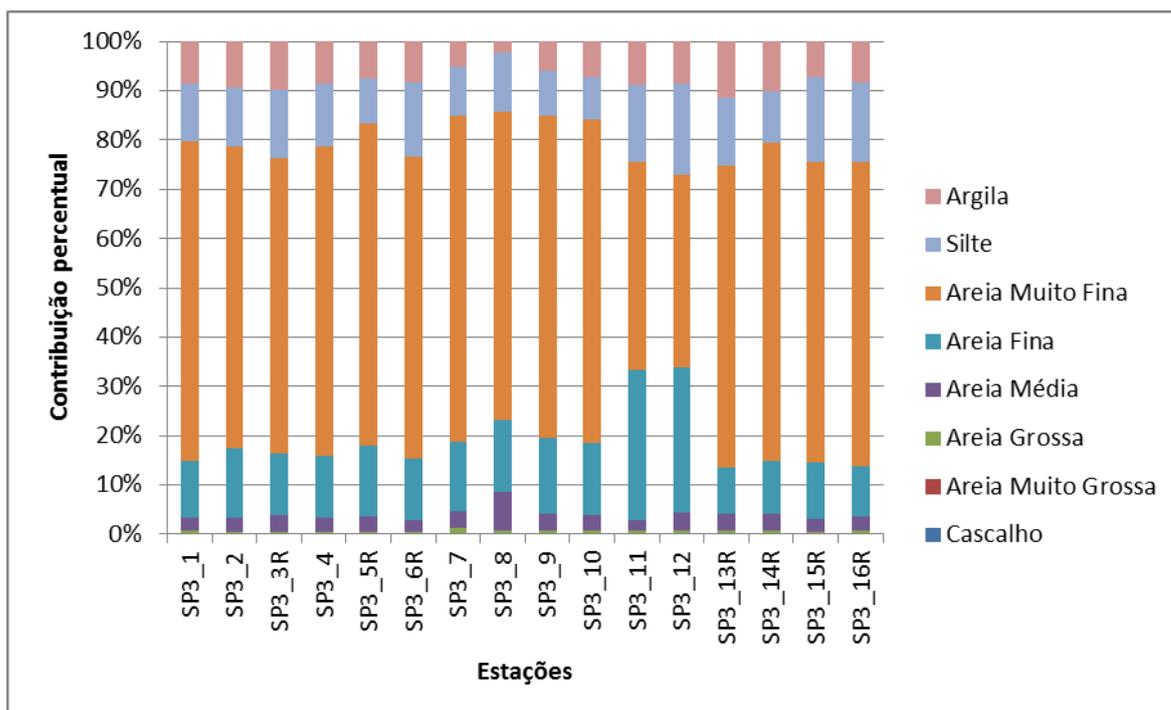
## V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### V.1 - QUALIDADE DO SEDIMENTO

#### V.1.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos

Dados de composição e características dos sedimentos são as bases para o reconhecimento da sua estrutura, dinâmica e processos existentes no ambiente (BARROS *et al.*, 2007). A composição granulométrica pode influenciar sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, por exemplo, constituindo um fator responsável pela estrutura e distribuição da comunidade em ecossistemas aquáticos (GONÇALVES *et al.*, 1998).

Nesta campanha de monitoramento a fração granulométrica predominante foi areia muito fina em todas as estações de coleta (Figura V.1-1). A distribuição percentual dos grãos de sedimento e a classificação textural segundo o diagrama de Folk são apresentadas na Tabela V.1-1, onde se constata que a maioria das amostras foram classificadas como areia lamosa, exceto as estações SP3\_8 e SP3\_9, que foram classificadas como areia lamosa ligeiramente cascalhenta, e as estações SP3\_12 e SP3\_15R, que foram classificadas como areia siltosa. Já a classificação por diâmetro médio (Tabela V.1-2) indicou que a maioria das amostras foi classificada como areia muito fina, exceto as amostras das estações SP3\_3R, SP3\_4, SP3\_6R, SP3\_13R, SP3\_14R e SP3\_16R, que foram classificadas como silte grosso.



**Figura V.1-1** – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.

O sedimento analisado nas dezesseis estações amostradas durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3 mostrou certa variação nos resultados de média, mediana e seleção entre as estações amostradas. Os valores de média variaram entre 3,30  $\Phi$  (SP3\_8) e 4,59  $\Phi$  (SP3\_13R), e os valores de mediana, entre 3,39  $\Phi$ , na estação SP3\_11, e 3,60  $\Phi$ , na estação SP3\_13R (Tabela V.1-2).

O grau de selecionamento é dado pela predominância de uma ou mais classes granulométricas. Um sedimento altamente selecionado apresenta predominância de uma classe granulométrica enquanto um sedimento pobremente selecionado (entre 1,00 e 2,00) é composto por duas ou mais classes granulométricas (SUGUIO, 1973). Na atual campanha, o selecionamento foi classificado como pobremente selecionado em todas as estações, exceto a estação SP3\_13R, que foi classificada como pobremente selecionada, sendo causado pela ocorrência de mais de uma fração dominante: areia fina, areia muito fina e silte (Tabela V.1-2).

**Tabela V.1-1 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 16 estações de amostragem no entorno do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.**

Estações	Cascalho	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila	Classificação Textural de Folk
SP3_1	0,00	0,19	0,61	2,58	11,47	64,31	11,66	8,49	Areia Lamosa
SP3_2	0,00	0,16	0,44	2,65	13,96	60,68	11,93	9,22	Areia Lamosa
SP3_3R	0,00	0,15	0,37	3,27	12,69	60,47	13,87	9,84	Areia Lamosa
SP3_4	0,00	0,16	0,40	2,70	12,45	62,64	12,66	8,46	Areia Lamosa
SP3_5R	0,00	0,18	0,40	2,98	14,29	65,27	9,01	7,44	Areia Lamosa
SP3_6R	0,00	0,09	0,30	2,53	12,29	60,58	14,92	8,28	Areia Lamosa
SP3_7	0,00	0,33	0,84	3,35	14,03	65,49	9,97	5,20	Areia Lamosa
SP3_8	0,12	0,16	0,43	7,79	14,55	61,92	11,88	2,38	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta
SP3_9	0,23	0,11	0,52	3,15	15,46	64,63	9,14	5,85	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta
SP3_10	0,00	0,12	0,53	3,38	14,60	66,61	8,56	7,38	Areia Lamosa
SP3_11	0,00	0,20	0,42	2,13	30,33	41,77	15,34	8,77	Areia Lamosa
SP3_12	0,00	0,18	0,64	3,54	28,95	38,71	18,24	8,46	Areia Siltosa
SP3_13R	0,00	0,09	0,62	3,53	9,12	61,04	13,53	11,48	Areia Lamosa
SP3_14R	0,00	0,10	0,59	3,50	10,37	64,05	10,25	10,13	Areia Lamosa
SP3_15R	0,00	0,12	0,42	2,57	11,24	60,45	16,90	7,18	Areia Siltosa
SP3_16R	0,00	0,16	0,61	2,93	10,03	61,05	16,07	8,13	Areia Lamosa

**Tabela V.1-2 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 16 estações de amostragem no entorno do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.**

Estações	Média	Classificação diâmetro médio	Mediana	Seleção	Selecionamento	Assimetria	Assimetria	Curtose	Curtose
SP3_1	3,74	Areia muito fina	3,54	1,36	Pobrememente selecionado	0,46	Muito positiva	3,33	Extremamente leptocúrtica
SP3_2	3,75	Areia muito fina	3,53	1,44	Pobrememente selecionado	0,45	Muito positiva	3,18	Extremamente leptocúrtica
SP3_3R	4,01	Silte grosso	3,56	1,60	Pobrememente selecionado	0,54	Muito positiva	3,15	Extremamente leptocúrtica
SP3_4	4,02	Silte grosso	3,54	1,58	Pobrememente selecionado	0,56	Muito positiva	3,24	Extremamente leptocúrtica
SP3_5R	3,55	Areia muito fina	3,49	1,30	Pobrememente selecionado	0,34	Muito positiva	3,35	Extremamente leptocúrtica
SP3_6R	4,25	Silte grosso	3,57	1,74	Pobrememente selecionado	0,60	Muito positiva	3,13	Extremamente leptocúrtica
SP3_7	3,42	Areia muito fina	3,47	1,20	Pobrememente selecionado	0,19	Positiva	3,24	Extremamente leptocúrtica
SP3_8	3,30	Areia muito fina	3,43	1,16	Pobrememente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	2,69	Muito leptocúrtica
SP3_9	3,41	Areia muito fina	3,47	1,23	Pobrememente selecionado	0,20	Positiva	3,26	Extremamente leptocúrtica
SP3_10	3,44	Areia muito fina	3,48	1,24	Pobrememente selecionado	0,22	Positiva	3,37	Extremamente leptocúrtica
SP3_11	3,76	Areia muito fina	3,39	1,72	Pobrememente selecionado	0,47	Muito positiva	2,07	Muito leptocúrtica
SP3_12	3,86	Areia muito fina	3,42	1,82	Pobrememente selecionado	0,48	Muito positiva	1,48	Leptocúrtica
SP3_13R	4,59	Silte grosso	3,60	2,01	Muito pobrememente selecionado	0,63	Muito positiva	3,03	Extremamente leptocúrtica
SP3_14R	4,06	Silte grosso	3,55	1,62	Pobrememente selecionado	0,57	Muito positiva	3,42	Extremamente leptocúrtica
SP3_15R	3,91	Areia muito fina	3,58	1,46	Pobrememente selecionado	0,51	Muito positiva	3,08	Extremamente leptocúrtica
SP3_16R	4,02	Silte grosso	3,59	1,55	Pobrememente selecionado	0,54	Muito positiva	3,17	Extremamente leptocúrtica

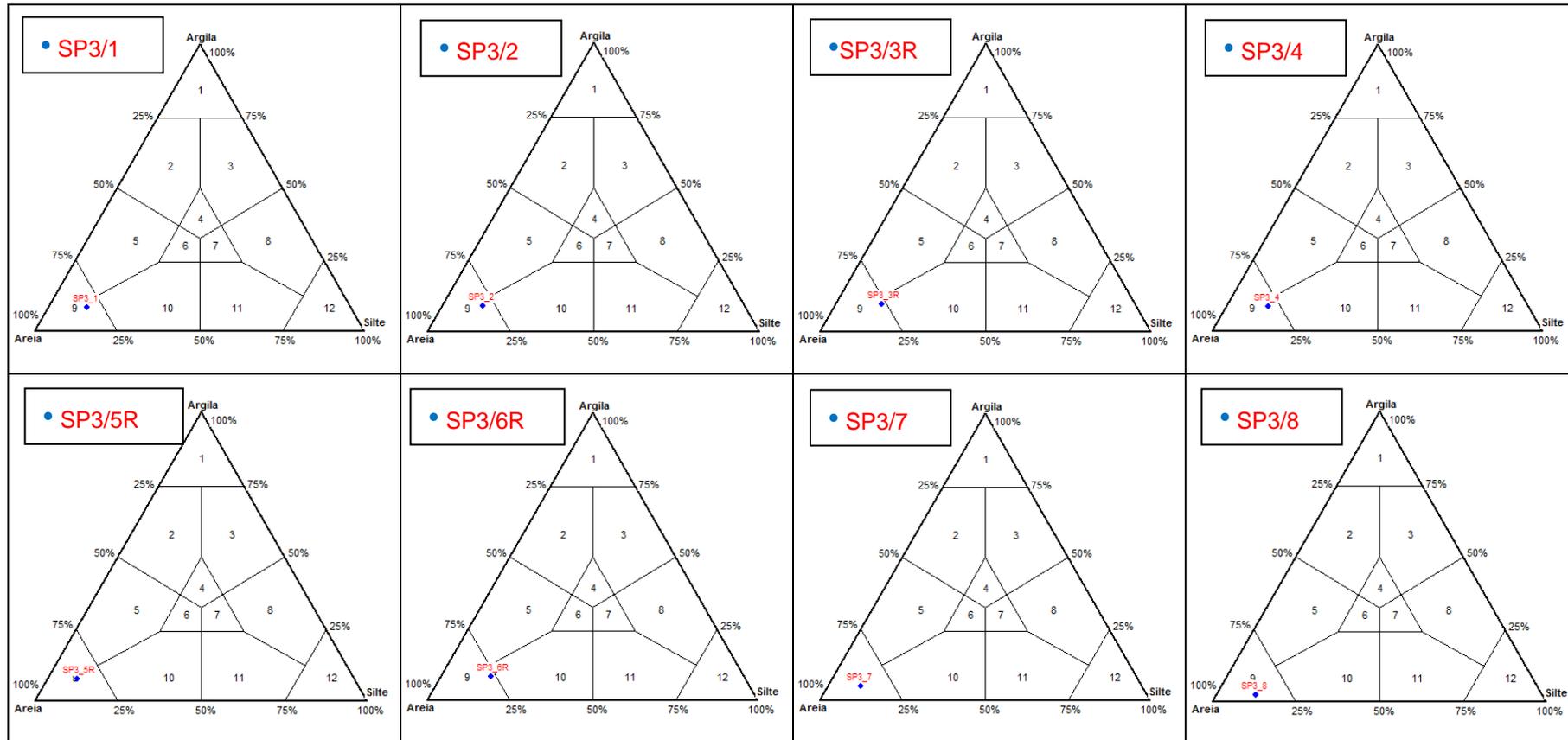
Nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon e do DP de Baúna e Piracaba, observa-se que a fração granulométrica predominante em todas as campanhas foi areia muito fina na maioria das estações amostradas, seguida por estações com maiores contribuições de silte e areia fina (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014c, 2014d). Nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba SP3, a fração predominante também foi areia muito fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015). De forma geral, observa-se que os sedimentos na região de estudo apresentam um pobre selecionamento granulométrico nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon e do poço Piracaba SP3 e moderadamente selecionado nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, característica comum em ambientes de pouca energia tais como regiões oceânicas, com maior participação das frações mais finas, sugerindo a inexistência de um mecanismo de transporte eficiente, resultando numa tendência deposicional dos grãos.

A Tabela V.1-2 mostra que a assimetria dos grãos variou entre 0,01 e 0,63, nas estações SP3\_8 e SP3\_13R, respectivamente. A assimetria da distribuição granulométrica indica para que lado se inclina a cauda mais longa da curva (DIAS, 2004). Para a atual campanha, a maioria das estações foi classificada como muito positiva. As estações SP3\_7, SP3\_9 e SP3\_10 foram classificadas como positivas, enquanto que a estação SP3\_8 foi classificada como aproximadamente simétrica (Tabela V.1-2). Sabe-se que quanto maior a diferença entre valores de média e mediana, mais assimétrica é a distribuição dos grãos (SUGUIO, 1973). Isto explica a tendência à assimetria da curva, uma vez que, na atual campanha, os valores de média e mediana apresentaram certa variação.

Em relação à curtose, os valores ficaram entre 1,48 na estação SP3\_12 e 3,42 na estação SP3\_14R (Tabela V.1-2), sendo que a maioria das estações foi classificada como extremamente leptocúrtica, exceto as estações SP3\_8 e SP3\_8, que foram classificadas como muito leptocúrticas, e a estação SP3\_12, que foi classificada como leptocúrtica (Tabela V.1-2). Segundo Machado (2010), curvas mais leptocúrticas indicam ambiente com predomínio de transporte. As distribuições leptocúrtica e muito leptocúrtica indicam uma preferência de frequência de classes de grãos, que no caso dos dados obtidos foram de grãos

de tamanho intermediário, como areia muito fina e areia fina, com ausência de espalhamento e sedimentos bem selecionados na parte central da distribuição.

No diagrama de Shepard (Figura V.1-2), estão representadas as 16 estações de amostragem. Neste diagrama pode-se constatar que todas as estações amostradas estão situadas na classe 9 correspondente à classe Areia, exceto a estação SP3\_12, que foi classificada como areia síltica (classe 10). Esse resultado é um indicativo de certa similaridade granulométrica entre as estações amostradas no que diz respeito às contribuições percentuais de silte, argila e areia, onde a classe areia contribuiu sempre com mais de 70% dos sedimentos das amostras.



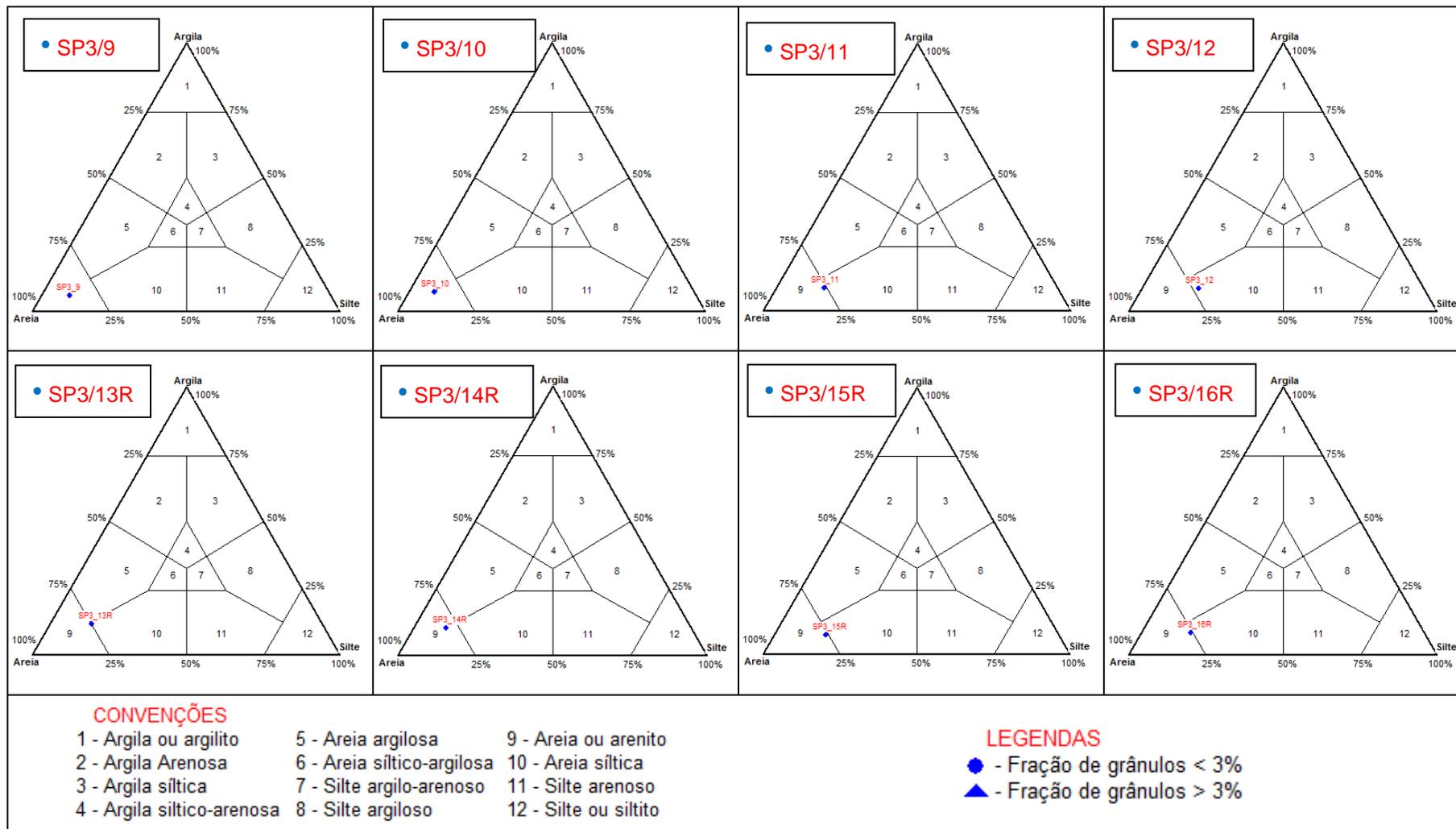
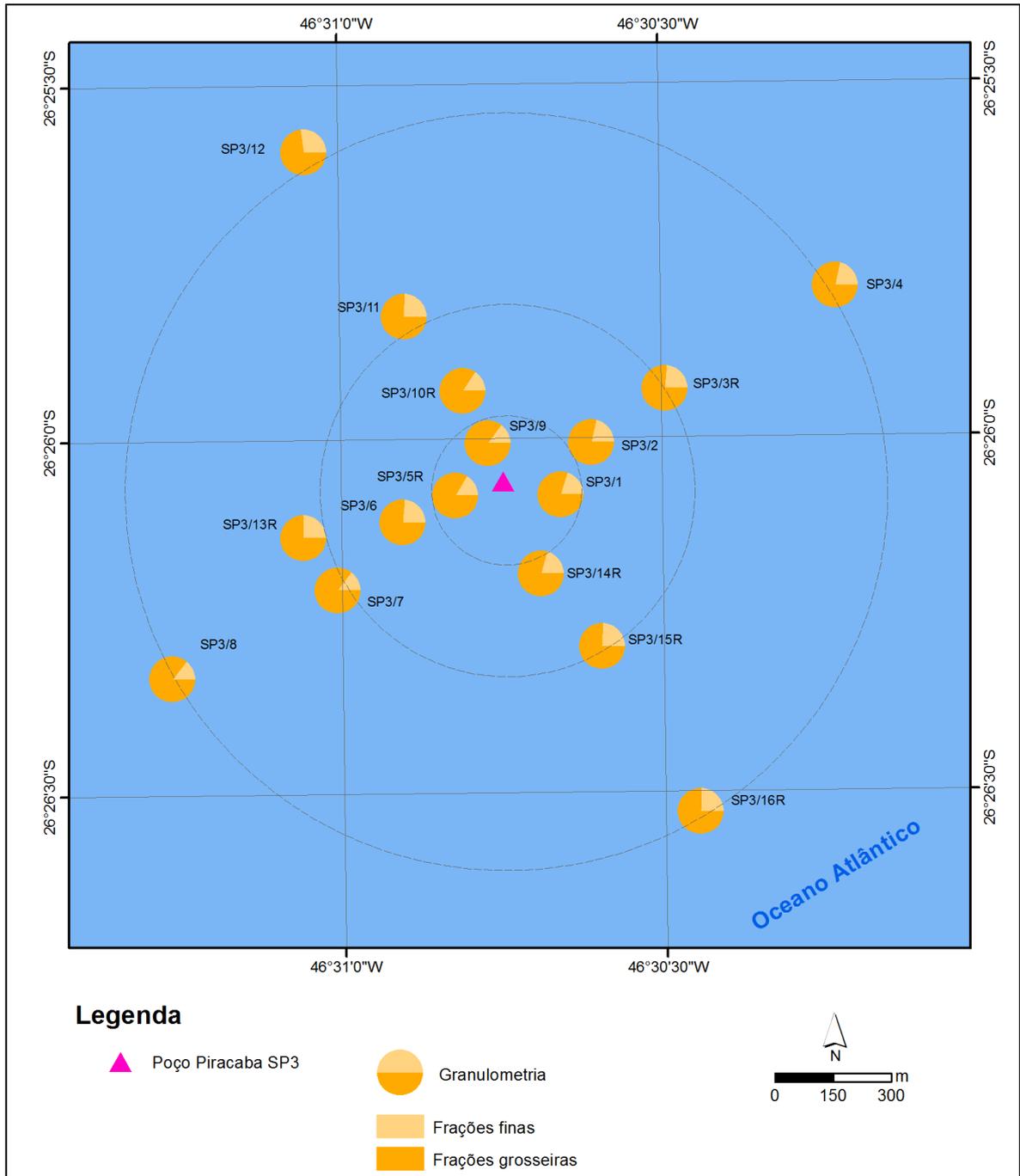


Figura V.1-2 – Diagrama de Shepard para cada uma das 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-3, é possível observar a granulometria das estações amostradas no entorno do poço Piracaba-SP3 de forma espacializada, onde silte e argila compõem a fração fina e o cascalho junto com todas as classes de areia compõem a fração grosseira. As frações grosseiras predominaram em todas as estações, devido à predominância de areia muito fina e areia fina. As maiores concentrações de silte e argila foram verificadas nas estações SP3\_12 e SP3\_13R, variando de 14,26 a 26,70%.



**Figura V.1-3 – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.**

Os resultados dos testes estatísticos realizados entre cada um dos parâmetros granulométricos medidos durante a atual campanha podem ser conferidos na Tabela V.1-3. Na comparação dos dados de granulometria entre as réplicas das estações, foi observada diferença significativa para todas as frações

granulométricas, exceto para cascalho, areia muito grossa e areia fina. Para a fração areia grossa, a estação SP3\_7 diferiu significativamente das estações SP3\_2, SP3\_3R, SP\_4, SP3\_5R, SP3\_6R, SP3\_8, SP1\_11 e SP3\_15R (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Para a areia média e areia muito fina, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença. Para o silte, a estação SP3\_12 diferiu significativamente das estações SP3\_5R, SP3\_9 e SP\_10 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Para a fração argila foram encontradas diferenças significativas entre as estações SP3\_13R e SP3\_7, entre SP3\_13R e SP3\_8, entre SP3\_13R e SP3\_8, entre SP3\_3R e SP3\_8, entre SP3\_2 e SP3\_8 e entre SP3\_11 e SP3\_8 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).

**Tabela V.1-3** – Análise de variância das frações granulométricas das 16 estações de coleta durante 3ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba-SP3 (fase pós-perfuração).  $p < 0,05$ . F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste.

	Cas	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Arg
<b>F</b>	-	-	3,681	-	-	-	2,997	3,117
<b>H</b>	24,688	13,565	-	25,173	19,204	25,527	-	-
<b>p</b>	0,054	0,559	<b>&lt; 0,001</b>	<b>0,048</b>	0,205	<b>0,043</b>	<b>0,004</b>	<b>0,003</b>

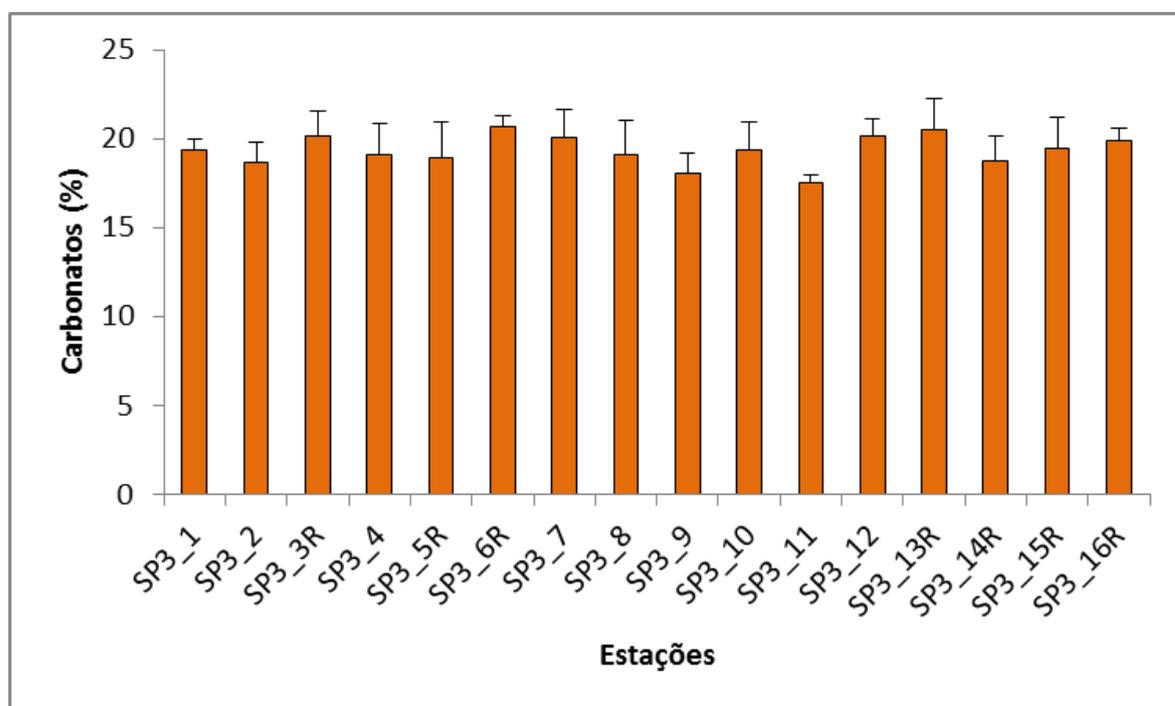
Cas: cascalho; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; Arg: argila.

O teor de carbonato nos sedimentos deve-se essencialmente aos fragmentos de exo e endoesqueletos de organismos marinhos. Em ambientes pelágicos, a maior parte dessas partículas biogênicas presentes nos ambientes marinhos provém de organismos planctônicos, enquanto que, nas plataformas continentais, a acumulação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) é principalmente processada por organismos bentônicos, como moluscos, foraminíferos, brizoários e corais (DIAS, 2004).

As concentrações de carbonatos nas amostras de sedimento da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3 variaram entre  $17,50 \pm 0,44\%$ , na estação SP3\_11, e  $20,70 \pm 0,61\%$ , na estação SP3\_6R (Tabela V.1-4; Figura V.1-4). As concentrações de carbonato nas estações não variaram significativamente entre si (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

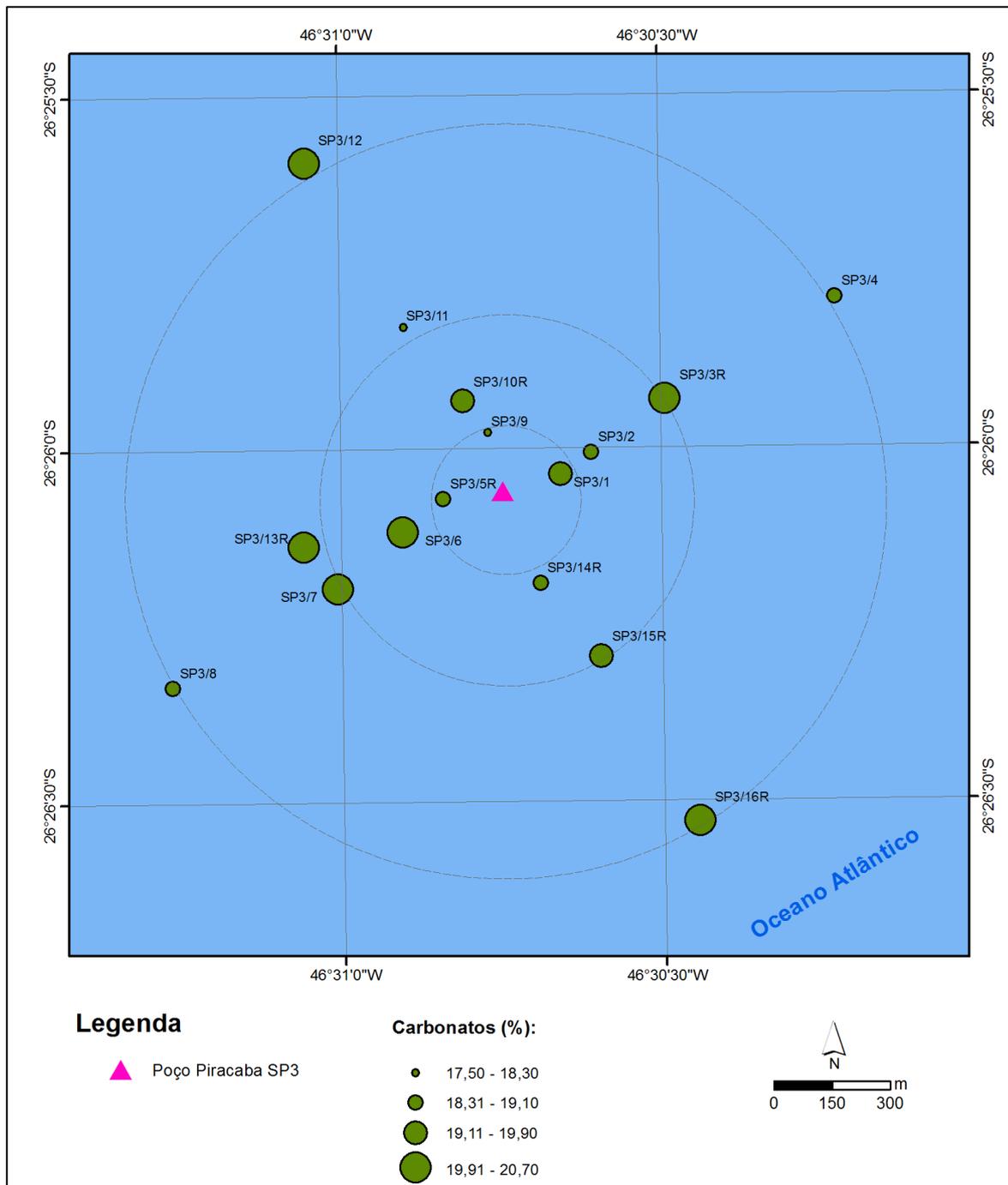
**Tabela V.1-4 - Concentrações médias de carbonato (%) nas diferentes estações da atual campanha monitoramento ambiental.**

Estações	Carbonato (%)		
	Média		Desvio padrão
SP3_1	19,40	±	0,60
SP3_2	18,67	±	1,12
SP3_3R	20,13	±	1,43
SP3_4	19,07	±	1,82
SP3_5R	18,93	±	2,03
SP3_6R	20,70	±	0,61
SP3_7	20,07	±	1,60
SP3_8	19,10	±	1,97
SP3_9	18,07	±	1,12
SP3_10	19,37	±	1,59
SP3_11	17,50	±	0,44
SP3_12	20,17	±	0,98
SP3_13R	20,53	±	1,70
SP3_14R	18,77	±	1,39
SP3_15R	19,50	±	1,70
SP3_16R	19,93	±	0,64



**Figura V.1-4 – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.**

A análise da distribuição espacial das concentrações de carbonatos indica, de maneira geral, que estas tendem a ser menores nas estações mais próximas do poço Piracaba-SP3 (Figura V.1-5).

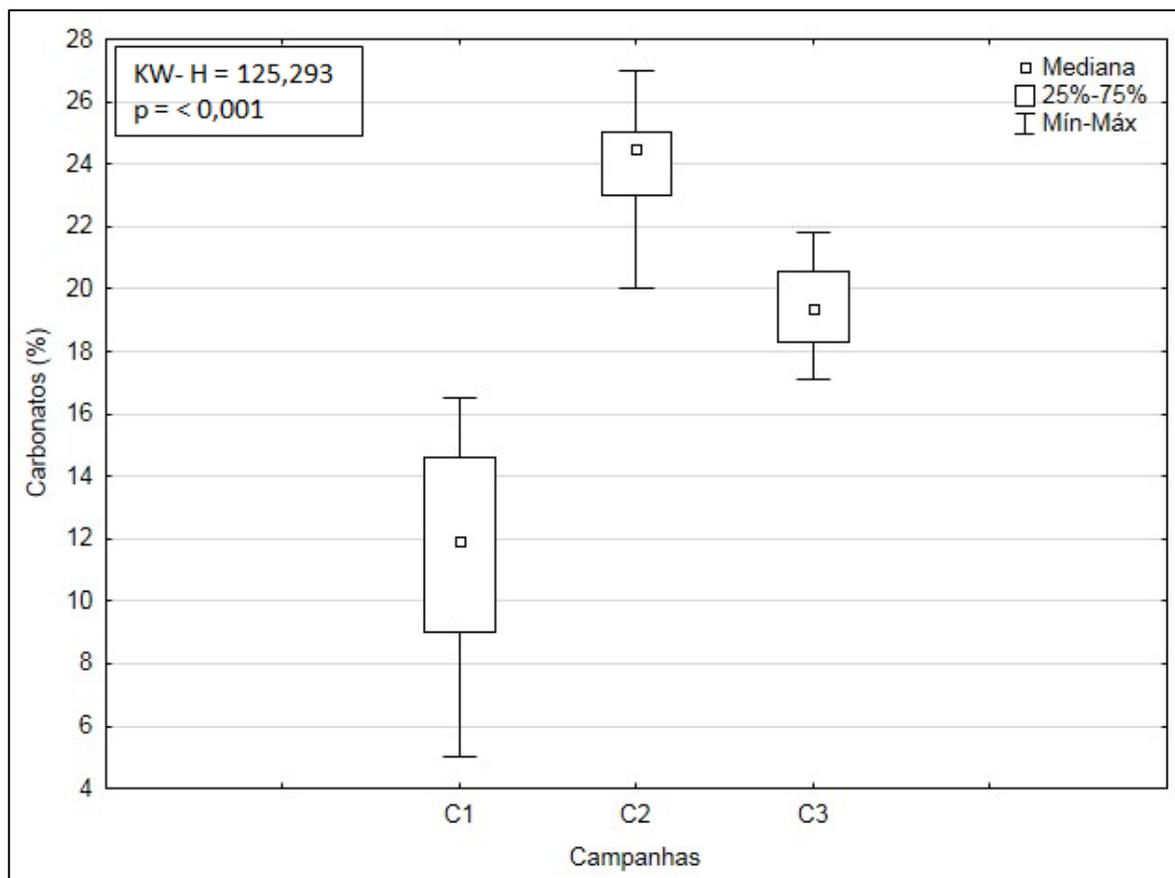


**Figura V.1-5** – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 16 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.

Conforme classificação de Larssonneur (1977), os sedimentos em todas as estações amostradas foram classificados como sedimentos litoclásticos (<30%) ou com baixo conteúdo de carbonato de cálcio. Amaral *et al.* (2004), encontraram padrão semelhante no sedimento da plataforma continental no estado de São Paulo (setor SP) principalmente nas amostras com granulometrias mais finas, classificadas como areia siltica e silte arenoso.

Os resultados encontrados foram similares com as concentrações observadas no monitoramento do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), o qual constatou concentrações de carbonato entre 7,6% até 46,02% ao longo das quatro campanhas de monitoramento já realizadas. Por outro lado, as concentrações foram maiores em relação à campanha de pré perfuração do Poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b), que encontrou valores entre 8,40 e 15,40%, e em relação as campanhas anteriores do monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d), que encontraram valores entre 3,47 e 26,00%. As concentrações encontradas na atual campanha foram inferiores as encontradas na segunda campanha de monitoramento do poço SP3 (pós-perfuração), que encontrou concentrações variando entre 22,00 e 26,67 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

Na Figura V.1-6 é apresentada a faixa de porcentagem de carbonato obtida nas campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de carbonato, enquanto a primeira campanha mostrou uma amplitude maior de valores. Na comparação dos resultados de porcentagem de carbonato nas três campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-6** – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

### V.1.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total

A produção primária fitoplanctônica é a principal responsável pela produção de carbono orgânico nos oceanos em escala global, a qual produz aproximadamente  $2 \times 10^{16}$  g de C (CHESTER, 2003; MILLERO, 2002). Cerca de 80% dessa produção ocorre em mar aberto e cerca de 20% em regiões costeiras (CHESTER, *op cit.*). Entretanto, as margens dos continentes são apontadas como os principais reservatórios desse carbono orgânico no ambiente marinho, recebendo um aporte de aproximadamente  $130 \times 10^{12}$  g de CO por ano. Nesta

estimativa é levado em conta tanto o material de origem terrestre, quanto de origem marinha (PRAHL *et al.*, 1994).

Os mesmos elementos que constituem a matéria orgânica são importantes componentes dos oceanos, da atmosfera e das rochas. São eles o carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, enxofre e fósforo (SUMMONS, 1993).

Desta forma, os mecanismos fisiológicos dos organismos vivos, combinados com processos físicos, químicos e geológicos naturais são responsáveis pela constante redistribuição desses elementos entre os reservatórios bióticos e abióticos do sistema geosfera-biosfera da Terra (MACKENZIE *et al.*, 1993).

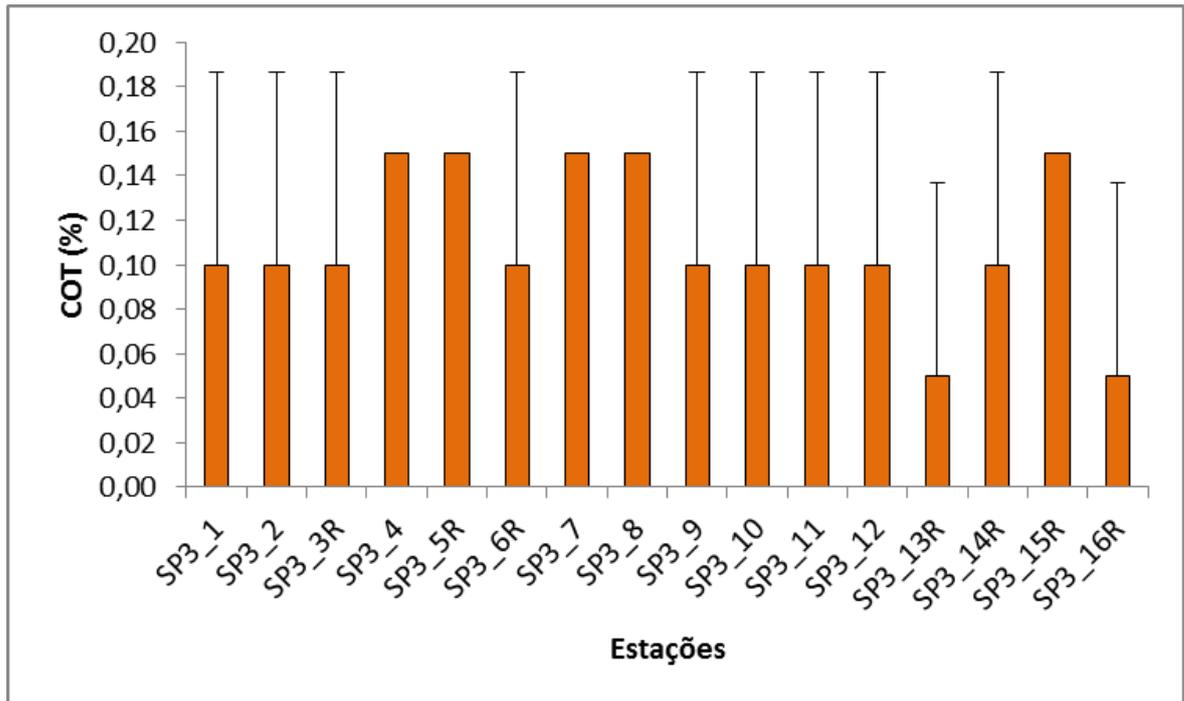
As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre  $0,05 \pm 0,09\%$ , nas estações SP3\_13R e SP3\_16R, a  $0,15 \pm 0,00\%$ , nas estações SP3\_4, SP3\_5R, SP3\_7, SP3\_8 e SP3\_15R (Tabela V.1-5 e Figura V.1-8). Já a concentração média entre as estações nesta campanha foi de  $0,11 \pm 0,03\%$ . No monitoramento ambiental do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), os valores observados de COT oscilaram entre não detectado e 3,23%. Na campanha de pré-perfuração do poço Piracaba SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b), as concentrações de COT variaram entre não detectado e 1,03%, enquanto que na segunda campanha de pós-perfuração variaram entre 0,10 e 1,19% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d) variaram de não detectado a 0,87%. Segundo Huc (1980, *apud* RASHID, 1985), áreas oceânicas tendem a apresentar concentrações de carbono orgânico inferiores a 1%. As concentrações de carbono orgânico total não apresentaram diferença significativa entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

As concentrações de matéria orgânica total (MOT) variaram entre  $3,17 \pm 0,55\%$ , na estação SP3\_3R, a  $4,70 \pm 0,79\%$ , na estação SP3\_4 (Tabela V.1-5 e Figura V.1-8). Já a concentração média obtida entre as estações nesta campanha foi de  $3,75 \pm 0,38\%$ . No monitoramento ambiental do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), os valores observados de MOT oscilaram entre não detectado e 8,10%, sendo, portanto, superiores aos encontrados na

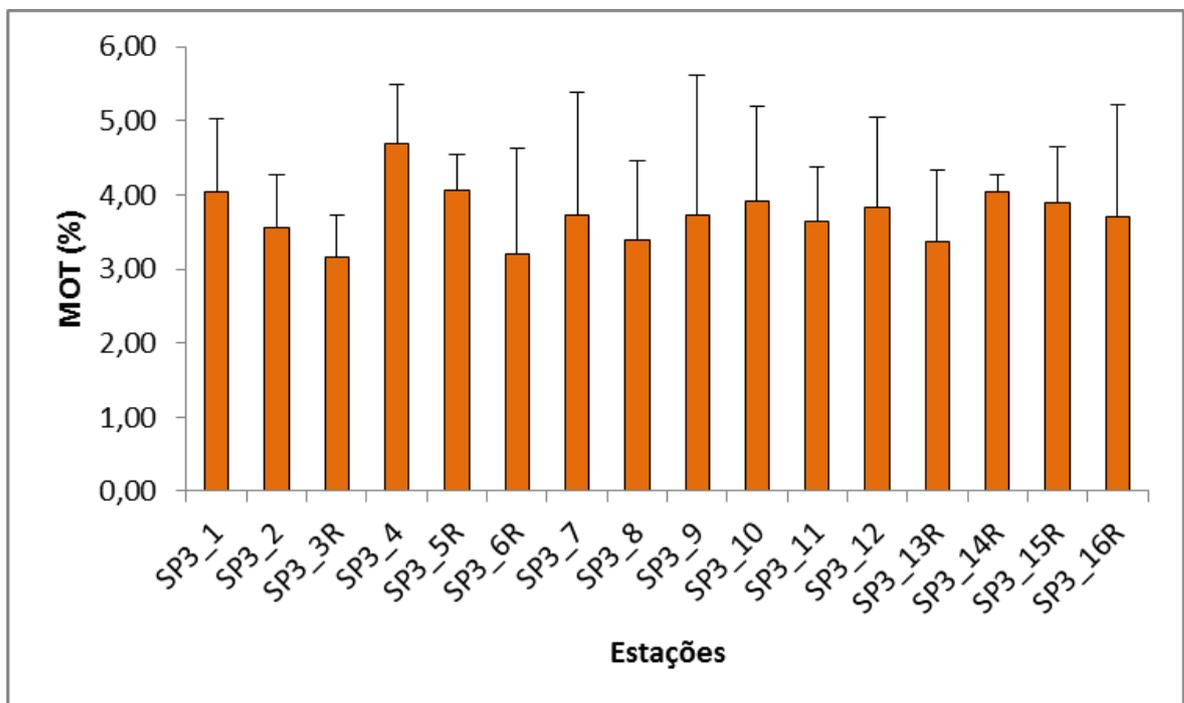
atual campanha de monitoramento. Na campanha de pré-perfuração do poço Piracaba SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b) as concentrações de MOT variaram entre não detectado e 1,03% e na campanha de pós-perfuração (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015) variaram entre 2,80 e 4,13%, sendo portanto, semelhantes as encontradas na presente campanha. Nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d), as concentrações variaram entre não detectado e 3,73%, sendo portanto inferiores as encontradas na atual campanha de monitoramento. As concentrações de matéria orgânica total não apresentaram diferença significativa entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

**Tabela V.1-5** – Concentrações médias de carbono orgânico total e matéria orgânica total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento do Poço Piracaba-SP3.

Estações	Carbono Orgânico Total (%)			Matéria Orgânica Total (%)		
	Média	Desvio padrão		Média	Desvio padrão	
SP3_1	0,10	± 0,09		4,03	± 1,00	
SP3_2	0,10	± 0,09		3,57	± 0,70	
SP3_3R	0,10	± 0,09		3,17	± 0,55	
SP3_4	0,15	± 0,00		4,70	± 0,79	
SP3_5R	0,15	± 0,00		4,07	± 0,47	
SP3_6R	0,10	± 0,09		3,20	± 1,42	
SP3_7	0,15	± 0,00		3,73	± 1,66	
SP3_8	0,15	± 0,00		3,38	± 1,07	
SP3_9	0,10	± 0,09		3,72	± 1,89	
SP3_10	0,10	± 0,09		3,91	± 1,28	
SP3_11	0,10	± 0,09		3,63	± 0,74	
SP3_12	0,10	± 0,09		3,83	± 1,21	
SP3_13R	0,05	± 0,09		3,37	± 0,96	
SP3_14R	0,10	± 0,09		4,03	± 0,23	
SP3_15R	0,15	± 0,00		3,90	± 0,75	
SP3_16R	0,05	± 0,09		3,70	± 1,51	

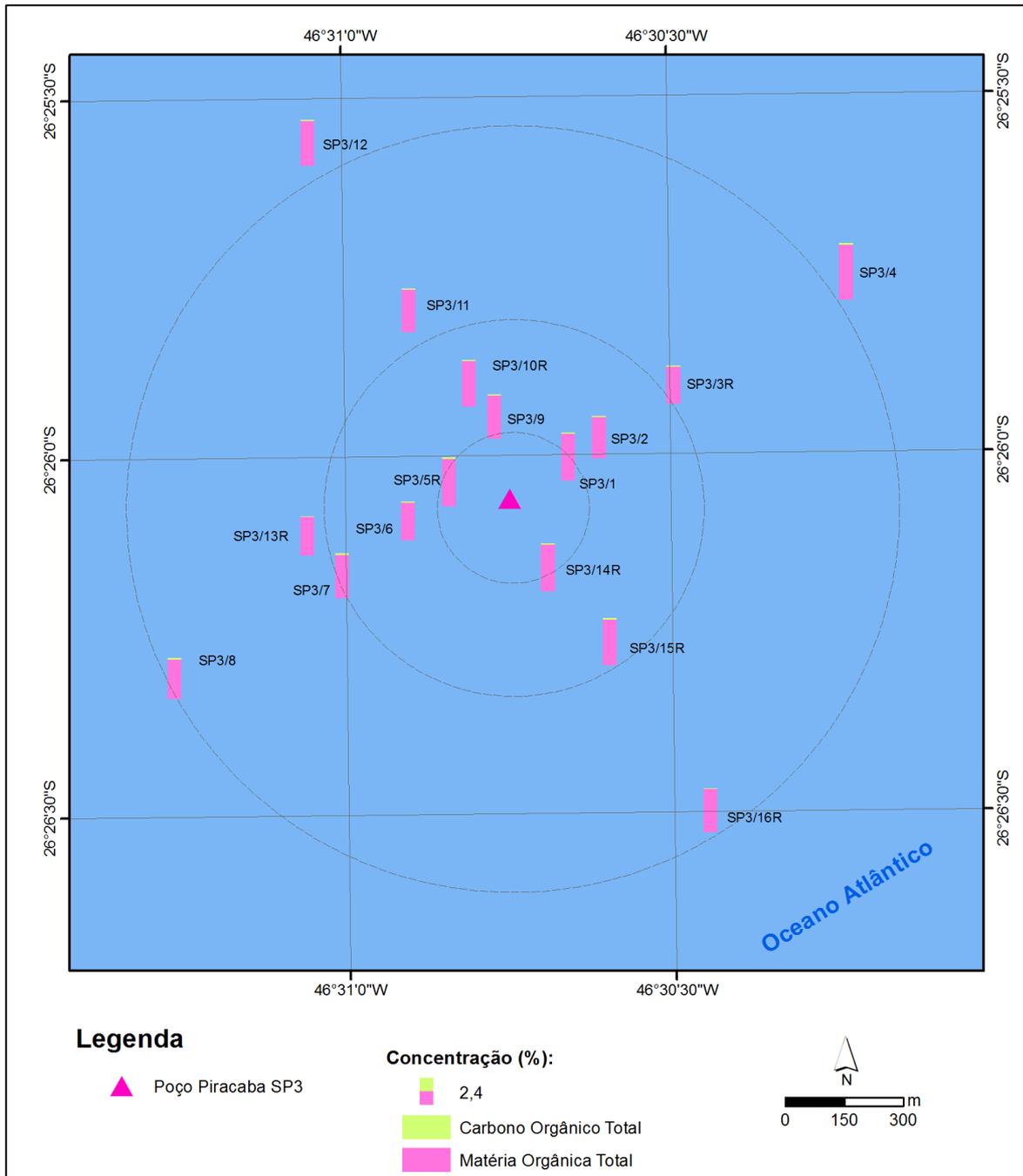


**Figura V.1-7** – Concentração média de carbono orgânico total nas 16 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.



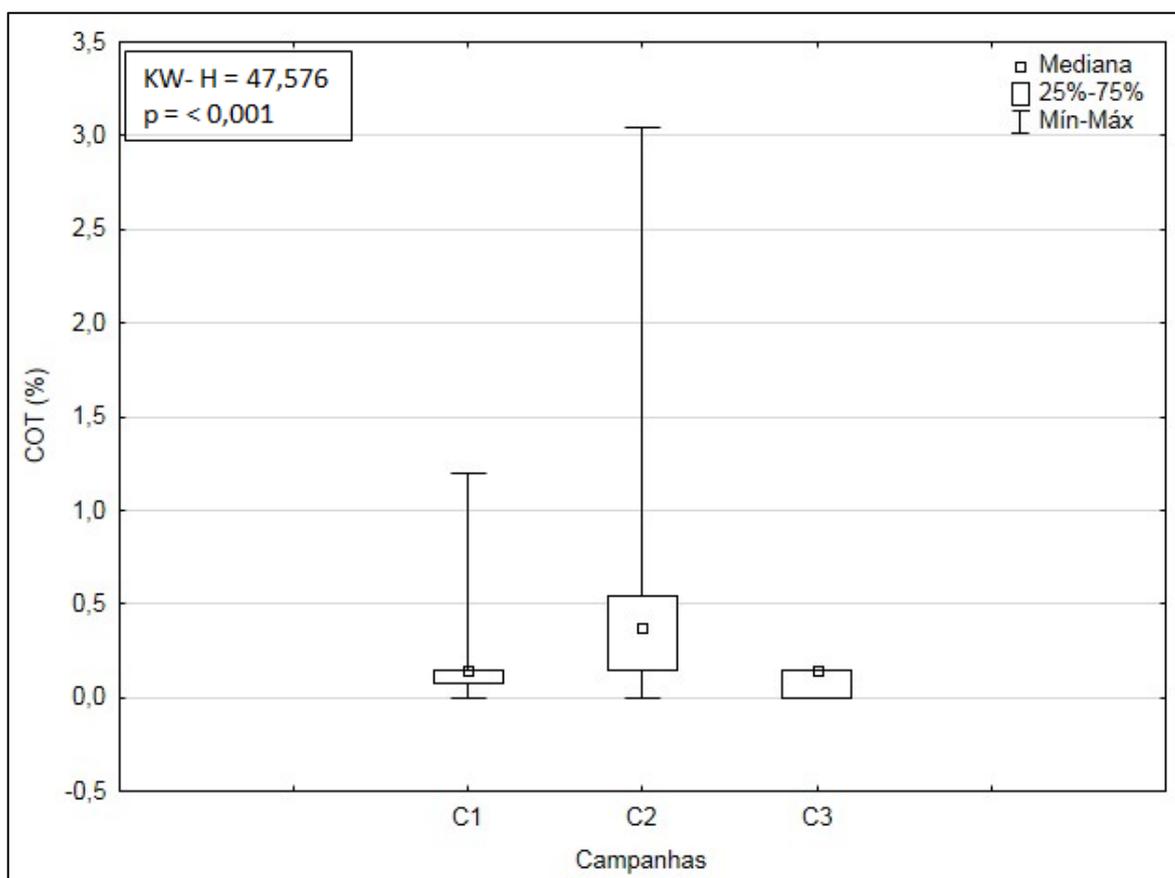
**Figura V.1-8** – Concentração média de matéria orgânica total nas 16 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

Na Figura V.1-9 é apresentada a distribuição espacial de carbono orgânico total e matéria orgânica total. Não foi observado um padrão de distribuição espacial para esses parâmetros.



**Figura V.1-9** – Distribuição espacial das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento de pós-perfuração do Poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.

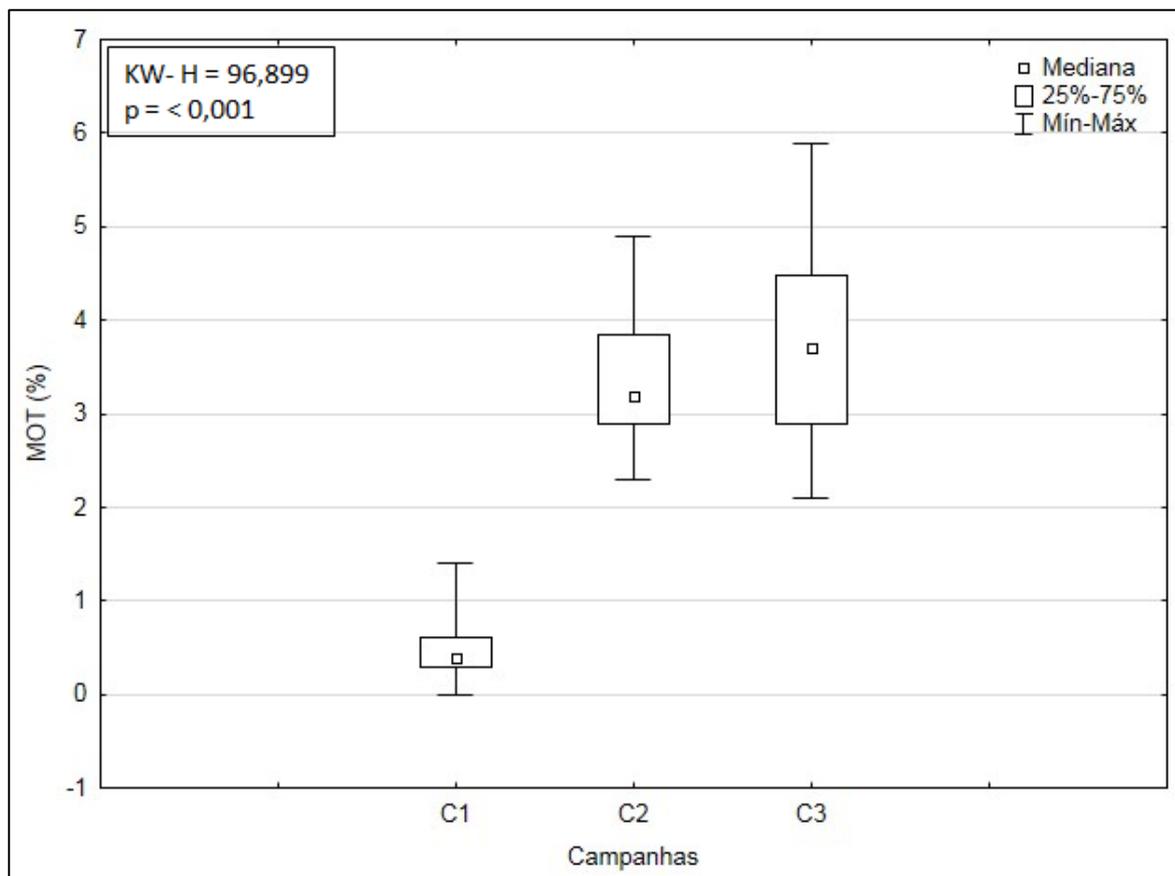
Na Figura V.1-10 é apresentada a faixa das concentrações de carbono orgânico total obtidas nas três campanhas realizadas em Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou uma variação mais ampla e maiores valores de COT. Na comparação dos resultados de concentração de COT nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A segunda campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-10** – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-11 é apresentada a faixa de concentração de matéria orgânica total obtida nas amostras nas três campanhas de Piracaba SP3. É possível verificar que a atual campanha mostrou uma variação mais ampla e maiores valores de MOT. Na comparação dos resultados de concentração de MOT nas

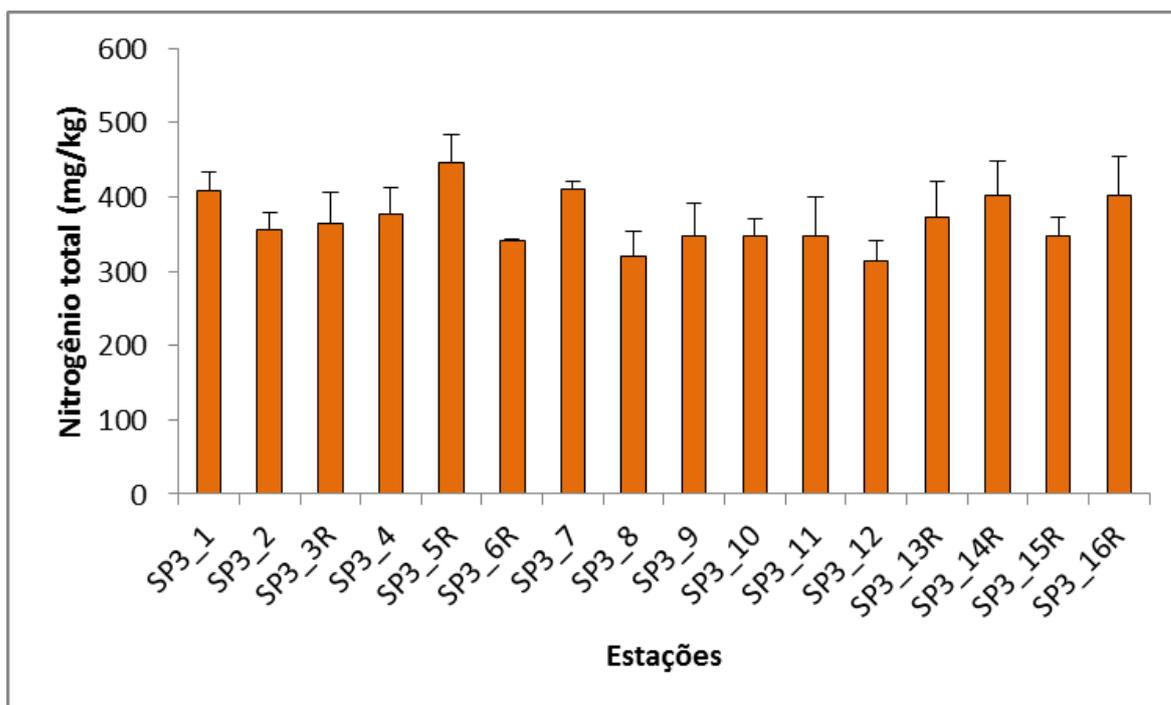
campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-11** – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

A concentração de nitrogênio total nas amostras variou entre  $314,70 \pm 26,92$  mg/kg, na estação SP3\_12, e  $446,40 \pm 36,68$  mg/kg, na estação SP3\_5R (Tabela V.1-6; Figura V.1-12), sendo que a concentração média entre as estações foi de  $366,67 \pm 36,18$  mg/kg. As concentrações de nitrogênio diferiram significativamente entre as estações (ANOVA,  $p < 0,05$ ). A estação SP3\_5R diferiu significativamente das estações SP3\_8 e SP3\_12 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). As concentrações encontradas no monitoramento do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013,

PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a) variaram entre 47,94 e 2.913,2 mg/kg, sendo que as concentrações da atual campanha de monitoramento estiveram dentro desse intervalo de valores. Na primeira campanha de monitoramento do poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b) as concentrações de nitrogênio total variaram entre 205,33 e 640,83 mg/kg e na segunda campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015) variaram entre 141,40 e 649,23 mg/kg, sendo portanto, superiores as encontradas na atual campanha. Nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d) as concentrações variaram entre 111,50 e 595,67 mg/kg. Já no monitoramento ambiental do campo de Coral na Bacia de Santos (PETROBRAS/UNIVALI, 2008), as concentrações de nitrogênio total nos sedimentos variaram entre 194 e 1.614 mg/kg.



**Figura V.1-12** – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

A concentração média de fósforo total foi de  $37,62 \pm 3,17$  mg/kg, com mínimo de  $32,60 \pm 3,03$  mg/kg na estação SP3\_14R e máximo de  $44,70 \pm 10,45$  mg/kg na

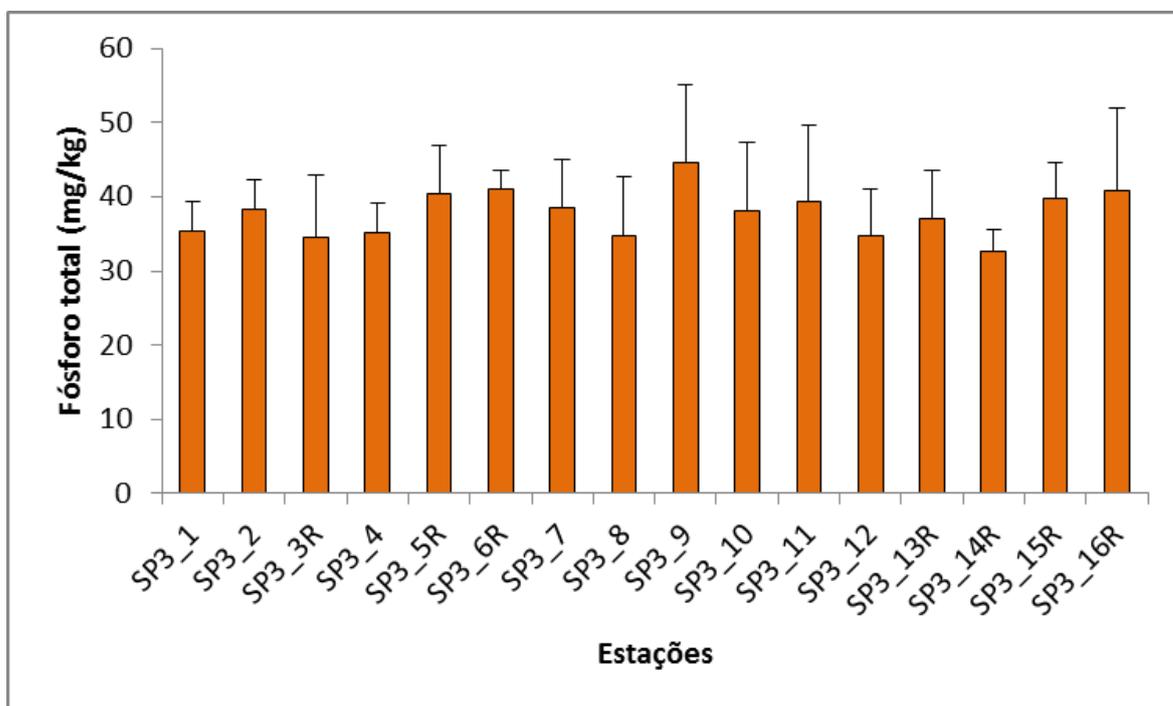
estação SP3\_9 (Tabela V.1-6; Figura V.1-13). A análise estatística mostrou que não existem diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

**Tabela V.1-6 – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento.**

Estações	Nitrogênio total (mg/kg)			Fósforo total (mg/kg)		
	Média	Desvio padrão		Média	Desvio padrão	
SP3_1	407,60	± 25,15		35,37	± 4,01	
SP3_2	354,80	± 24,17		38,30	± 4,00	
SP3_3R	363,63	± 43,44		34,57	± 8,33	
SP3_4	376,97	± 35,13		35,17	± 3,98	
SP3_5R	446,40	± 36,68		40,40	± 6,56	
SP3_6R	340,37	± 3,50		40,97	± 2,66	
SP3_7	410,33	± 10,08		38,50	± 6,49	
SP3_8	320,57	± 33,19		34,63	± 8,10	
SP3_9	348,37	± 43,04		44,70	± 10,45	
SP3_10	347,60	± 23,11		38,03	± 9,24	
SP3_11	348,13	± 51,41		39,40	± 10,33	
SP3_12	314,70	± 26,92		34,70	± 6,42	
SP3_13R	372,10	± 49,10		37,13	± 6,37	
SP3_14R	401,93	± 46,55		32,60	± 3,03	
SP3_15R	346,57	± 26,04		39,80	± 4,88	
SP3_16R	402,43	± 53,00		40,77	± 11,25	

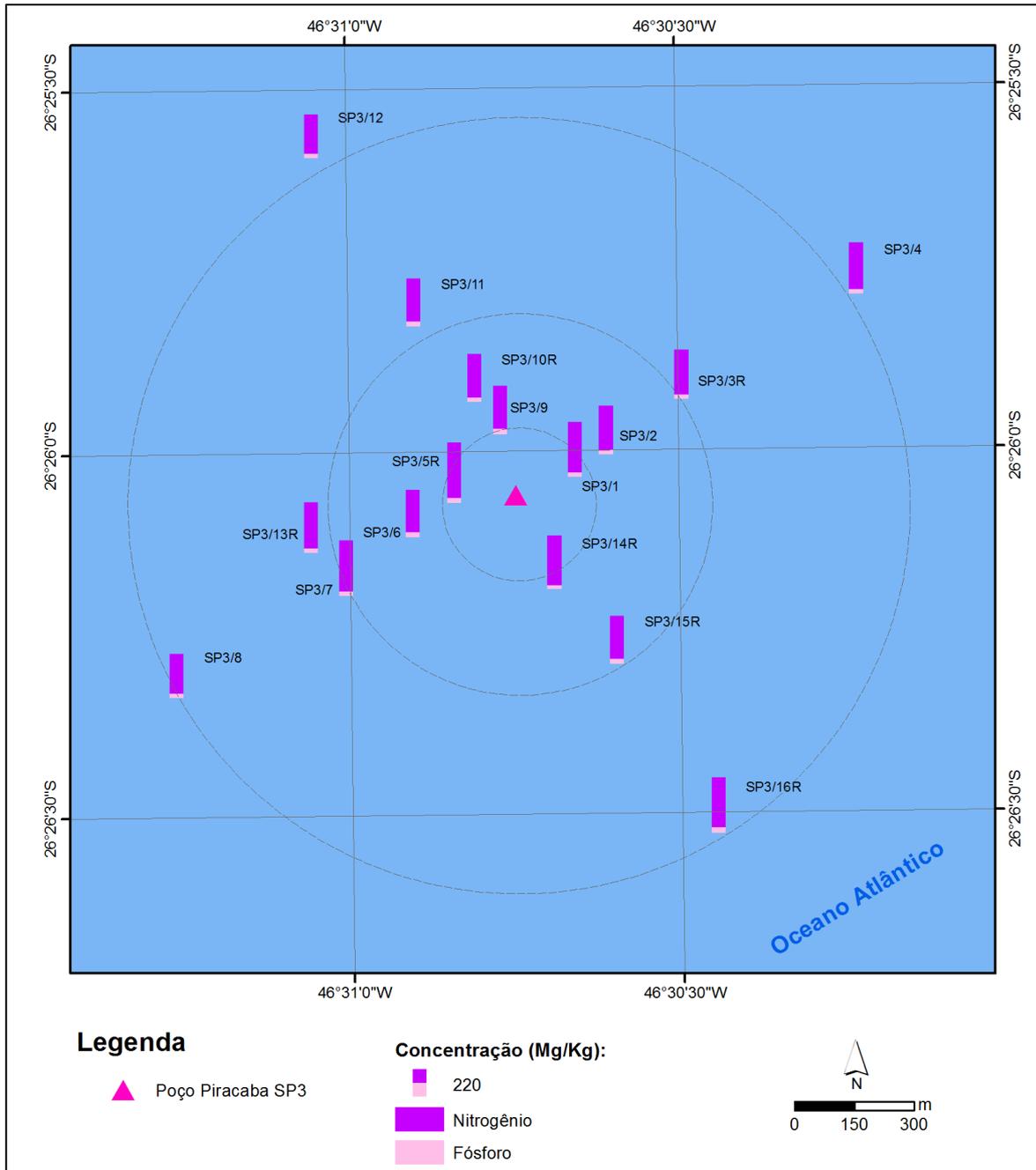
Em comparação com os dados pretéritos da região, os valores obtidos nesta campanha estiveram, em geral, bem abaixo dos valores relatados para as campanhas de monitoramento ambiental do TLD de Tiro & Sidon, cujo mínimo foi de 176,25 mg/kg e máximo de 1.712,40 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a). Nas campanhas de monitoramento do Poço Piracaba-SP3, as concentrações foram superiores as encontradas na presente campanha, variando entre 97 e 221 mg/kg, e entre 419,03 e 792,93 mg/kg, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015). Nas campanhas anteriores de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, as concentrações também foram bem superiores as encontradas na atual campanha, variando entre 287,33 e 691,33 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d). Esta diferença nas concentrações de fósforo total está provavelmente relacionada à variabilidade

natural. Pellens *et al.* (1998), em um estudo sobre a distribuição de fósforo na plataforma continental interna de Santa Catarina, encontraram concentrações de fósforo total superiores aos encontrados nesse estudo, variando entre 40 e 583 mg/kg.



**Figura V.1-13** – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

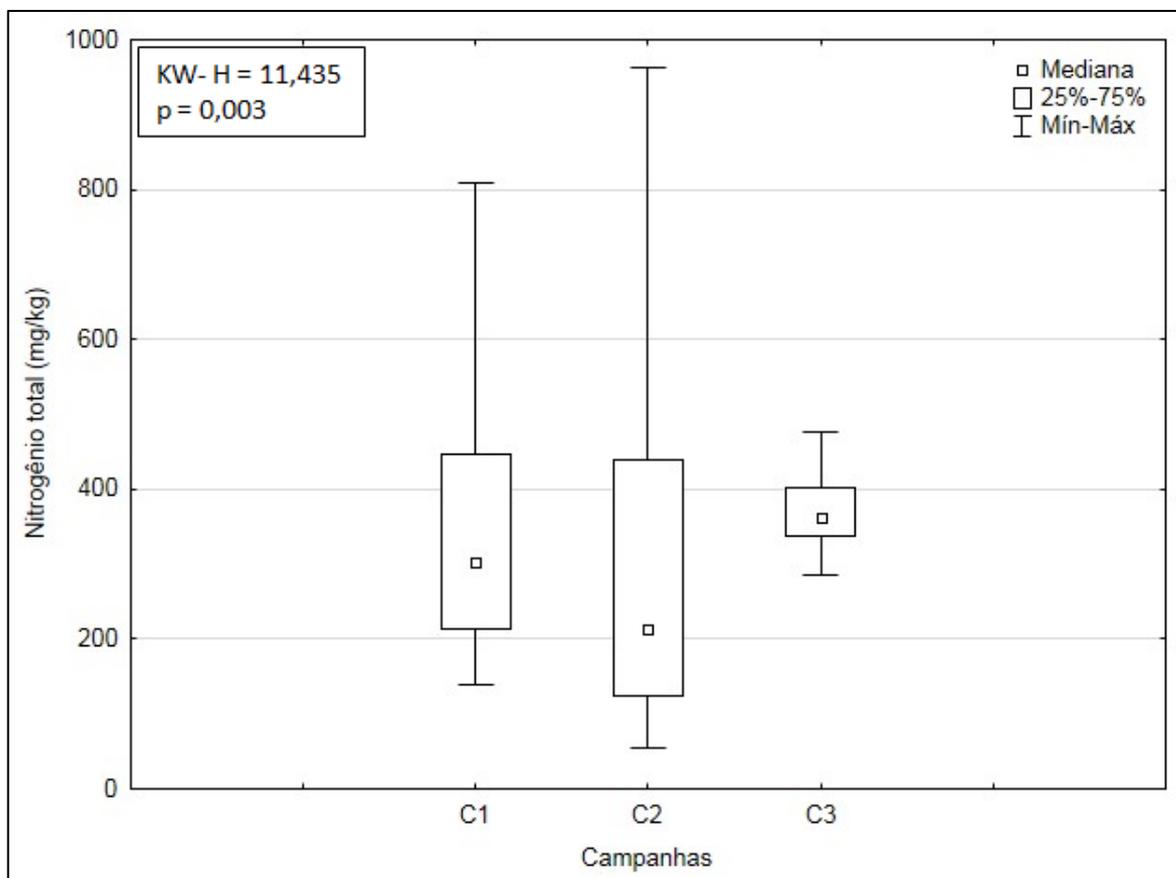
Para o nitrogênio total observa-se que as maiores concentrações se localizaram no eixo nordeste-sudoeste. Já para as concentrações de fósforo total não foi observado um padrão de distribuição espacial (Figura V.1-14).



**Figura V.1-14** – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.

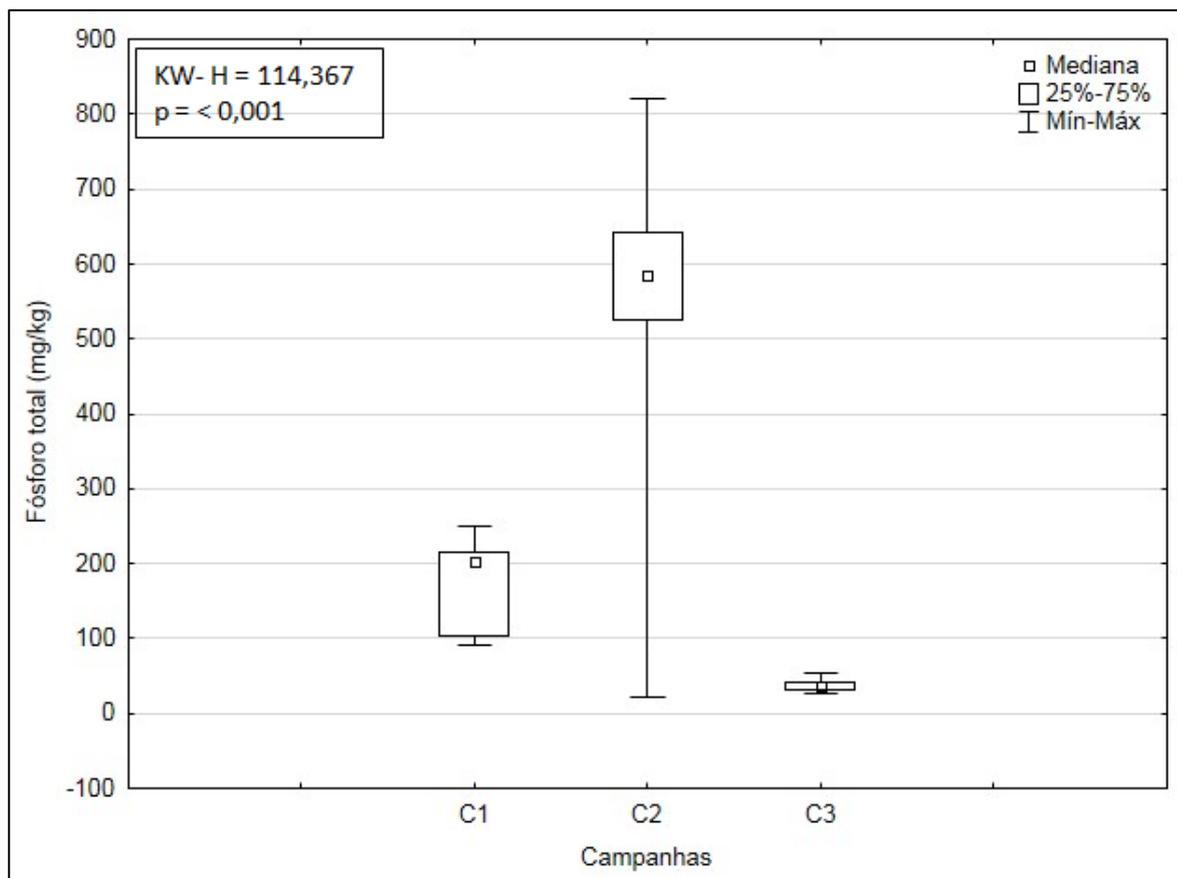
Na Figura V.1-15 são apresentadas as faixas das concentrações de nitrogênio total obtidas nas amostras das três campanhas de Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de nitrogênio total. Na comparação dos resultados de concentração de nitrogênio total nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas

(Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre a segunda e terceira campanha (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-15** – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-16 são apresentadas as faixas de concentração de fósforo total obtidas nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de fósforo total nas amostras. Na comparação dos resultados de concentração de fósforo foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-16** – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

### V.1.3 - Metais

A intervenção humana pode ser considerada como a maior responsável pelo aumento da magnitude e frequência da disposição dos metais no ambiente, uma vez que a sua utilização e geração como subproduto nas atividades industriais ocorre em escala exponencial, gerando diversos impactos em níveis local e global, levando a um estresse contínuo na natureza e, conseqüentemente, a efeitos agudos ou crônicos à saúde dos ecossistemas e do homem (BRAYNER, 1998).

A importância da preservação dos recursos hídricos tem levado à necessidade de monitorar e controlar a contaminação desses ambientes, e os

metais estão entre os contaminantes mais tóxicos e persistentes do ambiente aquático. Portanto, suas fontes, transporte e destino precisam ser avaliados (CAMPOS, 2002).

A descarga de metais em ambientes aquáticos pode promover alterações significativas nos comportamentos físicos, químicos e biológicos, tanto do corpo receptor (VEGA, 1998), como do próprio metal (VELASQUEZ, 2002; WITTERS, 1998), evidenciando que tanto as águas receptoras podem influenciar o comportamento e a toxicidade dos metais, quanto este pode acarretar em efeitos e respostas biológicas. Dependendo das condições ambientais, o metal pode variar a densidade, a diversidade, a estrutura da comunidade e a composição das espécies de populações existentes no ambiente aquático. O grau de variação dependerá amplamente da concentração de metais na água e no sedimento. As mudanças nas características do meio aquático pelo aporte de espécies metálicas antropogênicas podem provocar efeitos deletérios à biota aquática. Considerando as interdependências entre os organismos aquáticos, estas modificações sempre proporcionam desequilíbrios ecológicos (HUDSON, 1998).

Os metais diferenciam-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem absolutamente não degradáveis, de maneira que podem se acumular nos compartimentos do ambiente onde manifestam sua toxicidade (BARD, 2002).

Metal pesado é o nome designado ao grupo de elementos que ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de  $5 \text{ g/cm}^3$  (ADRIANO, 1986; EGREJA, 1993; POVINELLI, 1987). Os metais pesados surgem nas águas naturais devido aos lançamentos de efluentes industriais tais como os gerados em indústrias extrativistas de metais, indústrias de tintas e pigmentos e, especialmente, as galvanoplastias, que se espalham em grande número nas periferias das grandes cidades. Além dessas, os metais pesados podem ainda estar presentes em efluentes de indústrias químicas, como as de formulação de compostos orgânicos e de elementos e compostos inorgânicos, indústrias de couros, peles e produtos similares, indústrias de ferro e do aço, lavanderias e indústrias de petróleo. Os metais pesados constituem contaminantes químicos nas águas, pois em pequenas concentrações já acarretam em efeitos adversos à saúde (CETESB, 2006). No presente projeto de

monitoramento, foram analisados os seguintes metais classificados como metais pesados: chumbo, cobre, cádmio, cromo, mercúrio e manganês.

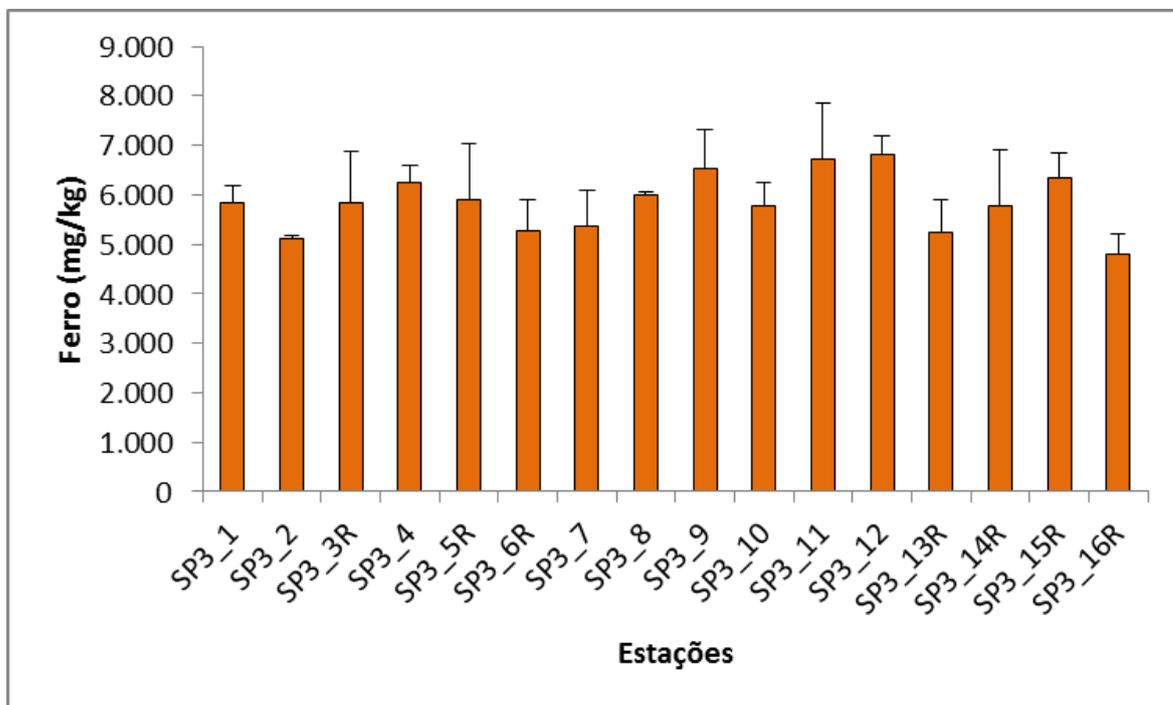
A análise das concentrações de metais é de grande importância, devido ao seu aspecto toxicológico e em função da sua cumulatividade na cadeia alimentar. Um dos metais abundantes no ambiente é o cobre, daí a preocupação em sua quantificação. Apesar de alguns deles serem essenciais aos seres vivos, como magnésio, ferro, zinco, manganês, cobre, cobalto, molibdênio, e boro, em altas concentrações, geralmente, são tóxicos (SKURIHIN, 1989). Outros metais como mercúrio, chumbo, cádmio, cromo e níquel não tem função biológica conhecida e comumente apresentam toxicidade aos organismos (GREENPEACE, 2006). A toxicidade depende de vários fatores que influenciam a disponibilidade da substância aos organismos, incluindo a fonte, a taxa de emissão, a concentração, transporte, fase de desenvolvimento e os processos bioquímicos de cada organismo (ALVES, 1999).

Dentre todos os metais analisados (alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro total, manganês, mercúrio, níquel, vanádio e zinco) o ferro e o alumínio apresentaram as mais elevadas concentrações nas amostras. As menores concentrações foram apresentadas pelos elementos chumbo e cádmio e mercúrio, que não foram detectados.

Dessa forma, a sequência de concentrações obtida na presente campanha foi a seguinte: Fe>Al>Mn>Ba>Zn>V>Cr>Ni>Cu>Pb>Cd>Hg. Esta sequência segue, de maneira geral, o padrão encontrado nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALITYCAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), das campanhas de monitoramento do poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) e das campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d), além de ser a distribuição esperada para ambientes naturais (LACERDA & MARINS, 2006).

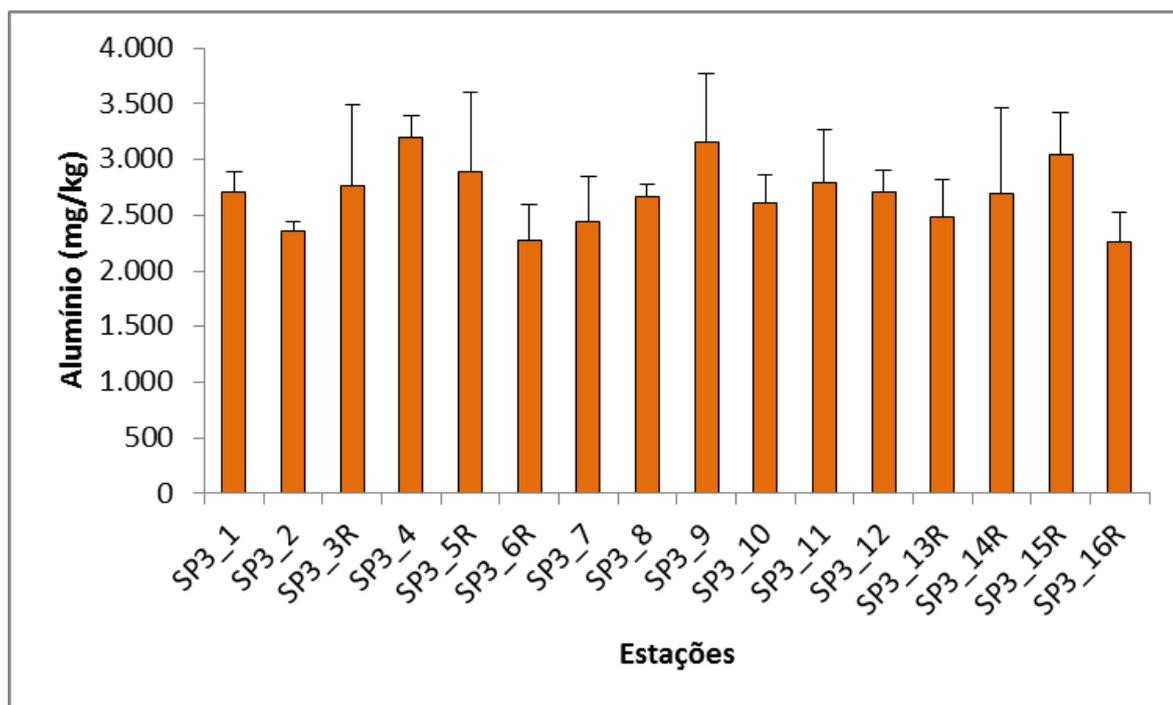
A concentração média de ferro nas estações amostradas foi de  $5.849,38 \pm 584,94$  mg/kg, com mínimo de  $4.810,00 \pm 396,11$  mg/kg em SP3\_16R e máximo de  $6.803,33 \pm 377,40$  mg/kg em SP3\_12 (Tabela V.1-7; Figura V.1-17). O valor do desvio padrão indica que a concentração de ferro não é homogênea entre as estações, o que é corroborado pelo fato de que foram identificadas diferenças

significativas na concentração de ferro entre as estações (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.



**Figura V.1-17** – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

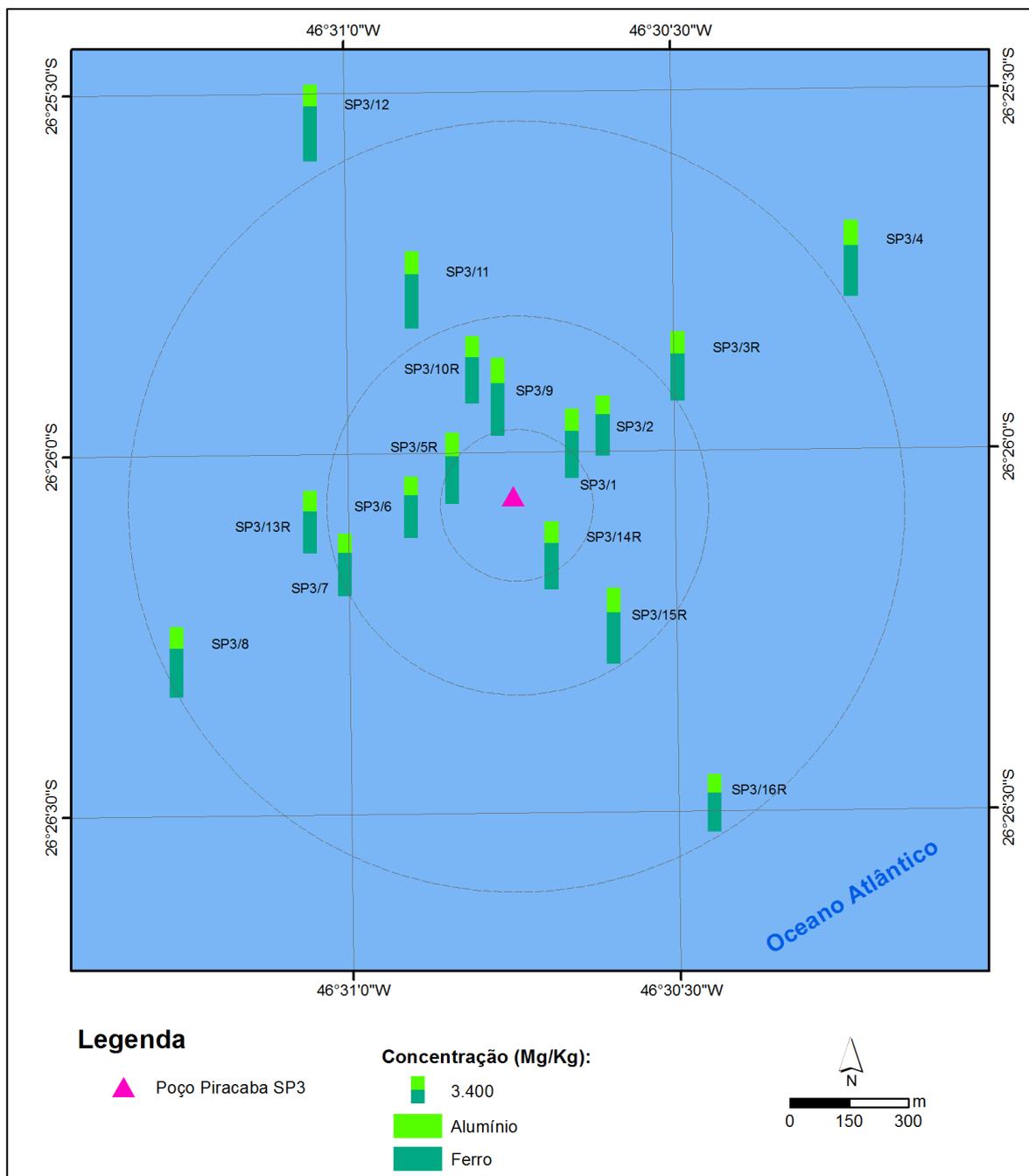
As concentrações de alumínio variaram entre  $2.263,33 \pm 255,80$  mg/kg, na estação SP3\_16R, e  $3.196,67 \pm 202,32$  mg/kg, na estação SP3\_4 (Tabela V.1-7; Figura V.1-18). A média entre as estações foi de  $2.688,75 \pm 286,43$  mg/kg e não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-18** – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

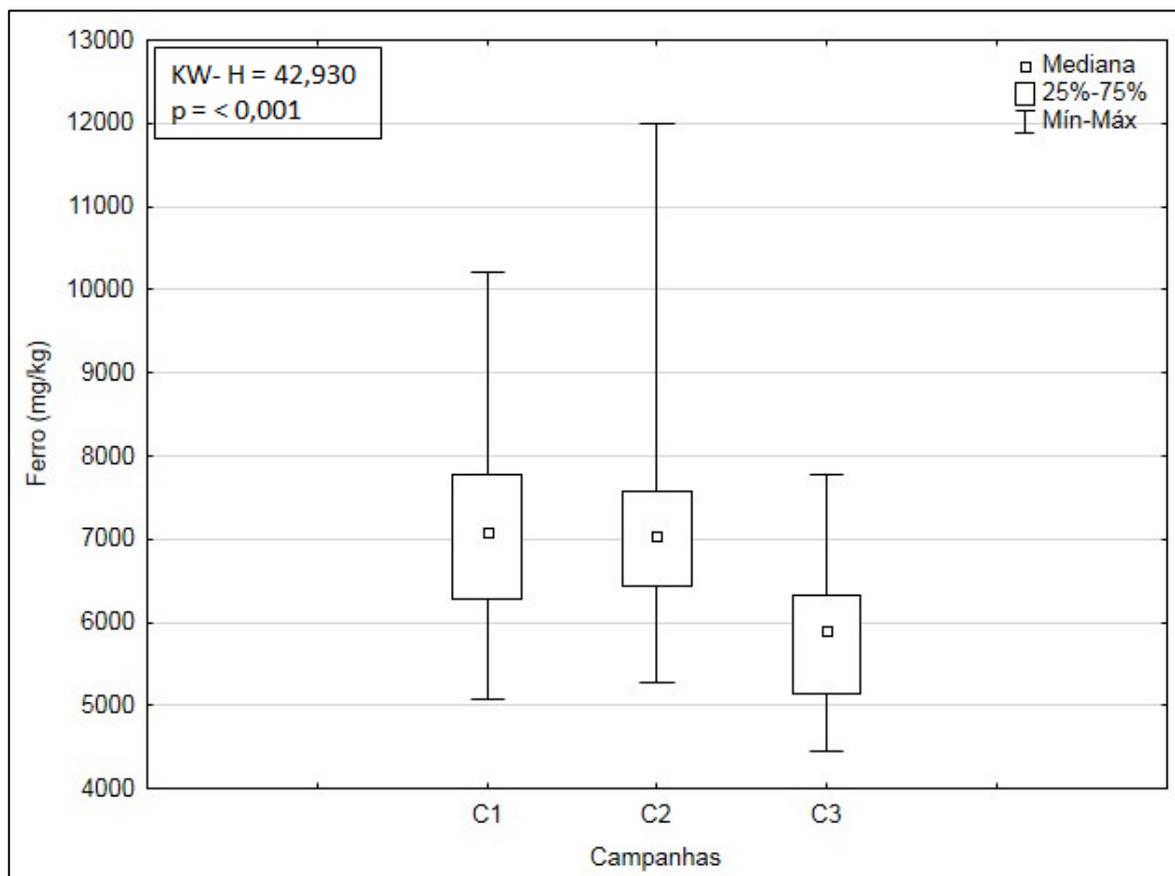
As concentrações de ferro e alumínio obtidas neste estudo mostram-se inferiores em relação aos dados das campanhas realizadas no âmbito do monitoramento ambiental do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), das campanhas de monitoramento do poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) e das campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d) apresentados na Tabela V.1-10. As concentrações de alumínio foram semelhantes somente as concentrações encontradas na primeira campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b).

A partir da análise gráfica da distribuição espacial das concentrações destes metais (Figura V.1-19), não foi possível estabelecer um padrão de distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme destes metais entre as estações amostradas.



**Figura V.1-19** – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos

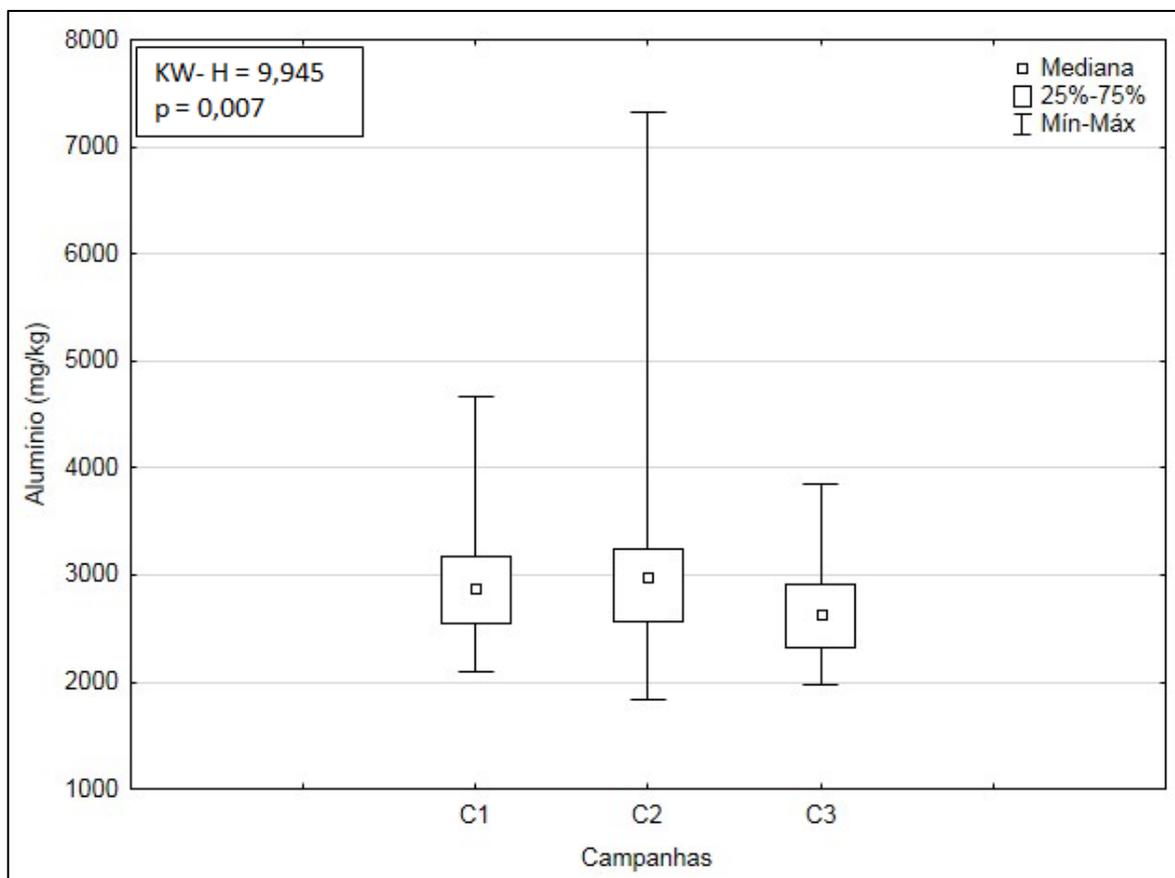
Na Figura V.1-20 são apresentadas as faixas das concentrações de ferro obtidas nas três campanhas de Piracaba-SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maior amplitude e maiores valores de ferro para as amostras. Na comparação dos resultados de concentração de ferro foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-20** – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-21 são apresentadas as faixas de concentração de alumínio obtidas nas amostras nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a segunda campanha apresentou as maiores concentrações de alumínio. Na comparação dos resultados de concentração de alumínio foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p <$

0,05). Foram encontradas diferenças significativas entre a terceira e as demais campanhas (Tukey,  $p < 0,05$ ).

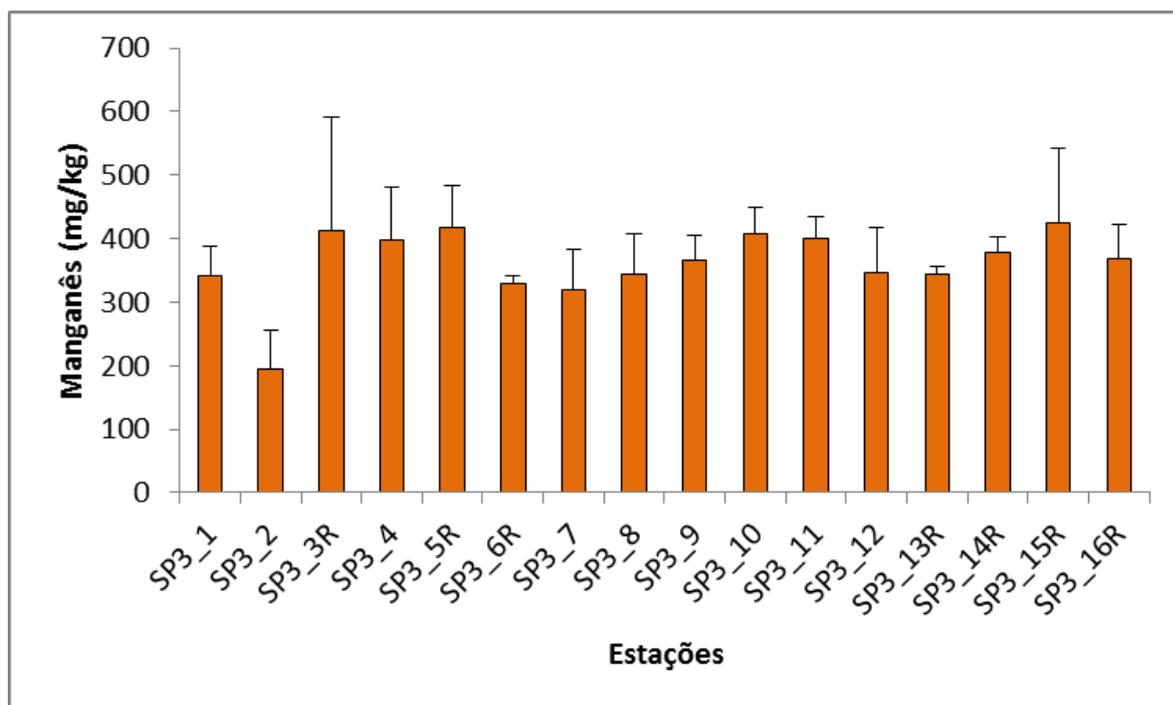


**Figura V.1-21** – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

A concentração média de manganês foi de  $362,38 \pm 56,39$  mg/kg, cujo valor mínimo observado foi de  $194,00 \pm 62,55$  mg/kg, na estação SP3\_2, e máximo de  $426,00 \pm 116,05$  mg/kg, na estação SP3\_15R (Tabela V.1-7; Figura V.1-22). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

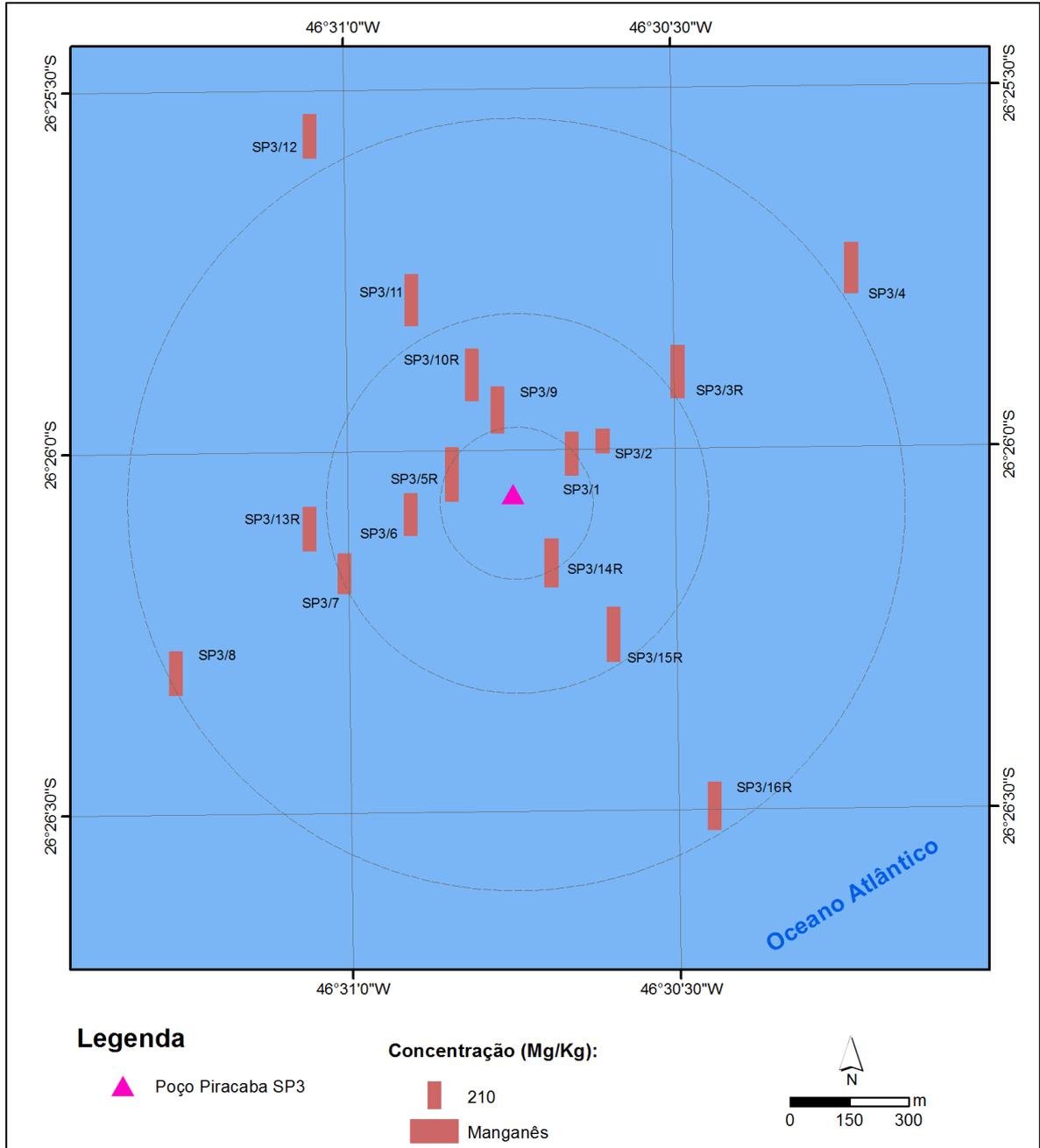
As concentrações de manganês obtidas neste estudo mostram-se condizentes com os dados da primeira campanha de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a) e inferiores em relação aos dados encontrados nas outras campanhas realizadas no âmbito do monitoramento ambiental do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL

SOLUTIONS, 2011b e 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) e nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d) apresentados na Tabela V.1-10.



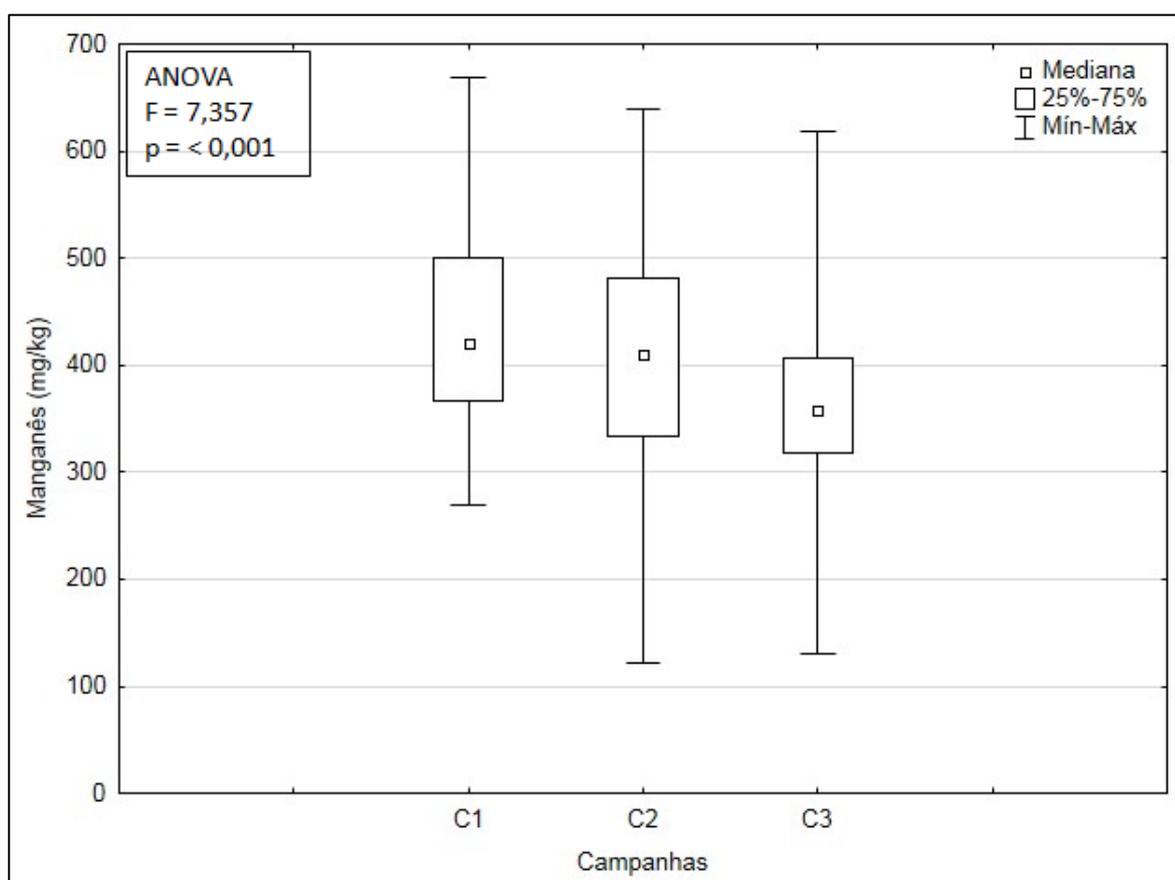
**Figura V.1-22** – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

A análise da distribuição espacial das concentrações de manganês não permitiu a visualização de um padrão de distribuição, mas de maneira geral, maiores concentrações foram encontradas no eixo noroeste-sudeste (Figura V.1-23).



**Figura V.1-23 – Distribuição espacial das concentrações de manganês (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos**

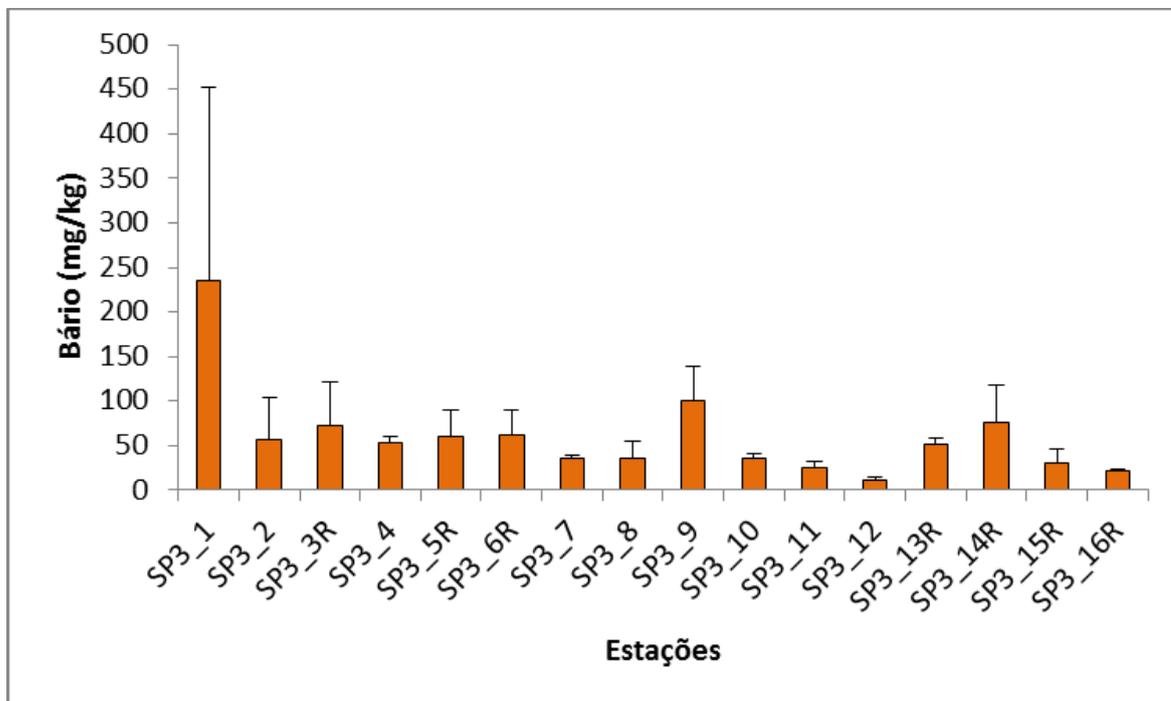
Na Figura V.1-24 são apresentadas as faixas das concentrações de manganês obtidas nas amostras das três campanhas de Piracaba-SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de manganês nas campanhas da fase de operação foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre a primeira e terceira campanhas (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-24** – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

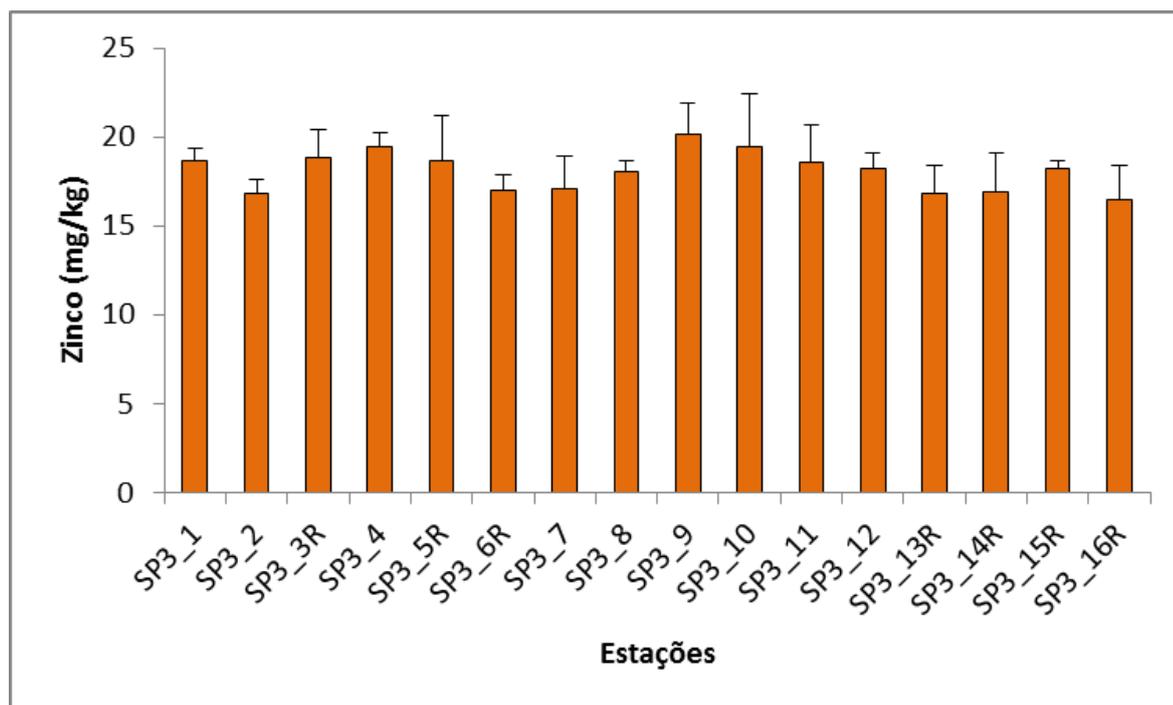
As concentrações de bário variaram de  $12,13 \pm 3,09$  mg/kg, na estação SP3\_12, até  $235,77 \pm 216,01$  mg/kg, na estação SP3\_1, sendo que a média entre as estações foi de  $60,29 \pm 52,12$  mg/Kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-25). Foram observadas diferenças significativas entre as estações (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ).

A estação SP3\_12 diferiu significativamente das estações SP3\_1 e SP3\_9 (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-25** – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

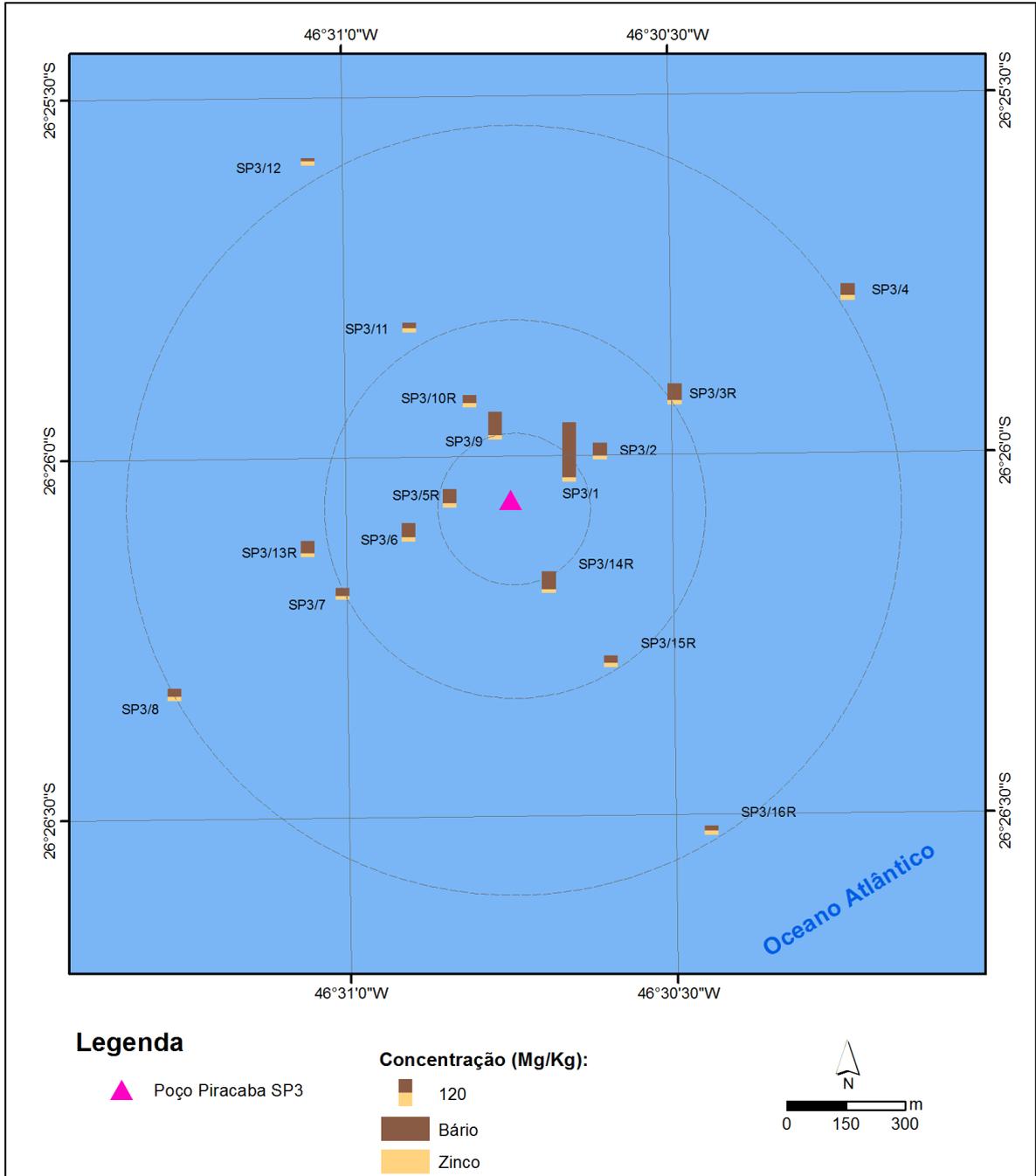
A concentração média de zinco foi de  $18,09 \pm 1,12$  mg/kg, com mínimo de  $16,47 \pm 1,91$  mg/kg na estação SP3\_16R, e  $20,17 \pm 1,72$  mg/kg, na estação SP3\_9 (Tabela V.1-7; Figura V.1-26). Estes valores são uma ordem de magnitude menor que o limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 454/12 para sedimentos marinhos nível 1, de 150 mg/kg. Diferente das concentrações de bário, as concentrações de zinco não apresentaram diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-26** – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de bário observadas na atual campanha foram bem mais elevadas do que as encontradas na primeira campanha do poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b) e das demais campanhas realizadas na região próxima a esse poço (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b e 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014c, 2014d), porém foram inferiores as encontradas na segunda campanha de monitoramento do poço SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Já as concentrações de zinco foram inferiores às encontradas nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro e Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b e 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) e nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d) (Tabela V.1-10).

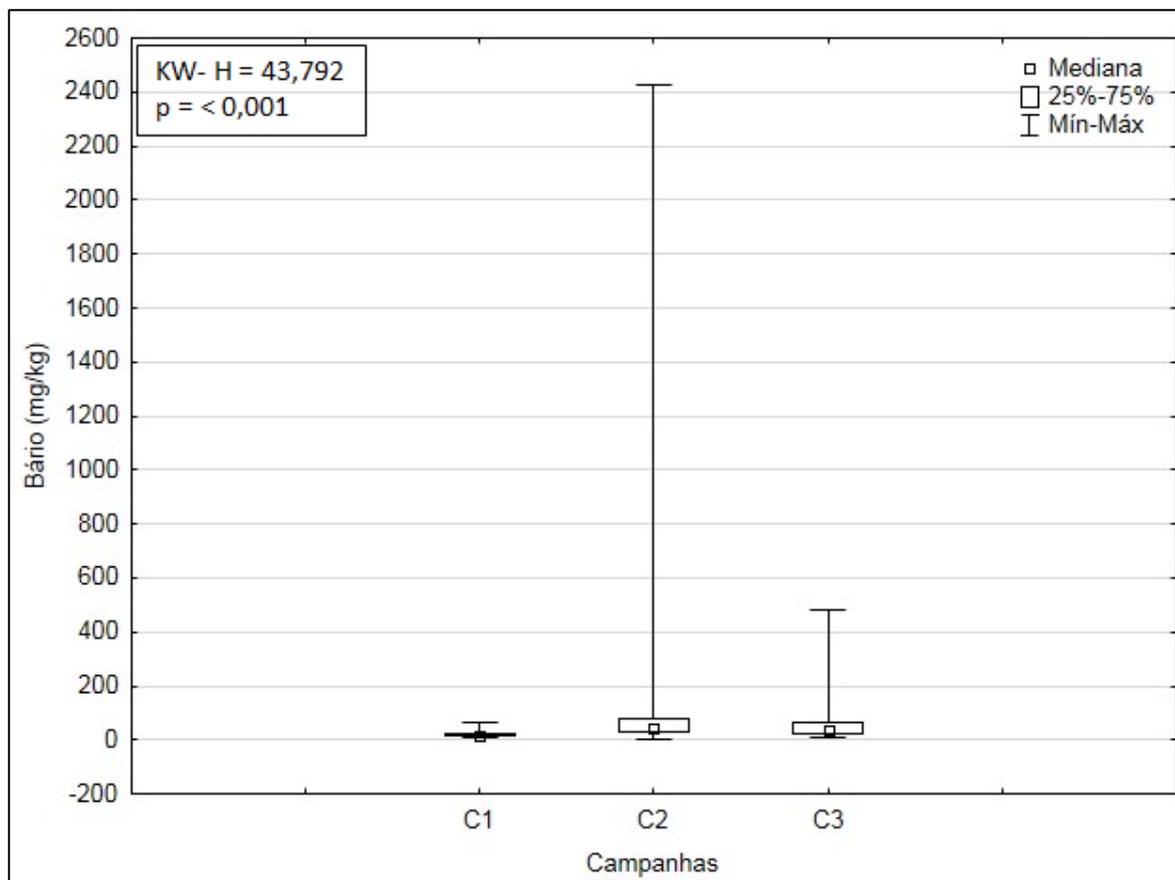
Não foi verificado um padrão na distribuição espacial para o zinco. Para o bário, as maiores concentrações foram observadas nas estações mais próximas do poço Piracaba SP3 (Figura V.1-27).



**Figura V.1-27 – Distribuição espacial das concentrações de bário e zinco (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.**

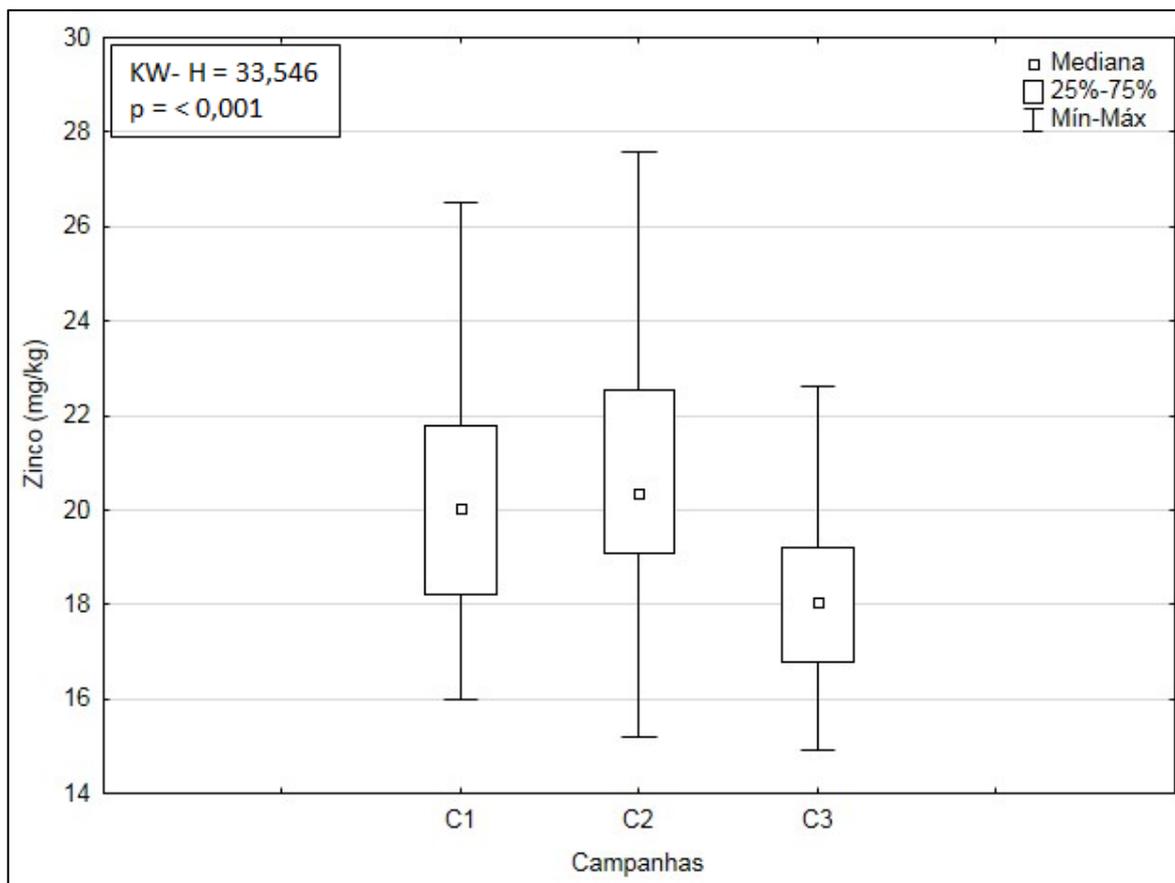
Na Figura V.1-28 são apresentadas as faixas das concentrações de bário obtidas nas campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a segunda campanha mostrou uma faixa de variação de valores maior em relação às outras campanhas. Na comparação dos resultados de concentração de bário

foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre a primeira e as demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



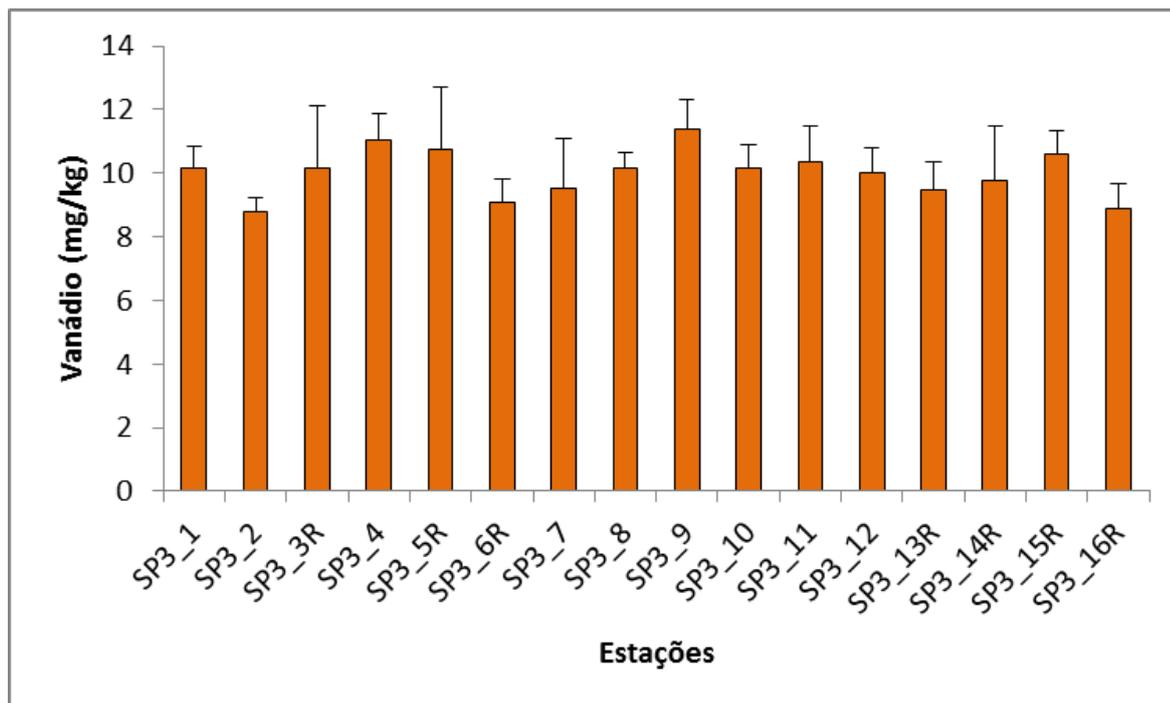
**Figura V.1-28** – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-29 são apresentadas as faixas de concentração de zinco obtidas nas três campanhas de Piracaba SP3. É possível verificar que a segunda campanha mostrou as maiores concentrações e o maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de zinco foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-29** – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

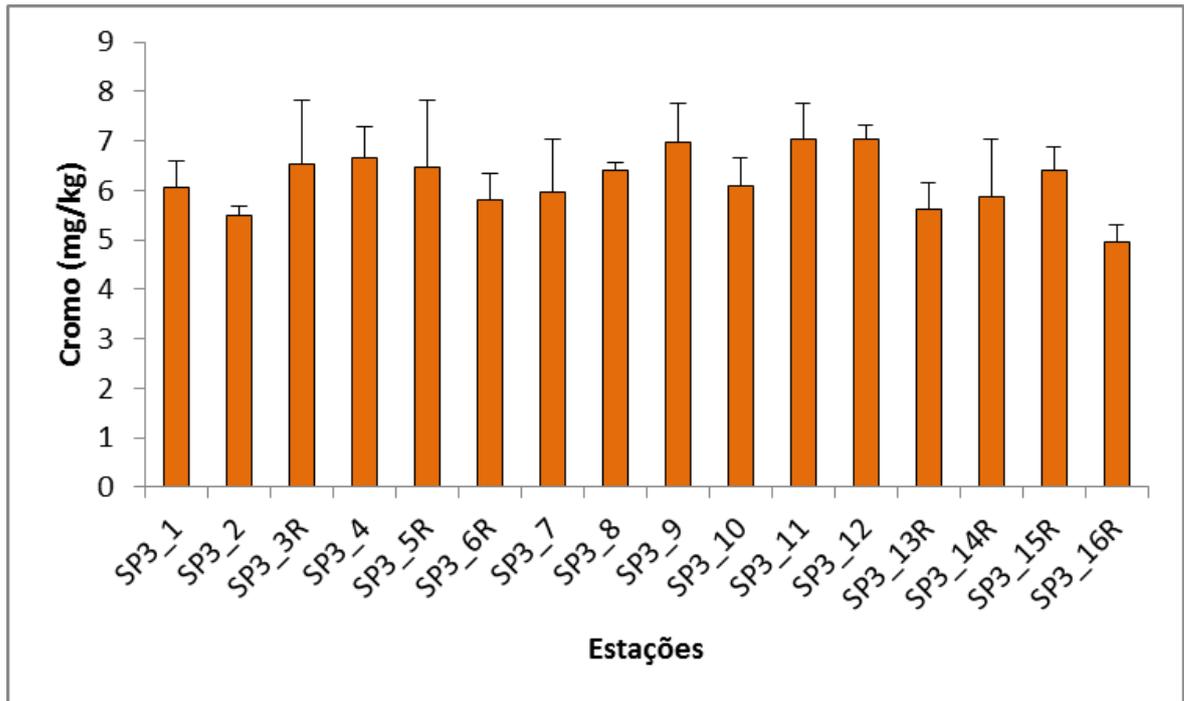
As concentrações de vanádio variaram entre  $8,80 \pm 0,44$  mg/kg na estação SP3\_2, e  $11,37 \pm 0,96$  mg/kg na estação SP3\_9, sendo que a média das estações foi de  $10,02 \pm 0,74$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-30). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-30** – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

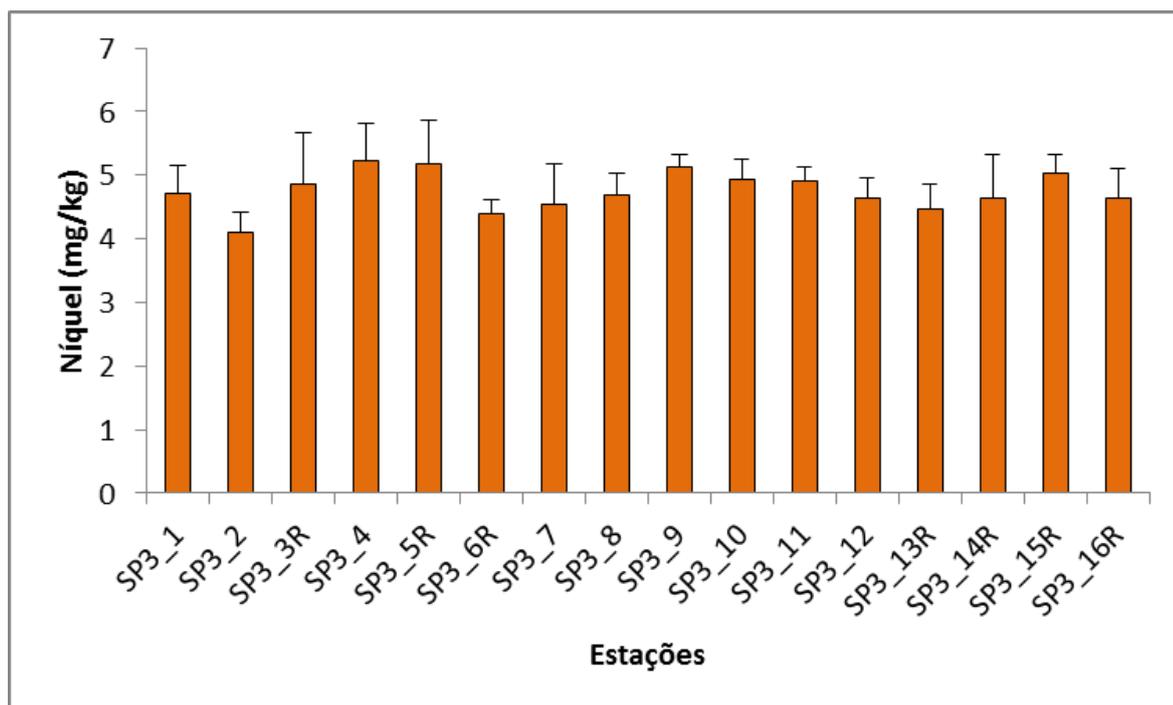
As concentrações de cromo observadas resultaram em uma concentração média de  $6,21 \pm 0,59$  mg/kg, com mínimo de  $4,95 \pm 0,37$  mg/kg na estação SP3\_16R e máximo de  $7,03 \pm 0,75$  mg/kg, na estação SP3\_11 (Tabela V.1-7; Figura V.1-31). Não houve diferença significativa nas concentrações de cromo entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

A Resolução CONAMA nº 454/12 define que a concentração limite de cromo para sedimentos marinhos nível 1 é de 81 mg/kg, considerando o objetivo da referida resolução, que é classificar a qualidade de sedimentos costeiros passíveis de serem dragados, as concentrações encontradas na atual campanha estão abaixo do limite estabelecido. Embora a área abrigue diversos empreendimentos antrópicos no entorno, como por exemplo, o TLD de Tiro & Sidon e o DP de Baúna e Piracaba, todos os valores encontrados nesta campanha estiveram bem abaixo do limite estabelecido pela legislação.



**Figura V.1-31** – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

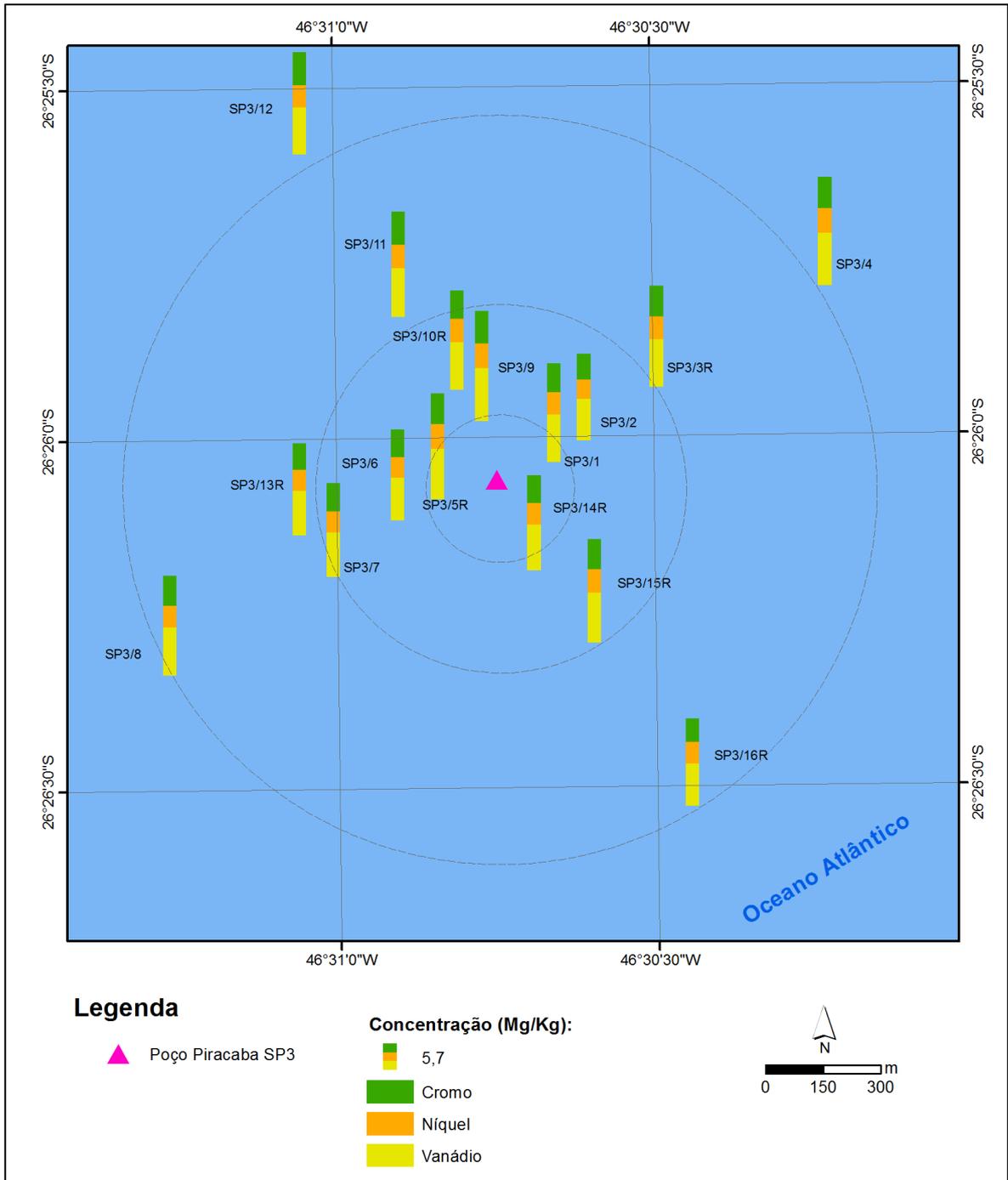
As concentrações de níquel variaram entre  $4,11 \pm 0,30$  mg/kg, na estação SP3\_2 e  $5,23 \pm 0,58$  mg/kg, na estação SP3\_4. A média entre as estações foi de  $4,76 \pm 0,31$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-32). Não foram encontradas diferenças significativas entre as estações amostradas (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-32** – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de níquel, vanádio e cromo encontradas no atual monitoramento foram inferiores as concentrações encontradas nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALITYCAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), nas campanhas de monitoramento do Poço Piracaba-SP3 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) e nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014c, 2014d) apresentados na Tabela V.1-10.

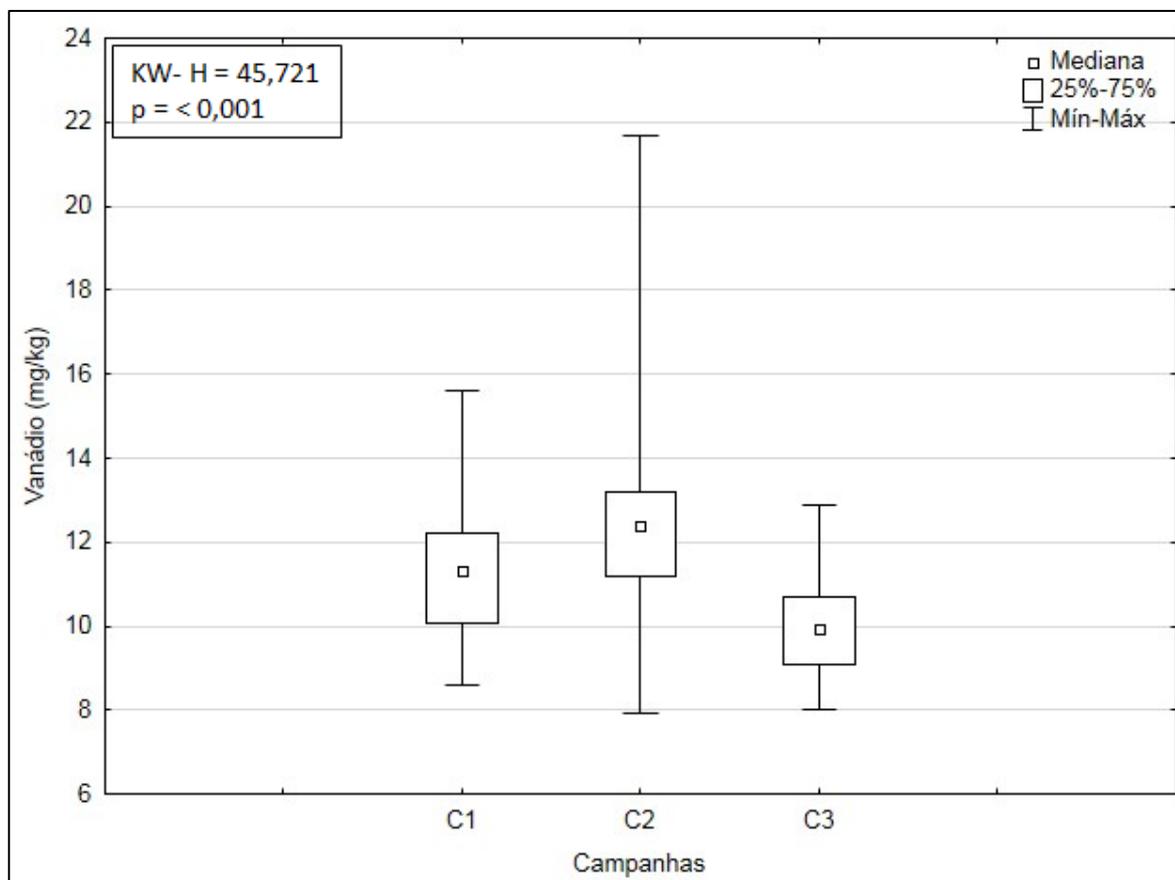
A análise da distribuição espacial das concentrações destes metais (Figura V.1-33) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente.



**Figura V.1-33** – Distribuição espacial das concentrações de vanádio, cromo e níquel (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos

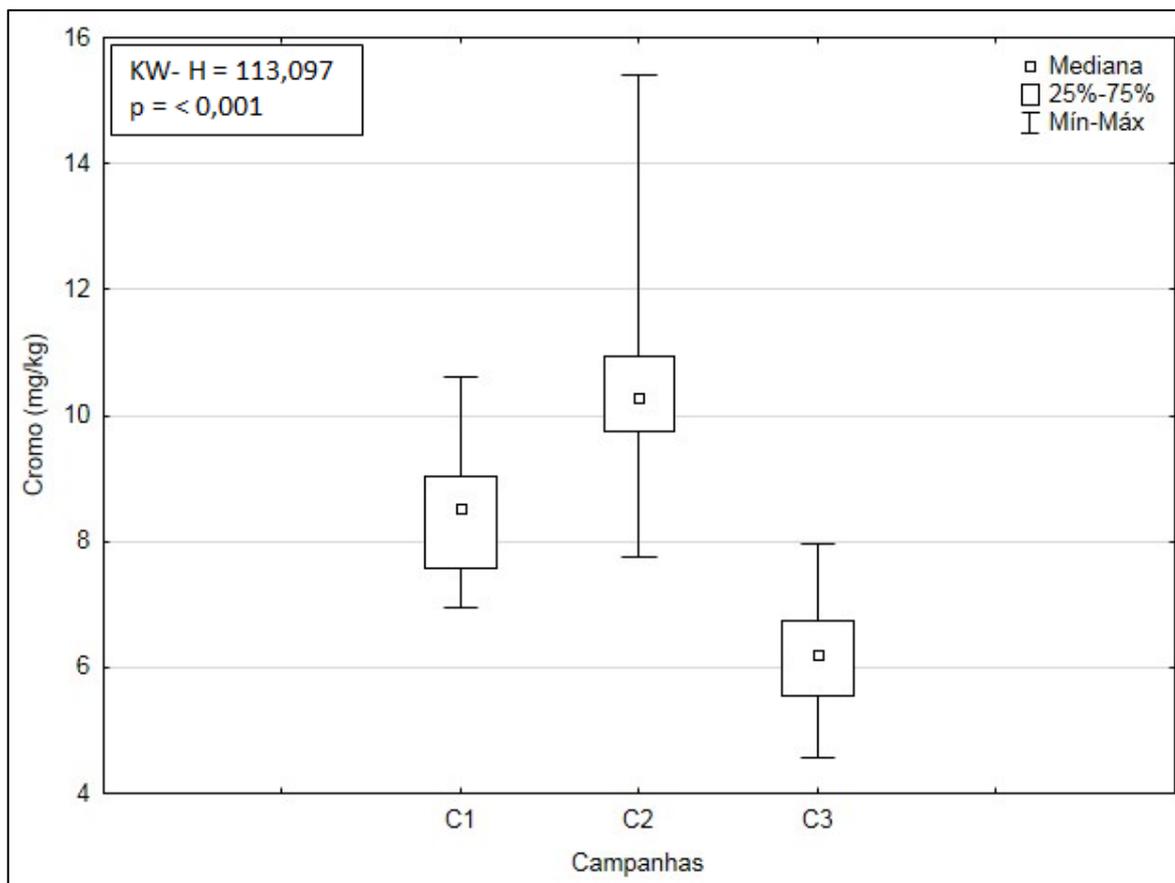
Na Figura V.1-34 são apresentadas as faixas das concentrações de vanádio obtidas nas campanhas do Poço Piracaba SP3. A maior amplitude de valores e as maiores concentrações de vanádio foram encontradas na segunda campanha. Na comparação dos resultados de concentração de vanádio foram detectadas

diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



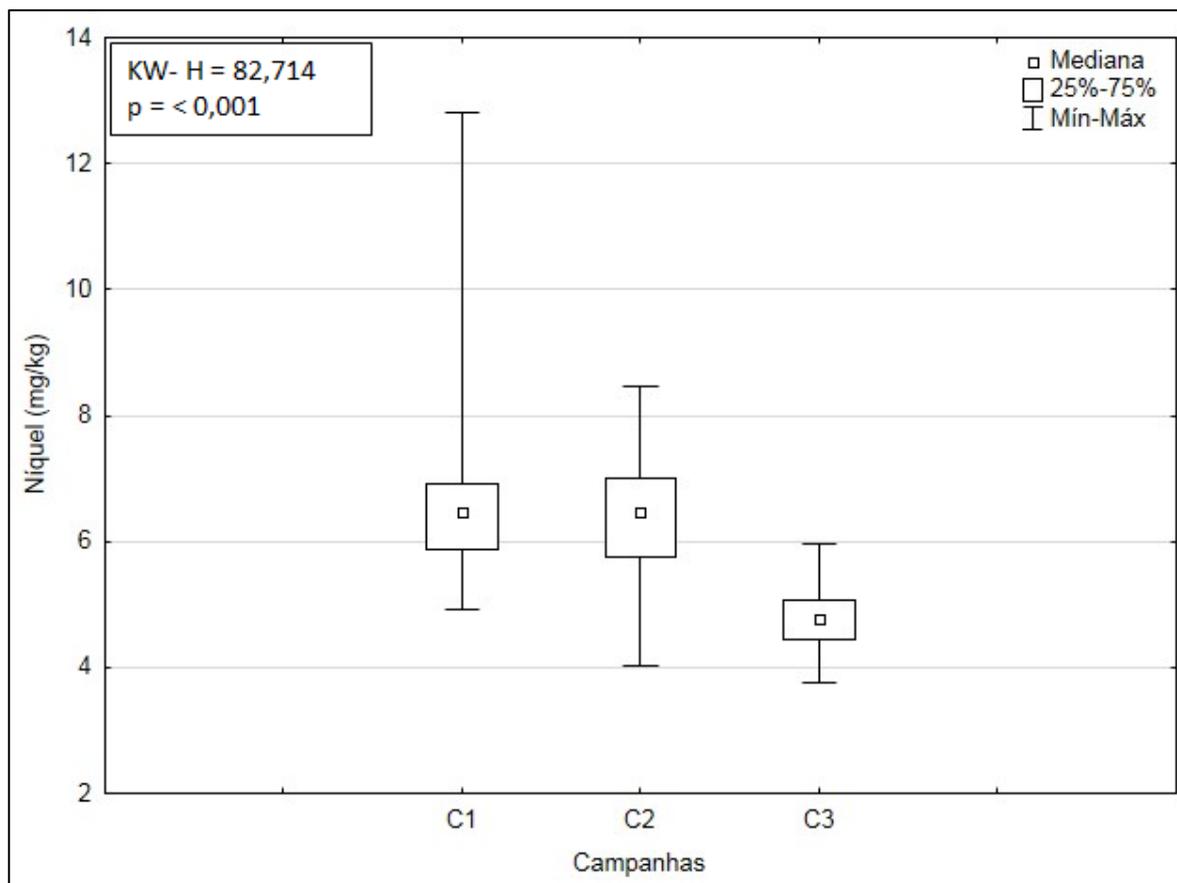
**Figura V.1-34** – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-35 são apresentadas as faixas de concentração de cromo obtidas nas três campanhas de Piracaba SP3. O maior intervalo de valores foi encontrado na 2ª campanha. Na comparação dos resultados de concentração de cromo foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



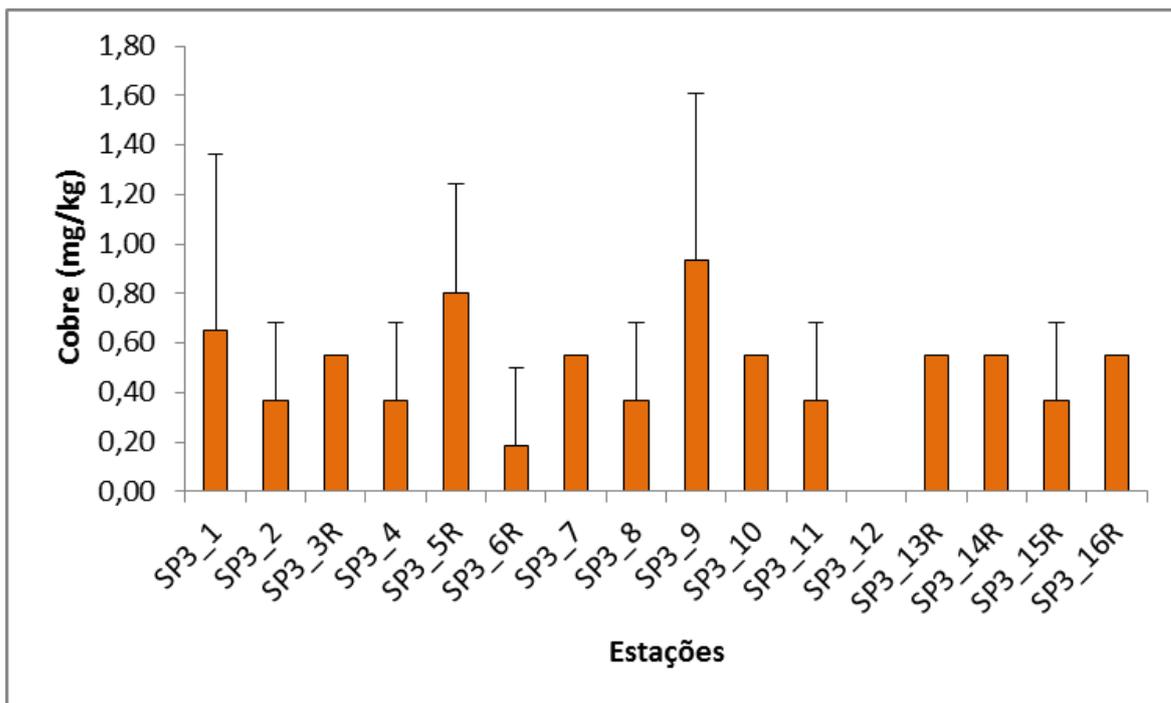
**Figura V.1-35** – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-36 são apresentadas as faixas das concentrações de níquel obtidas nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a primeira campanha apresentou as maiores concentrações. Na comparação dos resultados de concentração de níquel foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre a terceira e as demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-36** – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

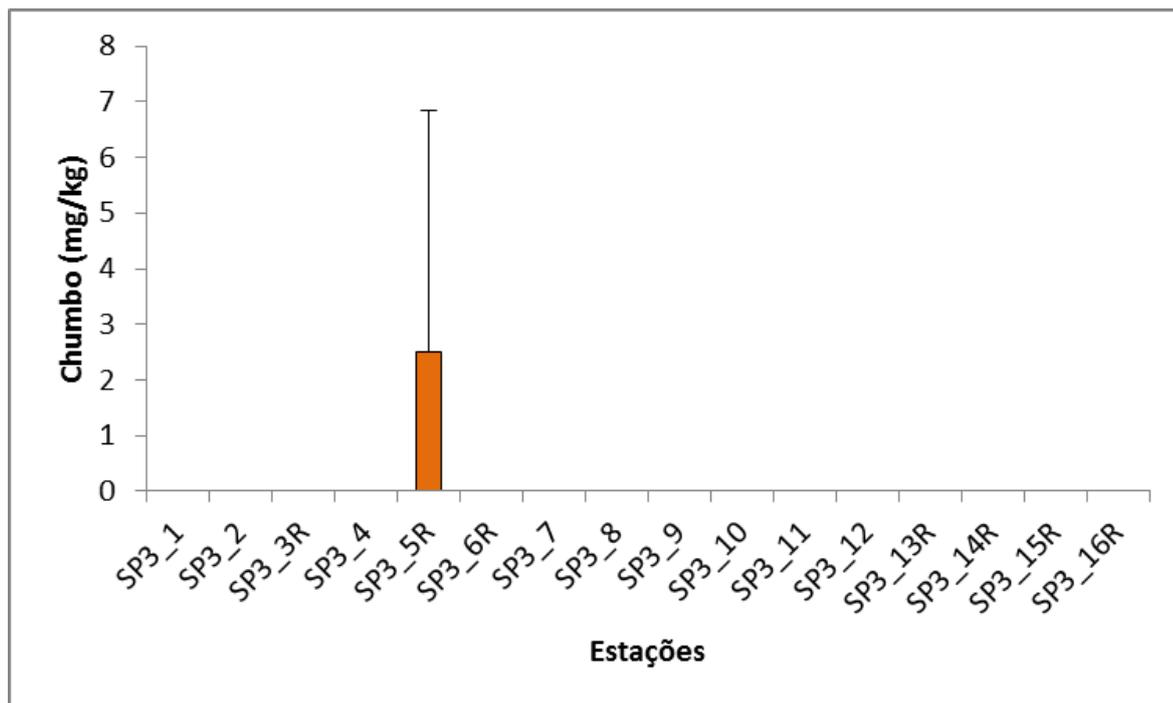
As concentrações de cobre apresentaram mínimo não detectado na estação SP3\_12, e máximo de  $0,94 \pm 0,67$  mg/kg, na estação SP3\_9, com média de  $0,48 \pm 0,22$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-37). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-37** – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cobre da atual campanha foram menores em relação às campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a), as campanhas de monitoramento do Poço Piracaba-SP3 e a segunda campanha de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2014d, 2015) apresentados na Tabela V.1-10. No entanto, quando comparados aos valores estabelecidos pela CONAMA nº 454/12, as concentrações de cobre nas amostras do atual monitoramento mostraram-se muito abaixo do limite estabelecido para sedimentos marinhos nível 1 (34 mg.Cu/kg). Ressalta-se novamente que este resultado condiz com o esperado para a região de estudo.

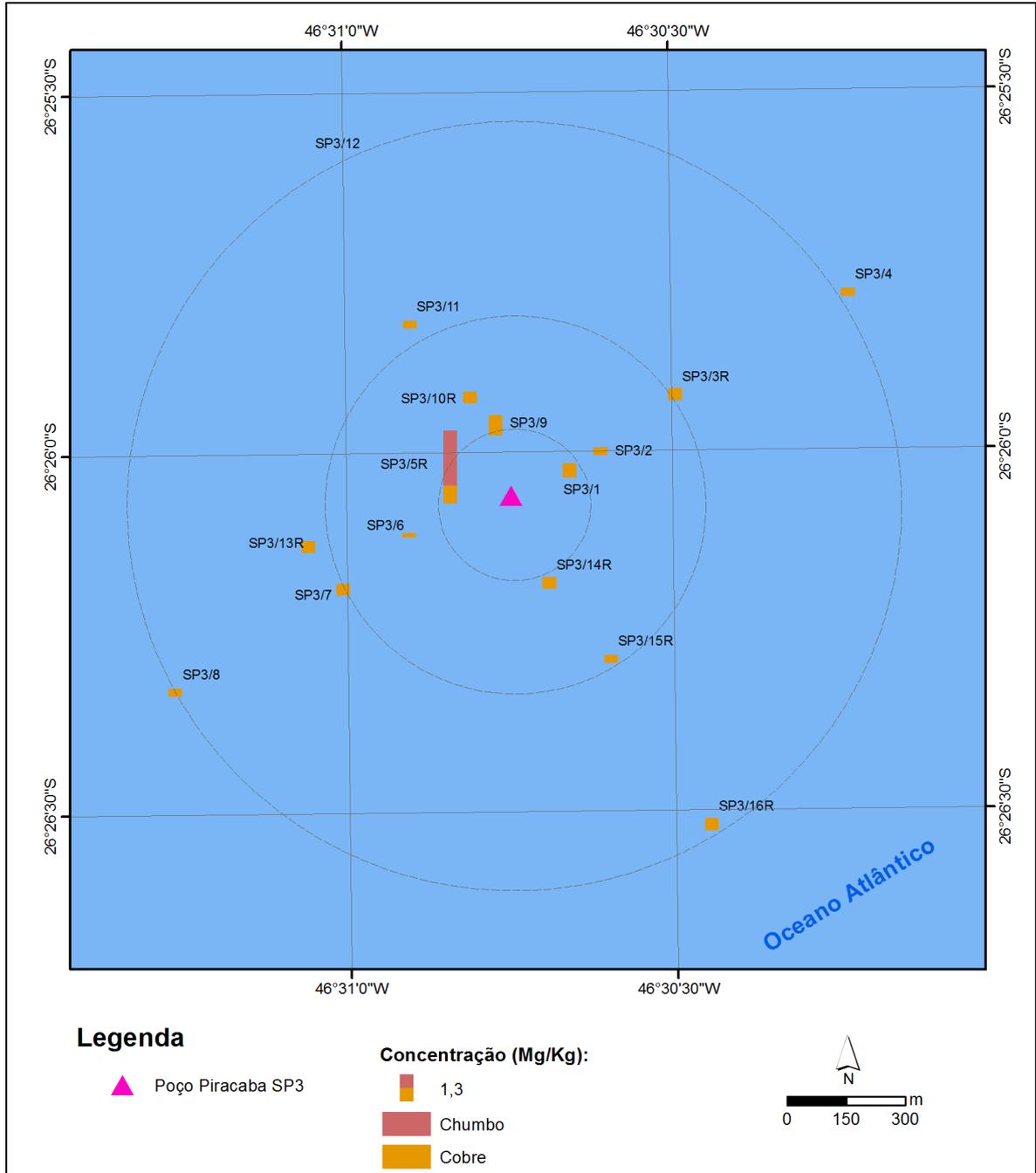
O chumbo apresentou concentrações variando de não detectado (LD = 0,80 mg/kg) a  $2,50 \pm 4,34$  mg/kg, na estação SP3\_5R, com média de  $0,16 \pm 0,63$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-37). Não foram encontradas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-38** – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

Conforme apresentado na Tabela V.1-10, concentrações de chumbo registradas para a região de estudo apresentam valores entre não detectado e 5,29 mg/kg.

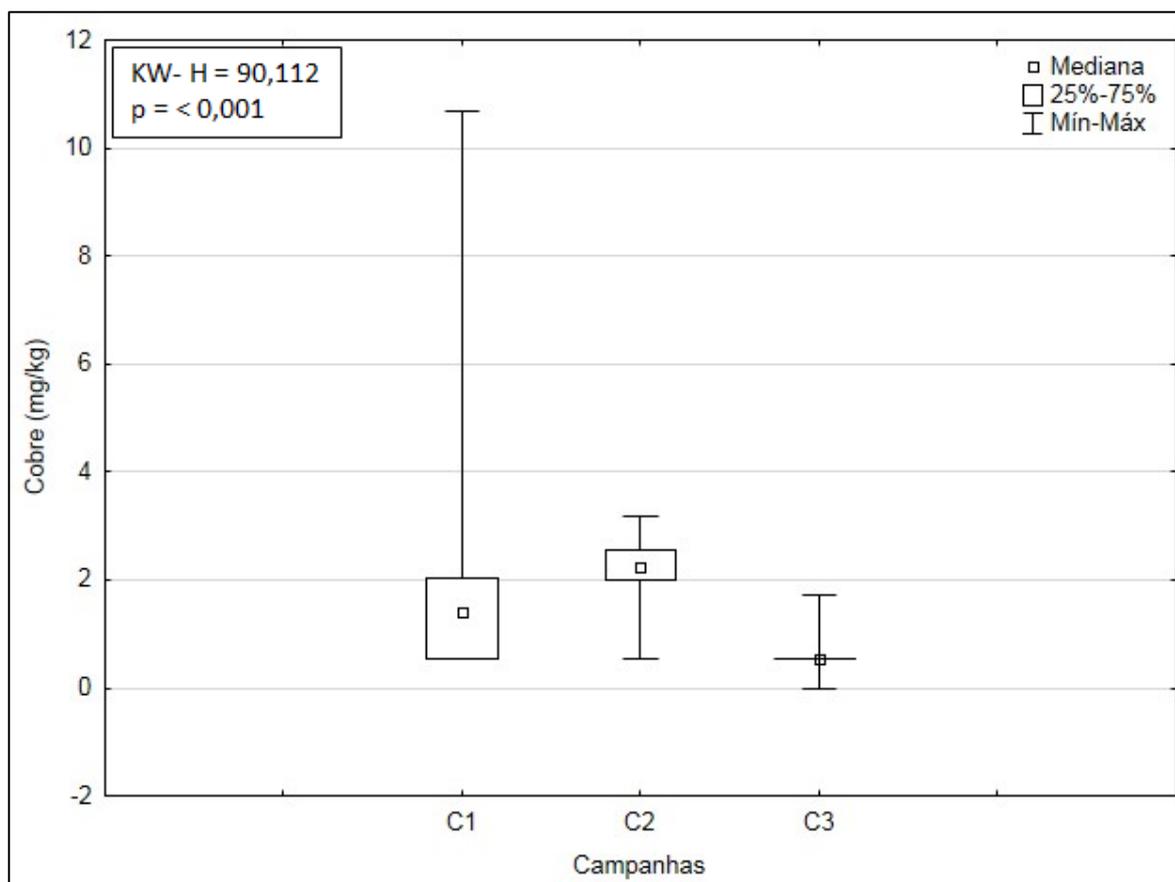
A análise da distribuição espacial das concentrações de cobre e chumbo (Figura V.1-39) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente, porém maiores concentrações de ambos os metais foram encontrados na estação SP3\_5R.



**Figura V.1-39 – Distribuição espacial das concentrações de cobre e chumbo (mg/kg) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos**

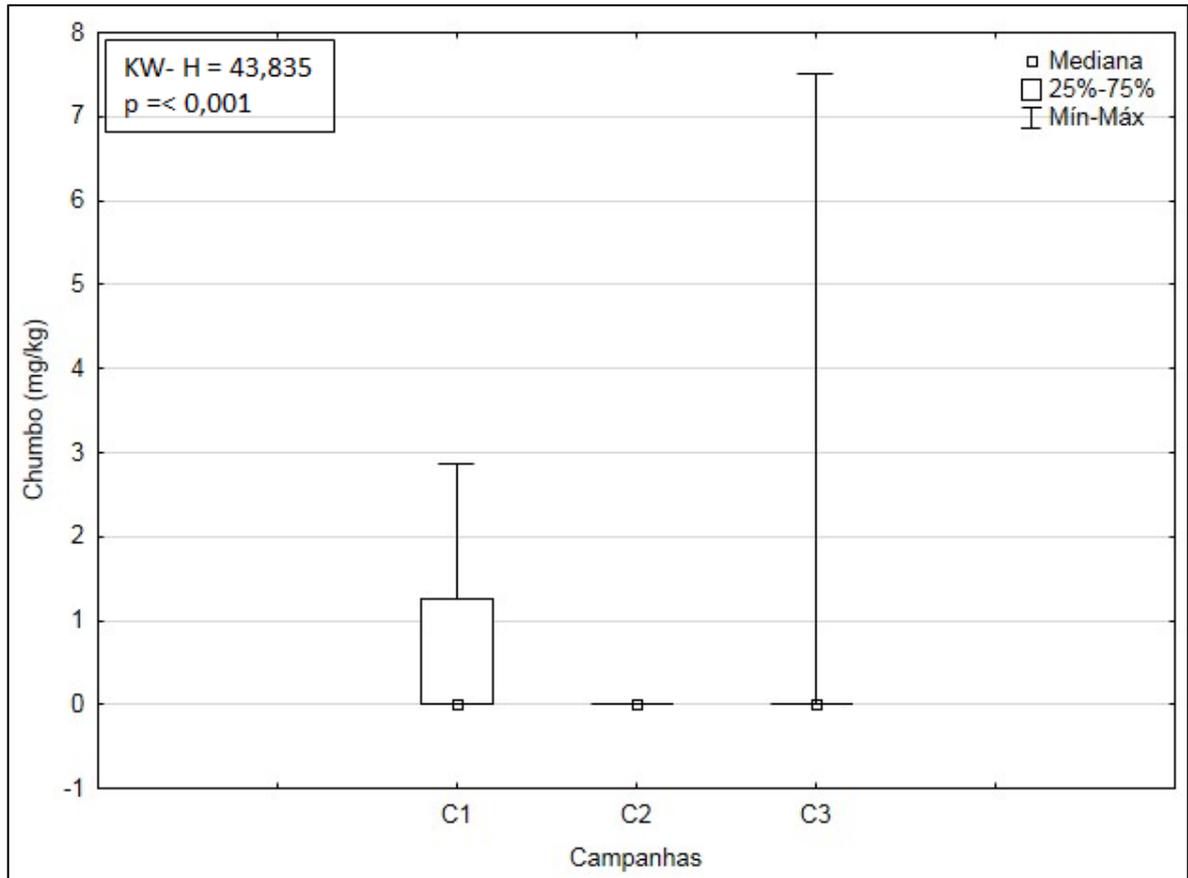
Na Figura V.1-40 são apresentadas as faixas de concentração de cobre obtidas nas campanhas do Poço Piracaba SP3. A maior amplitude de valores e as maiores concentrações de cobre foram encontradas na primeira campanha de monitoramento. Na comparação dos resultados de concentração de cobre foram

detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-40** – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Na Figura V.1-40 são apresentadas as faixas de concentração de chumbo obtidas nas campanhas do Poço Piracaba SP3. A maior amplitude de valores e as maiores concentrações de chumbo foram encontradas na atual campanha de monitoramento. Na comparação dos resultados de concentração de chumbo foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre a primeira e as demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-41** – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

O cádmio apresentou concentrações abaixo do limite de detecção (LD) da análise (0,1 mg/kg) em todas as estações. Resultado semelhante foi observado nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon, nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba-SP3 e nas campanhas de monitoramento do DP de Baúna e Piracaba, onde foi comum a ocorrência de concentrações de cádmio abaixo do LD (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2015).

Enfatiza-se que o metal mercúrio esteve abaixo do limite de detecção em todas as estações. Em campanhas de monitoramento anteriores, as concentrações de mercúrio também estiveram abaixo do LD (Tabela IV.2-2).

A Tabela V.1-7 apresenta as concentrações médias dos metais para cada estação amostrada e os valores de referência de TEL e PEL. Ao analisar os

resultados obtidos, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento da área de monitoramento do Poço Piracaba-SP3 não apresentam evidências de contaminação, uma vez que os resultados foram inferiores em relação as concentrações encontradas em estudos prévios na região (Tabela V.1-10) e com os valores de referência de TEL e PEL, ou seja, os valores encontrados são muito inferiores ao nível estabelecido por TEL, limite abaixo do qual não são esperados efeitos adversos à biota. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral, também não indicaram contaminação do sedimento (SeQI = 100).

Com o intuito de ter uma compreensão temporal do que ocorreu no poço com o decorrer do tempo após a perfuração, no presente relatório também foram apresentados os resultados para o fator de enriquecimento da segunda campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3 (Tabela V.1-8), além dos resultados do fator de enriquecimento da presente campanha (Tabela V.1-9).

Na segunda campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, o fator de enriquecimento foi superior a 1 para todos os metais, em pelo menos 3 estações. O enriquecimento foi classificado como pequeno para todos os metais, exceto para o bário (Tabela V.1-8). Para o bário, o enriquecimento foi classificado como pequeno nas estações SP3\_2R, SP3\_3R2, SP3\_8, SP3\_10R, SP3\_12, SP3\_14R e SP3\_15, como moderado nas estações SP3\_1R, SP3\_6, SP3\_7 e SP3\_9R, como moderado a severo na estação SP3\_5R, e como severo na estação SP3\_13R.

Na atual campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, o fator de enriquecimento foi inferior a 1 para todas as estações de cromo, ferro, níquel e vanádio, portanto, não houve enriquecimento por esses metais nessas estações (Tabela V.1-9). O enriquecimento foi pequeno na estação SP3\_13R para o cobre, na estação SP3\_5R para o chumbo, nas estações SP3\_3R, SP3\_11, SP3\_12 e SP3\_13R para o manganês e em todas as estações para o zinco. Para o bário, o enriquecimento foi moderado nas estações SP3\_2, SP3\_5R, SP3\_6R e SP3\_14R, moderado a severo na estação SP3\_9, severo na estação SP3\_1 e pequeno nas demais estações.

Comparando as duas campanhas pós perfuração é possível observar que os valores do fator de enriquecimento diminuíram da segunda para a terceira

campanha, portanto, houve um enriquecimento maior no momento logo após a perfuração (1º retorno), com os valores do fator de enriquecimento decrescendo ao longo do tempo. O único metal que manteve fator de enriquecimento moderado a severo foi o bário, que apesar da diminuição do fator, ainda manteve valores elevados de FE.

Ao analisar os resultados acima apresentados, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento na área onde foi perfurado o poço Piracaba-SP3 apresenta evidências de contaminação destes parâmetros devido aos valores do fator de enriquecimento, que foram pequenos para a maioria dos metais, exceto para o bário, embora não tenham ultrapassado os valores de referência de TEL e PEL (Tabela V.1-7).

**Tabela V.1-7 – Concentração média de metais (mg/kg) em cada estação da atual campanha de monitoramento ambiental e valores de referência TEL e PEL.**

Estações	Alumínio		Bário		Cobre		Cromo		Ferro		Manganês		Níquel		Chumbo		Vanádio		Zinco	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
SP3_1	2.713,33	180,09	235,77	216,01	0,65	0,71	6,06	0,53	5.826,67	361,16	340,33	47,65	4,72	0,45	0,00	0,00	10,16	0,69	18,67	0,70
SP3_2	2.353,33	85,05	56,20	47,04	0,37	0,32	5,50	0,19	5.113,33	66,58	194,00	62,55	4,11	0,30	0,00	0,00	8,80	0,44	16,80	0,85
SP3_3R	2.756,67	735,01	72,33	49,03	0,55	0,00	6,53	1,31	5.826,67	1.067,26	413,67	177,93	4,85	0,83	0,00	0,00	10,15	1,97	18,87	1,57
SP3_4	3.196,67	202,32	52,97	7,26	0,37	0,32	6,66	0,65	6.240,00	351,71	399,00	82,40	5,23	0,58	0,00	0,00	11,07	0,81	19,43	0,85
SP3_5R	2.883,33	723,97	60,70	29,19	0,80	0,44	6,48	1,33	5.910,00	1.136,62	418,67	65,29	5,18	0,69	2,50	4,34	10,74	1,95	18,63	2,53
SP3_6R	2.280,00	313,21	61,40	29,30	0,18	0,32	5,81	0,52	5.280,00	625,54	330,33	12,01	4,39	0,22	0,00	0,00	9,08	0,72	17,00	0,87
SP3_7	2.443,33	397,16	35,30	4,78	0,55	0,00	5,97	1,06	5.360,00	717,15	320,33	63,52	4,54	0,64	0,00	0,00	9,51	1,59	17,13	1,80
SP3_8	2.670,00	112,69	35,40	19,85	0,37	0,32	6,39	0,19	6.010,00	51,96	343,67	64,49	4,69	0,35	0,00	0,00	10,18	0,45	18,10	0,61
SP3_9	3.153,33	614,19	100,63	37,61	0,94	0,67	6,99	0,78	6.533,33	800,65	365,67	40,70	5,12	0,20	0,00	0,00	11,37	0,96	20,17	1,72
SP3_10	2.603,33	251,66	35,37	5,69	0,55	0,00	6,11	0,56	5.786,67	460,69	408,33	40,02	4,92	0,34	0,00	0,00	10,14	0,75	19,43	3,01
SP3_11	2.786,67	475,22	24,60	7,53	0,37	0,32	7,03	0,75	6.730,00	1.120,67	400,67	33,83	4,91	0,22	0,00	0,00	10,38	1,09	18,57	2,12
SP3_12	2.703,33	196,55	12,13	3,09	0,00	0,00	7,02	0,31	6.803,33	377,40	345,67	72,83	4,65	0,31	0,00	0,00	10,00	0,82	18,23	0,91
SP3_13R	2.476,67	341,22	51,77	6,83	0,55	0,00	5,63	0,54	5.250,00	640,86	343,67	12,86	4,47	0,40	0,00	0,00	9,50	0,87	16,80	1,57
SP3_14R	2.686,67	777,77	76,80	41,25	0,55	0,00	5,87	1,18	5.770,00	1.132,65	378,67	24,21	4,64	0,70	0,00	0,00	9,75	1,75	16,90	2,23
SP3_15R	3.050,00	370,27	31,23	14,29	0,37	0,32	6,40	0,48	6.340,00	517,30	426,00	116,05	5,04	0,30	0,00	0,00	10,59	0,74	18,20	0,46
SP3_16R	2.263,33	255,80	22,00	1,55	0,55	0,00	4,95	0,37	4.810,00	396,11	369,33	54,20	4,65	0,45	0,00	0,00	8,90	0,76	16,47	1,91
Máximo	3.196,67		235,77		0,94		7,03		6.803,33		426,00		5,23		2,50		11,37		20,17	
Mínimo	2.263,33		12,13		0,00		4,95		4.810,00		194,00		4,11		0,00		8,80		16,47	
Média	2.688,75		60,29		0,48		6,21		5.849,38		362,38		4,76		0,16		10,02		18,09	
Desvio Padrão	286,43		52,12		0,22		0,59		584,94		56,39		0,31		0,63		0,74		1,12	
TEL	-		-		18,70		52,30		-		-		-		30,20		-		124,00	
PEL	-		-		108,00		160,00		-		-		-		112,00		-		271,00	

**Tabela V.1-8** - Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação para a segunda campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ), valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ( $5 < FE < 10$ ) e valores em roxo indicam enriquecimento severo ( $10 < FE < 25$ ).

Estações	Bário	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel	Zinco	Vanádio
SP3/1R	4,54	1,34	1,15	1,04	0,74	0,87	0,94	1,05
SP3/2R	2,75	1,51	1,21	1,02	1,28	0,96	0,94	1,07
SP3/3R2	1,68	0,97	0,72	0,72	0,48	0,55	0,50	0,79
SP3/4	0,72	0,83	1,04	0,88	0,70	0,79	0,78	1,00
SP3/5R	5,34	1,16	0,87	0,70	0,58	0,68	0,68	0,84
SP3/6	3,98	1,40	1,16	0,92	0,88	0,91	0,95	1,04
SP3/7	3,42	2,51	1,31	1,00	1,28	1,19	1,07	1,21
SP3/8	1,66	1,98	1,39	1,05	1,11	1,08	1,07	1,15
SP3/9R	3,57	1,34	1,44	1,13	0,94	1,10	1,14	1,20
SP3/10R	2,69	2,72	1,39	1,06	0,95	1,11	1,18	1,18
SP3/11	0,94	2,19	1,20	1,00	0,82	0,95	1,04	1,07
SP3/12	1,11	1,63	1,07	0,86	0,84	0,90	0,90	1,03
SP3/13R	24,43	2,66	0,88	0,82	0,81	0,81	0,86	0,89
SP3/14R	1,71	1,40	1,21	1,02	0,82	0,98	1,02	1,03
SP3/15	1,78	0,42	1,14	0,96	0,80	0,71	1,02	1,03
SP3/16	0,83	1,73	1,28	1,05	0,74	0,94	1,16	1,07

**Tabela V.1-9 - Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação para a atual campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ), valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ( $5 < FE < 10$ ) e valores em roxo indicam enriquecimento severo ( $10 < FE < 25$ ).**

Estações	Bário	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
SP3_1	13,32	0,42	0,78	0,92	0,79	0,71	0,00	0,47	1,75
SP3_2	3,32	0,30	0,86	0,91	0,68	0,78	0,00	0,54	1,89
SP3_3R	2,75	0,43	0,83	0,88	1,09	0,78	0,00	0,48	1,77
SP3_4	1,20	0,16	0,72	0,84	0,79	0,71	0,00	0,49	1,61
SP3_5R	3,38	0,58	0,70	0,71	0,94	0,73	2,79	0,47	1,51
SP3_6R	4,11	0,16	0,80	0,91	0,87	0,82	0,00	0,54	1,83
SP3_7	2,92	0,69	0,93	0,93	0,96	0,94	0,00	0,61	1,93
SP3_8	2,83	0,34	0,82	0,90	0,99	0,80	0,00	0,54	1,74
SP3_9	6,01	0,46	0,82	0,92	0,77	0,77	0,00	0,54	1,73
SP3_10	2,55	0,61	0,84	0,93	0,96	0,89	0,00	0,60	1,93
SP3_11	1,66	0,47	0,85	0,99	1,02	0,84	0,00	0,56	1,72
SP3_12	1,10	0,00	0,85	0,98	1,22	0,92	0,00	0,58	1,87
SP3_13R	2,27	1,02	0,74	0,88	1,02	0,88	0,00	0,58	1,73
SP3_14R	3,94	0,38	0,75	0,92	0,85	0,79	0,00	0,52	1,59
SP3_15R	1,22	0,07	0,73	0,87	0,81	0,55	0,00	0,52	1,52
SP3_16R	1,11	0,49	0,81	0,96	0,87	0,91	0,00	0,62	1,92

**Tabela V.1-10 - Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores no TLD de Tiro & Sidon, poço Piracaba-SP3 e DP de Baúna e Piracaba, Bacia de Santos. n.d. = não detectado.**

Fonte		Alumínio	Bário	Cromo	Cobre	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
C1 TLD Tiro & Sidon <sup>1</sup>	Mín	3.939,00	8,53	9,27	2,97	9.652,00	164,80	4,58	2,92	9,88	17,22
	Máx	12.326,00	33,96	13,67	5,53	14.813,00	413,10	7,46	5,29	19,40	27,32
C2 TLD Tiro & Sidon <sup>2</sup>	Mín	9.264,74	11,79	11,42	3,17	12.984,00	160,42	5,57	3,27	15,91	21,33
	Máx	13.839,30	69,87	14,95	4,83	16.776,00	641,21	8,90	4,88	20,82	27,72
C3 TLD Tiro & Sidon <sup>3</sup>	Mín	8.591,07	10,39	12,07	3,85	11.963,00	136,46	7,96	2,27	15,81	23,25
	Máx	12.710,20	35,60	21,38	5,55	19.909,00	528,12	12,03	4,08	24,13	36,56
C4 TLD Tiro & Sidon <sup>4</sup>	Mín	4.426,67	14,63	7,41	0,18	7.286,67	272,33	5,29	n.d.	12,87	18,50
	Máx	9.946,67	58,67	11,33	1,29	14.066,67	545,33	7,82	n.d.	20,93	26,90
C1 Piracaba SP3 <sup>5</sup>	Mín	2.516,67	11,97	7,34	0,55	5.850,00	309,33	5,18	n.d.	9,87	16,80
	Máx	3.720,00	43,90	9,75	4,59	8.753,33	525,67	8,11	1,79	13,50	23,70
C2 Piracaba SP3 <sup>6</sup>	Mín	2.360,00	15,00	9,59	1,62	6.210,00	305,00	5,58	n.d.	10,53	17,80
	Máx	6.496,67	909,27	13,30	2,89	11.166,67	523,67	8,06	n.d.	19,83	24,93
C1 DP B&P <sup>7</sup>	Mín	3.993,33	8,93	8,67	n.d.	8.863,33	378,33	3,63	3,20	10,07	17,33
	Máx	4.696,67	15,33	10,23	n.d.	10.413,33	536,33	5,73	3,80	45,33	21,00
C2 DP B&P <sup>8</sup>	Mín	2.423,33	18,00	8,93	1,90	5.866,67	323,33	5,73	n.d.	10,53	17,33
	Máx	4.506,67	27,00	13,67	2,47	9.300,00	463,33	7,03	n.d.	16,67	23,33

Fonte: 1. Petrobras/Analytical Solutions, 2011a / 2. Petrobras/Analytical Solutions, 2011b / 3. Petrobras/Analytical Solutions, 2013 / 4. Petrobras/Bourscheid, 2014a / 5. Petrobras/Bourscheid, 2014b / 6. Petrobras/Bourscheid, 2015 / 7. Petrobras/Bourscheid, 2014c / 8. Petrobras/Bourscheid, 2014d.

#### V.1.4 - Hidrocarbonetos

Os sedimentos marinhos são carreadores e fontes potenciais de contaminantes nos sistemas aquáticos, já que as partículas recobertas por material orgânico, sulfetos e hidróxidos de ferro mantêm os contaminantes orgânicos associados a sua superfície (KENNISH, 1997). Os sedimentos contaminados representam um grande risco para a biota aquática, principalmente para espécies bentônicas e epibentônicas, as mais expostas aos contaminantes de origem sedimentar, aos adsorvidos nas partículas sedimentares e àqueles dissolvidos na água intersticial. A ressuspensão do sedimento pode provocar a liberação desses contaminantes sob forma dissolvida na coluna d'água ou adsorvida a partículas, colocando também em risco os organismos pelágicos, que podem ainda ser contaminados devido ao processo de bioacumulação (GEFFARD *et al.*, 2002).

Os hidrocarbonetos podem ser transportados para os sedimentos por adesão ou incorporação ao material particulado e ao plâncton (VAN VLEET, 1979). Os hidrocarbonetos são formados a grandes pressões no interior da terra e são trazidos para áreas de menor pressão através de processos geológicos, onde podem formar produtos da decomposição da matéria orgânica (petróleo, gás natural, carvão, etc.). Podem ser introduzidos no ambiente por fontes naturais, como combustão de biomassa vegetal e emanções do fundo oceânico, e antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis e derivados, derrames acidentais e descartes de efluentes domésticos e industriais (MAZZERA *et al.*, 1999).

No presente estudo, os hidrocarbonetos compreendem os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's), n-alcanos, mistura complexa não-resolvida (MCNR) e hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's).

Não foram detectadas concentrações de HPA's em nenhuma das estações deste monitoramento. As concentrações de HPA's observadas em estudos já realizados na região apresentaram valores entre 0,0002 e 0,13 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002) e entre 0,0018 mg/kg e 0,37 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a). Neste monitoramento, em nenhum dos pontos amostrados a concentração de HPA superou o limite de

detecção do método de análise (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d, 2015).

Foram verificadas concentrações detectáveis de MCNR, HTP's e n-alcanos. Foram encontradas concentrações acima do limite de detecção de MCNR apenas na estação SP3\_1, com concentração de  $16.982,67 \pm 16.906,52 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de MCNR entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.

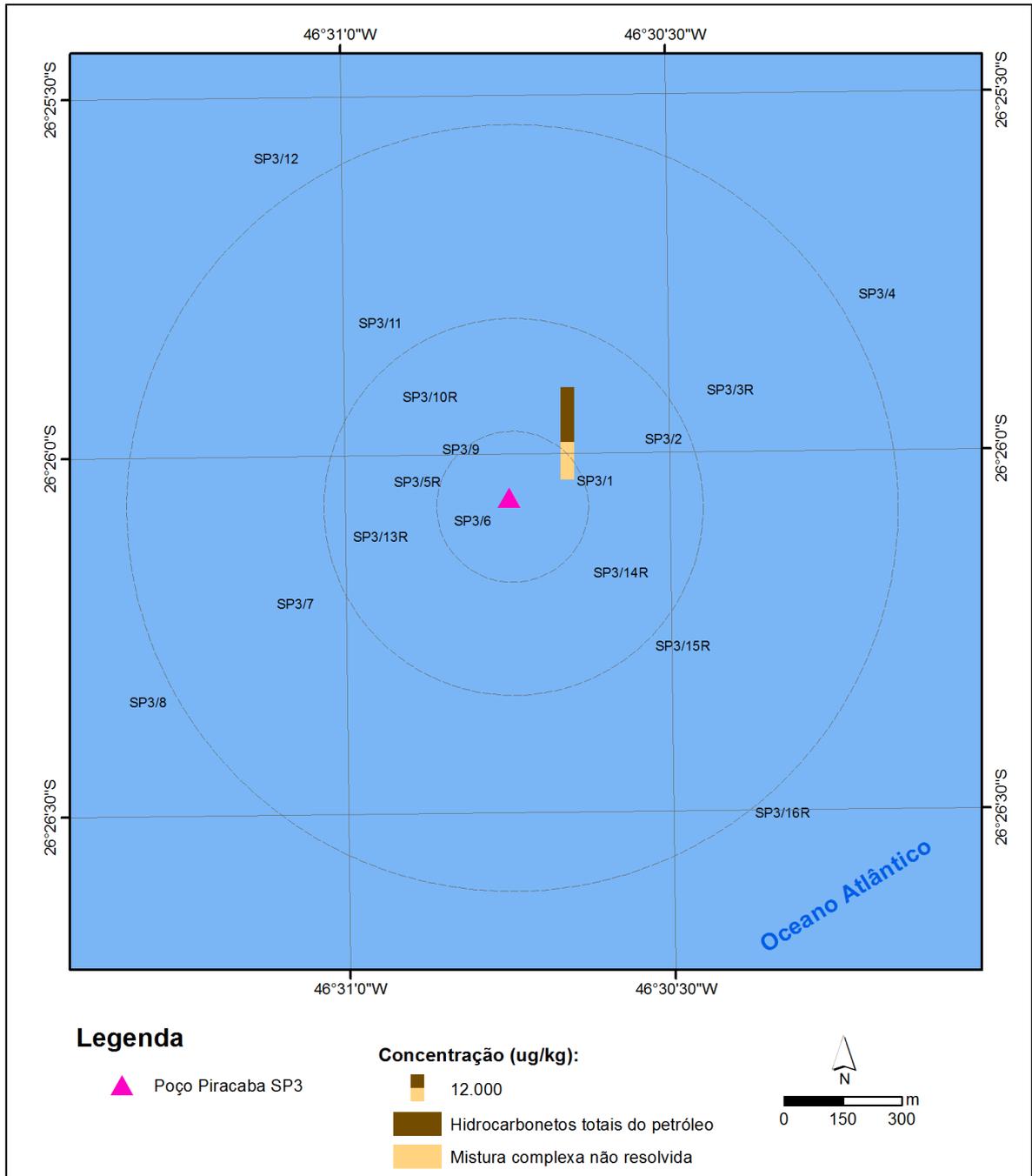
O parâmetro MCNR apresentou, salvo raras exceções, concentrações abaixo do limite de detecção do método de análise em laboratório em campanhas realizadas na região (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014c, 2014d). Nas campanhas de monitoramento do poço Piracaba SP3 foram detectadas concentrações de MCNR variando de 10.890 a 102.230  $\mu\text{g}/\text{kg}$  e de 149 a 14.450,67  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015).

Diferente da MCNR, que indica a presença de compostos de origem petrogênica em estado degradado, a fração HRP indica contaminação recente do ambiente por compostos do petróleo (COMMENDATORE; ESTEVES, 2004). A abundância relativa da MCNR comparada a dos hidrocarbonetos alifáticos resolvidos do petróleo (HRP) serve de critério de diagnóstico quanto às entradas de petróleo no ambiente. Segundo LIPIATOU & SALIOT (1991), valores da razão MCNR/HRP superiores a 4 confirmam a presença de resíduos relacionados ao petróleo. Na presente campanha, na estação onde foi detectada presença de MCNR, o valor da razão MCNR/HRP foi de 21,43, indicando, portanto, presença de resíduos relacionados ao petróleo.

Foram encontradas concentrações acima do limite de detecção de HTP's apenas na estação SP3\_1, com concentrações de  $24.627,67 \pm 28.801,51 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de HTP's entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) que variaram entre não detectado e 24.720 µg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014c, 2014d). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de HTP's entre 2.270 µg/kg a 10.830 µg/kg. PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS (2002) também mostraram um aumento nos níveis de HTP's nos sedimentos mais próximos à costa, onde as concentrações variam de 400 até 127.600 µg/kg (média de  $6.760 \pm 14.160$  µg/kg). Nas campanha de monitoramento do Poço Piracaba SP3, as concentrações de HTP variaram de 10.930 a 129.990 µg/kg e de 1.623,14 a 24.429,33 µg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015).

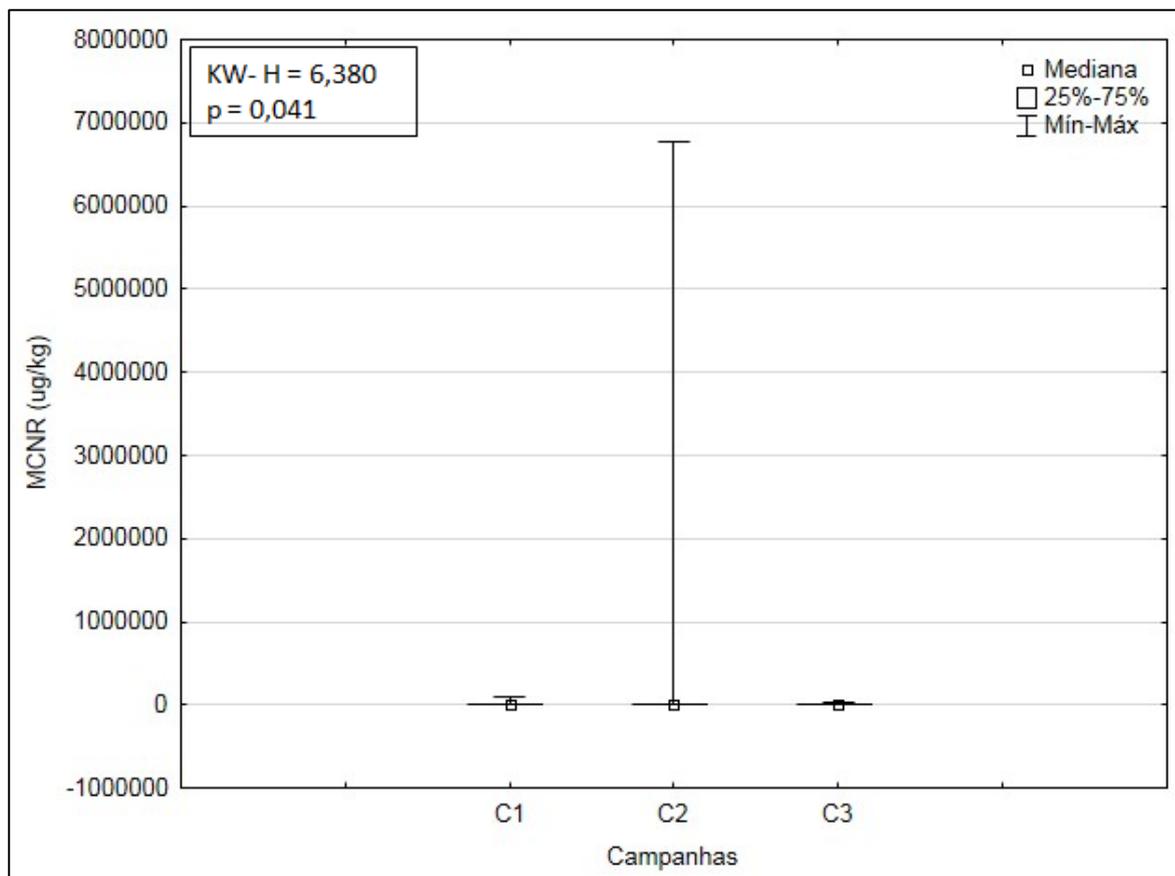
Na Figura V.1-45 é apresentada a distribuição espacial da MCNR e dos HTP's. Foram detectadas concentrações somente na estação SP3\_1.



**Figura V.1-42 – Distribuição espacial das concentrações de MCNR e HTP ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.**

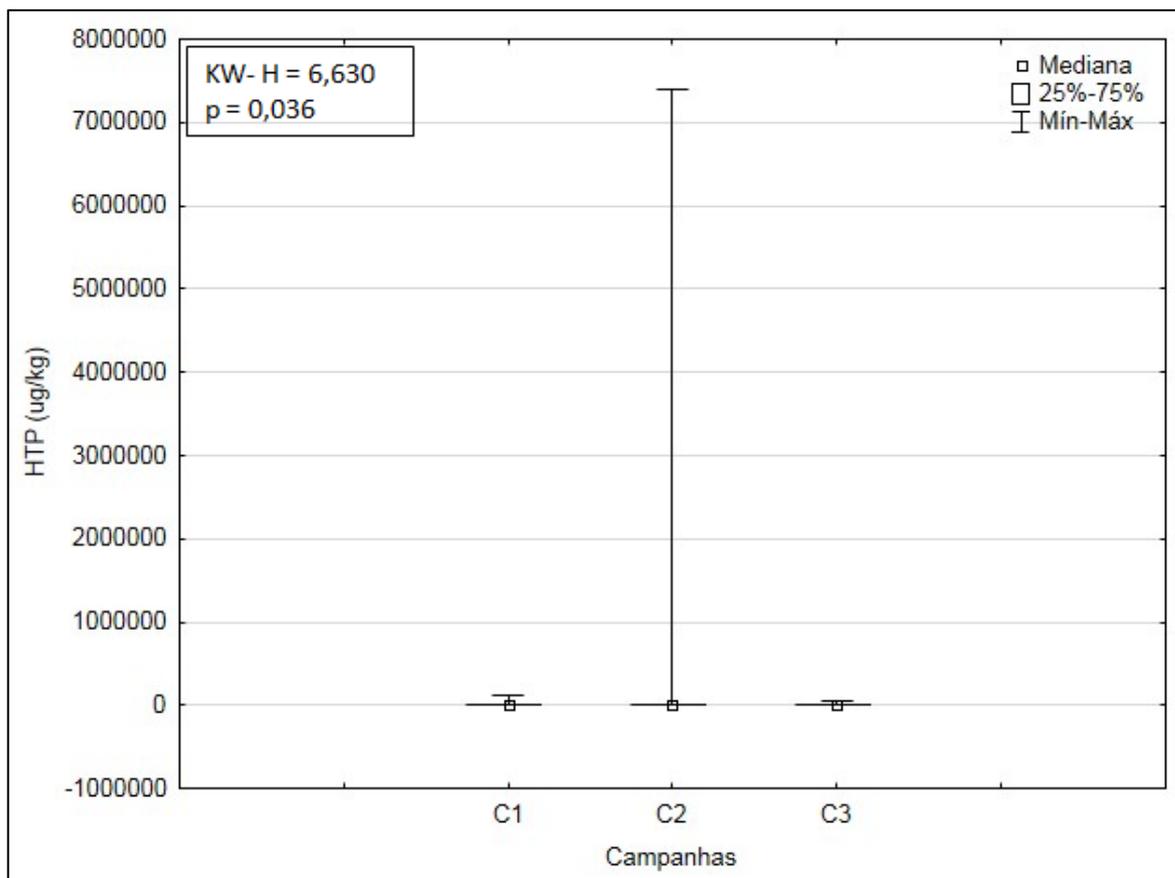
Na Figura V.1-43 são apresentadas as faixas das concentrações de MCNR obtidas nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maior amplitude de variação de concentrações. Na comparação dos resultados de concentração de MCNR foram detectadas

diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença.



**Figura V.1-43** – Concentrações de MCNR ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

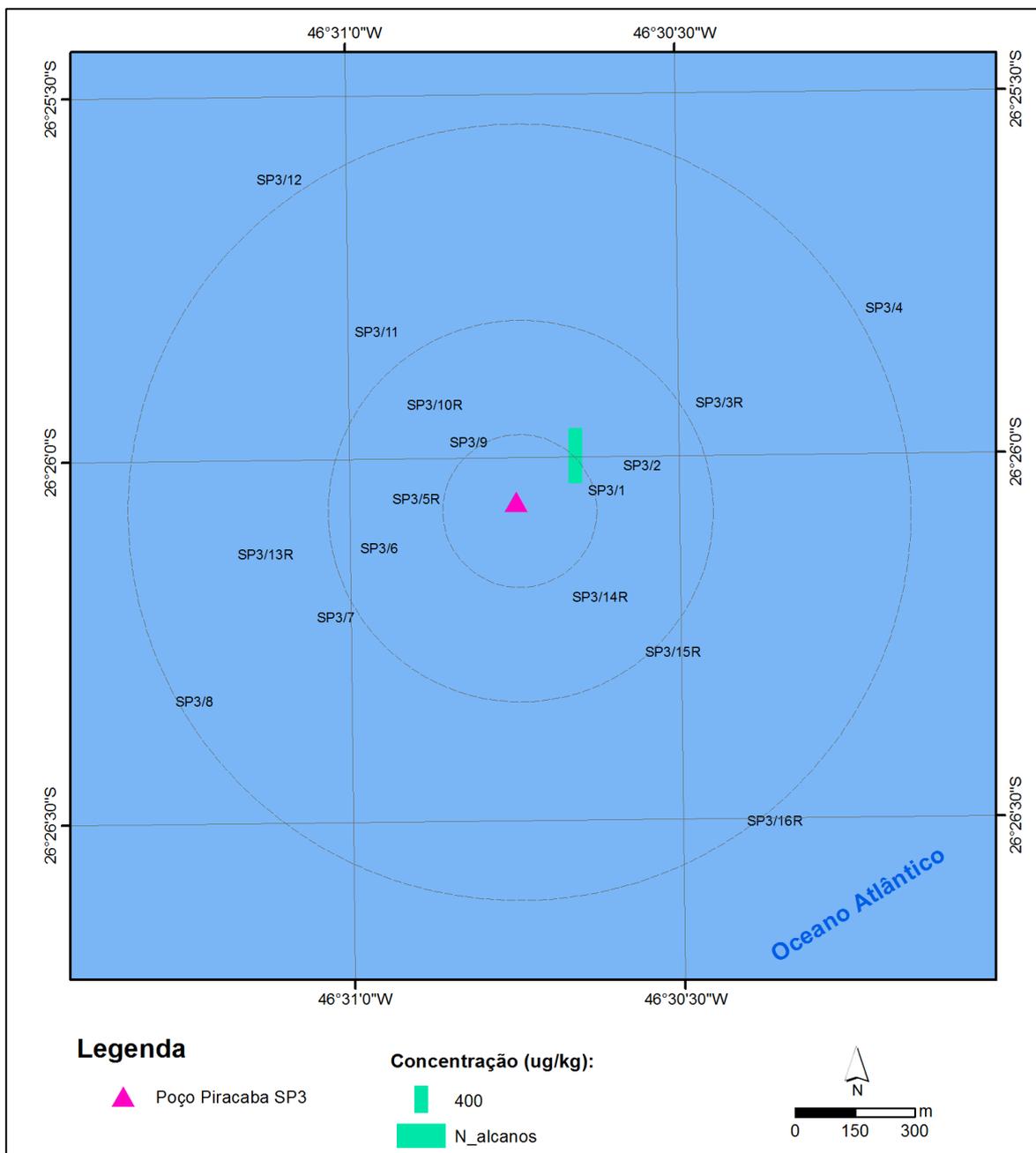
Na Figura V.1-44 são apresentadas as faixas das concentrações de HTP's obtidas nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maior amplitude de variação de concentrações. Na comparação dos resultados de concentração de HTP's foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença.



**Figura V.1-44** – Concentrações de HTP's ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

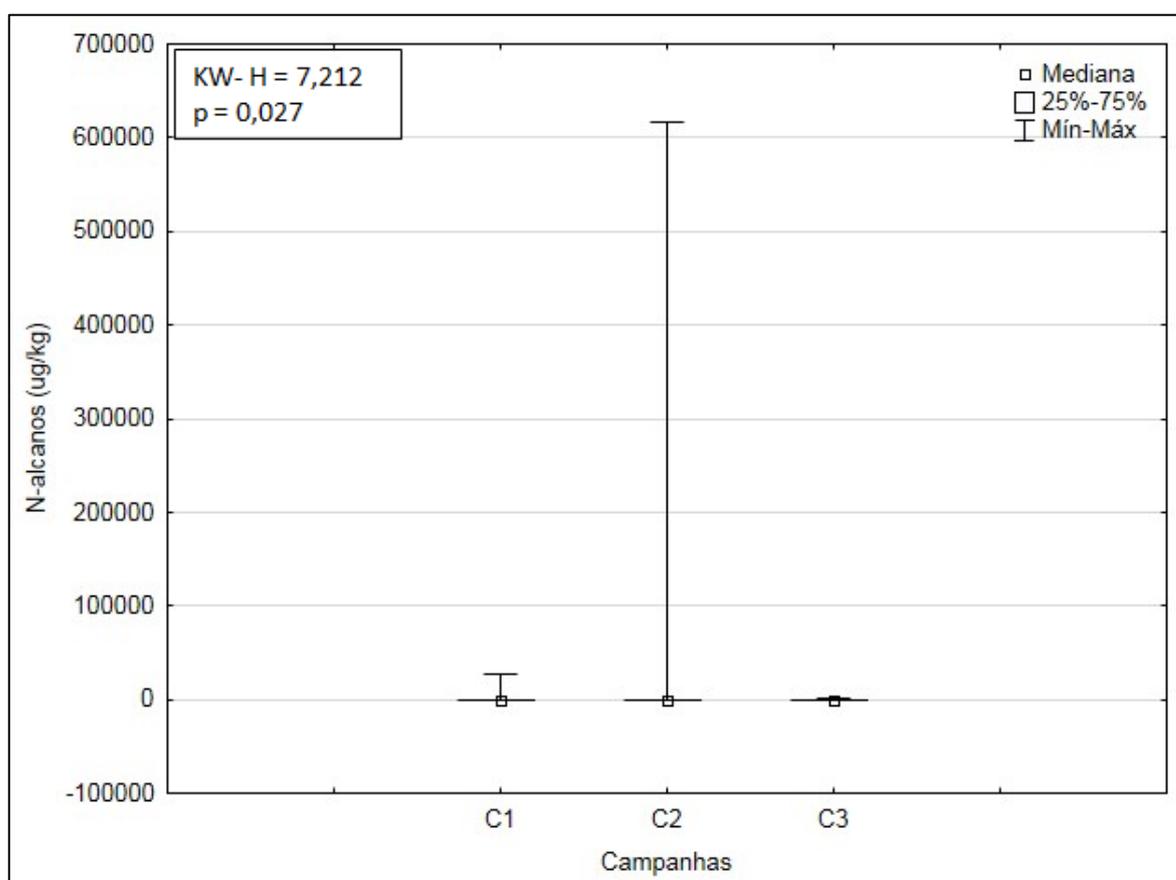
Foram encontradas concentrações detectáveis de n-alcenos na estação SP3\_1, com concentrações de  $792,33 \pm 1.008,08 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de n-alcenos entre as estações (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.

Na Figura V.1-45 é apresentada a distribuição espacial dos n-alcenos. Não foi possível estabelecer um padrão de distribuição evidente, pois só foram encontradas concentrações detectáveis na estação SP3\_1.



**Figura V.1-45** – Distribuição espacial das concentrações de n-alcenos ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) nas 16 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-46 são apresentadas as faixas das concentrações de n-alcenos obtidas nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maior amplitude de variação de concentrações. Na comparação dos resultados de concentração de n-alcenos foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença.



**Figura V.1-46** – Concentrações de n-alcenos ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos não apresentaram concentrações detectáveis de n-alcenos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2014c, 2014d), exceto na segunda

campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, que encontrou concentrações variando entre 612,11 e 267.458,88 µg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Estes resultados indicam que não há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas no entorno da local de perfuração do Poço Piracaba-SP3.

## V.2 - MACROFAUNA BENTÔNICA

Organismos bentônicos são organismos aquáticos, marinhos ou dulcícolas, que vivem em contato com o substrato, seja ele consolidado (costões rochosos, plataformas, navios, entre outras estruturas parcial ou totalmente submersas) ou inconsolidado (composto por material sedimentar). Os que vivem sobre o substrato e podem colonizar substratos consolidados são classificados de epifauna. Os colonizadores do interior do substrato, neste caso em fundos sedimentares inconsolidados, são chamados de infauna (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

A comunidade bentônica é composta principalmente por invertebrados, dos filos Arthropoda, Annelida, Echinodermata e diversos outros, e também por vertebrados. Estes organismos são essenciais à dinâmica dos ecossistemas bentônicos, pois constituem um elemento central nas cadeias alimentares, representando um importante recurso alimentar para grandes crustáceos, cefalópodes, peixes e até aves. Por conta de seus hábitos de vida, muitos organismos escavam galerias e tubos, aumentando assim a oxigenação e disponibilizando material (orgânico e inorgânico) que estava em camadas mais profundas do sedimento (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

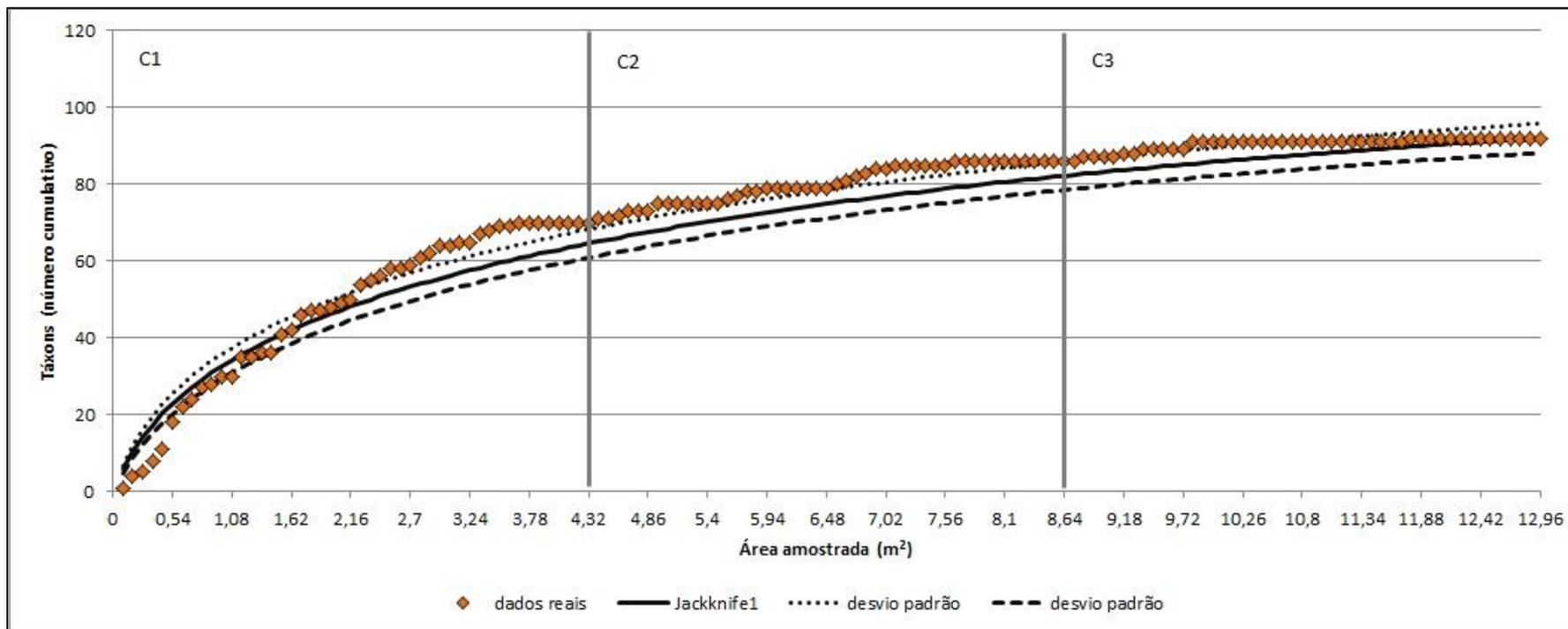
A distribuição, ocorrência e abundância dos organismos da macrofauna bentônica dependem das características ambientais predominantes, principalmente quanto à composição granulométrica do substrato, profundidade, disponibilidade de alimento e estabilidade do ambiente. Diferentes tipos de sedimentos podem condicionar comunidades distintas, não apenas em relação à composição e estrutura desta comunidade, mas também quanto à dominância em termos de grandes grupos taxonômicos (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

O modo característico de vida dos organismos bentônicos junto ao fundo, local de acúmulo de contaminantes, o predomínio de formas de pouca mobilidade, e a sua permanência relativamente longa no substrato, possibilitam a utilização destes organismos em programas de diagnóstico e monitoramento ambiental. Organismos que vivem dentro ou sobre o substrato refletem, com maior precisão, as condições ambientais anteriores ao momento da amostragem, quando comparados com formas que vivem na coluna d'água (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

### **V.2.1 - Avaliação da Amostragem**

Ao todo foram coletadas 144 réplicas (48 em cada campanha) com uma área de 900 cm<sup>2</sup> (30 x 30 cm) cada, o que equivale a um total de 12,96 m<sup>2</sup> amostrados.

A curva formada pelo número cumulativo de táxons coletados evidencia um incremento maior de táxons entre a 1ª e 25ª réplica (54 táxons), ou seja, grande parte dos táxons foi coletada nas primeiras réplicas da primeira campanha (Figura V.2-1). Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de táxons esperado, a distribuição real esteve um pouco acima da distribuição esperada, principalmente nas réplicas intermediárias, enquanto que a distribuição real foi semelhante a distribuição esperada nas réplicas iniciais e finais do monitoramento, pois os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. Esse resultado evidencia a importância do esforço amostral realizado no poço SP3, pois a distribuição real dos dados se aproxima muito da distribuição esperada para a área e há uma estabilização ao final da curva, ou seja, mesmo com o aumento do esforço amostral, não há um incremento de espécies novas.

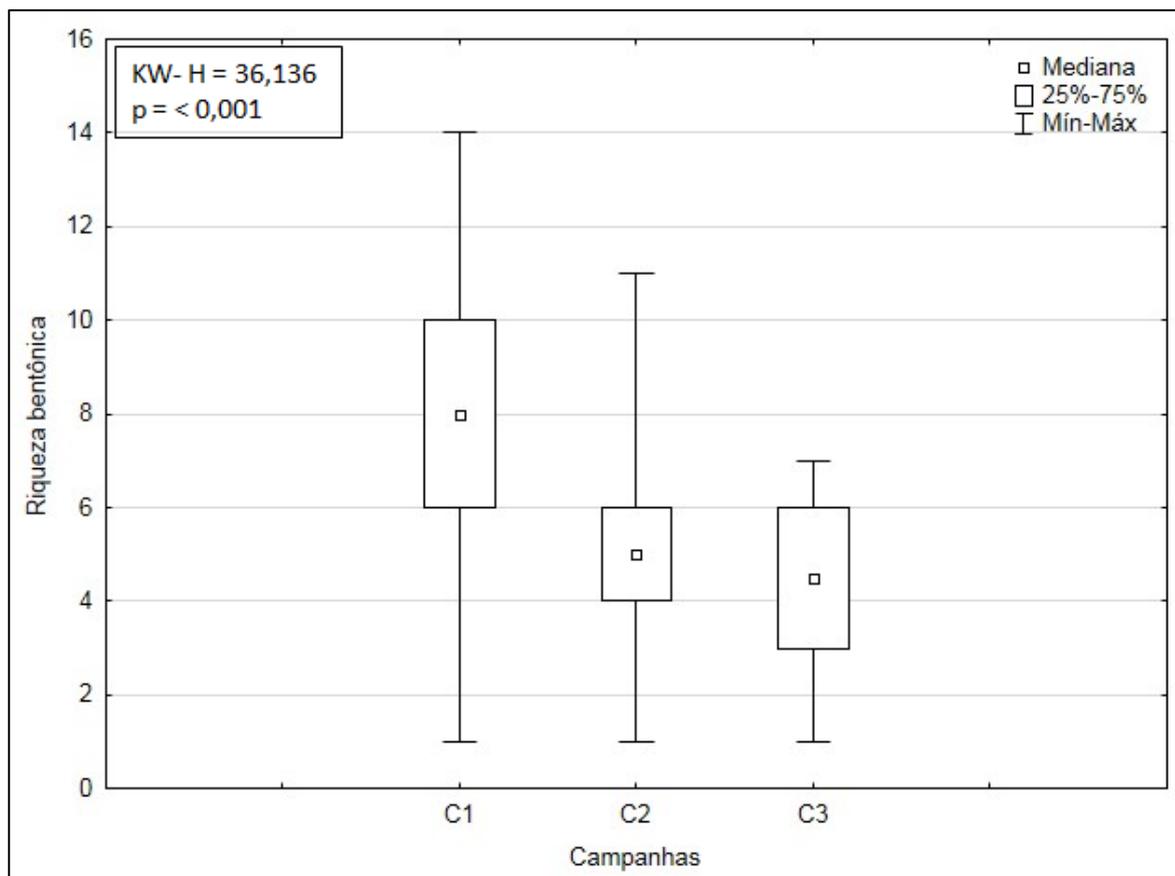


**Figura V.2-1** – Número cumulativo de táxons por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração, C2 = campanha de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = campanha de pós-perfuração, 2º retorno) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de táxons esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

## V.2.2 - Análise Qualitativa

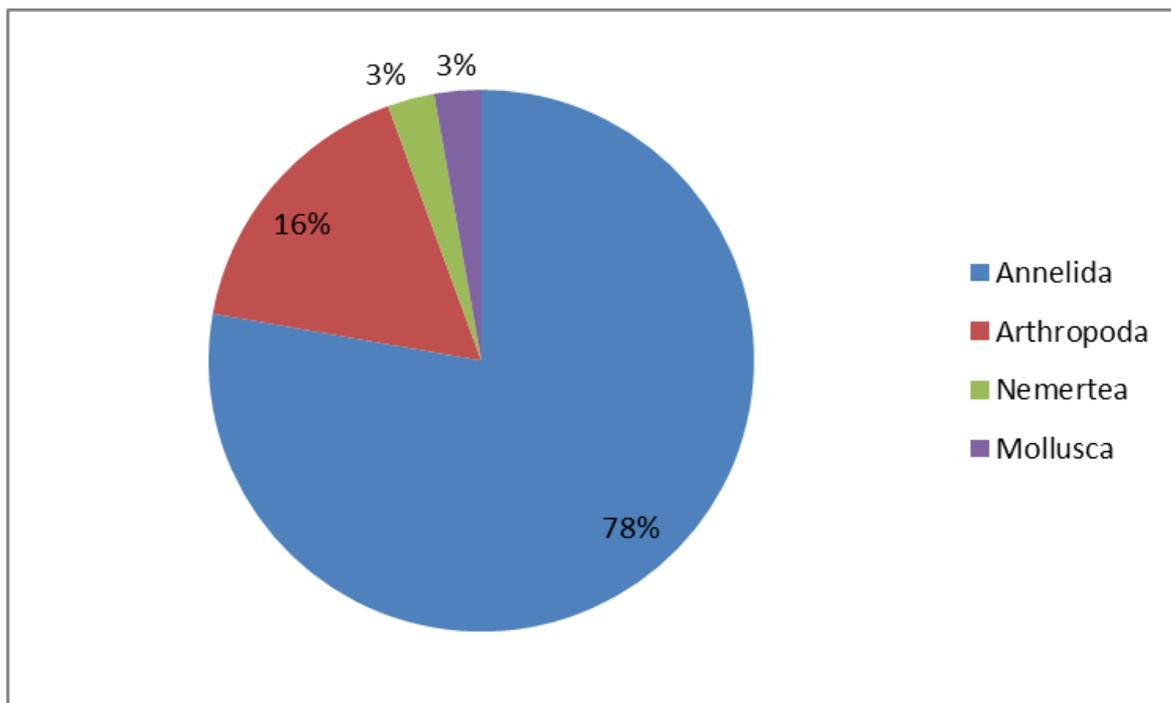
A amostragem da comunidade bentônica nas dezesseis estações de coleta registrou um total de 36 taxa, dentre os quais, um foi identificado a nível de filo, um a nível de subfilo, três a nível de ordem, 21 a nível de família, 9 a nível de gênero e apenas um a nível de espécie. À vista disso, as comunidades foram descritas qualitativamente pelo número de taxa e não pelo número de espécies. Nesse monitoramento, a riqueza total das campanhas já realizadas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) variou entre 5 e 23 taxa na primeira campanha e entre 8 e 18 taxa na segunda campanha. As campanhas de monitoramento realizadas no TLD de Tiro & Sidon - Bacia de Santos encontraram número de taxa total variando de 11 a 123 taxa por campanha (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b). Os dados da literatura são semelhantes aos encontrados na atual campanha. A listagem dos taxa é apresentada no Anexo IX-3.

Na Figura V.2-2 é apresentada a riqueza de taxa obtida nas três campanhas do poço Piracaba SP3. Foram observadas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as três campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A primeira campanha diferiu significativamente das demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.2-2** – Box plots representativos dos valores de riqueza (nº de táxons) das comunidades macrozoobentônicas encontrados nas três campanhas do programa de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Quatro filos foram identificados nas amostras, foram eles: Annelida, Arthropoda, Nemertea e Mollusca. Todos esses filos foram registrados no programa de monitoramento citado anteriormente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015). De maneira geral, o filo com maior número de taxa foi Annelida, com riqueza total de 28 taxa (Figura V.2-3), seguido por Arthropoda, com 6 taxa. Esses grupos se destacaram em relação aos demais que tiveram riqueza de 1 táxon cada (Nemertea e Mollusca). Vale ressaltar que os organismos pertencentes ao filo Nemertea não foram identificados. Por este motivo, o resultado desse grupo não pôde ser descrito com grande precisão.



**Figura V.2-3** – Porcentagem de riqueza de taxa dos filos bentônicos na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase pós-perfuração, 2º retorno).

A dominância de anelídeos na comunidade bentônica de substrato inconsolidado corrobora os dados da literatura. Em campanhas de monitoramento realizadas no local, esses organismos, com destaque para os poliquetas, foram descritos como grupo dominante nessas comunidades (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2015). Os organismos da Classe Polychaeta distinguem-se dos outros anelídeos pela presença de duas projeções laterais em cada segmento, os parapódios, que são providos de cerdas. Apresentam capacidade de construir tubos e até mesmo galerias, onde vive o animal. Sua importância foi notada em praticamente todos os ecossistemas bentônicos e habitam, em sua maioria, as camadas superficiais do substrato participando assim na movimentação, reciclagem e aeração das camadas superficiais destes mesmos sedimentos. Possuem alto potencial reprodutivo e representam aproximadamente um terço do número total de espécies do zoobentos (AMARAL *et al.*, 2004).

O filo Arthropoda, com destaque para os organismos do subfilo Crustacea, também foi bastante representativo na atual campanha. Esse filo possui grande importância nas comunidades bentônicas, sendo comum serem fortemente representado pelos crustáceos (LANA *et al.*, 1996; SEREJO *et al.*, 2007). Os artrópodes possuem atuação ecológica bem ampla nos ecossistemas aquáticos, que é decorrente da grande diversidade de estratégias de obtenção de recursos desenvolvidas por esses organismos, sendo elementos-chave para esses sistemas (CUMMINS; KLUG, 1979).

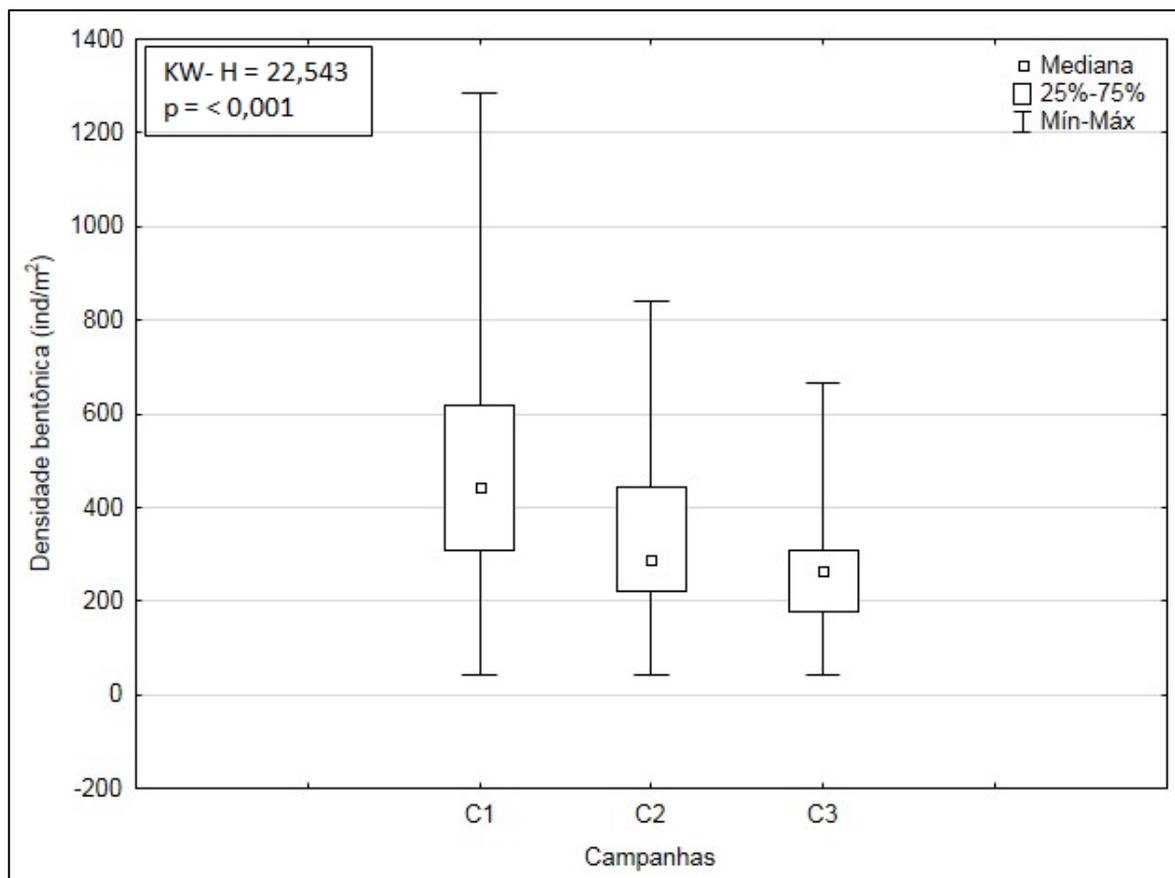
Portanto, a macrofauna de substratos inconsolidados da plataforma brasileira é composta majoritariamente pelos filos Mollusca, Annelida (poliquetas) e Arthropoda (crustáceos) (BRASIL *et al.*, 2007; LANA *et al.*, 1996; SOARES-GOMES *et al.*, 2009), conforme observado nos dados da atual campanha. PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013 e PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2015 também encontraram dominância desses três grupos nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon e nas campanhas de monitoramento realizadas no Poço Piracaba SP3.

Alguns outros filos, como Nematoda, Nemertini, entre outros, são descritos na literatura como presentes nas comunidades bentônicas. No presente monitoramento foi encontrado 1 táxon do filo Nemertea. Esse filo é reconhecidamente menos ricos na Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a, 2014b, 2015) bem como nas comunidades bentônicas marinhas de maneira geral (SOARES-GOMES; PITOMBO; PAIVA, 2009; LANA *et al.*, 1996).

### V.2.3 - Análise Quantitativa

A densidade média de organismos bentônicos foi de  $268,83 \pm 126,37$  ind/m<sup>2</sup> no entorno do Poço Piracaba SP3, variando de 191 a 383,33 ind/m<sup>2</sup>. As campanhas realizadas anteriormente na região obtiveram densidade média de  $481,69 \pm 253,06$  ind/m<sup>2</sup> e de  $1.023 \pm 297$  ind/m<sup>2</sup>, respectivamente. Nas estações dessas campanhas, as densidades mínimas foram de 308 e 486 ind/m<sup>2</sup> e as máximas de 2.434 e 1.640 ind/m<sup>2</sup>, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015). Campanhas de monitoramento realizadas no TLD Tiro & Sidon - Bacia de Santos encontraram densidade média de 478, 5.151, 9.853 e 468,68 ind/m<sup>2</sup>, na primeira (dezembro de 2009), segunda (novembro de 2010), terceira (janeiro de 2012) e quarta (janeiro de 2013) campanha desse monitoramento, respectivamente, com valores de densidade mínima de 176 ind/m<sup>2</sup> e a máxima de 16.183 ind/m<sup>2</sup> entre as 4 campanhas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a). A atual campanha apresentou densidades menores em relação às campanhas anteriores de monitoramento do poço Piracaba SP3 e em relação às campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo IX-3.

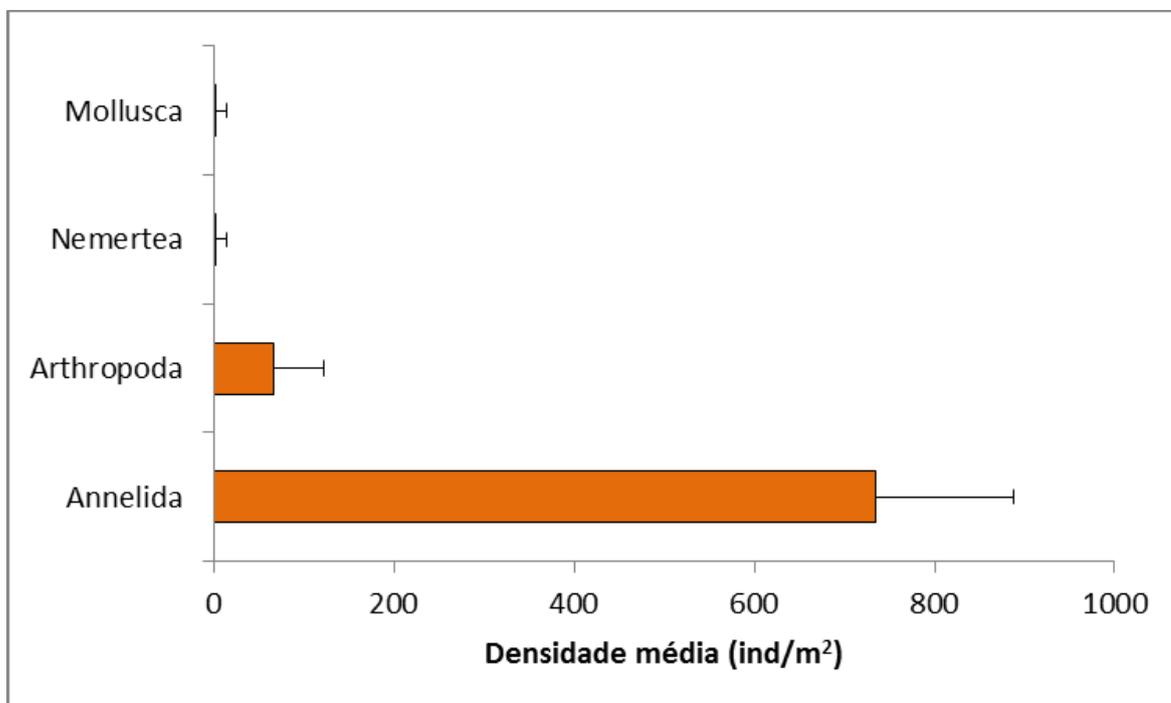
Na Figura V.2-4 é apresentada a densidade de macrofauna obtida nas três campanhas do Poço Piracaba SP3. A primeira campanha apresentou os maiores valores de densidade. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre a primeira e as demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.2-4** – Box plots representativos da densidade (ind/m<sup>2</sup>) das comunidades macrozoobentônicas encontrados nas três campanhas do programa de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3. C1 = fase de pré-perfuração, C2 = fase de pós-perfuração, 1º retorno e C3 = fase de pós-perfuração, 2º retorno.

Annelida, além de apresentar maior número de taxa (ver Figura V.2-3), também apresentou a maior densidade de organismos nas comunidades bentônicas do local, registrando média de  $734,94 \pm 152,18$  ind/m<sup>2</sup>. Os outros grupos tiveram valores inferiores, Arthropoda obteve média de  $66,06 \pm 55,84$  ind/m<sup>2</sup>. Já Nemertini e Mollusca apresentaram densidade média de  $2,75 \pm 11,00$  ind/m<sup>2</sup> cada (Figura V.2-5). Annelida, Mollusca e Arthropoda costumam ser os três principais filos da comunidade bentônica. Annelida foi o filo que se destacou no monitoramento do Poço Piracaba SP3 ao longo das campanhas anteriores (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014b, 2015) e nas campanhas de monitoramento do TLD de Tiro & Sidon

(PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2011a, 2011b, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014a).



**Figura V.2-5** – Densidade de organismos (ind/m<sup>2</sup>) dos filos bentônicos na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno). A barra laranja representa a densidade média dos filos  $\pm$  desvio-padrão.

Nas comunidades bentônicas das regiões Sudeste e Sul do Brasil, os poliquetas estão entre os grupos mais bem representados tanto em abundância quanto em número de espécies (AMARAL; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2004). Devido a sua abundância são fundamentais no controle de outras populações, além de serem fonte de alimento para diversos grupos como peixes, aves, crustáceos, dentre outros. Por este motivo, os poliquetas contribuem significativamente nas cadeias alimentares das comunidades bentônicas (AMARAL; MIGOTTO, 1980).

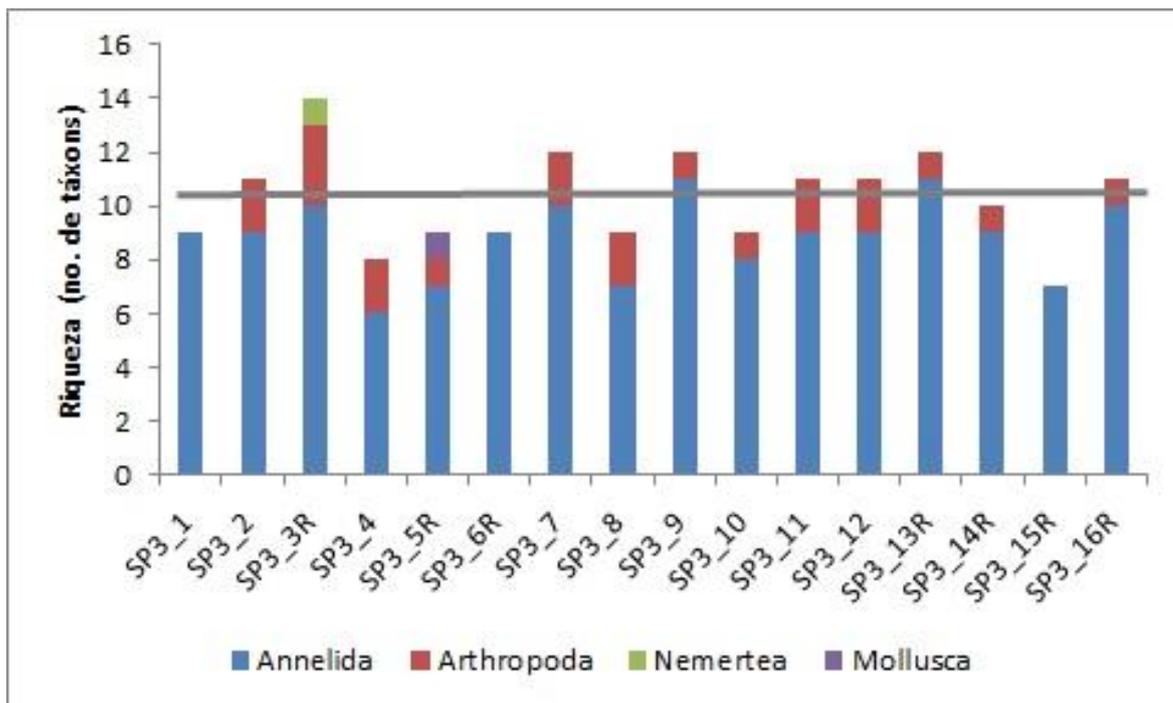
## V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos

De maneira geral, os valores de riqueza acumulada entre as estações foram distintos. A riqueza acumulada de taxa variou de 7 (SP3\_15R) a 14 taxa (SP3\_3R). A riqueza média das estações foi de  $10,25 \pm 1,81$  taxa (Figura V.2-6). Apesar disso, não foram encontradas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

As comunidades bentônicas possuem forte variação espacial, devido à variação nos fatores ambientais do local (LANA, 1994; SOARES-GOMES *et al.*, 2009). A diferença entre os dados do presente trabalho pode estar relacionada com a variação espacial natural observada nessas comunidades.

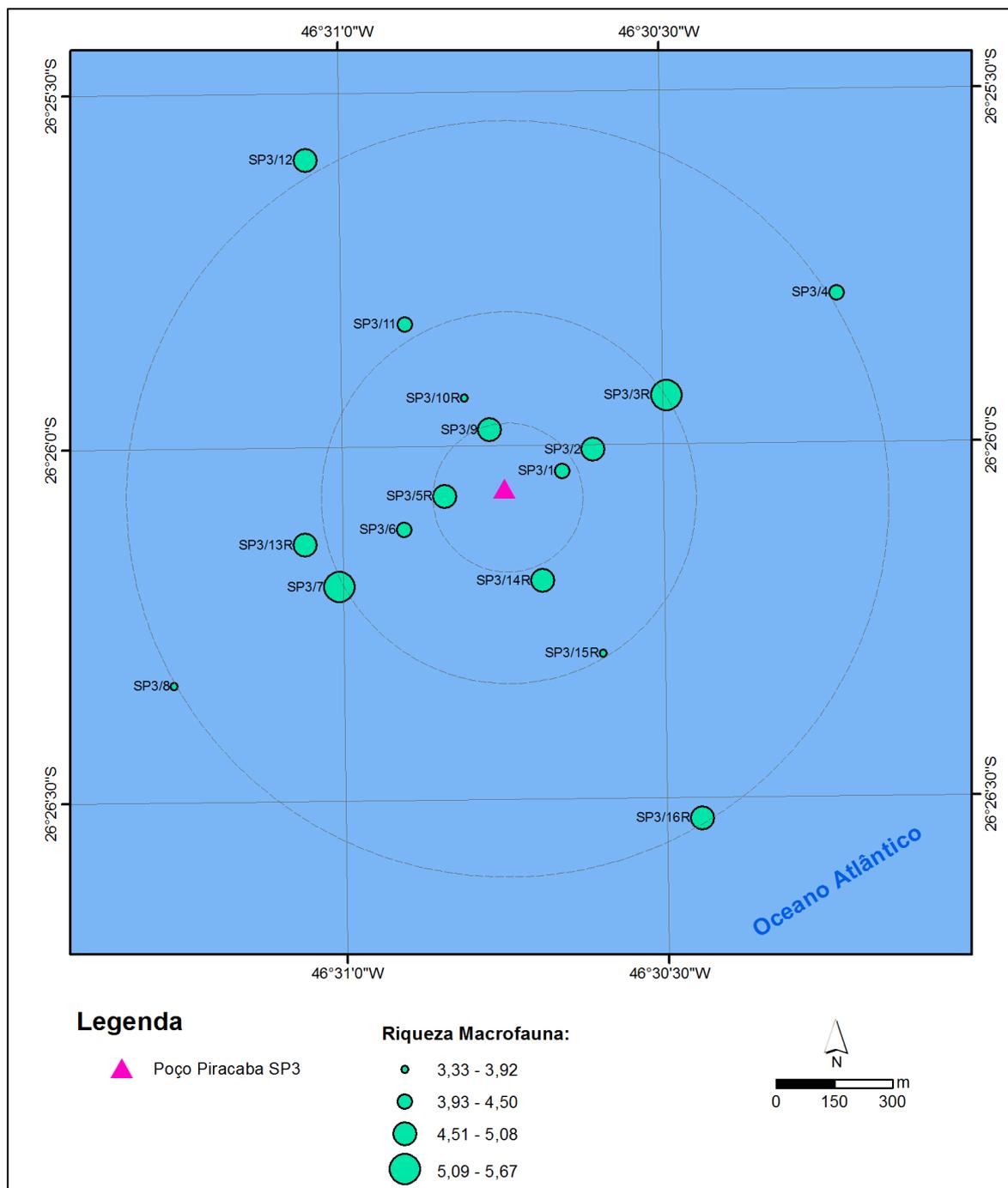
Apesar da diferença na riqueza total, a contribuição dos diferentes filos nas estações foi similar. Em todos os pontos de amostra os anelídeos foram o grupo dominante e em seguida estavam os artrópodes, seguidos pelos nemertíneos e moluscos. Devido ao menor número de taxa desses três últimos, os mesmos apresentaram maior flutuação ao longo das estações e não ocorreram em todas as estações. Arthropoda não ocorreu nas estações SP3\_1, SP3\_6R e SP3\_15R, enquanto que Nemertea ocorreu somente na estação SP3\_3R e Mollusca somente na estação SP3\_5R. Portanto, a proporção entre os filos da atual campanha foi semelhante (Figura V.2-6).

A grande ocorrência de espécies e indivíduos de Polychaeta (Annelida) é uma característica encontrada em algumas áreas da região Sudeste-Sul da plataforma brasileira (AMARAL; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2004), sendo característica do local de estudo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).



**Figura V.2-6** – Número de taxa dos filós bentônicos nas dezesseis estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno). A linha cinza representa a média das estações.

De maneira geral, foram encontrados maiores valores de riqueza nos pontos a oeste do poço Piracaba SP3 (Figura V.2-7).

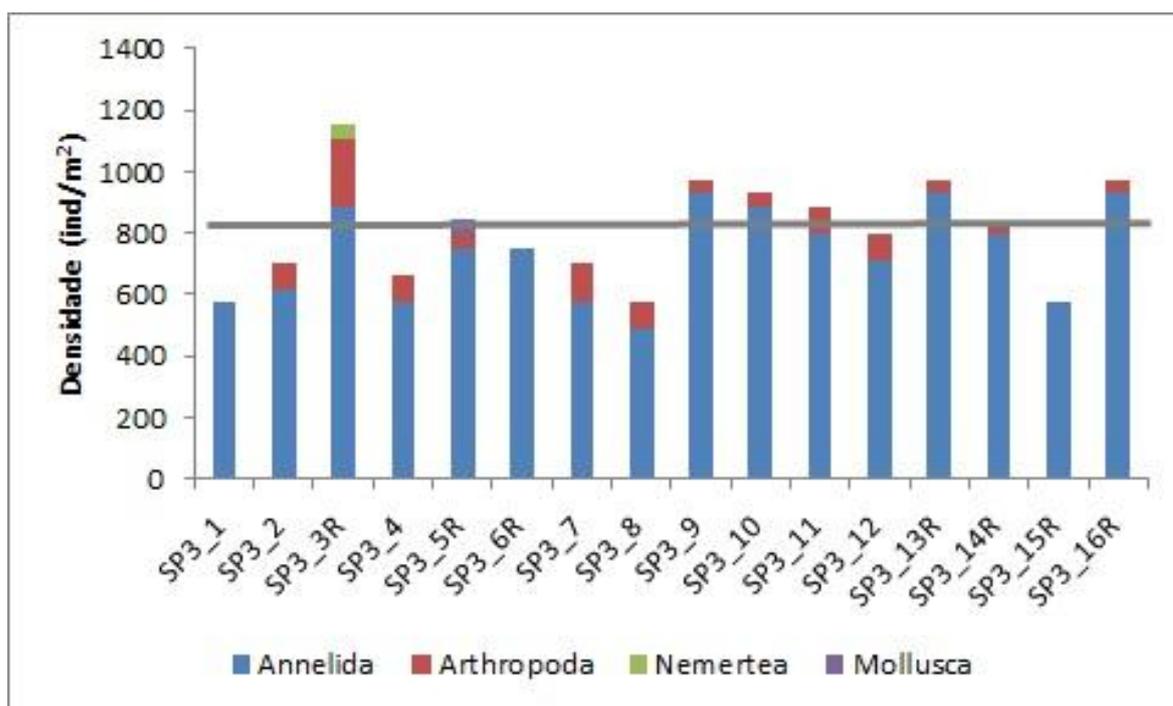


**Figura V.2-7** – Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).

A densidade média entre as estações foi de  $807,00 \pm 170,00 \text{ ind/m}^2$ . O maior valor foi registrado na estação SP3\_3R ( $1.150 \text{ ind/m}^2$ ) e o menor valor foi registrado na estação SP3\_1 ( $573 \text{ ind/m}^2$ ) (Figura V.2-8). Não foram encontradas

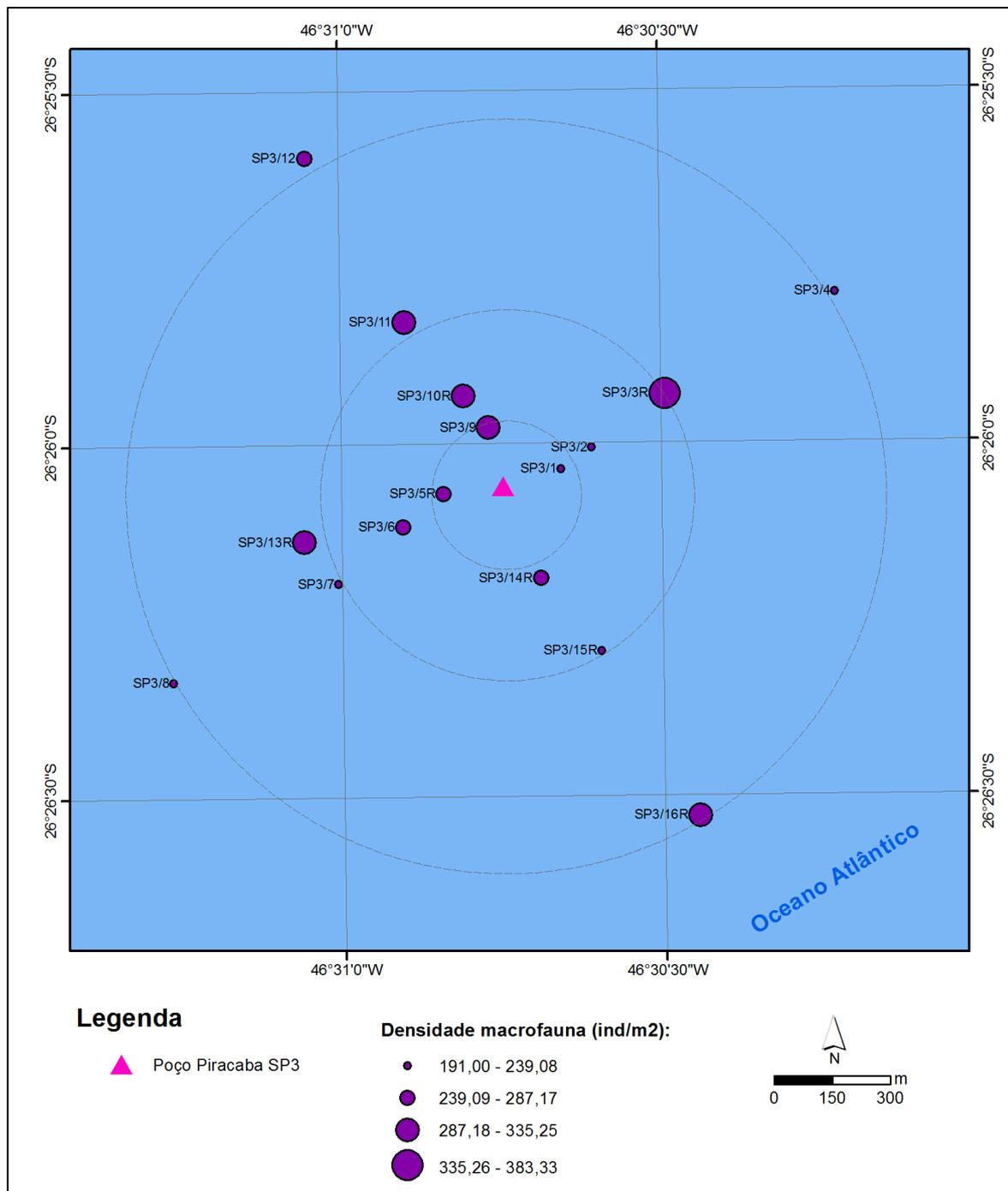
diferenças significativas de densidade de macrofauna entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

Assim como ocorrido na análise qualitativa (ver Figura V.2-6), a maior contribuição média em número de organismos ocorreu por parte do filo Annelida. De forma geral, as estações apresentaram contribuição proporcional dos filos bastante similar, com maior variação naqueles com menores valores de densidade (Figura V.2-8). Portanto, para os dados quantitativos, não foram observadas diferenças marcantes entre as estações de coleta do presente trabalho, indicando grande similaridade entre as mesmas, que apresentaram variação considerada natural e comum nesse tipo de comunidade. Ademais, a ocorrência de populações menos abundantes é comum na natureza, e as mesmas são de grande importância para a manutenção do equilíbrio ecológico dos ecossistemas (RICKLEFS, 2003).



**Figura V.2-8** – Densidade de organismos dos filos bentônicos ( $\text{ind}/\text{m}^2$ ) nas dezesseis estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno). A linha cinza representa a média das estações.

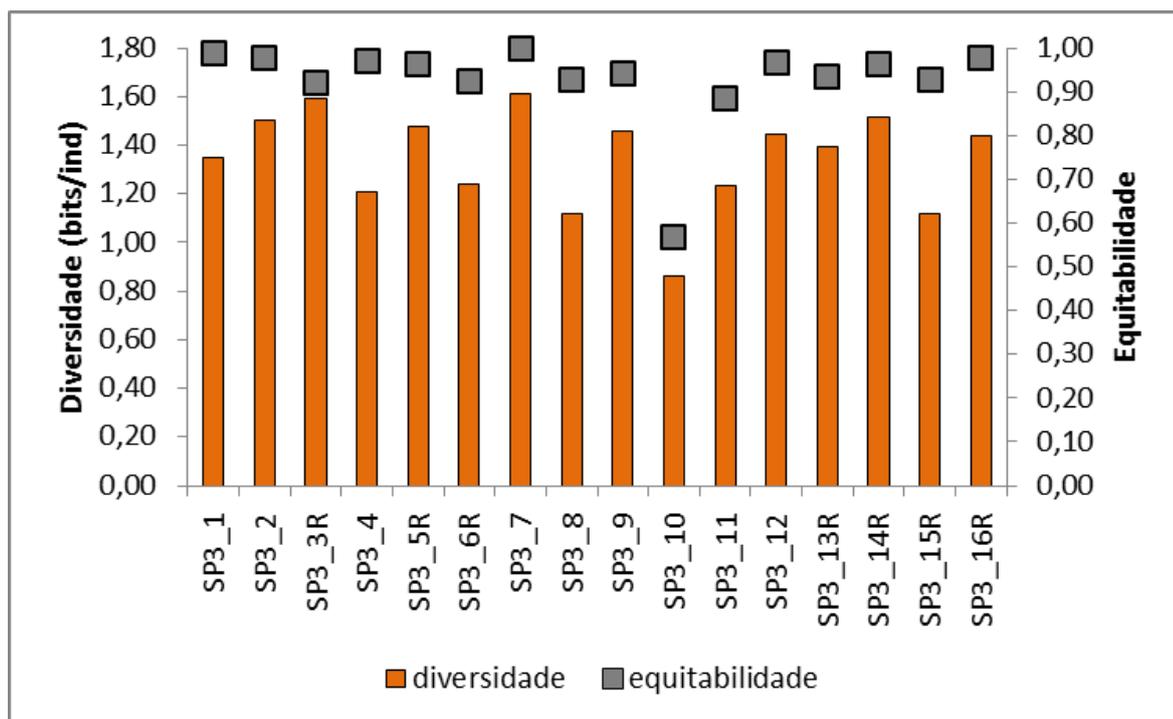
De maneira geral, foram encontradas maiores densidades nos pontos a oeste do poço Piracaba SP3 (Figura V.2-9).



**Figura V.2-9 – Distribuição espacial da densidade total (ind/m<sup>2</sup>) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).**

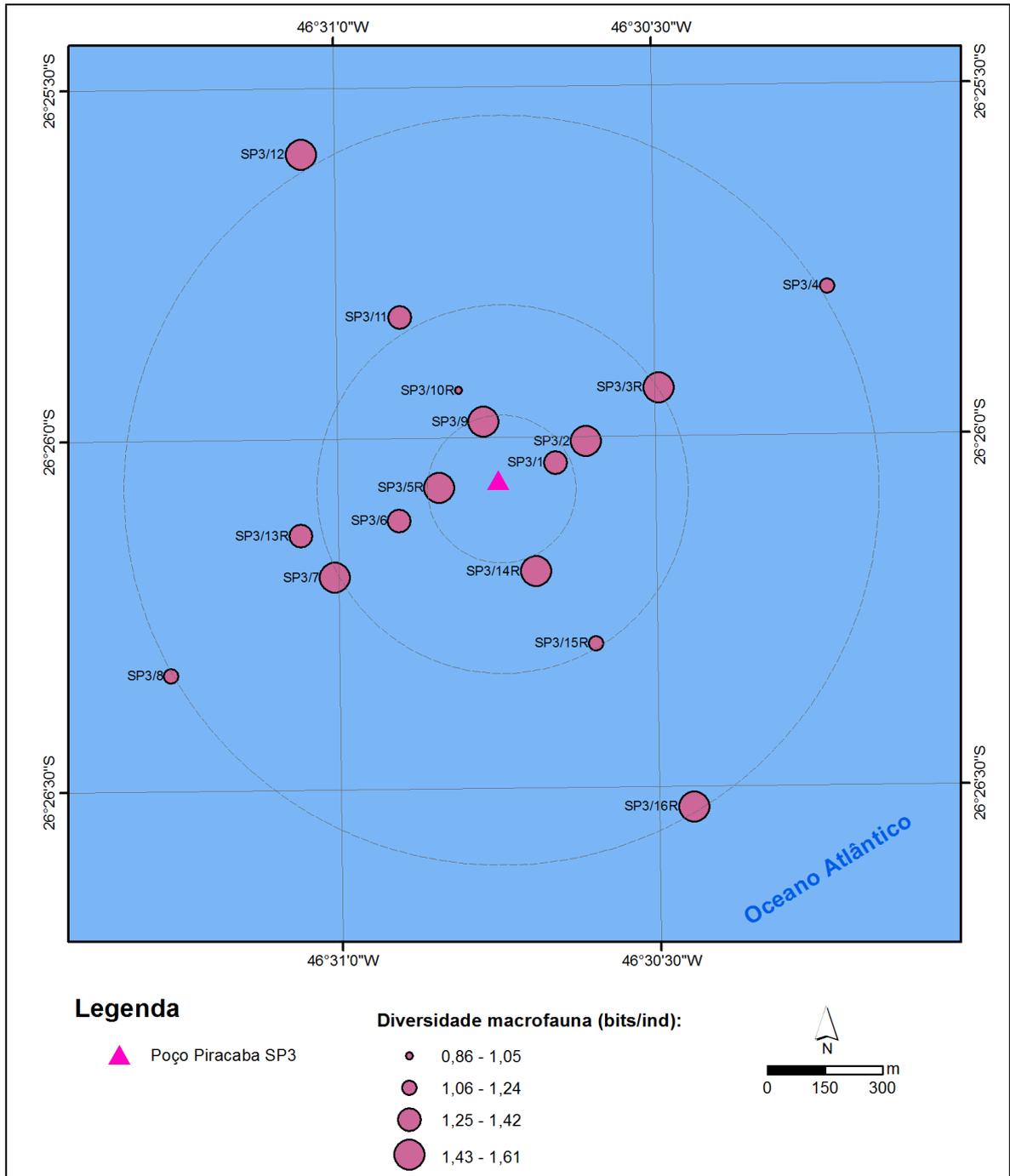
O índice de Shannon ( $H'$ ), o qual mensura a diversidade de espécies, teve valor médio de  $1,35 \pm 0,38$  bits/ind nas estações de coleta. As estações de coleta não foram similares para este parâmetro, porém não foram encontradas diferenças significativas estatisticamente entre as estações de coleta (ANOVA,  $p > 0,05$ ). O valor mínimo observado, registrado na estação SP3\_10, foi igual a 0,86 bits/ind, e o valor máximo, registrado na estação SP3\_7, foi de 1,61 bits/ind. Esse índice leva em consideração a riqueza e a distribuição das abundâncias entre os taxa (SHANNON, 1948). A diversidade apresentou valores baixos a intermediários nas estações de coleta.

As comunidades bentônicas nas diferentes estações amostrais registraram uma equitabilidade média de  $0,93 \pm 0,15$ . Os valores de equitabilidade foram similares entre a maioria das estações de coleta do monitoramento e não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ). A estação SP3\_10 registrou o menor valor (0,57) e a estação SP3\_7 registrou o maior valor (1,00). O índice de equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) avalia a uniformidade de distribuição de indivíduos entre espécies dentro da comunidade. Este índice varia de 0 a 1, e os valores próximos a 1 indicam uma comunidade mais diversificada, enquanto que valores próximos a zero indicam que a quantidade de organismos está distribuída de maneira menos equitativa entre as espécies (PIELOU, 1977). Portanto, os valores observados indicam uma distribuição igualitária entre as abundâncias das espécies dessa comunidade na maioria das estações, indicando uma comunidade equitativa, exceto na estação SP3\_10, que apresentou um valor menor de equitabilidade.



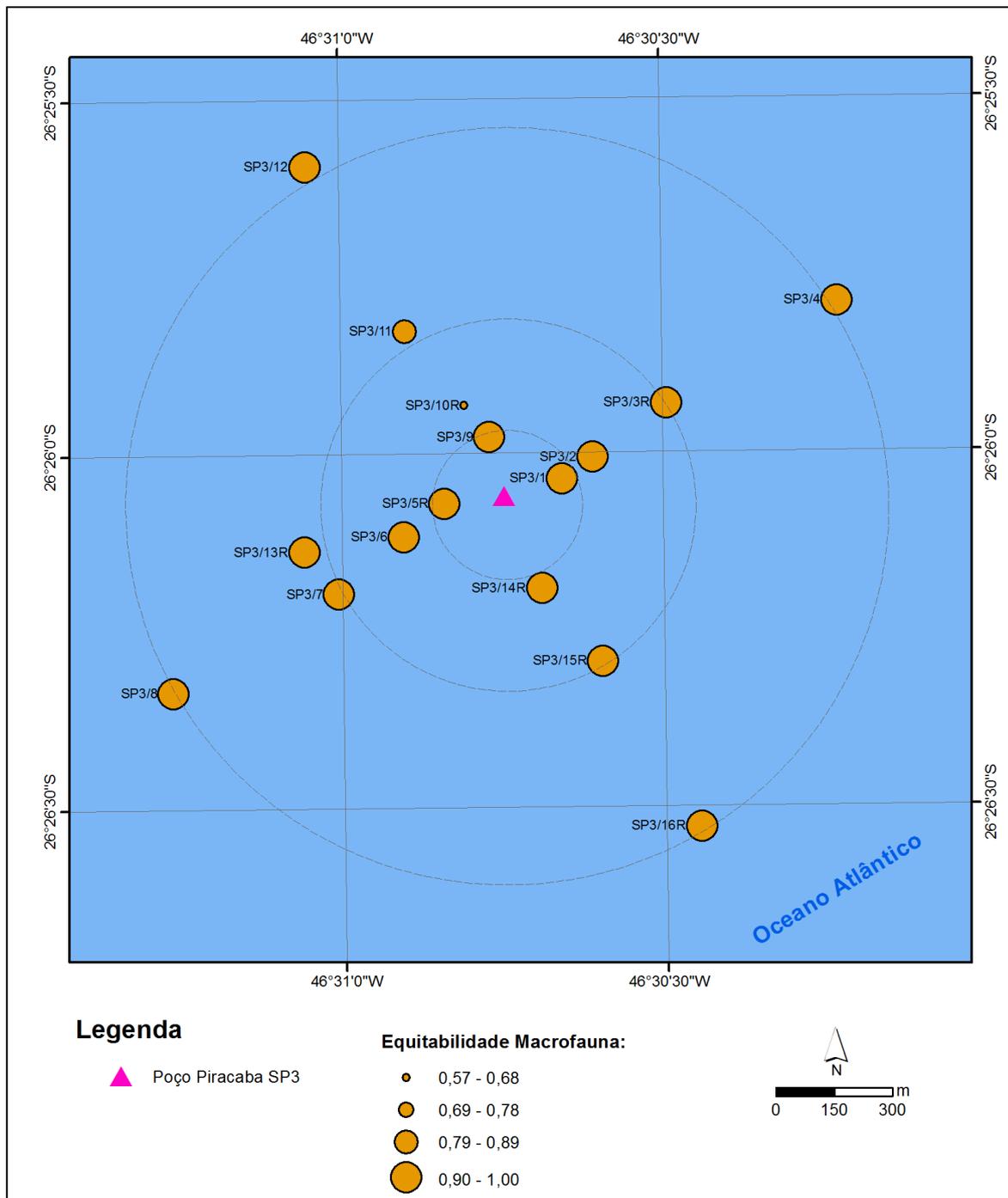
**Figura V.2-10** – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade bentônica nas dezesseis estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno).

De maneira geral, a distribuição espacial da diversidade seguiu o mesmo padrão da distribuição espacial da riqueza e da densidade. Foram encontrados maiores valores de diversidade nos pontos a oeste do poço Piracaba SP3 (Figura V.2-11).



**Figura V.2-11 – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).**

Não foi observado um padrão de distribuição espacial para a equitabilidade (Figura V.2-12).



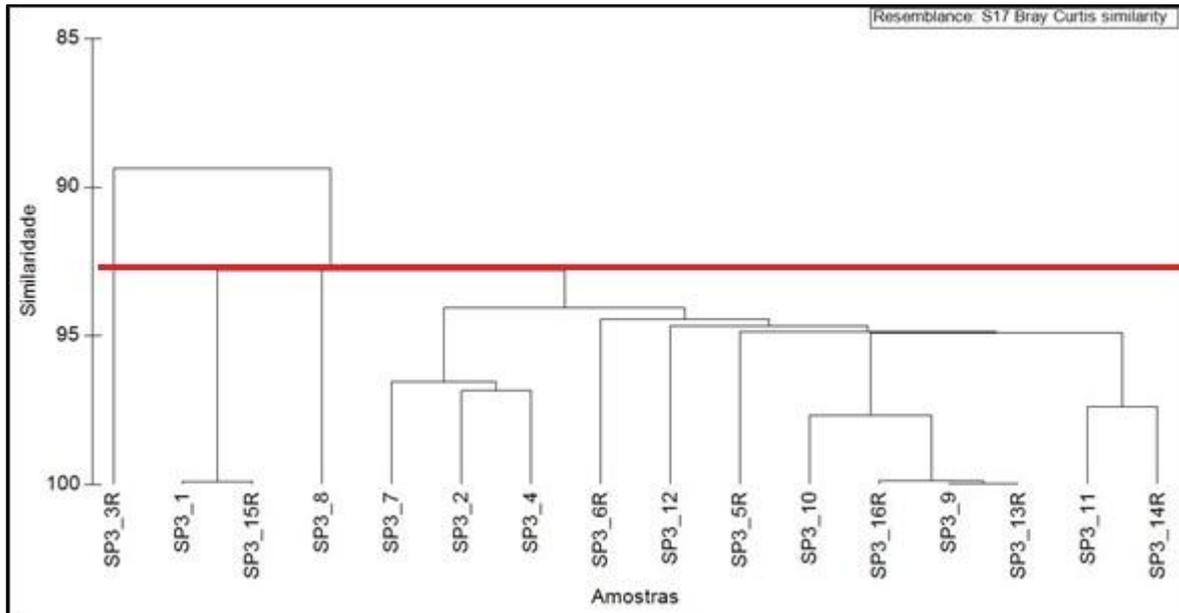
**Figura V.2-12** – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração).

A baixa diversidade de espécies pode ocorrer em regiões onde os fatores físico-químicos são bastante limitantes, onde há baixa disponibilidade de recursos ou, ainda, em locais sujeitos a impactos antrópicos. Por este motivo, os índices de

diversidade e equitabilidade são uma ferramenta bastante útil para caracterizar as comunidades aquáticas. Em condições adversas, pode ocorrer a exclusão de determinadas espécies, favorecendo a dominância de outras mais adaptadas às adversidades, o que se reflete no resultado dos índices ecológicos (RICKLEFS, 2003; SHANNON, 1948; GRAY, 1981). Na presente campanha, a comunidade apresentou diversidade intermediária e alta equitatividade na maioria das estações.

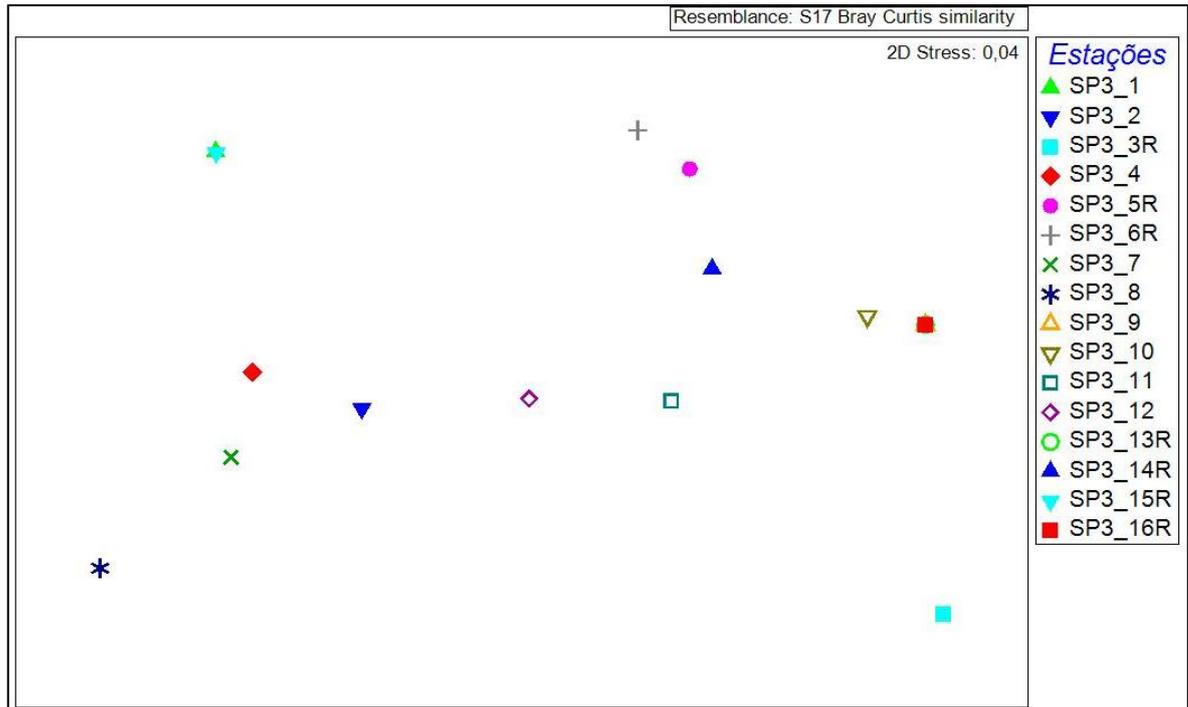
### **V.2.5 - Análise de Cluster**

A análise de *Cluster* agrupa pares de objetos mais similares entre si, reunindo-os em função de similaridades decrescentes, facilitando o reconhecimento de amostras com características semelhantes. Na atual campanha, o *Cluster* (Figura V.2-13) mostrou similaridades variando entre 89 e 100 %, indicando grande similaridade entre as amostras. Esse resultado demonstra a formação de quatro grandes grupos com 93% de similaridade: I) SP3\_3R; II) SP3\_1, SP3\_15R e SP3\_8; III) SP3\_2, SP3\_4 e SP3\_7 e IV) SP3\_6R, SP3\_12, SP3\_5R, SP3\_10, SP3\_16, SP3\_9, SP3\_13R, SP3\_11 e SP3\_14R. A estação SP3\_3R foi a que mais se diferenciou das demais e não se enquadrou em grupos. Esta condição também foi observada na análise de MDS (Figura V.2-14). A análise de escalonamento multidimensional (MDS) é uma técnica não métrica que permite a visualização da matriz da distância entre objetos em um espaço reduzido, preservando as distâncias entre eles (MELO; HEPP, 2008; SCHOLTEN; CALDEIRA, 1997).



**Figura V.2-13** – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade bentônica nas dezesseis estações na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno).

O valor de *stress* do MDS foi de 0,04, ficando abaixo do limite máximo aceitável para ser um resultado confiável. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,2, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE; WARWICK, 2001). Portanto, a análise foi considerada uma boa representação dos dados.



**Figura V.2-14** – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade bentônica nas dezesseis estações na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba SP3 (fase de pós-perfuração, 2º retorno).

Através da análise dos parâmetros qualitativos (riqueza e composição de taxa) e quantitativo (densidade), bem como a avaliação dos filos encontrados e sua respectiva variação nas estações de coleta foram detectadas pequenas diferenças entre as estações de coleta. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando grande similaridade entre os pontos. A pequena diferença entre os dados do presente trabalho pode estar relacionada com a variação espacial natural observada nessas comunidades. Os dados da presente campanha corroboraram os dados da literatura para as proximidades da área amostrada.

## **VI - ANÁLISE INTEGRADA**

A análise integrada dos dados bióticos e abióticos da terceira campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos, é apresentada a seguir.

Neste capítulo são expostas as relações encontradas entre os indicadores biológicos de macrozoobentos e os parâmetros físico-químicos e contaminantes, verificando-se a ocorrência de relações entre as respostas biológicas e as variáveis ambientais e contaminantes, através de testes estatísticos.

### **VI.1 - RELAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE MACROZOOBENTOS COM O AMBIENTE**

#### **VI.1.1 - Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos**

Na correlação de Spearman realizada entre os dados de granulometria, matéria orgânica, nutrientes e os dados de macrozoobentos, verificaram-se correlações positivas e negativas (Tabela VI.1-1).

Foram identificadas correlações positivas significativas da diversidade e equitatividade com nitrogênio total (NT), entre equitatividade e areia grossa (AG). A correlação negativa significativa identificada foi entre densidade e carbono orgânico total (COT) (ver valores das correlações na Tabela VI.1-1).

**Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os dados de matéria orgânica, nutrientes e granulometria e os dados de diversidade, equitatividade, riqueza e densidade total de macrozoobentos. Correlações significativas estão destacadas em vermelho  $p < 0,05$ .**

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
<b>MOT</b>	-0,36	-0,17	-0,11	0,37
<b>COT</b>	<b>-0,64</b>	-0,28	-0,13	0,07
<b>Carbonato</b>	0,05	0,01	0,02	-0,02
<b>NT</b>	0,09	0,47	<b>0,52</b>	<b>0,58</b>
<b>PT</b>	0,17	-0,06	-0,08	-0,03
<b>Cascalho</b>	-0,01	-0,05	-0,12	-0,14
<b>AMG</b>	-0,26	0,05	0,13	0,42
<b>AG</b>	-0,02	0,26	0,24	<b>0,53</b>
<b>AM</b>	0,19	0,26	0,19	0,02
<b>AF</b>	0,04	-0,01	-0,07	-0,27
<b>AMF</b>	-0,04	0,10	0,10	0,26
<b>Silte</b>	0,01	-0,15	-0,17	-0,10
<b>Argila</b>	0,28	0,31	0,28	0,01
<b>Mediana</b>	0,16	0,01	0,02	0,04

Legenda: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; MOT: matéria orgânica total; COT: carbono orgânico total; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total.

A seguir foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) para verificar a distribuição das amostras no espaço bidimensional em relação aos indicadores biológicos (densidade, riqueza, equitatividade e diversidade) e às variáveis físico-químicas do sedimento (granulometria, matéria orgânica e nutrientes). Nessa análise, as variáveis biológicas foram inseridas como variáveis ativas e as físico-químicas como variáveis suplementares.

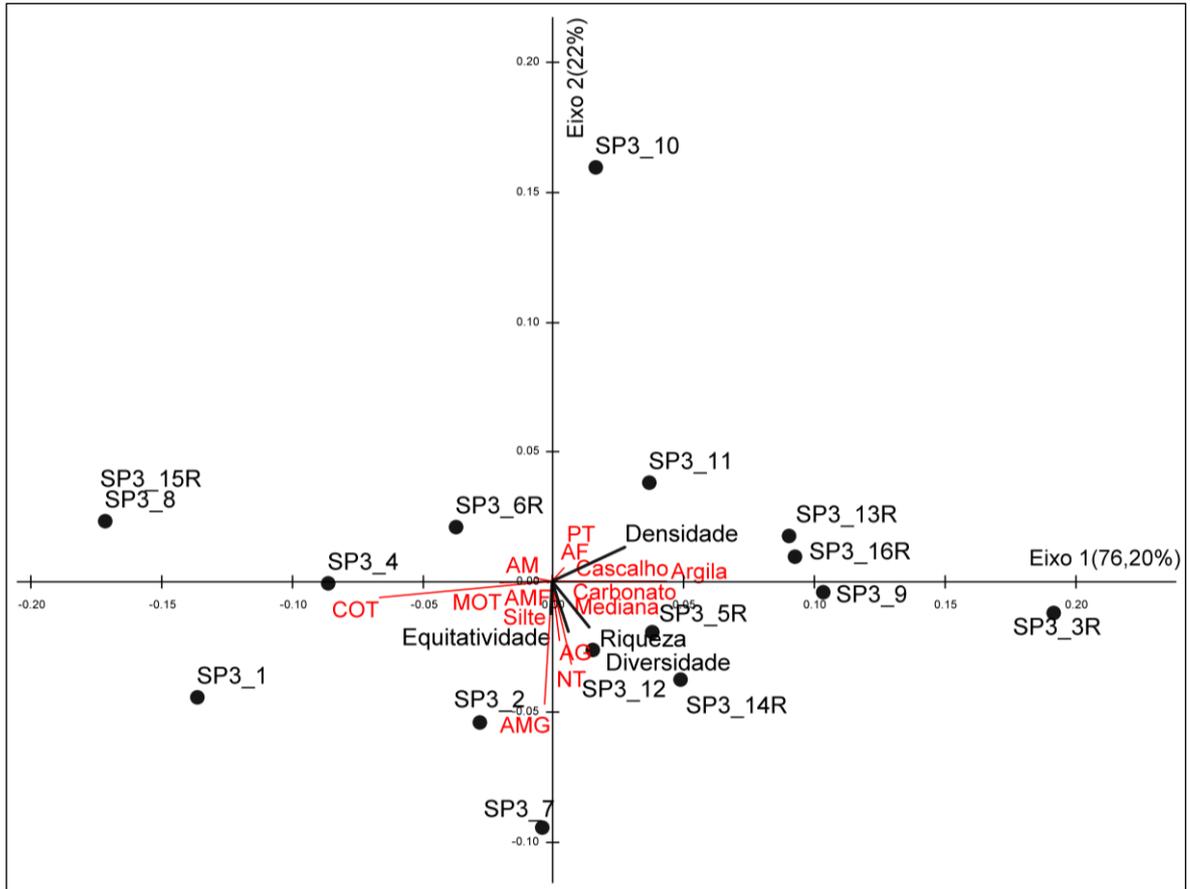
A partir da ACP, verificou-se a distribuição espacial das estações na área de estudo, considerando-se as respostas biológicas – verificadas pelos dados de diversidade, riqueza, equitatividade e densidade de macrozoobentos – e a correlação dessas com as variáveis ambientais. Na ACP apresentada (Figura VI.1-1), os dois primeiros eixos explicaram 98,20% da variação, sendo que o primeiro eixo explicou 76,20% e o segundo explicou 22%.

As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância  $d$  ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983), que deve ser maior ou igual a  $(2/m)^{0,5}$ , onde  $m$  = número de variáveis. Dessa forma, para fins de interpretação dos resultados da análise,

foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,71.

De maneira geral, a distribuição das estações amostrais foi significativa ( $p = 0,005$ ) apenas ao longo do primeiro eixo. As estações SP3\_3R, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_10, SP3\_11, SP3\_12, SP3\_13R, SP3\_14R, e SP3/16R, distribuíram-se na porção positiva do eixo 1, apresentando correlações positivas significativas, com densidade ( $r = 0,97$ ) e riqueza ( $r = 0,82$ ) e potencial correlação positiva com argila ( $r = 0,47$ ) e negativa com COT ( $r = -0,57$ ), embora não significativa, levando-se em conta a distância ao centro do plano inferior a 0,71. Na porção negativa do eixo 1 estiveram distribuídas as estações SP3/1, SP3/2, SP3/4, SP3/6R, SP3/8 e SP3/15R, que apresentaram as relações inversas das estações acima.

Observa-se que as relações encontradas nesta ACP complementam as relações encontradas nas correlações de Spearman (Tabela VI.1-1). As estações distribuídas na porção negativa do eixo 1 estão apresentando, potencial relação de maior concentração de COT e menor densidade, enquanto que as estações distribuídas na porção positiva do eixo 1 apresentam o contrário - menor COT e maior densidade. Também se verifica que na porção negativa do eixo 2, que as estações SP3\_2, SP3\_7, SP3\_12 e SP3\_14R apresentam potencial relação positiva de NT e AG com diversidade e equitatividade, porém as relações observadas para o eixo 2 não foram significativas.



Legenda: SP3, estações de coleta do poço SP3, 16 estações; R: estações realocadas- 2 estações; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; COT, carbono orgânico total; MOT, matéria orgânica total; NT, nitrogênio total; PT, fósforo total.

**Figura VI.1-1** - Análise de componentes principais entre os indicadores biológicos de macrozoobentos e as variáveis ambientais das estações de coleta da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos.

### VI.1.2 - Relações entre os Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos

Na correlação de Spearman realizada entre os contaminantes e os indicadores biológicos da comunidade bentônica, obtêve-se apenas uma correlação significativamente negativa, entre equitatividade e manganês (Tabela VI.1-2).

**Tabela VI.1-2** - Correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a 3ª campanha monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos. Valores em vermelho indicam correlações significativas ( $p < 0,05$ ).

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
<b>HTP</b>	-0,42	-0,20	-0,08	0,36
<b>N-alcanos</b>	-0,42	-0,20	-0,08	0,36
<b>MCNR</b>	-0,42	-0,20	-0,08	0,36
<b>Al</b>	-0,11	-0,08	-0,15	-0,17
<b>Ba</b>	-0,03	0,24	0,30	0,07
<b>Cu</b>	0,36	0,42	0,36	0,17
<b>Cr</b>	0,01	-0,04	-0,16	-0,34
<b>Fe</b>	-0,19	-0,21	-0,29	-0,28
<b>Mn</b>	0,32	-0,12	-0,24	-0,52
<b>Ni</b>	0,03	-0,24	-0,35	-0,26
<b>Pb</b>	0,08	0,09	0,20	0,03
<b>Zn</b>	0,02	-0,10	-0,22	-0,29
<b>V</b>	-0,15	-0,23	-0,31	-0,25

Legenda: HTP: hidrocarbonetos totais de petróleo, Al: alumínio; Ba: Bário; Cu: cobre; Cr: cromo; Fe: ferro; Mn: manganês; Ni: níquel; Pb: chumbo; Zn: zinco; V: Vanádio.

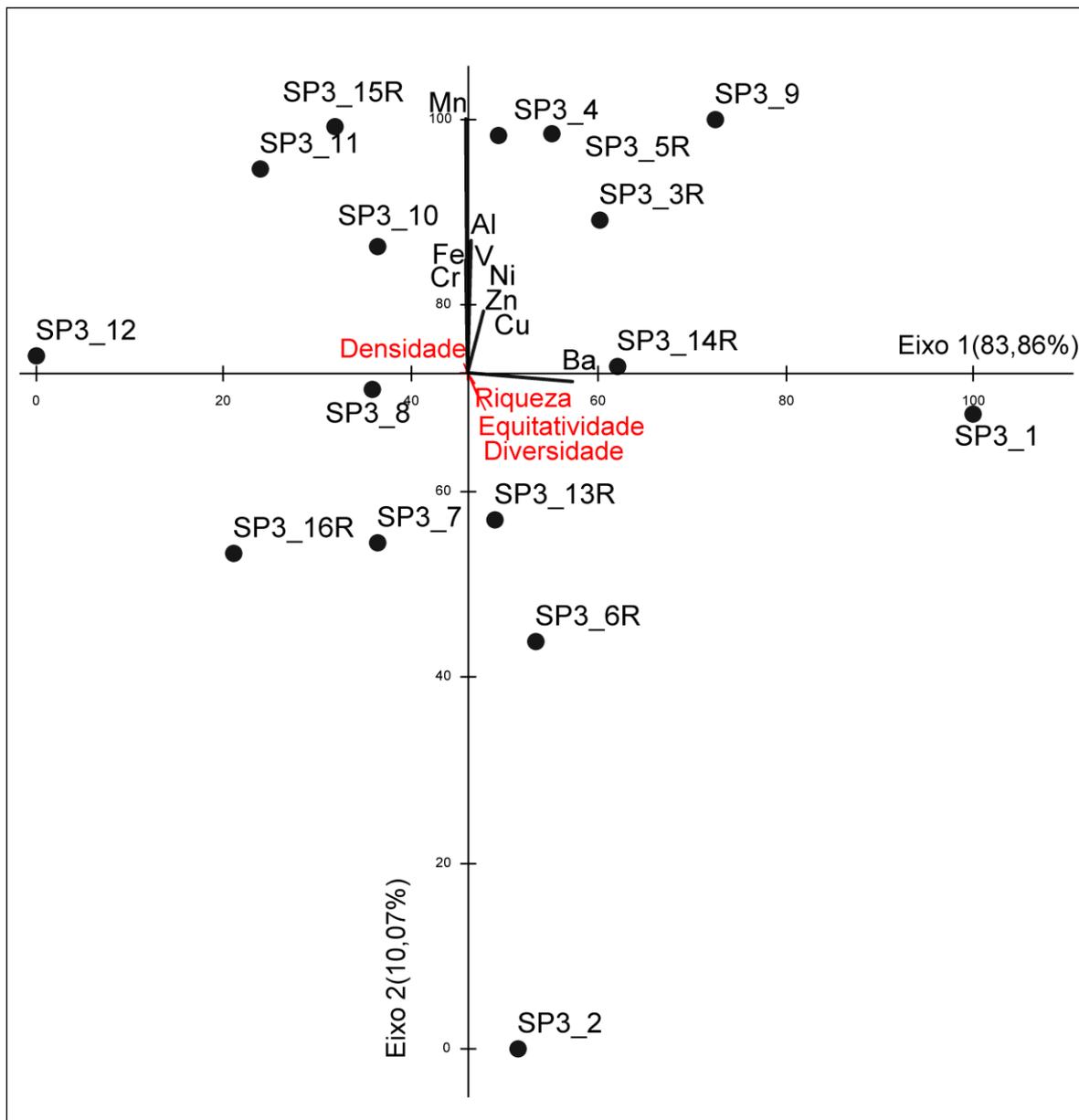
Para complementar e agregar informações às relações obtidas pelas correlações de Spearman, uma ACP foi realizada visando permitir a visualização da distribuição das estações de coleta em função da concentração dos contaminantes (os quais foram considerados como variáveis ativas na ACP) e dos indicadores biológicos (inseridos como variáveis suplementares na ACP). Com a ACP, pode-se verificar a distribuição espacial das estações na área de estudo, considerando-se a dinâmica dos contaminantes e a correlação deles com as respostas biológicas.

A ACP explicou 93,93% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo que o primeiro eixo explicou 83,86% e o segundo 10,07% (Figura VI.1-2).

Para avaliar as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP, a distância  $d$  ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983) foi determinada. Dessa forma, foram consideradas, para fins de interpretação, apenas as variáveis com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,47.

De maneira geral, a distribuição das amostras ocorreu significativamente ( $p = 0,001$ ) ao longo do eixo 2 e não foi significativa no eixo 1 ( $p > 0,05$ ). As estações

SP3\_3R, SP3\_4, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_10, SP3\_11 e SP3\_15R ocorreram na porção positiva do eixo 2, correlacionando-se positivamente e significativamente com alumínio ( $r = 0,83$ ), cromo ( $r = 0,71$ ), ferro ( $r = 0,74$ ), manganês ( $r = 0,90$ ), níquel ( $r = 0,95$ ), zinco ( $r = 0,76$ ) e vanádio ( $r = 0,89$ ). Isso indica que essas estações apresentaram maiores concentrações desses metais em comparação às estações que se distribuíram na porção negativa do eixo 2: SP3\_2, SP3\_6R, SP3\_7, SP3\_8, SP3\_13R e SP3\_16R, as quais correlacionaram-se negativamente com os metais citados acima, apresentando, portanto, menores concentrações desses metais. As demais estações (SP3\_1 e SP3\_12) se distribuíram principalmente no eixo 1, cujas variações sobre esse eixo não foram explicadas significativamente. Não foram verificadas correlações da distribuição das estações amostrais em relação aos demais contaminantes, nem em relação aos dados biológicos, pois essas variáveis não apresentaram significativa distância ao centro do plano igual ou superior a 0,47. No entanto, pode-se verificar que das relações de Spearman encontradas (Tabela VI.1-2), as estações na porção positiva do eixo 2 apresentam potencial relação inversa entre manganês e equitatividade, indicando maior concentração de manganês em relação à menor valor de equitatividade nessas estações.



Legenda: Al, alumínio; Ba: bário; Cr: cromo; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Ni: níquel; V: vanádio; Zn: zinco; SP3, estações de coleta do poço SP3, 16 estações; R: estações realocadas-2 estações.

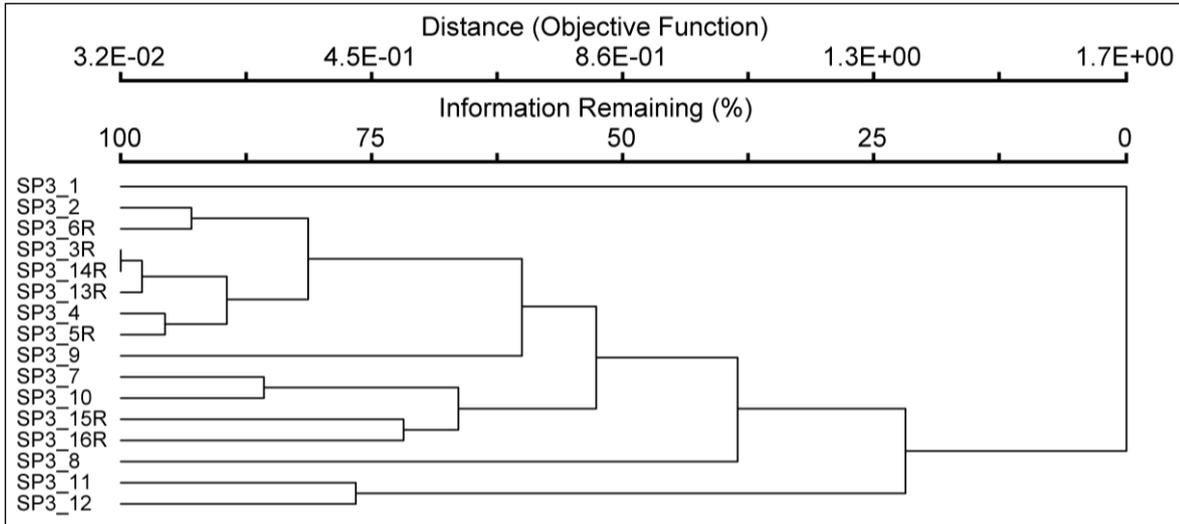
**Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais entre os contaminantes (metais) e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos.**

### **VI.1.3 - Padrão de Relação das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas**

Visando analisar a distribuição espacial das amostras de sedimento em relação às variáveis ambientais e biológicas, foram realizadas análises de agrupamento (*cluster*), e de escalonamento multidimensional (MDS).

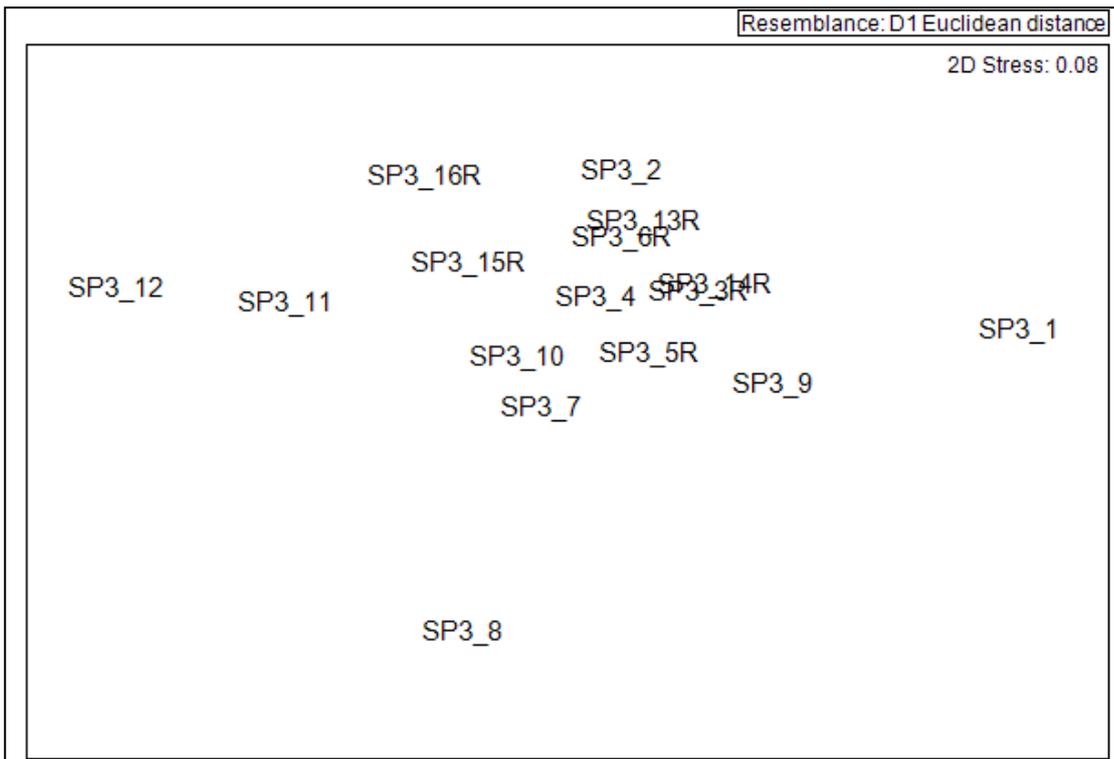
O *cluster* possibilita analisar as semelhanças entre as amostras, verificando o quão próximas estão umas das outras. Nessa análise, é possível visualizar graficamente e expor a relação entre as análises de fragmentação e seus pontos de dados individuais. Portanto, é possível visualizar como os grupos de amostras se relacionam entre si.

No *cluster* apresentado na Figura VI.1-3, verifica-se a formação de quatro grupos com 52,6% de similaridade: i) SP3\_1R, ii) SP3\_2, SP3\_6R, SP3\_3R, SP3\_14R, SP3\_13R, SP3\_4, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_7, SP3\_10, SP3\_15R, SP3\_16R; iii) SP3\_8, e iv) SP3\_11 SP3\_12. Com similaridade de 81,4% formam-se nove grupos: i) SP3\_1R; ii) SP3\_2, SP3\_6R, SP3\_3R, SP3\_14R, SP3\_13R, SP3\_4 e SP3\_5R, iii) SP3\_9, iv) SP3\_7 e SP3\_10, v) SP3\_15R, vi) SP3\_16R, vii) SP3\_8, viii) SP3\_11 e ix) SP3\_12. A MDS, realizada com o mesmo conjunto de dados, apresentou stress 0,08, cujo resultado é um pouco satisfatório, pois segundo Kruskal (1978) e Clarke (1993), quanto menor o valor de stress e mais próximo de zero, melhor a representação dos dados na MDS. Essa análise indicou semelhante informação gerada pelo *cluster*, principalmente em relação à distribuição das amostras em quatro grupos principais, sendo os mais distantes SP3\_1, SP3\_8, SP3\_11 e SP3\_12.



Legenda: SP3, estações de coleta do poço SP3, 16 estações; R, estações realocadas, duas estações.

**Figura VI.1-3** - Análise de agrupamento das 16 estações de amostragem da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, com base nas variáveis ambientais, contaminantes e biológicas.



**Figura VI.1-4** - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais (granulometria, nutrientes e matéria orgânica), contaminantes e biológicas nas estações da 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, Bacia de Santos.

No atual estudo, observou-se que, dentre os indicadores biológicos testados, diversidade e equitatividade bentônica relacionaram-se positivamente com nitrogênio total e areia grossa, enquanto que a relação negativa foi entre densidade e COT. Essa última relação foi mais pronunciada, sendo também potencialmente verificada na ACP, indicando que as estações SP3\_3R, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_10, SP3\_11, SP3\_12, SP3\_13R, SP3\_14R, e SP3\_16R apresentaram maior densidade em relação à menor concentração de COT e as estações SP3\_1, SP3\_2, SP3\_4, SP3\_6R, SP3\_8 e SP3\_15R, apresentaram o inverso. Destaca-se também que as estações SP3\_2, SP3\_7, SP3\_12 e SP3\_14R estiveram potencialmente relacionadas positivamente com NT e AG com diversidade e equitatividade, relação verificada pelas correlações de Spearman, mas não significativa na ACP (Figura VI.1-1). Com relação aos contaminantes, observou-se, que apenas o manganês se destacou apresentando correlação negativa significativa com equitatividade bentônica. Apesar de na ACP (Figura VI.1-2) outros metais terem se correlacionado com as mesmas estações que o manganês (SP3\_3R, SP3\_4, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_10, SP3\_11 e SP3\_15R), nessa ACP não foi verificada significativa relação com os indicadores biológicos.

Os indicadores biológicos de densidade, riqueza, diversidade e equitatividade são parâmetros estruturais das comunidades bentônicas que variam em escala espacial e temporal ao longo da plataforma continental. As respostas apresentadas por essas variáveis são resultado de interações físicas, químicas, meteorológicas, espaciais, temporais e biológicas, influenciando a ocorrência, a predominância e a distribuição desses organismos nos ecossistemas (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

Nesse contexto, a composição granulométrica, o teor de matéria orgânica e os nutrientes presentes no sedimento, têm influência na dinâmica dos organismos bentônicos (ETTER & GRASSLE, 1992). Conforme supracitado, a matéria orgânica, na forma de carbono orgânico total (COT), relacionou-se negativamente com a densidade, enquanto que o nutriente nitrogênio total (NT) e as partículas grossas (AG) do sedimento co-variaram positivamente com a resposta da comunidade em termos de diversidade e equitatividade. Em contrapartida, o manganês (Mn) apresentou relação inversa com a equitatividade.

O sedimento é fator determinante na presença, distribuição e associação da fauna (STORA *et al.*, 1996). Ele exige adaptações morfológicas e fisiológicas, influenciando o hábito alimentar desses organismos, uma vez que dependem do tamanho e arranjo das partículas do sedimento e dos espaços intersticiais. Alterações das características físicas e químicas do sedimento podem refletir diretamente em mudanças na diversidade e abundância da fauna bentônica e, conseqüentemente, na estrutura dessa comunidade. Assim sendo, alguns táxons de macroinvertebrados bentônicos são restritos a tipos de substratos (VITOUSEK, 1990). Substratos mais diversificados oferecem maior disponibilidade de habitats e microhabitats, alimentos e proteção, como, por exemplo, proteção de correntes e predadores (CARVALHO & UIEDA, 2004). Sedimentos mais grossos, mantendo a mistura entre grossos e finos, apresentam maior heterogeneidade de habitats e permitem a entrada de mais conteúdo intersticial, pois aumentam a disponibilidade de detritos orgânicos e de oxigênio (FENOGLIO & CUCCO, 2004), permitindo maior estruturação da comunidade. Assim, o processamento de energia proveniente de detritos orgânicos, pode ser influenciado pela sua disponibilidade no substrato e, dessa forma, influenciar a comunidade pelo acúmulo da matéria orgânica no sedimento (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008)

Com relação aos metais, dependendo de como estão dispostos no sistema aquático, podem apresentar um elevado grau de toxicidade para as muitas formas de vida (LORENZI *et al.*, 2008). As relações observadas nesse estudo apontam somente a relação inversa entre Mn e equitatividade. Em estudo avaliando a distribuição de metais no sedimento de sistema estuarino (com aporte marinho) a concentração média de Mn obtida foi 246 mg/kg (JESUS *et al.*, 2004), e tais concentrações refletiram contribuição de origem natural, associada à geologia local, bem como à contribuição antrópica pelo descarte de efluentes domésticos e industriais. A concentração de Mn encontrada nesta campanha de monitoramento, para a Bacia de Santos, no poço SP3, foi em média de 362,37 mg/kg. Os contaminantes podem atuar de diferentes maneiras nos organismos bentônicos, influenciando diversos níveis organizacionais. Segundo TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008, alguns metais são considerados essenciais, quando em concentrações muito baixas, como ferro, manganês, zinco e cobre,

porém tornam-se tóxicos em concentrações elevadas. Tundisi *et al.* (2011) afirmam que concentrações de metais em sedimentos podem ser tóxicas à fauna bentônica, pois são potencialmente bioacumuláveis e biomagnificáveis. Além disso, respostas em nível de comunidade, promovem mudanças globais na abundância das espécies, favorecendo espécies tolerantes a metais.

## VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 3ª Campanha de monitoramento ambiental (fase pós-perfuração, 2º retorno) da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Piracaba-SP3. Os resultados referem-se à qualidade do sedimento e caracterização da macrofauna bentônica local, com o objetivo de estabelecer um diagnóstico ambiental, considerando um período de médio a longo prazo após o início da atividade, de forma a subsidiar a avaliação de possíveis alterações que possam ter ocorrido em função da atividade.

Ao analisar a granulometria dos sedimentos no entorno do local onde foi perfurado o poço Piracaba-SP3 foi possível observar pouca variação na distribuição granulométrica, uma vez que em todas as amostras houve predomínio da fração correspondente à areia muito fina. Os valores de carbonato indicaram taxas relativamente baixas (<30%), ou seja, todas as estações amostradas foram classificadas como sedimentos litoclásticos.

As concentrações médias de carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT) foram de  $0,11 \pm 0,03\%$  e  $3,75 \pm 0,38\%$ , respectivamente, nas amostras coletadas no entorno do poço Piracaba-SP3. As concentrações de COT encontradas na atual campanha foram inferiores em relação as campanhas anteriores desse monitoramento, enquanto que as concentrações de MOT foram semelhantes entre as campanhas.

As concentrações de nitrogênio total foram inferiores aos valores encontrados nas campanhas anteriores desse monitoramento. As concentrações de fósforo total também foram inferiores em relação aos valores encontrados na bibliografia existente para a região de estudo. Estas diferenças estão provavelmente relacionadas à variabilidade natural. A análise da distribuição espacial mostrou maiores concentrações de nitrogênio no eixo nordeste-sudoeste. Já para o fósforo não foi observado um padrão de distribuição espacial.

Quanto aos metais, foram registradas concentrações inferiores às observadas em estudos pretéritos para todos os metais, exceto para o bário, que apresentou maiores concentrações na atual campanha, exceto se comparadas a segunda campanha desse monitoramento. Não foi possível definir um padrão de

distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme na concentração dos metais analisados entre as estações, exceto para o manganês, que apresentou maiores concentrações no eixo noroeste-sudeste, e para o bário, que apresentou maiores concentrações nas estações mais próximas do poço Piracaba SP3. Não foram detectadas concentrações de cádmio e mercúrio. Não foram detectadas diferenças significativas entre as estações para a maioria dos metais, exceto para o bário, ferro e vanádio.

Na segunda campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, o fator de enriquecimento foi superior a 1 para todos os metais, em pelo menos 3 estações. Já na atual campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3, o fator de enriquecimento foi inferior a 1 para todas as estações de cromo, ferro, níquel e vanádio, portanto, não houve enriquecimento por esses metais nessas estações. Comparando as duas campanhas pós perfuração é possível observar que os valores do fator de enriquecimento diminuíram da segunda para a terceira campanha, portanto, houve um enriquecimento maior no momento logo após a perfuração (1º retorno), com os valores do fator de enriquecimento decrescendo ao longo do tempo. O único metal que manteve fator de enriquecimento moderado a severo foi o bário, que apesar da diminuição do fator, ainda manteve valores elevados de FE.

Não foi detectada a presença de HPA's nas amostras analisadas. Foram verificadas concentrações detectáveis de HTP's, n-alcanos e MCNR apenas na estação SP3\_1. As concentrações de HTP's variaram de não detectado a  $24.627,67 \pm 28.801,51 \mu\text{g}/\text{kg}$ , enquanto que as concentrações de n-alcanos variaram de não detectado a  $792,33 \pm 1.008,08 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Já as concentrações de MCNR variaram de não detectado a  $16.986,67 \pm 16.982,67 \mu\text{g}/\text{kg}$ . O valor da razão MCNR/HRP foi de 21,43 na estação SP3\_1, indicando, portanto, presença de resíduos relacionados ao petróleo.

De forma geral, as concentrações de metais e hidrocarbonetos permitem inferir que a região não apresenta indicativos de contaminação por estes compostos, exceto na estação SP3\_1, que apresentou indicativos de resíduos relacionados ao petróleo e enriquecimento severo por bário, e conclui-se que os sedimentos na região de entorno do poço Piracaba-SP3 apresentam boa qualidade ambiental no momento do 2º retorno da campanha de pós-perfuração.

Porém é preciso ainda cautela ao se avaliar os dados de bário, pois altas concentrações deste metal foram encontradas nas estações SP3\_1 e SP3\_9, podendo estar associadas à atividade de perfuração realizada.

A comunidade bentônica, que continha riqueza semelhante e menor densidade, demonstrou diferenças significativas para a riqueza e para densidade ao longo das três campanhas de monitoramento realizadas no local. Esse resultado pode ser explicado devido a teoria de possível variação ao acaso das comunidades, o que indica que podem não estar ocorrendo mudanças reais e significativas no local ao longo dos anos.

Não foram observadas diferenças marcantes entre as estações de amostragem, para a riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade. Esse resultado aponta para a ocorrência de pouco ou nenhum distúrbio do presente empreendimento na comunidade. Também foi evidenciado um padrão espacial para os indicadores biológicos da comunidade bentônica, com maiores valores a oeste do poço Piracaba-SP3, exceto para a equitabilidade.

Foram encontrados organismos pertencentes a quatro filos: Annelida, Arthropoda, Nemertea e Mollusca, sendo que Annelida, Mollusca e Arthropoda foram registrados nas campanhas anteriores. O filo com maior número de taxa e maiores valores de densidade foi Annelida.

A diversidade variou entre 0,86 e 1,61 bits/ind, com média de 1,35 bits/ind. Já a equitabilidade variou entre 0,57 e 1,00, com média de 0,93. Esses valores indicam uma distribuição igualitária entre as abundâncias das espécies dessa comunidade, indicando uma comunidade equitativa, e com diversidade baixa a média.

As análises de agrupamento através de Cluster e de ordenação multidimensional (MDS) para a macrofauna indicaram que as estações de amostragem possuem similaridade variando entre 89 e 100%. Houve a formação de quatro grandes grupos com 95% de similaridade: I) SP3\_3R; II) SP3\_1, SP3\_15R e SP3\_8; III) SP3\_2, SP3\_4 e SP3\_7 e IV) SP3\_6R, SP3\_12, SP3\_5R, SP3\_10, SP3\_16, SP3\_9, SP3\_13R, SP3\_11 e SP3\_14R. A estação SP3\_3R foi a que mais se diferenciou das demais e não se enquadrou em grupos.

A análise integrada realizada para os dados coletados durante a 3ª campanha de monitoramento do poço Piracaba SP3 demonstrou variação

espacial em relação às respostas biológicas, aos componentes físicos, químicos e contaminantes do sedimento, nas diferentes estações amostrais. Diversidade e equitatividade bentônica relacionaram-se positivamente com nitrogênio total e areia grossa, enquanto que densidade correlacionou-se negativamente ao COT. Sendo que pra essa última correlação as estações SP3\_3R, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_10, SP3\_11, SP3\_12, SP3\_13R, SP3\_14R, e SP3\_16R apresentaram maior densidade em relação à menor concentração de COT e as estações SP3\_1, SP3\_2, SP3\_4, SP3\_6R, SP3\_8 e SP3\_15R, apresentaram o inverso. Destaca-se também que as estações SP3\_2 SP3\_7 SP3\_12 e SP3\_14R estiveram potencialmente relacionadas positivamente com NT e AG e com diversidade e equitatividade, embora a relação não tenha sido significativa na ACP (Figura VI.1-1). Também se observou que apenas o manganês, dentre todos os metais analisados se correlacionou negativamente e significativamente com equitatividade bentônica. Essa relação ocorreu potencialmente nas estações SP3\_3R, SP3\_4, SP3\_5R, SP3\_9, SP3\_10, SP3\_11 e SP3\_15R, nas quais a concentração desse metal foi maior em relação ao menor valor de equitatividade (ACP, Figura VI.1-2); embora nessa ACP, não tenha sido verificada significativa relação com os indicadores biológicos.

Os dados apresentados referentes à qualidade dos sedimentos e à macrofauna bentônica permitiram caracterizar satisfatoriamente a qualidade ambiental da região do entorno do poço Piracaba-SP3, no momento da campanha de pós-perfuração, 2º retorno, e permitiram a comparação com os dados das campanhas anteriores, não indicando impactos referentes à atividade de perfuração do poço, exceto em relação a estação SP3\_1, que apresentou maiores concentrações de bário, fator de enriquecimento classificado como severo e indicativo de resíduos relacionados ao petróleo, que podem estar relacionados com a atividade de perfuração.



## VIII - BIBLIOGRAFIA

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: springer-verlag. 1986, 533p.

ALVES, A. N. L. **Monitoração biológica na exposição ocupacional ao cobalto, aspectos toxicológicos e analíticos associado a um sistema de qualidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Área de Toxicologia e Análises Toxicológicas, São Paulo. 1999.

AMARAL, A. C. Z. et al. Filo Annelida – Classe Polychaeta. In: **Biodiversidade Bentônica da Região Sudeste-Sul do Brasil – Plataforma Externa e Talude Superior**. AMARAL, A. C. Z. & ROSSI-WONGTSCHOWSKI (ed.). Instituto Oceanográfico – USP (Série documentos Revizee: Score Sul), 2004, p. 114-125.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira: Aphroditidae e Polynoidae**. Brasília, CNPq, 1982a, 46 p.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira: características e chave para famílias; glossário**. Brasília, CNPq, 1982b, 47 p.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira: Polyodontidae, Pholoidae, Sigalionidae e Eulepethidae**. Brasília, CNPq, 1984, 54 p.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Anelídeos poliquetos da costa brasileira. 5. Pisionidae, Chrysopetalidae, Amphinomidae e Euphrosinidae**. **Rev. Bras. Zool.**, 11 (2): 361-390, 1994.

AMARAL, A. C. Z.; NONATO, E. F. **Annelida Polychaeta: características, glossário e chaves para famílias e gêneros da costa brasileira**. Campinas, Editora da Unicamp, 1996, 124 p.

AMARAL, A. C. Z. & MIGOTTO, A. E. Importância dos Anelídeos Poliquetas na Alimentação da Macrofauna Demersal e Epibentônica da Região de Ubatuba. São Paulo: Bolm Inst. Oceanogr., v. 29, p. 31-35, 1980.

AMARAL, A. C. Z. & ROSSI-WONGTSCHOWSKI. **Biodiversidade Bentônica da Região Sudeste-Sul do Brasil – Plataforma externa e talude superior**. Instituto Oceanográfico – USP (Série documentos Revizee: Score Sul). 2004, 216p.

AMARAL, A. C. Z.; RIZZO, A. E.; ARRUDA, E. P. **Manual de identificação dos invertebrados marinhos da região sudeste-sul do Brasil**. v. 1. São Paulo, Edusp, 287, 2005.

APOSTILA de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais. 2. ed. revisada e ampliada, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

APRILE, F. M.; BOUVY, M. **Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacurá river basin, northeastern Brazil**. Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 2008, 12(1):1-8.

ASMUS. Geologia **da margem continental brasileira**. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. (coords.). Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília: DNPM. 1984, p. 443-472.

BARD, A. J.; ZOSKI, C. G. **Voltammetric Retrospective**. Anal. Chem, 72, 364 A. 2002.

BARROS, L. C.; VALENÇA, L. M. M.; MANSO, V. A. V.; MADRUGA FILHO, J. D.; OLIVEIRA, J. A. R. **Textura, Composição e Arredondamento dos Sedimentos da Plataforma Continental Interna Adjacente às Desembocaduras Sul do Canal de Santa Cruz e do Rio Timbó, Norte do Estado de Pernambuco**. Estudos Geológicos, v. 17(1). p. 58-60, 2007.

BIZZI, L. A. SCHOBENHAUS, C. VIDOTTI R. M. e GONÇALVES J. H. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, DF, 2003.

BOEBEL, O.; DAVIS, R. E.; OLLITRAUT, M.; PETERSON, R. G.; RICHARD, P. L.; SCHMID, C. & ZENK, W. **The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic**. *Geophys. Res. Lett.*, 26(21):3329-3332, 1999.

BOWMAN, T. E.; GRUNER, H. **The families and genera of Hyperiidia (Crustacea: Amphipoda)**. Washington, Smithsonian Institution Press, 1973, 64 p.

BRASIL, A. C. S.; SILVA, L. F. & AMARO, F. D. **Annelida - Polychaeta de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência. 2007, p. 237-252.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial da União**, de 08 de novembro de 2012. Seção 1, p. 66.

BRAYNER, F. M. M. **Determinação de taxas de retenção de metais-traço por sedimentos orgânicos em um viveiro de piscicultura em área estuarina e urbana**. São Carlos. 103p. Tese (Doutorado) – Escola de engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 1998.

BROWN & FISCHER. **Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: Examples from Brazilian Rift and Pull-apart Basins**. In: C.E. Payton (Ed.) *Seismic Stratigraphy – Applications to hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir 26, p. 213-248, 1977.

CAMPOS, E. J. D.; GONÇALVES, J. E. & IKEDA, Y. **Water mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight – Summer of 1991**. *J. Geophys. Res.*, 100 (C9):18537-18550, 1995.

CAMPOS, M. L. A. M.; BRENDON, ANDERSON E VIEL, FABÍOLA C. **Métodos de baixo custo para purificação de reagentes e controle de contaminação para a determinação de metais traços em águas naturais.** Quim. Nova, 25, n. 5, 808. 2002.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.** In: Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 2007.

CARVALHO, E. M. & UIEDA, V. S. **Colonização por macroinvertebrados bentônicos em substrato artificial e natural em um riacho da serra de Itatinga,** São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia 21(2):287-293, 2004.

CENPS/PDEDS/AMA. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico,** 2009.

CETESB. **Sedimentos:** determinação da distribuição granulométrica – método de ensaio. 1995. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/L6160.pdf>>.

CETESB. **Sistema Estuarino Santos e São Vicente.** 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/61-publicacoes-e-relatorios---relatorios-de-qualidade>>. Acesso em: 16 de setembro de 2013.

CETESB. **Variáveis de qualidade das águas.** 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#cobre>>. Acesso em: 14 set. 2006.

CHANG, H. K.; ASSINE, M. L.; CORRÊA, F. S.; TINEN, J. S.; VIDAL, A. C.; KOIKE. **Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.** Rev. bras. geociênc., v. 38, 2008.

CHESTER, R. **Marine Geochemistry**. 2nd ed. Liverpool: Blackwell Publishing Company, 2003.

CLARKE, K. R. **Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure**. Aust J Ecol, 18:117–43, 1993.

CLARKE, K. R. K. & WARWICK, R. M. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. Plymouth: PRIMER-E Ltd., 2001, p. 176.

COLOMBO, J. C.; PELLETIER, E.; BROCHU, C.; KHALL, M.; CATOGGIO, J. A. Determination of hydrocarbon sources using n-alkanes and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de la Plata Estuary, Argentina. **Environmental Science & Technology**, v.23, p.888-894, 1989.

COMMENDATORE, M. G.; ESTEVES, J. L. Natural and anthropogenic hydrocarbons in sediments from the Chubut River (Patagonia, Argentina). **Marine Pollution Bulletin**, v.48, n.9-10, 2004, p.910-918, 2004.

CUMMINS, K. W. & KLUG, M. J. **Feeding ecology of stream invertebrates**. Annual Reviews in Ecology and Systematics, v. 10, p. 147-172, 1979.

CUTLER, E. B.; CUTLER, N. J. **Sipuncula from southern Brazil**. Bolm Inst. Oceanogr., São Paulo, 29 (1): 1-8, 1980.

DIAS, J. A. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos: uma introdução à oceanografia geológica**. (Versão Preliminar), 2004. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAANHMAJ/a-analise-sedimentar-conhecimentos-dos-sistemas-marinhos>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

DITADI, A. S. F.; MIGOTTO, A. E. **O filo Sipuncula – Guia para coleta, identificação e manutenção em laboratório**. Brasília, CNPq, 1982, 44 p.

EGREJA FILHO, F. B. **Avaliação da ocorrência e distribuição dos metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Agroquímica) - Universidade Federal de Viçosa, 1993, 176p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).

ETTER, R.J. E GRASSLE, J. F. **Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity.** Nature 360:576-578. 1992.

FENOGLIO, S; BO, T. & CUCCO, M. **Small-scale macroinvertebrate distribution in a riffle of a neotropical rainforest stream (Rio Bartola, Nicaragua).** Caribbean Journal of Science. 2004, 40(2):253-257.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. **Brazos river bar:** a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, v. 27, p. 3-26, 1957.

GARRAFFONI, A. R. S.; LANA, P. C. Species of Terebellides (Polychaeta, Terebellidae, Trichobranchinae) from the Brazilian coast. **Iheringia, Sér. Zool.**, 93 (4): 355-363, 2003.

GEFFARD, O. H. M.; BUDZINSKI, H.; HIS, E.; SEAMAN, M. N. L. & GARRIGUES, P. **Relationships between contaminant levels in marine sediments and their biological effects on embryos of oyster Crassostrea gigas.** Environ. Toxicol. Chem., 21:2310-2318, 2002.

GODOI, S. S. **Dinâmica quase-geostrófica do sistema corrente do Brasil no embaçamento de São Paulo (23,5° - 27° S).** Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005, 151 p.

GOMES, F. C.; GODOY, J. M.; GODOY, M. L. D. P.; CARVALHO, Z. L., LOPES, R. T.; SANCHEZ-CABEZA, J. A.; LACERDA, L. D. WASSERMAN, J. C. **Metal**

**concentration, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays: A comparative study.** Marine Pollution Bulletin, v. 59, p. 123 – 133, 2009.

GONÇALVES A.; OLIVEIRA, M. A. M. D.; MOTTA, S. D. O. Geologia da Bacia de Pelotas e da plataforma de Florianópolis. **Boletim de Geociência da Petrobras**, 22:157-174, 1979.

GONÇALVES, J. F. JR.; CALLISTO, M.; FONSECA, J. J. Relações entre a composição granulométrica do sedimento e as comunidades de macroinvertebrados bentônicos nas lagoas Imboassica, Cabiúnas e Comprida (Macaé, RJ). In: Francisco Esteves. (Org.). **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: UFRJ, v. 1, p. 299-310, 1998.

GRAY, J. **The Ecology of Marine Sediments:** An introduction to the structure and function of benthic communities. Cambridge University Press, Cambridge, 1981, 265 pp.

GREANPEACE. **Metais Tóxicos.** 2006. Disponível em: <[http://www.greanpeace.org.br/toxicos/?conteudo..id=818&sub\\_campanha=0img=15](http://www.greanpeace.org.br/toxicos/?conteudo..id=818&sub_campanha=0img=15)>. Acesso em: 08 nov. 2006.

HELTSHE, J. F.; FORRESTER, N. E. **Estimating species richness using the jackknife procedure.** Biometrics, v. 39, p. 1-11. 1983.

HUC, A. Y. **Origin and formation of organic matter in recent sediments and its relation to kerogen.** In: RASHID, M. A. 1985. Geochemistry of marine humic compounds. Springer-Verlag, New York. 1980, 300 p.

HUDSON, R. J. M. **Which aqueous species control the rates of trace metal uptake by aquatic biota? Observations and predictions of non-equilibrium effects.** Sci Total Environ. 219, 95. 1998.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A; MENDONÇA, A. S. F. & ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. Quím. Nova. v. 27, n. 3. São Paulo, May/June 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000300004>>.

KENNISH, M. J. **Pollution impacts on marine biotic communities**. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 1997.

KENSLEY, B. **Deep-water Atlantic Anthuridea (Crustacea: Isopoda)**. Washington, Smithsonian Institution Press, 1982, 60 p.

KENSLEY, B.; KOENING, M. L. Two new species of *Quantanthur* from Brazil (Crustacea, Isopoda, Anthuridae). **Proc. Biol. Soc. Wash.**, 91 (4): 953-962, 1978.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1999, p. 620.

KRUSKAL, J. B.; WISH, M. **Multidimensional Scaling**. Sage. 1978.

KUMAR, N.; GAMBOA, L. A. P. **Evolution of the São Paulo Plateau (southeastern Brazilian margin) and implications for the early history of the South Atlantic**. Geological Society of America Bulletin, Boulder, Colo., v. 90, part 1, p. 281, 1979.

LACERDA, L. D. & MARINS, R. V. **Geoquímica de Sedimentos e o Monitoramento de Metais na Plataforma Continental Nordeste Oriental do Brasil**. *Geochemica Brasiliensis*, 20(1):123-135, 2006.

LANA, P. C.; CAMARGO, M. G.; BROGIM, R. A. & ISAAC, V. J. **O bentos da costa brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar, 1996.

LARSONNEUR, C. **La caryographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée en Manche.** Journal Redi oceanog, 2: 34-39, 1977.

LEGECKIS R.; GORDON, A. L. **Satellite observations of the Brazil and Falkland currents - 1975 to 1976 and 1978.** Deep-Sea Research, v. 29, p. 375-401, 1982.

LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. **Numerical ecology.** Developments in environmental modelling, 3. Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam, The Netherlands. xvi + 419 pp. [xii, xiv, 239], 1983.

LIPIATOU, E.; SALIOT, A. Hydrocarbon contamination of the Rhone delta and western Mediterranean. **Marine Pollution Bulletin**, v.22, n.6, p. 297-304, 1991.

LORENZI, A. H.; CAIN, D. J.; PARCHASO, F.; THOMPSON, J. K.; LUOMA, S. N.; HORNBERGER, M. I.; DYKE, J. L. **Near-Field Receiving Water Monitoring of Trace Metals and a Benthic Community Near the Palo Alto Regional Water Quality Control Plant in South San Francisco Bay, California: 2007.** U.S. Geological Survey Open File Report 2008-1180. Menlo Park, California, 2008, 127 pp.

MACDONALD, D. D.; CARR, R. S.; CALDER, F. D.; LONG., E. R. and INGERSOLL, C. G. **Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters.** Ecotoxicology, v. 5, p. 253-278, 1996.

MACHADO, G. M. V. **Análise morfossedimentar da praia, antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba - Rio de Janeiro.** Quaternary and Environmental Geosciences, v. 02(1), p. 01-17, 2010.

MACKENZIE, F. T.; VER, L. M.; SABINE, C.; LANE, M. & LERMAN, A. C, N, P, S global biogeochemical cycles and modeling of global change. In: R. WOLLAST, F.

MACKENZIE, & L. CHOU (Eds.) **Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change**, v. 4, p. 2-61. Berlin Heidelberg: Springer – Verlag, 1993.

MAZZERA, D.; HAYES, T.; LOWENTHAL, D.; ZIELINSKA, B. **Quantification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil at Mcurdo Station, Antarctica**. The Science of Total Environmental, 299; 65:7, 1999.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. J. PC-ORD. **Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 6.03, 2011.

MELO, A. S. & HEPP, L. U. **Ferramentas estatísticas para análises de dados provenientes de biomonitoramento**. Oecologia Brasiliensis, v. 12, n. 3, p. 463-486, 2008.

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Brachyura (Caranguejos e Siris) do litoral brasileiro**. São Paulo, Editora Plêiade, 1996, 603 p.

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Crustacea Decapoda do litoral brasileiro: Anomura, Thalassinidea, Palinuridea, Astacidea**. São Paulo, Editora Plêiade, 1999, 551 p.

MILLERO, F. J. **Chemical Oceanography**. 2nd ed., p. 343-356. Flórida: CRC Press, 2002.

MIRANDA, L. B. **Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP)**. Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 1982, 123 p.

MONTÚ, M. Malacostraca – Peracarida. Amphipoda. Hyperiidea. In: YOUNG, P.S. (ed.). **Catalogue of Crustacea of Brazil**. Rio de Janeiro, Museu Nacional, p. 595-603. (Série livros n. 6), 1998.

MÜLLER, T. J.; IKEDA, Y.; ZANGENBERG, N. & NONATO, L. V. **Direct measurements of the western boundary currents between 20°S and 28°S**. J. Geophys. Res., 103(C3):5429-5443, 1998.

NAUMANN, M. **Programa da Bacia de Santos e disponibilidade de fornecimento de gás**, 19, 20, 2009.

NYBAKKEN, J. W.; BERTNESS, M. D. **Marine Biology: An Ecological Approach** (6 Ed.). San Francisco: Pearson, Benjamin Cummings, 2005.

OLSON, D. B.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. H.; BROWN, O. B. **Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents**. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, v. 35, n. 12, p. 1971-1990, 1988.

PELLENS, I.; BELLOTTO, V.; KUROSHIMA, K., & ABREU, J. **Resultados Preliminares Da Distribuição De Fósforo E Suas Formas Nos Sedimentos Da Plataforma Continental Do Estado De Santa Catarina**. Brazilian Journal Of Aquatic Science And Technology, 2(1), p. 51-60, 1998.

PEREIRA, M. J. & FEIJÓ, F. J. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 8 (1):219-234, 1994.

PEREIRA, M. J. & MACEDO, J. M. A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na plataforma continental sudeste brasileira. **Boletim Geociência da Petrobras**, 4:3-11, 1990.

PEREIRA, M. J.; BARBOSA, C. M.; AGRA, J.; GOMES, J. B.; ARANHA, L. G. F.; SAITO, M.; RAMOS, M. A.; CARVALHO, M. D.; STAMATO, M., BAGNI, O. **Estratigrafia da Bacia de Santos: análise das sequências, sistemas deposicionais e revisão litoestratigráfica**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais, 1:65-79, 1986.

---

PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009, p. 631.

PETROBRAS. **Relatorio de Sustentabilidade**. 2011. Disponível em: <[http://www.petrobras.com.br/rs2011/downloads/Petrobras\\_Relatorio\\_de\\_Sustentabilidade\\_2011.pdf](http://www.petrobras.com.br/rs2011/downloads/Petrobras_Relatorio_de_Sustentabilidade_2011.pdf)>.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Ambiental da Bacia de Santos**. Protocolo acordado entre PETROBRAS, Ministério do Meio Ambiente e IBAMA, 2002.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 1ª Campanha (Dezembro/2009)**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Teste de Longa Duração (TLD) na área de Tiro & Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, 2011a.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 2ª Campanha (novembro/2010)**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Teste de Longa Duração (TLD) na área de Tiro & Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, 2011b.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 3ª Campanha (Janeiro/2012)**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Teste de Longa Duração (TLD) na área de Tiro & Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, 2013.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 4ª Campanha (Janeiro/2013)**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Teste de Longa Duração (TLD) na Área de Tiro & Sidon, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, 2014a.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 1ª Campanha (pré-perfuração - Janeiro/2013)**. Projeto de Monitoramento

---

Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos - Poço Piracaba – SP3, 2014b.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 1ª Campanha (pré-instalação - Abril/2012)**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, 2014c.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 2ª Campanha (Operação – Junho/2013)**. Projeto de Monitoramento Ambiental do Desenvolvimento da Produção de Petróleo dos Campos de Baúna e Piracaba, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, 2014d.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da 2ª Campanha (pós-perfuração - Maio/2013)**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos - Poço Piracaba – SP3, 2015.

PETROBRAS/ICF. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Desenvolvimento da Produção de Petróleo no Bloco BM-S 40, Áreas de Tiro e Sídon, Bacia de Santos, 2010.

PETROBRAS/ICF/BMA. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Atividade de Perfuração Marítima na Área Geográfica Bacia de Santos (AGBS), 2006.

PETROBRAS/UNIVALI. **Relatório de Monitoramento Ambiental do Campo de Coral, Bacia de Santos**, 2008.

PIELOU, E. C. **Mathematical Ecology**. New York: John Wiley. 1977, 385 pp.

PIRES-VANIN, A. M. S. Malacostraca – Peracarida. Marine Isopoda. Anthuridea, Asellota (pars), Flabellifera (pars), and Valvifera. In: Young, P. S. (ed.). **Catalogue**

**of Crustacea of Brazil.** Rio de Janeiro: Museu Nacional. p. 605-624 (Série Livros n.6), 1998.

PORTILHO-RAMOS R. C.; RIO-NETTO A. M.; BARBOSA C. F. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. **Rev. Bras. Paleont.**, 9(3):349-354, 2006.

POVINELLI, J. **Ação dos metais pesados nos processos biológicos de tratamento de águas residuárias.** Tese (Livre Docência em Engenharia/Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 1987.

PRAHL, F. G.; ERTEL, J. R.; GONI, M. A.; SPARROW, M. A.; EVERSMEYER, B. **Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Whashington margin.** *Geochimica et Cosmochimica Acta.* USA: Elsevier Science. V. 58, n. 14, p. 3.035 – 3.048, 1994.

RASHID, M. A. **Geochemistry of marine humic compounds.** Springer-Verlag, New York. 1985, 300 p.

REZENDE, J. H. M. **Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste durante o verão.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 2003, 120 p.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da natureza.** 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003, p. 503.

RIOS, E. **Compendium of Brazilian sea shells.** Rio Grande, Editora Evangraf LTDA, 2009, 668 p.

RIZZO, A. E.; AMARAL, A. C. Z. *Nephtyidae (Annelida: Polychaeta) from São Paulo State, Brazil, including a new record for the Brazilian coast.* **Biota Neotropica**, 7 (3): 253-263, 2007.

ROUSE, G. W.; PLEIJEL, F. **Polychaetes**. New York, Oxford University Press, 2001, 354p.

SCHOLTEN, M. & CALDEIRA, P. Z. **O senso do escalonamento multidimensional**. *Análise Psicológica*, v. 1, n. 15, p. 63-85, 1997.

SELVARAJ, K.; RAM MOHAN, V.; SZEFER, P. Evaluation of metal contamination in coastal sediments of the Bay of Bengal, India: geochemical and statistical approaches. **Mar. Pollut. Bull.** 2004, 49:174-185.

SEREJO, C. S.; YOUNG, P. S.; CARDOSO, I. A.; TAVARES, C. R.; ABREU, C. R.; SENNA, A. R.; AMÂNCIO, I. C. & SITROP, D. J. P. **Crustacea de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência, 2007, p. 253-270.

SHANNON, C. E. A. **Mathematical Theory of Communication**. Bell System Technical Journal, v. 27, p. 44, 1948.

SILVEIRA, I. C. A. DA; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. A. Corrente do Brasil ao largo da Costa leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2. p. 171-183, 2000.

SIMPSON, E. H. Measurement of diversity. **Nature**, v. 163, p. 688, 1949.

SKURIHIN, I. M. **Methods of Analysis for Toxic Elements in Food Products**. 1. Mineralization Methods to determine heavy metal and arsenic According to the URSS Standart. *Journal Association of Analytical Chemistry*, v. 72, p294, 1989.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMEWW. 21ª Ed. Centennial Edition, 2005.

SOARES-GOMES, A.; PITOMBO, F. B. & PAIVA, P. C. **Bentos de sedimentos não consolidados**. *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2009, p. 319-336.

SOUZA, M. C. A. **A corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas**. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2000, 178 p.

STANTON, N. **Caracterização Crustal da Margem Sudeste Brasileira através de magnetometria e Suas Implicações Tectônicas**. Tese de doutorado. Faculdade de Geologia. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2009, 138 p.

STORA, G.; BOURCIER, M.; ARNOUX, A.; GERINO, M.; CAMPION, J. L. E.; GILBERT, F. E DURBEC, J. P. The deep-sea macrobenthos on the continental slope of the northwestern Mediterranean Sea: a quantitative approach. **Deep sea Research**, 46(1):1339-1368. 1996.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 1973.

SUMMONS, R. E. **Biogeochemical cycles: a review of fundamental aspects of organic matter formation, preservation and composition**. In: M. H. Engel & S. A. Macko (Eds.), *Organic Geochemistry*. Nova York: Plenum Press, v. 11, p. 3-21, 1993.

TAYLOR, S. R. **Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table**. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1964, 28:1273-1285.

TCHERNIA, P. **Descriptive regional oceanography**. Pergamon Press. Oxford and New York. Vol. 3, 1st Ed. 249 p., 1980.

THOMÉ, J. W.; GIL, G.; BERGONCI, P. E. A.; TARASCONI, J. C. **As conchas das nossas praias**. 2 ed. – revisada e ampliada. Porto Alegre: Redes, 2010, 223 p.

TUNDISI, J. G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2008, 632p.

TUNDISI, J. G.; CHIBA, W. A. C.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; BAIO, J. A. F.; TORRES, J. C.; PASSERINI, M. D.; HAEHLING, P. H. A. V. **Análise de índice de metais em fauna de macro invertebrados bentônicos no município de São Carlos-SP**: sub-bacias do rio do monjolinho e ribeirão do feijão . II simpósio de ecologia, SP, 2011.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Physical and Chemical Properties Models**. Pollution Prevention Framework: Disponível em: <[www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf](http://www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2010. 2005.

\_\_\_\_\_ **Method 3051A**. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils.

\_\_\_\_\_ **Method 3550C**. Ultrasonic extraction.

\_\_\_\_\_ **Method 3630C**. Silica gel cleanup.

\_\_\_\_\_ **Method 6010C**. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.

\_\_\_\_\_ **Method 7471B**. Mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique).

\_\_\_\_\_ **Method 8015D**. Nonhalogenated organics using GC/FID.

---

\_\_\_\_\_ **Method 8270D.** Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

VALENTIN, J. L. **Ecologia Numérica - Uma introdução a Análise Multivariada de dados Ecológicos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012, p. 168

VAN VLEET, E. S.; QUINN, J. G. Diagenesis of marine lipids in ocean sediments. *Deep Sea Research*, n. 26, p. 1225-1236. 1979.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. **Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis.** *Water Res.*, 32, 3581. 1998.

VELASQUEZ, I. B.; JACINTO, G. S.; VALERA, F. S. **The speciation of dissolved copper, cadmium and zinc in Manila bay, Philippines.** *Marine pollution Bulletin.*, 45, 210. 2002.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

VITOUSEK, P. M. **Biological invasions and ecosystem processes:** towards integration of population biology and ecosystem studies. *Oikos* 57:7-13, 1990.

VOLKMAN, J.; O'LEARY, T.; SUMMONS, R.; BENALL, M. Biomarker composition of some asphaltic coastal bitumens from Tasmania, Australia. **Organic geochemistry**, v.18, n.5, p.668-682, 1992.

WITTERS, H. E. **Chemical speciation dynamics and toxicity assessment in aquatic systems.** *Ecotoxicol. Environ. Safety.*, 41, 90. 1998.

WOITKE, P. et al. **Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube.** *Chemosphere.* 2003, 51:633-642.

## **IX - ANEXOS**



***Anexo IX-1 – Cartas de Consulta e Aceite de Tombamento***





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS



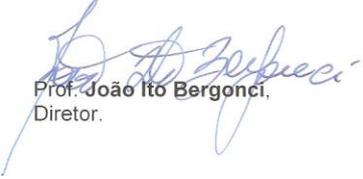
Of. 53/13/IB

Porto Alegre, 04 de junho de 2013.

Senhor Diretor:

O Instituto de Biociências da UFRGS compromete-se em ser fiel depositário do material biológico (macroinvertebrados aquáticos: Mollusca, Crustacea, Polychaeta, dentre outros grupos) que será coletado durante a Execução de Estudos e Projetos de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração & Produção na Bacia de Santos, de acordo com o Plano de Trabalho aprovado pelo IBAMA.

Atenciosamente,

  
Prof. João Ito Bergonci,  
Diretor.

Ilmo. Sr.  
**NELSON SILVEIRA**  
M.D. Diretor de Meio Ambiente  
Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente Ltda

Instituto de Biociências – Gerência Administrativa  
Av. Bento Gonçalves, 9500, Bloco IV, Sala 207, Prédio 43433  
Campus do Vale – Bairro Agronomia  
CEP 91501-970 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul/RS – Brasil  
Fone 0 xx 51 – 33087753/ fax 0 xx 51 – 33087755  
E-mail: biologia@ufrgs.br





UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**



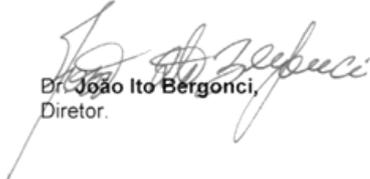
### ATESTADO

Atestamos para os devidos fins que, Daniel Pereira depositou material bentônico proveniente da Área Geográfica da Bacia de Campos, da região da Bacia de Santos e refere-se a Execução de Estudos e Projetos de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração e Produção na Bacia de Santos sob coordenação da Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente LTDA. Junto ao material, foi entregue a cópia da Licença de Captura, Coleta e Transporte de Material Biológico emitida pelo Ministério do Meio Ambiente: Processo Ibama N° 02001.005368/03-31, Autorização de Captura N° 314/2013, com validade de 5 anos.

Foram recebidos os seguintes empreendimentos referentes ao estudo acima citado:

- 4ª Campanha PMAEpro\_MXL\_OP;
- 5ª Campanha PMAEpro\_MLZ\_OP;
- 1ª Campanha PMAEper\_LL\_IA1;
- 1ª Campanha PMAEper\_SAP\_I2N;
- 3ª Campanha PMAEper\_TP2;
- 3ª Campanha PMAEper\_SP3;
- 2ª Campanha PMAEper\_SAP-I2N;
- 2ª Campanha PMAEper\_SAP-I2N.

Porto Alegre, 15 de abril de 2015.

  
Dr. João Ito Bergonci,  
Diretor.

Ao Sr.  
**Nelson Silveira**  
Diretor de Meio Ambiente  
Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S/A.

Instituto de Biociências – Gerência Administrativa – Av. Bento Gonçalves, 9500, Bloco IV, Prédio 43433, Sala 207 – Campus do Vale – Bairro Agronomia – CEP 91501-970 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil – Fone: +55 51 3308-7753 Fax: +55 51 3308-7755 – E-mail: biologia@ufrgs.br – biociencias@ufrgs.br .

***Anexo IX-2 – Cartas de Destinação de Resíduos***





**AMBIENTAL BR**  
Desentupidora e Dedetizadora

- Desentupimentos
- Hidrojateamento
- Sucção de resíduos
- Entrega de água
- Controle de pragas
- Limpeza de reservatórios
- Caçambas
- Retro escavadeira
- Aspiração industrial (pó fino e grosso)

### Declaração Técnica de Prestação de Serviço

**CNPJ: 09.495.652/0001-19**

**Empresa: Lotica Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria AMB**  
**Local: Bento Gonçalves, 4085 sala 208**  
**Partenon /Poa**

A empresa **Ambiental BR Sistemas de Limpeza Manutenção e Transportes Ltda**, no dia 07/01/2015 prestou serviço de:

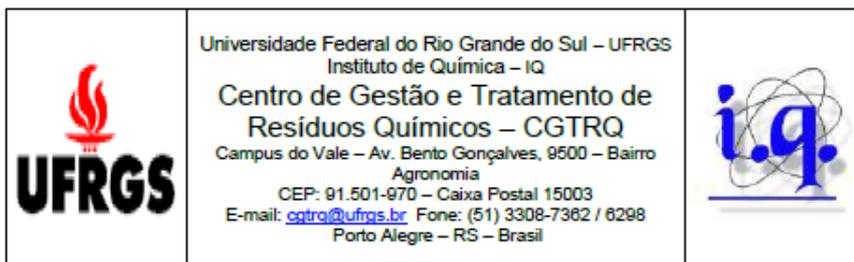
\* Locação de caminhão para transportar resíduo classe I, tratamento do resíduo que estava contaminado com formol.

\* Foi coletado na cidade de Porto Alegre e transportado para cidade de Capela de Santana.

\* Descarte por conta da Contratada

**Porto Alegre, 18 de março de 2015.**

Rua Seis de Novembro, 58 - Protásio Alves - Cep: 91270-320 - Porto Alegre - RS  
Fone/Fax: (51) 3382.9999 - contato@ambientalbr.com.br - www.ambientalbr.com.br



Of. CGTRQ – 009/2015

Porto Alegre, 20 de março de 2015.

Prezado Senhor

O CGTRQ é um Órgão Auxiliar do Instituto de Química, que centraliza em suas instalações os resíduos químicos das atividades de graduação, pesquisa e projetos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, adequando-os e encaminhando-os para tratamento final de resíduos perigosos.

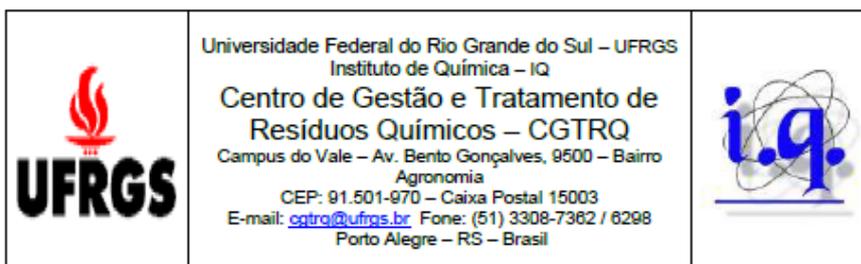
Informamos que este órgão está fazendo o apoio técnico para retirada dos resíduos químicos gerados na empresa **Lógica Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S** por tempo indeterminado.

Este apoio consiste em:

- Orientar o pessoal envolvido na instituição quanto à forma adequada de segregação, classificação, armazenamento e rotulagem dos resíduos gerados;
- Recolher os resíduos após devidamente identificados e armazenados em embalagens próprias;

Os resíduos químicos coletados são: formol 4% em água;

Tratamento aplicado: armazenamento temporário e encaminhamento para estação de tratamento de efluentes licenciada pelo órgão ambiental.



Informamos ainda a UFRGS (Campus do Vale) opera sob a  
licença de operação da Fepam LO nº 4978/2014.

Atenciosamente



Greice Vanin Oliveira  
Química CRQ 05201875  
Chefe da Divisão Técnica CGTRQ

Ao senhor

**Paulo Eduardo Aydos Bergonci, Biól. Msc. - Sócio-Gerente**  
Coordenador do Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais (LAPEA)  
LÓTICA Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S  
Av. Bento Gonçalves, n. 4085, sala 208, 90650-003, Partenon, Porto Alegre, RS  
(51) 3319-3477 / (51) 8341-5746



***Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Piracaba-SP3, Bacia de Santos***



---

<b>Táxon</b>	<b>Densidade (Ind/m<sup>2</sup>)</b>
Filo Annelida	
Subfilo Polychaeta	
Polychaeta N.Det.	1.509
Classe Sedentaria	
Subclasse Palpata	
Ordem Canalipalpata	
Família Cirratulidae	
Cirratulidae N.Det.	44
Família Magelonidae	
Magelonidae N.Det.	89
Gênero Magelona	
<i>Magelona</i> sp.	925
Família Flabelligeridae	

---

Táxon	Densidade (Ind/m <sup>2</sup> )
Flabelligeridae N.Det.	396
Família Sabellidae	
Sabellidae N.Det.	88
Família Spionidae	
Spionidae N.Det.	1.728
Gênero Paraprionospio	
<i>Paraprionospio</i> sp.	89
Família Poecilochaetidae	
Gênero Poecilochaetus	
<i>Poecilochaetus</i> sp.	133
Família Terebellidae	
Terebellidae N.Det.	44
Família Trichobranchidae	

---

Táxon	Densidade (Ind/m <sup>2</sup> )
Trichobranchidae N.Det.	44
Gênero Terebellides	
<i>Terebellides</i> sp.	44
Ordem Scolecida	
Família Capitellidae	
Capitellidae N.Det.	1.459
Família Opheliidae	
Opheliidae N.Det.	1.106
Família Paraonidae	
Paraonidae N.Det.	1.062
Classe Errantia	
Subclasse Aciculata	
Ordem Eunicida	

---

Táxon	Densidade (Ind/m <sup>2</sup> )
Família Lumbrineridae	
Lumbrineridae N.Det.	44
Família Onuphidae	
Onuphidae N.Det.	220
Gênero Paradiopatra	
<i>Paradiopatra</i> sp.	529
Gênero Kinbergonuphis	
<i>Kinbergonuphis</i> sp.	220
Ordem Phyllodocida	
Família Acoetidae	
Gênero Panthalis	
<i>Panthalis</i> sp.	44
Família Eulepethidae	

Táxon	Densidade (Ind/m <sup>2</sup> )
Eulepethidae N.Det.	44
Família Glyceridae	
Glyceridae N.Det.	132
Família Goniadidae	
Goniadidae N.Det.	574
Família Phyllodocidae	
Phyllodocidae N.Det.	176
Família Nephtyidae	
Nephtyidae N.Det.	442
Gênero Nephtys	
<i>Nephtys</i> sp.	44
Família Nereididae	
Nereididae N.Det.	354

---

Táxon	Densidade (Ind/m <sup>2</sup> )
Família Syllidae	
Syllidae N.Det.	88
Filo Arthropoda	
Subfilo Crustacea	
Classe Malacostraca	
Subclasse Eumalacostraca	
Ordem Isopoda	
Família Aegidae	
Gênero Rocinela	
<i>Rocinela signata</i>	352
Ordem Amphipoda	
Amphipoda N.Det.	441
Família Ampeliscidae	

---

---

Táxon	Densidade (Ind/m <sup>2</sup> )
Ampeliscidae N.Det.	44
Família Anthuridae	
Gênero Quantanthur	
<i>Quantanthur</i> sp.	88
Ordem Cumacea	
Cumacea N.Det.	132
Ordem Decapoda	
Decapoda N.Det.	88
Filo Mollusca	
Classe Caudofoveata	
Ordem Chaetodermatida	
Família Chaetodermatidae	
Chaetodermatidae N.Det.	44

---

---

**Táxon**

**Densidade (Ind/m<sup>2</sup>)**

Filo Nemertea

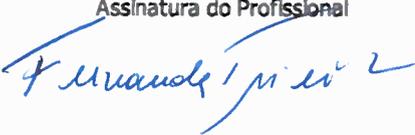
Nemertea N.Det.

44

---

***Anexo IX-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico  
Federal da equipe técnica***



<b>Serviço Público Federal</b>			
<b>CONSELHO FEDERAL/CONSELHO REGIONAL DE BIOLOGIA 3ª REGIÃO</b>			
<b>ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART</b>			1-ART Nº: <b>2013/15405</b>
<b>CONTRATADO</b>			
2. Nome: FERNANDA TRIERVEILER		3. Registro no CRBio: 025476/03-D	
4. CPF: 728.794.240-20	5. E-mail: ftbio@hotmail.com		6. Tel: (51)33377808
7. End.: MARILAND 298		8. Compl.: 201	
9. Bairro: HIGIENÓPOLIS	10. Cidade: PORTO ALEGRE	11. UF: RS	12. CEP: 90440-190
<b>CONTRATANTE</b>			
13. Nome: BOURSCHIED ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE S.A.			
14. Registro Profissional:		15. CPF / CGC / CNPJ: 728.794.240-20	
16. End.: RUA MIGUEL TOSTES 962			
17. Compl.:		18. Bairro: RIO BRANCO	19. Cidade: PORTO ALEGRE
20. UF: RS	21. CEP: 90430-060	22. E-mail/Site: www.bourscheid.com.br	
<b>DADOS DA ATIVIDADE PROFISSIONAL</b>			
23. Natureza : 1. Prestação de serviço Atividade(s) Realizada(s) : Execução de estudos, projetos de pesquisa e/ou serviços;			
24. Identificação : PROJETO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL MARINHO DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO NA BACIA DE SANTOS - PETROBRAS.			
25. Município de Realização do Trabalho: PORTO ALEGRE			26. UF: RS
27. Forma de participação: EQUIPE		28. Perfil da equipe: OCEANOGRAFOS E BIÓLOGOS	
29. Área do Conhecimento: Ecologia;		30. Campo de Atuação: Meio Ambiente	
31. Descrição sumária : COORDENAÇÃO TÉCNICA DO PROJETO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL MARINHO DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO NA BACIA DE SANTOS.			
32. Valor: R\$ 10.000,00	33. Total de horas: 800	34. Início: OUT/2013	35. Término:
<b>36. ASSINATURAS</b>			<b>37. LOGO DO CRBio</b>
<b>Declaro serem verdadeiras as informações acima</b>			
Data:	Data:		
Assinatura do Profissional	Assinatura e Carimbo do Contratante		
	 BOURSCHIED Engenharia e Meio Ambiente S.A. <b>Carlos Roberto Müller</b> Eng. Civil - CREA/RS 7.616 - Resp. Técnico		
<b>38. SOLICITAÇÃO DE BAIXA POR CONCLUSÃO</b>		<b>39. SOLICITAÇÃO DE BAIXA POR DISTRATO</b>	
Declaramos a conclusão do trabalho anotado na presente ART, razão pela qual solicitamos a devida BAIXA junto aos arquivos desse CRBio.			
Data: / /	Assinatura do Profissional	Data: / /	Assinatura do Profissional
Data: / /	Assinatura e Carimbo do Contratante	Data: / /	Assinatura e Carimbo do Contratante

**CERTIFICAÇÃO DIGITAL DE DOCUMENTOS**  
**NÚMERO DE CONTROLE: 3226.5736.7933.1130**

OBS: A autenticidade deste documento deverá ser verificada no endereço eletrônico [www.crbio03.gov.br](http://www.crbio03.gov.br)



05/11/2013 - BANCO DO BRASIL - 16:19:33  
124901249 0044

COMPROVANTE DE PAGAMENTO DE TITULOS

CLIENTE: BOURSCHIED ENG M AMB SA  
AGENCIA: 1249-1 CONTA: 103.630-0

=====

BANCO DO BRASIL  
-----  
00190000090220874290400066110180258930000003378  
NR. DOCUMENTO 110.512  
NOSSO NUMERO 22087429000066110  
CONVENIO 02208742

CONSELHO REGIONAL DE BIOLOGIA  
AGENCIA/COD. CEDENTE 2806/00006058  
DATA DE VENCIMENTO 25/11/2013  
DATA DO PAGAMENTO 05/11/2013  
VALOR DO DOCUMENTO 33,78  
VALOR COBRADO 33,78  
=====

NR.AUTENTICACAO 7.1D7.513.F70.1F2.860

-----  
Transação efetuada com sucesso por: J8330995 EDEMILSON DA CRUZ PINHEIRO.



# Declaração de Habilitação Técnica

A Associação Brasileira de Oceanografia - **AOCEANO**, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob Nº 90.221.151/0001-62, com sede à Rua José de Alencar, 19, Bairro Praia dos Amores, Balneário Camboriú/SC, no uso de suas atribuições legais, especialmente conforme estabelece o artigo 2º, letra h do seu Estatuto Social, e ainda, com fundamento na Lei no 11.760 de 31 de julho de 2008, que dispõe sobre a regulamentação da profissão de Oceanógrafo, assim como as Diretrizes Curriculares estabelecida pela Comissão de Especialistas do MEC, através da Portaria No 146 SESu/MEC, que relaciona as habilidades e competências do profissional Oceanógrafo, bem como no art. 5º, XIII, da Constituição da República de 1988, que garante o livre exercício de qualquer trabalho, ofício ou profissão, uma vez atendida as qualificações profissionais que a lei estabelecer, e, mesmo sendo dispensável qualquer exigência além do dispositivo constitucional em apreço.

## DECLARA QUE:

**Ana Carolina dos Passos**, inscrita na Associação Brasileira de Oceanografia - AOCEANO, sob o nº 2149, portadora do diploma de graduação de Oceanografia expedido pela Universidade Federal do Paraná, concluído no ano de 2010, está devidamente habilitada para o exercício regular da Oceanografia, nos termos da Lei nº 11.760, de 31 de julho de 2008.

Declara também que a profissional acima qualificada é a **responsável pelo Projeto de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural na Bacia de Santos (Petrobras)**, a ser desenvolvido no período de 04 de setembro de 2013 a 01 de maio de 2015, tendo como contratante a empresa BOURSCHEID ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE S. A. inscrita no CNPJ sob. o nº 88.928.163/0001-80.

Balneário Camboriú (SC), Terça-feira, 3 de Dezembro, de 2013.

Associação Brasileira de Oceanografia  
Roberto Wahrlich  
Tesoureiro

Contratante  
BOURSCHEID ENGENHARIA E MEIO  
AMBIENTE S. A.  
CNPJ: 88.928.163/0001-80

Profissional  
Ana Carolina dos Passos  
CPF: 010.242.099-89

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988

TÍTULO II  
DOS DIREITOS E GARANTIAS FUNDAMENTAIS

CAPÍTULO I  
DOS DIREITOS E DEVERES INDIVIDUAIS E COLETIVOS

Art. 5º. Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes:

(...)

XIII é livre o exercício de qualquer trabalho, ofício ou profissão, atendidas as qualificações que a lei estabelecer.

ESTATUTO SOCIAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
OCEANOGRAFIA – AOCEANO

Art. 2º. A AOCEANO tem como principais objetivos:

(...)

h) Procurar representar interesses da classe frente a setores públicos e privados, às entidades de classe, culturais ou técnicas, bem como analisar seus atos, manifestando-se a respeito.

LEI Nº 11.760, DE 31 DE JULHO DE 2008  
Dispõe sobre o exercício da profissão de Oceanógrafo.

Art. 1º É livre o exercício da profissão de Oceanógrafo aos portadores de diploma:

- I – devidamente registrado de bacharel em curso de Oceanografia, expedido por instituição brasileira de ensino superior oficialmente reconhecida;
- II – expedido por instituição estrangeira de ensino superior, revalidado na forma da lei, cujos cursos foram considerados equivalentes aos mencionados no inciso I do caput deste artigo.

Parágrafo único. É livre também o exercício da profissão de Oceanógrafo aos portadores de diploma de bacharel, devidamente registrado, em curso de Oceanologia expedido pela Fundação Universidade do Rio Grande.

Art. 2º É igualmente assegurado o livre exercício da profissão de Oceanógrafo aos que, embora não habilitados na forma do art. 1º desta Lei, sejam possuidores de diplomas registrados em curso superior de graduação em outras áreas de conhecimento ligadas às geociências, ciências exatas, naturais ou do mar, inclusive os diplomado pela Escola Naval, com aperfeiçoamento em hidrografia e que tenham exercido ou estejam exercendo atividades oceanográficas por um período de 5 (cinco) anos, em entidade pública ou privada, devidamente comprovadas perante o órgão competente do Ministério do Trabalho e Emprego.

Parágrafo único. Nas condições estabelecidas no caput deste artigo, o registro deve ser requerido no prazo máximo de 5 (cinco) anos, a contar da data de vigência desta Lei.

Art. 3º Os Oceanógrafos, sem prejuízo do exercício das mesmas atividades por outros profissionais, igualmente habilitados na forma da legislação vigente, poderão:

- I – formular, elaborar, executar, fiscalizar e dirigir estudos, planejamento, projetos e/ou pesquisas científicas básicas e aplicadas, interdisciplinares ou não, que visem ao conhecimento e à utilização racional do meio marinho, em todos os seus domínios, realizando, direta ou indiretamente:
  - a) levantamento, processamento e interpretação das condições físicas, químicas, biológicas e geológicas do meio marinho, suas interações, bem como a previsão do comportamento desses parâmetros e dos fenômenos a eles relacionados;
  - b) desenvolvimento e aplicação de métodos, processos e técnicas de exploração, exploração, beneficiamento e controle dos recursos marinhos;
  - c) desenvolvimento e aplicação de métodos, processos e técnicas de preservação, monitoramento e gerenciamento do meio marinho;
  - d) desenvolvimento e aplicação de métodos, processos e técnicas oceanográficas relacionadas às obras, instalações, estruturas e quaisquer empreendimentos na área marinha;
- II – orientar, dirigir, assessorar e prestar consultoria a empresas, fundações, sociedades e associações de classe, entidades autárquicas, privadas ou do poder público;
- III – realizar perícias, emitir e assinar pareceres e laudos técnicos;
- IV – dirigir órgãos, serviços, seções, grupos ou setores de oceanografia em entidades autárquicas, privadas ou do poder público.

Parágrafo único. Compete igualmente aos Oceanógrafos, ainda que não privativo ou exclusivo, o exercício de atividades ligadas à limnologia, aqüicultura, processamento e inspeção dos recursos naturais de águas interiores.

Art. 4º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação. Brasília, 31 de julho de 2008; 187º da Independência e 120º da República.



Associação Brasileira  
de Oceanografia

Associação Brasileira de Oceanografia  
Rua 1500 - Sala 02 - Centro - Balneário Camboriú - SC - Brasil - 88330.524  
www.aoceano.org.br - aoceano@aoceano.org.br - Fone/Fax: +55 47 3367.2202

Serviço Público Federal CONSELHO FEDERAL/CONSELHO REGIONAL DE BIOLOGIA 3ª REGIÃO			
<b>ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA - ART</b>			1-ART Nº: <b>2013/06974</b>
<b>CONTRATADO</b>			
2.Nome: MARLA SONAIRA LIMA		3.Registro no CRBio: 058878/03-D	
4.CPF: 006.568.150-94	5.E-mail: marlalimas@gmail.com		6.Tel: (51)3737-8182
7.End.: LOPO GONCALVES 455		8.Compl.: 1203A	
9.Bairro: CIDADE BAIXA	10.Cidade: PORTO ALEGRE	11.UF: RS	12.CEP: 90050-350
<b>CONTRATANTE</b>			
13.Nome: BOURSCHIED ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE			
14.Registro Profissional:		15.CPF / CGC / CNPJ: 88.928.163/0003-41	
16.End.: RUA MIGUEL TOSTES 962			
17.Compl.:		18.Bairro: RIO BRANCO	19.Cidade: PORTO ALEGRE
20.UF: RS	21.CEP: 90430-060	22.E-mail/Site: rodrigo@bourscheid.com.br / diretoria@ bourscheid.com.br / www.bourscheid.com.br	
<b>DADOS DA ATIVIDADE PROFISSIONAL</b>			
23.Natureza : 1. Prestação de serviço Atividade(s) Realizada(s) : Execução de estudos, projetos de pesquisa e/ou serviços;			
24.Identificação : PROJETO DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL NA BACIA DE CAMPOS			
25.Município de Realização do Trabalho: PORTO ALEGRE			26.UF: RS
27.Forma de participação: EQUIPE		28.Perfil da equipe: BIÓLOGO, OCEANÓGRAFOS, ENGENHEIROS, GEÓLOGOS	
29.Área do Conhecimento: Ecologia;		30.Campo de Atuação: Meio Ambiente	
31.Descrição sumária : REALIZAÇÃO DE ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS BIÓTICOS E ABIÓTICOS, REFERENTES AOS AMBIENTES AQUÁTICOS (PELÁGICO E BENTÔNICO), INCLUINDO INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS REFERENTES A ESSA ANÁLISE.			
32.Valor: R\$ 0,00	33.Total de horas: 8300	34.Início: MAI/2013	35.Término: DEZ/2015
<b>36. ASSINATURAS</b>			<b>37. LOGO DO CRBio</b> 
Declaro serem verdadeiras as informações acima			
Data: Assinatura do Profissional 	Data: Assinatura e Carimbo do Contratante  BOURSCHIED Engenharia e Meio Ambiente S.A. <i>Nelson Jorge Esquivel Silveira</i> Diretor Adjunto		
<b>38. SOLICITAÇÃO DE BAIXA POR CONCLUSÃO</b> Declaramos a conclusão do trabalho anotado na presente ART, razão pela qual solicitamos a devida BAIXA junto aos arquivos desse CRBio.			<b>39. SOLICITAÇÃO DE BAIXA POR DISTRATO</b>
Data: / /	Assinatura do Profissional	Data: / /	Assinatura do Profissional
Data: / /	Assinatura e Carimbo do Contratante	Data: / /	Assinatura e Carimbo do Contratante

**CERTIFICAÇÃO DIGITAL DE DOCUMENTOS**  
**NÚMERO DE CONTROLE: 3650.6473.8670.1553**

OBS: A autenticidade deste documento deverá ser verificada no endereço eletrônico [www.crbio03.gov.br](http://www.crbio03.gov.br)

10/06/2013 - BANCO DO BRASIL - 12:01:05  
782175855 0094

COMPROVANTE DE PAGAMENTO DE TITULOS

CLIENTE: MARLA SONAIRA LIMA  
AGENCIA: 3528-9 CONTA: 9.682-2

=====

BANCO DO BRASIL

-----

001900009022087429040005366418175741000003378  
NR. DOCUMENTO 61.001  
NOSSO NUMERO 2208742900053664  
CONVENIO 02208742  
CONSELHO REGIONAL DE BIOLOGIA  
AGENCIA/COD. CEDENTE 2806/00006058  
DATA DE VENCIMENTO 26/06/2013  
DATA DO PAGAMENTO 10/06/2013  
VALOR DO DOCUMENTO 33,78  
VALOR COBRADO 33,78

=====

NR.AUTENTICACAO 6.6D0.595.9AA.63C.807

Leia no verso como conservar este documento,  
entre outras informações.



Ministério do Meio Ambiente  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



<b>Registro n.º</b>	<b>Data da consulta:</b>	<b>CR emitido em:</b>	<b>CR válido até:</b>
296244	24/11/2015	24/11/2015	24/02/2016

**Dados básicos:**

CPF: 728.794.240-20

Nome: FERNANDA TRIERVEILER

**Endereço:**

logradouro: AV. MARILAND

N.º: 298

Bairro: SÃO JOÃO

CEP: 90440-190

Complemento: AP. 201

Município: PORTO ALEGRE

UF: RS

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

<b>Código CBO</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Área de Atividade</b>
2211-05	Biólogo	Inventariar biodiversidade
2211-05	Biólogo	Realizar consultoria e assessoria na área biológica e ambiental
2211-05	Biólogo	Manejar recursos naturais
2211-05	Biólogo	Realizar diagnósticos biológicos, moleculares e ambientais
2211-05	Biólogo	Realizar análises clínicas, citológicas, citogênicas e patológicas

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	MXTMTBVXIDEG113B
------------------------------	------------------



Ministério do Meio Ambiente  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



<b>Registro n.º</b>	<b>Data da consulta:</b>	<b>CR emitido em:</b>	<b>CR válido até:</b>
5517676	25/09/2015	25/09/2015	25/12/2015

**Dados básicos:**

CPF: 010.242.099-89  
Nome: ANA CAROLINA DOS PASSOS

**Endereço:**

logradouro: RUA DONA EUGÊNIA  
N.º: 319 Complemento: APTO 21  
Bairro: SANTA CECÍLIA Município: PORTO ALEGRE  
CEP: 90630-150 UF: RS

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

<b>Código CBO</b>	<b>Ocupação</b>
2134-05	Geólogo

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	M7GGDEBT2VBCYHIF
------------------------------	------------------



Ministério do Meio Ambiente  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



<b>Registro n.º</b>	<b>Data da consulta:</b>	<b>CR emitido em:</b>	<b>CR válido até:</b>
6128839	24/11/2015	24/11/2015	24/02/2016

**Dados básicos:**

CPF: 009.533.490-47  
Nome: DIEGO NUNES ENGELKE

**Endereço:**

logradouro: RUA JOÃO MAIA  
N.º: 251 Complemento:  
Bairro: NONOAI Município: PORTO ALEGRE  
CEP: 90830-310 UF: RS

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

<b>Código CBO</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Área de Atividade</b>
2140-05	Engenheiro Ambiental	Prestar consultoria, assistência e assessoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	W5E4QQGQGPYLPB1E
------------------------------	------------------



CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR

<b>Registro n.º</b>	<b>Data da consulta:</b>	<b>CR emitido em:</b>	<b>CR válido até:</b>
3307746	24/11/2015	24/11/2015	24/02/2016

**Dados básicos:**

CPF: 006.568.150-94  
Nome: MARLA SONAIRA LIMA

**Endereço:**

logradouro: AV. CAÇAPAVA  
N.º: 210 Complemento: 201  
Bairro: PETRÓPOLIS Município: PORTO ALEGRE  
CEP: 90460-130 UF: RS

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

<b>Código CBO</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Área de Atividade</b>
2211-05	Biólogo	Realizar consultoria e assessoria na área biológica e ambiental

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	HPVL489IHVU1GSKY
------------------------------	------------------

**X - EQUIPE TÉCNICA**

<b>Profissional</b>	Fernanda Trieveiler
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
<b>Formação Profissional</b>	Bióloga
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio 25476-03
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	296244
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Ana Carolina dos Passos
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
<b>Formação Profissional</b>	Oceanógrafa
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	AOceano 2149
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	5517676
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Diego Nunes Engelke
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
<b>Formação Profissional</b>	Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	-
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	6128839
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Marla Sonaira Lima
<b>Empresa</b>	-
<b>Formação Profissional</b>	Bióloga
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio 58878-03
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	3307746
<b>Assinatura</b>	