

**Projeto de Monitoramento Ambiental da  
Atividade de Perfuração Marítima na Área  
Denominada Área Geográfica da  
Bacia de Santos – Poço Lula - IA1**

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

**Volume Único**

**RTAA\_LL-IA1\_C3\_BSD\_24032016-01**

**Revisão 01**

**Julho/2016**



**E&P**







## ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO .....	23/228
II - OBJETIVOS.....	25/228
III - ÁREA DE ESTUDO .....	26/228
III.1 - BACIA DE SANTOS.....	26/228
III.2 - ÁREA DE TUPI .....	34/228
III.2.1 - Qualidade do Sedimento .....	37/228
III.2.2 - Macrofauna Bentônica.....	42/228
III.3 - HISTÓRICO DA ATIVIDADE .....	45/228
IV - MATERIAL E MÉTODOS .....	48/228
IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO .....	48/228
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO .....	58/228
IV.2.1 -Matéria Orgânica Total (MOT) e Carbono Orgânico Total (COT).....	58/228
IV.2.2 -Carbonatos.....	58/228
IV.2.3 -Granulometria.....	59/228
IV.2.4 -Nitrogênio Total .....	59/228
IV.2.5 -Fósforo Total .....	60/228
IV.2.6 -Metais.....	60/228
IV.2.7 -Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) .....	61/228
IV.2.8 -Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) .....	62/228
IV.2.9 -Macrofauna Bentônica.....	64/228
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS .....	65/228
IV.3.1 -Qualidade do Sedimento .....	65/228

---

IV.3.2 - Biota Aquática .....	68/228
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	70/228
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA .....	72/228
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74/228
V.1 - QUALIDADE DO SEDIMENTO.....	74/228
V.1.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos.....	74/228
V.1.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total .....	88/228
V.1.3 - Metais .....	100/228
V.1.4 - Hidrocarbonetos.....	133/228
V.2 - MACROFAUNA BENTÔNICA.....	138/228
V.2.1 - Avaliação da Amostragem .....	140/228
V.2.2 - Análise Qualitativa .....	142/228
V.2.3 - Análise Quantitativa .....	145/228
V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos .....	148/228
V.2.4.1 - MDS e Análise de Cluster.....	159/228
VI - ANÁLISE INTEGRADA .....	162/228
VI.1 - RELAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE MACROZOOBENTOS COM O AMBIENTE.....	162/228
VI.1.1 -Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos .....	162/228
VI.1.2 -Relações entre Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos.....	165/228
VI.1.3 -Padrão de Relação das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas .....	167/228
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	172/228
VIII - BIBLIOGRAFIA .....	177/228

---

IX - ANEXOS.....	193/228
X - EQUIPE TÉCNICA .....	227/228





**FIGURAS**

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura III.1-1</b> – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos	27/228
<b>Figura III.1-2</b> - Seção geológica esquemática da Bacia de Santos.	29/228
<b>Figura III.1-3</b> – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.	33/228
<b>Figura III.2-1</b> - Localização da área de estudo.	35/228
<b>Figura III.2-2</b> - Localização do poço LL-IA1 (Bloco BM-S-11), poço LL-IRA-IN1, duto Tupi-Mexilhão e duto de Cabiúnas.	37/228
<b>Figura III.3-1</b> – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço LL-IA1 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.	47/228
<b>Figura IV.1-1</b> - Diagrama do NP Seward Johnson mostrando a localização onde são feitas as operações de pesca, MOCNESS e plâncton (área verde); as operações de amostragem de sedimento (área vermelha) e as operações de CTD e Hidroquímica (área azul). Nota: Localização dos refrigeradores e congeladores (1 - câmara fria; 2- congelador laboratório seco I; 3- congelador laboratório seco II; 4- congelador -80 °C; 5- congelador do laboratório seco III; 6- congelador laboratório molhado).	49/228
<b>Figura IV.1-2</b> – Figura representativa da malha amostral para coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento ambiental do poço LL-IA1, fase pós-perfuração.	51/228
<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.	54/228
<b>Figura IV.1-4</b> - Esquema de distribuição dos corers no Mini-box corer (30 x 30 x 50 cm) para subamostragem dos parâmetros solicitados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1.	56/228
<b>Figura V.1-1</b> – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	75/228
<b>Figura V.1-2</b> – Diagrama de Shepard para cada uma das 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	81/228
<b>Figura V.1-3</b> – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	83/228

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-4</b> – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	85/228
<b>Figura V.1-5</b> – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	87/228
<b>Figura V.1-6</b> – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	88/228
<b>Figura V.1-7</b> – Concentração média de carbono orgânico total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	91/228
<b>Figura V.1-8</b> – Concentração média de matéria orgânica total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	91/228
<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 LL-IA1, Bacia de Santos.	92/228
<b>Figura V.1-10</b> – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	93/228
<b>Figura V.1-11</b> – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	94/228
<b>Figura V.1-12</b> – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	95/228

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.1-13</b> – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	97/228
<b>Figura V.1-14</b> – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos	98/228
<b>Figura V.1-15</b> – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	99/228
<b>Figura V.1-16</b> – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	100/228
<b>Figura V.1-17</b> – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	102/228
<b>Figura V.1-18</b> – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	103/228
<b>Figura V.1-19</b> – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	104/228
<b>Figura V.1-20</b> – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	105/228
<b>Figura V.1-21</b> – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	106/228

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-22</b> – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	107/228
<b>Figura V.1-23</b> – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	108/228
<b>Figura V.1-24</b> – Distribuição espacial das concentrações de manganês e bário (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	109/228
<b>Figura V.1-25</b> – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	110/228
<b>Figura V.1-26</b> – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	111/228
<b>Figura V.1-27</b> – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	112/228
<b>Figura V.1-28</b> – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	113/228
<b>Figura V.1-29</b> – Distribuição espacial das concentrações de zinco e vanádio (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	114/228
<b>Figura V.1-30</b> – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	115/228

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.1-31</b> – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	116/228
<b>Figura V.1-32</b> – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	117/228
<b>Figura V.1-33</b> – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	118/228
<b>Figura V.1-34</b> – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	119/228
<b>Figura V.1-35</b> – Distribuição espacial das concentrações de cromo, níquel e cobre (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	121/228
<b>Figura V.1-36</b> – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	122/228
<b>Figura V.1-37</b> – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	123/228
<b>Figura V.1-38</b> – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	124/228
<b>Figura V.1-39</b> – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	125/228

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.1-40</b> – Distribuição espacial das concentrações de chumbo (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	126/228
<b>Figura V.1-41</b> – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	127/228
<b>Figura V.1-42</b> – Concentrações de cádmio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	128/228
<b>Figura V.1-43</b> – Concentrações de HTP's (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	136/228
<b>Figura V.1-44</b> – Concentrações de MCNR (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	137/228
<b>Figura V.1-45</b> – Concentrações de n-alcanos (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	138/228
<b>Figura V.2-1</b> – Número cumulativo de taxa por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1. A linha preta representa a curva de Jacknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	141/228

FIGURA	PÁG.
<b>Figura V.2-2</b> – Box plots representativos dos valores de riqueza (n° de taxa) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	143/228
<b>Figura V.2-3</b> – Porcentagem de riqueza de taxa dos filis bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	144/228
<b>Figura V.2-4</b> – Box plots representativos da densidade (ind/m <sup>2</sup> ) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	147/228
<b>Figura V.2-5</b> – Densidade média de organismos (ind/m <sup>2</sup> ) dos filis bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. A barra representa a média dos filis ± desvio-padrão.	148/228
<b>Figura V.2-6</b> – Número de taxa dos filis bentônicos nas doze estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1 (fase de pós-perfuração). A linha cinza representa a média das estações.	149/228
<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 LL-IA1 (fase de pós-perfuração).	150/228
<b>Figura V.2-8</b> – Densidade total de organismos (ind/m <sup>2</sup> ) dos filis bentônicos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. A linha cinza representa a média das estações.	151/228
<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 LL-IA1 (fase de pós-perfuração).	152/228
<b>Figura V.2-10</b> – Índices ecológicos da comunidade bentônica nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	154/228

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura V.2-11</b> – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind) da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos	155/228
<b>Figura V.2-12</b> – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	156/228
<b>Figura V.2-13</b> - Box plots representativos da diversidade (bits/ind) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	157/228
<b>Figura V.2-14</b> - Box plots representativos da equitabilidade das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.	158/228
<b>Figura V.2-15</b> – Distâncias obtidas através da matriz de semelhança entre as densidades das 12 estações amostrais geradas pela análise de ordenamento multidimensional para a comunidade bentônica amostrada durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	160/228
<b>Figura V.2-16</b> – Dendrograma da matriz de distâncias comparando as densidades de organismos da comunidade bentônica, observadas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	161/228
<b>Figura VI.1-1</b> - Análise de componentes principais dos indicadores biológicos de macrozoobentos, sobrepondo-se as variáveis ambientais (granulometria, nutrientes e matéria orgânica) sobre o plano da ACP. Coleta de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	165/228
<b>Figura VI.1-2</b> - Análise de componentes principais entre os contaminantes e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	167/228
<b>Figura VI.1-3</b> - Análise de agrupamento, das 12 estações de amostragem de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, com base nos dados ambientais e biológicos.	168/228



<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Figura VI.1-4</b> - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas dos sedimentos coletados durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	168/228



**TABELAS E QUADROS**

<b>TABELA OU QUADRO</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela III.2-1</b> – Concentrações de COT, MOT, N e P totais encontrados em estudos anteriores na Bacia de Santos.	39/228
<b>Tabela III.2-2</b> – Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores na Bacia de Santos.	40/228
<b>Tabela IV.1-1</b> – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das estações amostrais originais e reposicionadas da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, 2º retorno.	52/228
<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 LL-IA1.	53/228
<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 LL-IA1.	57/228
<b>Tabela IV.2-1</b> - Escala de Wentworth utilizada para classificação dos grãos.	59/228
<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.	63/228
<b>Tabela V.1-1</b> – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 12 estações de amostragem no entorno do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	76/228
<b>Tabela V.1-2</b> – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 12 estações de amostragem no entorno do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	77/228
<b>Tabela V.1-3</b> – Análise de variância das frações granulométricas das 12 estações de coleta durante a 3ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1(fase pós-perfuração). $p < 0,05$ .	84/228
<b>Tabela V.1-4</b> – Concentrações médias de carbonato (%) nas diferentes estações da atual campanha monitoramento ambiental.	85/228
<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 LL-IA1.	90/228

<b>TABELA OU QUADRO</b>	<b>PÁG.</b>
<b>Tabela V.1-6</b> – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento.	96/228
<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.	130/228
<b>Tabela V.1-8</b> – Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ) e valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ).	131/228
<b>Tabela V.1-9</b> - Concentrações médias de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.	132/228
<b>Tabela VI.1-1</b> - Correlações de Spearman entre dados de granulometria e matéria orgânica e nutrientes e dados de diversidade, equitatividade, riqueza e densidade total de macrozoobentos das amostras de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos. Valores em vermelho indicam correlação significativa $p < 0,05$	163/228
<b>Tabela VI.1-2</b> - Correlação de Spearman ( $\rho$ ) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.	166/228

---

## ANEXOS

<b>Anexo IX-1 – Cartas de Destinação de Resíduos</b>
<b>Anexo IX-2 – Carta de Tombamento da Macrofauna Bentônica Amostrada</b>
<b>Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos</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, 2º retorno) do projeto de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração marítima na área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos - Poço Lula – IA1 (LL-IA1), 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 22 a 26 de março de 2015, a bordo do navio N.P. *Seward Johnson*,

---

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 campanha pós-perfuração, 1º retorno).



## **II - OBJETIVOS**

O Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração (PMAEper) da 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 Lula – IA1, posteriormente a sua perfuração, a fim de se estabelecer um diagnóstico ambiental na área, considerando um período de médio a longo prazo após o início da atividade.

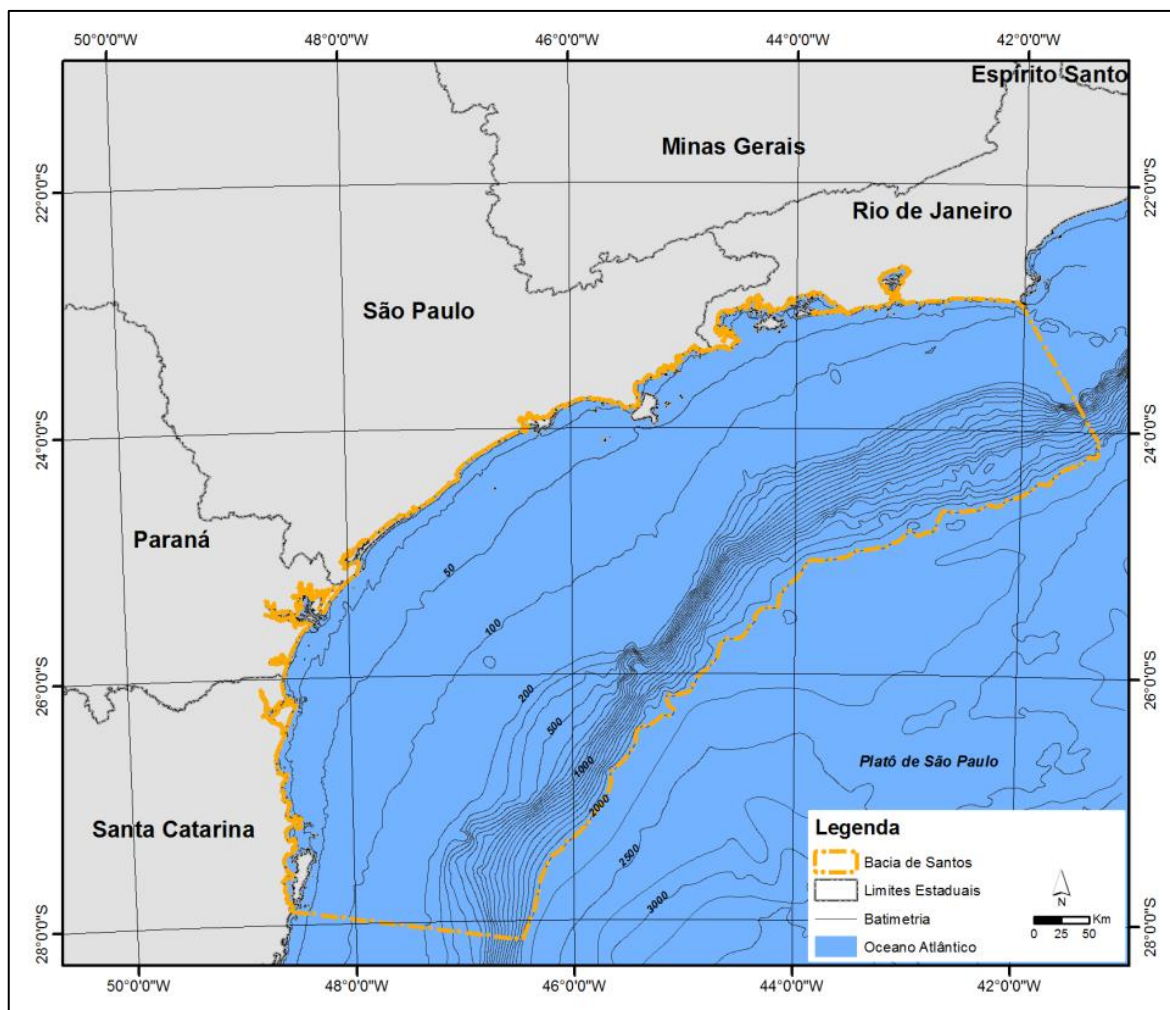
Os objetivos específicos desta campanha de pós-perfuração foram:

- Avaliar as características físico-químicas do sedimento;
- Caracterizar quali-quantitativamente as comunidades bentônicas da região, e;
- 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 Mesozóica. 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).

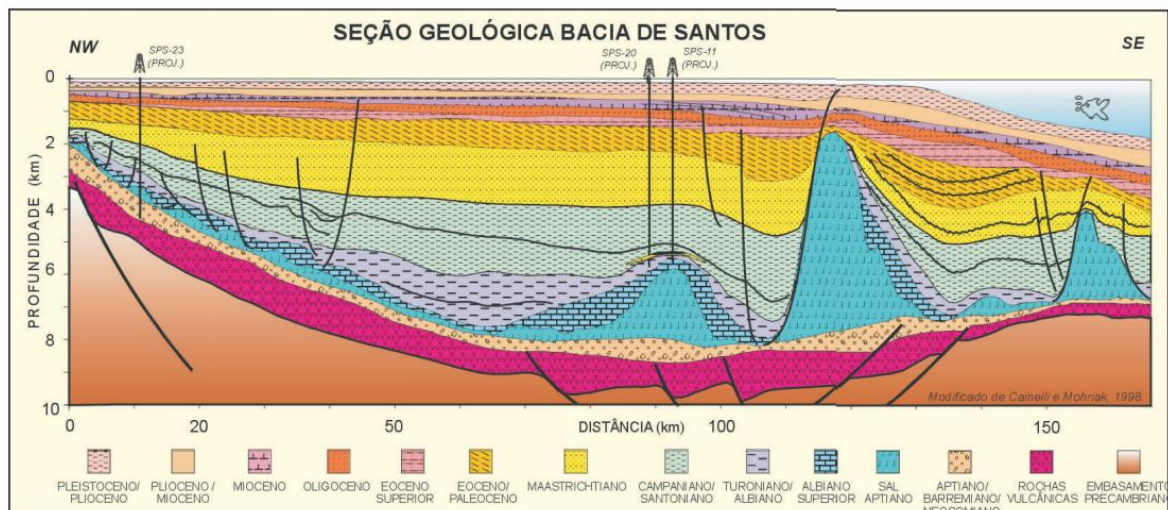
A margem continental sudeste brasileira é caracterizada por feições típicas de uma margem passiva, mas também por estruturas transversais, cujas implicações tectônicas ainda não são completamente conhecidas e por um magmatismo intensificado, relacionado aos inúmeros eventos desde o Mesozóico (STANTON, 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 3000 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% 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 (biolitooclásticos, 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 1500 e 3000 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).

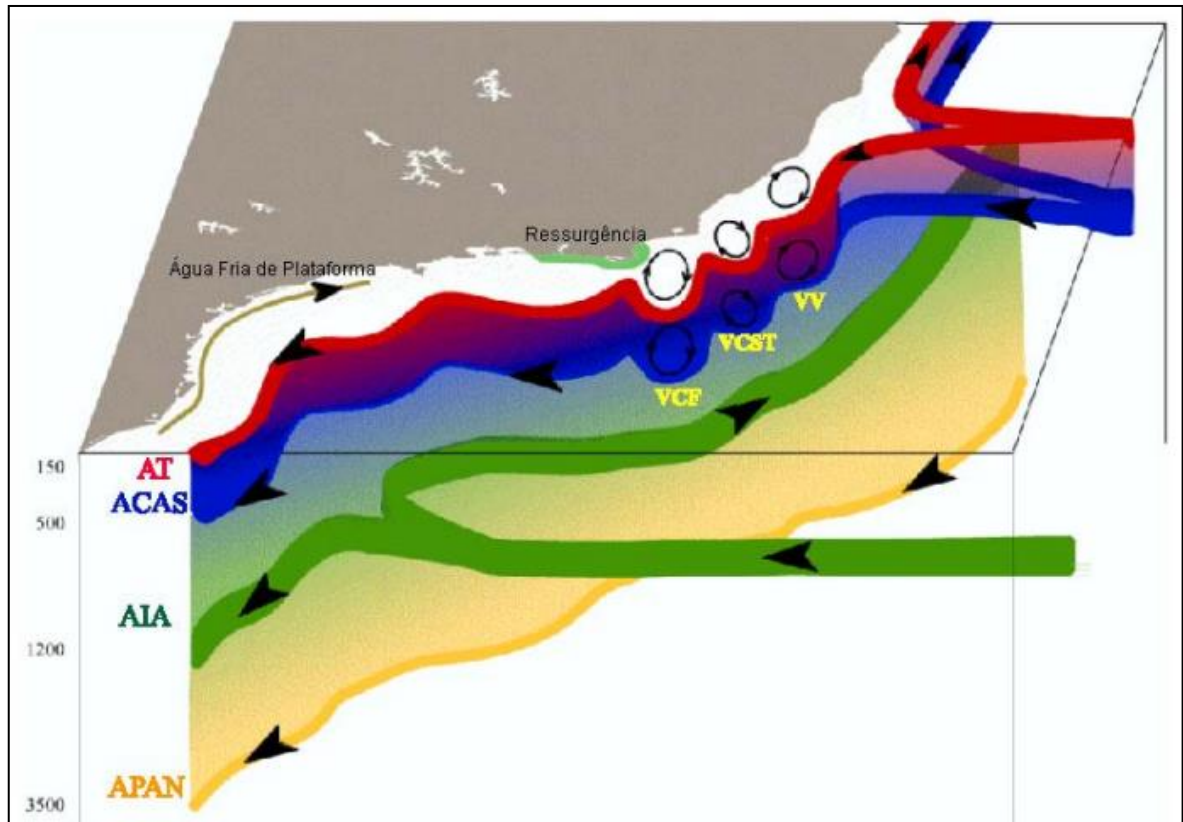
Na Figura III.1-3 é apresentada uma representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil. Observam-se as correntes de contorno, sua atividade de mesoescala e as massas d'água transportadas por elas. Em vermelho está a Água Tropical (AT), ocupando a camada mais superficial, indo até 150 m de profundidade. 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 1200 m. A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), em amarelo, é a massa d'água mais profunda, encontrada a 3500 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).

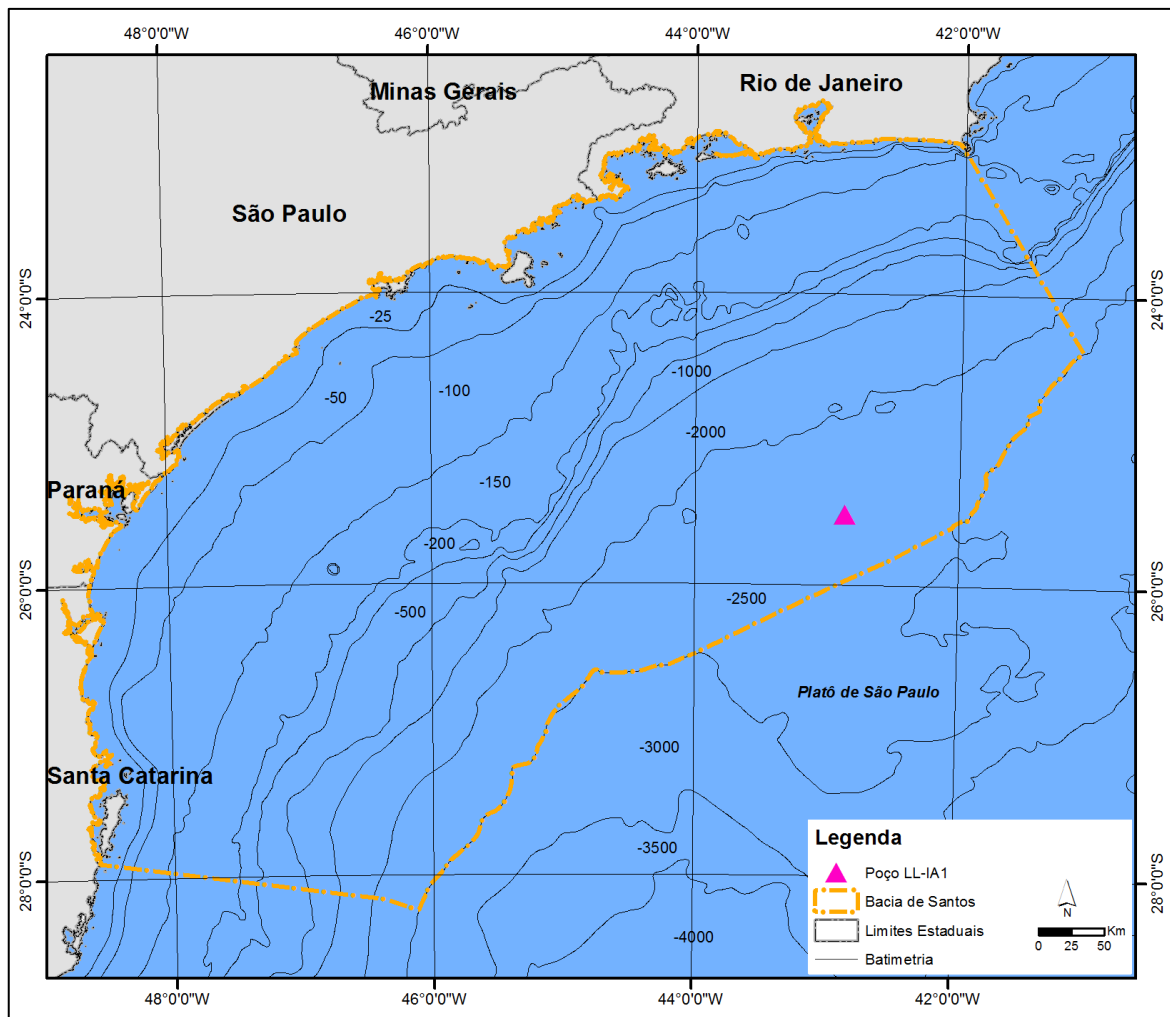
**Figura III.1-3** – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.

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 - ÁREA DE TUPI**

A área de Tupi está localizada no bloco BM-S-11 na Bacia de Santos, a aproximadamente 280 km da costa do Rio de Janeiro/RJ (Figura III.2-1) em uma região com lâmina d'água de aproximadamente 2.000 metros de profundidade, 2.000 metros de rocha e 2.000 metros de crosta salina. O poço LL-IA1 foi perfurado nessa área, em lâmina d'água de aproximadamente 2.400 metros de profundidade.

Sua descoberta aconteceu em 2006 e suas reservas, na época, foram estimadas em 5 a 8 bilhões de barris (BRASIL, 2012). Em dezembro de 2010 foi declarada comercialidade da Área de Tupi e o volume recuperável da jazida foi calculado em 6,5 bilhões de barris de óleo equivalente. Em janeiro de 2011, os dois poços explorados na Área de Tupi integravam as listas dos 30 poços com maior produção de gás natural e óleo equivalente (ANP, 2011).



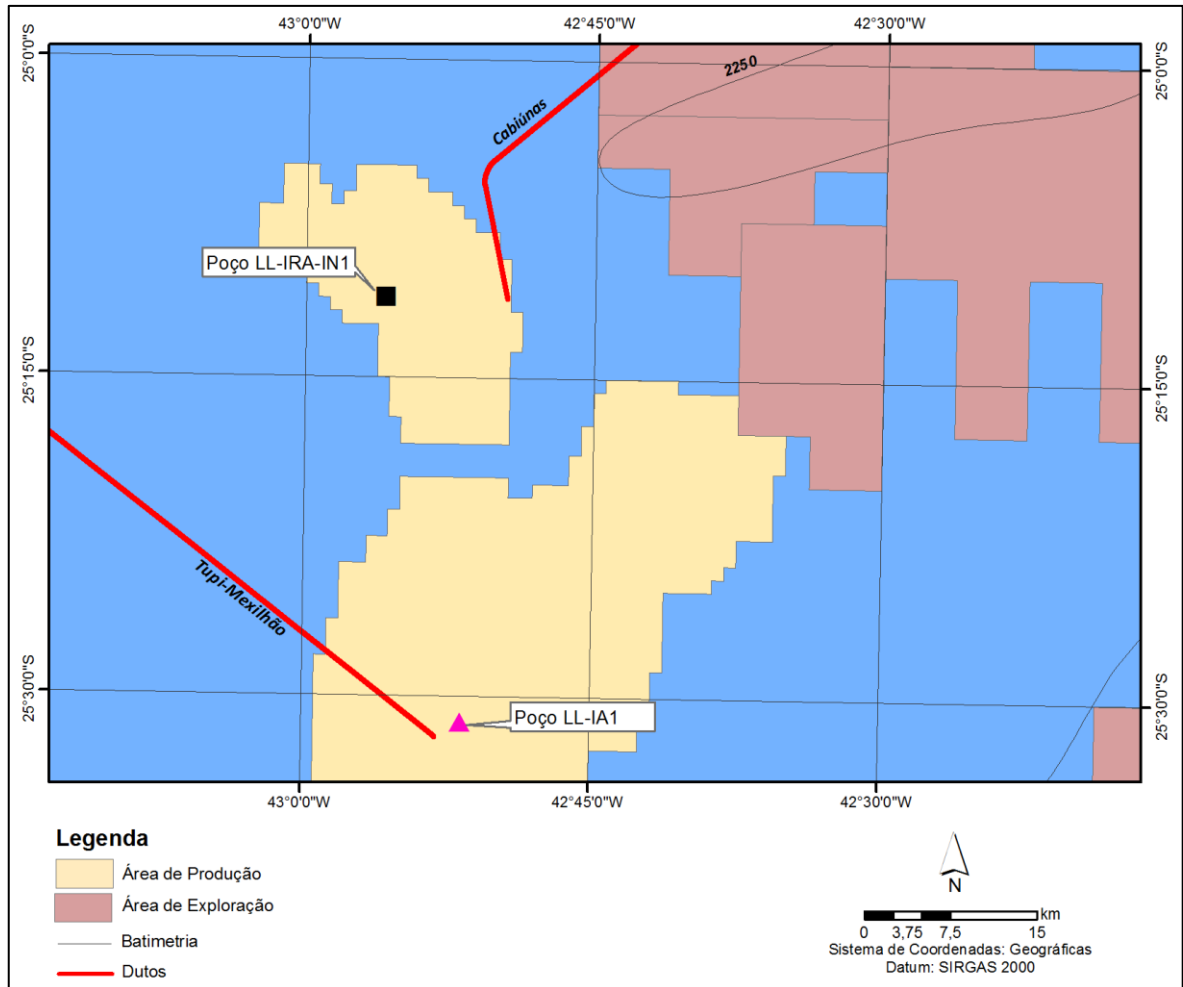
**Figura III.2-1 - Localização da área de estudo.**

Considerando que este relatório se refere à 2ª campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, 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 nove principais estudos utilizados nesta caracterização foram o Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) da atividade de produção e escoamento de petróleo e gás natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 2 (PETROBRAS/MINERAL, 2013), o Relatório de Caracterização Ambiental da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002), o Relatório Final de Caracterização da Campanha de Caracterização dos Blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21 (PETROBRAS/HABTEC, 2003), os Relatórios Técnicos de Avaliação

Ambiental das duas primeiras campanhas de monitoramento (janeiro/2010 e janeiro/2011) do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do sistema de produção e escoamento de óleo e gás natural na Área de Tupi, Bloco BM-S-11 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012), os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das duas primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Lula – IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2016), o Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da primeira campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Lula-Iracema – IN1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b) e o Relatório Técnico de Avaliação Ambiental da primeira campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental do Projeto de Escoamento de Gás para Cabiúnas – Rota Cabiúnas, Bacia de Santos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014).

Para a primeira campanha de monitoramento do Projeto de Monitoramento Ambiental do Projeto de Escoamento de Gás para Cabiúnas – Rota Cabiúnas, Bacia de Santos foram utilizadas, para fins de comparação, somente as estações mais profundas e mais próximas do ponto de perfuração do poço LL-IA1, ou seja, as estações CAB\_1, CAB\_1\_C e CAB\_2. Para as duas primeiras campanhas de monitoramento do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto de Lula (antigo Tupi), foram utilizadas, para fins de comparação somente as estações mais profundas e mais próximas da área onde o poço será perfurado, ou seja, as estações PC1, S1, PC2 e S2 para a primeira campanha, e as estações TUPI\_1, TUPI\_2, TUPI\_7 e TUPI\_8 para a segunda campanha.

Importante destacar que o monitoramento do duto Tupi Mexilhão é realizado a aproximadamente 2,5 km a sudoeste do ponto onde foi perfurado o poço LL-IA1. Já o duto de Cabiúnas e o poço LL-IRA-IN1 estão a 37 km a nordeste e 37,6 km a noroeste do ponto onde foi perfurado o poço da atual campanha (Figura III.2-2).



**Figura III.2-2** - Localização do poço LL-IA1 (Bloco BM-S-11), poço LL-IRA-IN1, duto Tupi-Mexilhão e duto de Cabiúnas.

### 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).

No estudo de caracterização da Bacia de Santos, o silte predominou em 89,2% das amostras, seguido por areia muito fina, em 5,6% das amostras e areia fina, em 3,3% das amostras (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). As análises realizadas em regiões ultraprofundas da Bacia de Santos mostraram um sedimento bastante homogêneo, com percentual de 99% de fração fina (argila e silte) na maioria das estações (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Já nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, a predominância foi de areia muito fina e areia fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Nas campanhas de monitoramento do Piloto de Lula, a fração granulométrica predominante nas estações mais profundas das duas primeiras campanhas foi o silte (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, o silte também foi dominante (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b, 2016).

De forma geral, observa-se que os sedimentos na região de estudo apresentam um pobre selecionamento granulométrico, 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. Isso é corroborado pela curtose, que foi classificada como leptocúrtica e muito leptocúrtica na maioria das estações, resultado da estreita distribuição dos dados e da elevada contribuição de silte nas estações. Nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, a curtose foi classificada como platicúrtica e muito platicúrtica (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b, 2016).

Os teores de carbonatos ao contrário, apresentaram significativa variação entre os estudos já realizados na região. No estudo de caracterização da Bacia de Santos foram encontradas concentrações variando entre 0,08 e 96,8%, com as maiores concentrações entre as isóbatas de 100 e 150 m de profundidade (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Já na região ultraprofunda, o teor de carbonato variou entre 56,65 e 61,74% (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, o parâmetro variou entre 13,90 e 21,77% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Na primeira campanha de monitoramento do Piloto de Lula, os valores de carbonato nas estações mais profundas variaram entre 12,68 e 21,26% e na segunda campanha entre 25,27 e 29,29% (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1, as concentrações de carbonato variaram entre 17,13 e 20,67% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a), enquanto que na segunda campanha variaram entre 58,73 e 62,28% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, as concentrações de carbonato variaram entre 50,42 e 60,36% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

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 em estudos realizados na região próxima ao poço LL-IA1. As concentrações de MOT e COT variaram entre 0,75 e 9,57% e 0,204 e 6,200%, respectivamente. Já as concentrações de nitrogênio total e fósforo total variaram entre 318,80 e 3.895,74 mg/kg e 57,67 e 742,53 mg/kg, respectivamente. De maneira geral, as menores concentrações foram encontradas nas amostras do gasoduto de Cabiúnas e na região ultraprofunda da Bacia de Santos.

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

Estudos	MOT (%)		COT (%)		Nitrogênio total (mg/kg)		Fósforo total (mg/kg)	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Bacia de Santos <sup>1</sup>	-	-	0,204	6,200	-	-	-	-
Região Ultraprofunda <sup>2</sup>	0,750	9,570	0,410	0,880	465,000	1.226,000	320,000	628,000
CAB C1 <sup>3</sup>	1,930	2,000	0,570	0,730	352,500	620,570	164,670	171,000
C1 TUPI <sup>4</sup>	1,050	1,320	0,610	0,760	1.019,020	3.061,040	330,230	644,580
C2 TUPI <sup>5</sup>	4,780	9,120	2,770	5,290	2.409,820	3.895,740	480,920	683,740
C1 LL-IA1 <sup>6</sup>	3,520	4,220	0,210	0,890	394,900	518,830	57,670	83,030
C2 LL-IA1 <sup>7</sup>	3,370	6,470	0,960	1,500	437,100	940,930	90,200	742,530
C1 LL-IRA-IN1 <sup>8</sup>	4,570	6,100	0,590	2,440	318,800	842,000	410,300	738,230

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2002); 2 = Petrobras/Habtec (2003); 3 = Petrobras/Bourscheid (2014); 4 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 5 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 6 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2016) e 8 = Petrobras/Bourscheid (2015b).

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.**

Metal	Bacia de Santos <sup>1</sup>		Região ultraprofunda <sup>2</sup>		CAB C1 <sup>3</sup>	
	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média* (mg/kg)	Desvio (mg/kg)
Al	-	-	-	-	9.487,78	650,57
Ba	88,87	59,11	124,00	18,00	105,32	5,53
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cr	15,41	6,84	28,00	3,00	16,53	1,99
Cu	5,70	6,90	21,00	1,00	11,59	2,21
Fe	16.427,02	25.902,77	-	-	13.111,11	700,26
Hg	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	540,75	-	602,00	30,00	455,33	25,62
Ni	13,30	8,32	19,00	2,00	10,92	1,00
Pb	14,26	21,90	19,00	6,00	n.d.	n.d.
V	26,00	-	38,00	4,00	29,37	2,74
Zn	19,13	-	59,00	4,00	32,81	1,72

Metal	C1 TUPI <sup>4</sup>		C2 TUPI <sup>5</sup>		C1 LL-IA1 <sup>6</sup>	
	Média** (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média*** (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)
Al	17.707,64	5.615,73	31.934,37	2.372,93	3.204,72	245,15
Ba	149,87	34,00	145,04	4,68	128,10	28,60
Cd	0,20	0,08	0,01	0,01	0,01	0,03
Cr	22,42	6,42	28,46	1,52	9,33	0,81
Cu	29,25	7,83	34,88	1,61	11,27	0,73
Fe	18.841,85	5.496,90	31.794,50	1.697,25	6.255,28	468,17
Hg	0,45	0,08	0,55	0,28	n.d.	n.d.
Mn	469,54	105,08	730,65	48,49	361,61	12,04
Ni	11,78	3,04	13,24	0,60	6,32	0,49
Pb	7,56	1,55	8,19	0,94	n.d.	n.d.
V	31,59	8,96	39,65	1,73	17,82	0,90
Zn	34,84	9,53	50,86	2,46	19,85	2,04

(continua)



(continuação – Tabela III.2-2)

Metal	C2 LL-IA1 <sup>7</sup>		C1 LL-IRA-IN1 <sup>8</sup>	
	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)
Al	15.475,00	1.272,64	12.707,78	1.679,31
Ba	436,72	956,74	415,02	402,51
Cd	0,01	0,02	0,01	0,02
Cr	17,92	2,32	12,49	1,08
Cu	16,93	0,95	14,28	0,78
Fe	11.416,11	1.133,78	10.770,83	776,78
Hg	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	388,36	21,88	290,67	16,63
Ni	10,78	0,82	8,54	0,59
Pb	1,25	0,63	0,65	1,11
V	30,82	1,89	27,11	1,58
Zn	32,57	2,20	26,95	1,87

\* Valores referem-se a média das estações CAB\_1, CAB\_1\_C e CAB\_2 (estações mais profundas).

\*\* Valores referem-se a média das estações PC1, S1, PC2 e S2.

\*\*\* Valores referem-se a média das estações TUPI\_1, TUPI\_2, TUPI\_7 e TUPI\_8.

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2002); 2 = Petrobras/Habtec (2003); 3 = Petrobras/Bourscheid (2014); 4 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 5 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 6 = Petrobras/Bourscheid (2015a), 7 = Petrobras/Bourscheid (2016) e 8 = Petrobras/Bourscheid (2015b).

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 0,40 até 127,60 mg/kg (média de 6,76 mg/kg  $\pm$  14,16 mg/kg). Na região mais profunda da Bacia de Santos, as concentrações de HTP's variaram entre 0,16 e 1,30 mg/kg (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 não foram detectadas concentrações de HTP's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a). Nas estações mais profundas do monitoramento do Piloto de Lula, as concentrações variaram entre 0,12 e 1,01 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, as concentrações de HTP's variaram entre não detectado e 19,75 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, as concentrações de HTP's variaram entre não detectado e 153,49 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

As concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) observadas na região apresentaram valores entre 0,0002 e 0,13 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 não foram detectadas concentrações de HPA's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2016). No monitoramento do Piloto de Lula, as concentrações variaram entre não detectado e 0,05 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012).

Os parâmetros de mistura complexa não resolvida (MCNR) e n-alcanos também estiveram abaixo do limite de detecção do método nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a). A MCNR variou entre não detectado e 1,01 mg/kg nas estações mais profundas do Piloto de Lula, enquanto os n-alcanos estiveram abaixo do limite do método (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, as concentrações de MCNR variaram entre não detectado e 17,68 mg/kg, enquanto que as de n-alcanos variaram entre não detectado e 2,07 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, as concentrações de MCNR variaram entre não detectado e 141,15 mg/kg e as concentrações de n-alcanos variaram entre não detectado e 7,47 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

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

No inventário realizado pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), a comunidade bentônica foi composta por 1.035 taxa, coletados entre 100 e 500 metros de profundidade, na região Sudeste-Sul da costa brasileira. Foram coletados 131.369 indivíduos, distribuídos em 28 taxa que foram identificados. Os grupos mais abundantes e frequentes foram Porifera, Cnidaria, Sipuncula, Gastropoda,

Bilvalvia, Scaphopoda, Polychaeta, Crustacea, Ophiuroidea, Bryozoa e Brachiopoda.

A macrofauna das amostras da Bacia de Santos foi representada por Polychaeta, Crustacea, Mollusca, Echinodermata, Sipuncula, Pycnogonida e Echiurida, totalizando 4.711 indivíduos, pertencentes a 259 taxa. Os Crustacea corresponderam a 92% da biomassa total, seguidos pelos Polychaeta (5,7%), Mollusca (1,2%) e Echinodermata (0,8%) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

As maiores riquezas de taxa ocorreram na plataforma continental externa (entre 59 e 150 metros). Da quebra do talude em diante (cerca de 2.000 m) a riqueza foi nitidamente inferior (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002).

Na região mais profunda da Bacia de Santos (entre 2.000 e 2.425 m) foram encontradas 22 espécies, pertencentes a 10 grupos taxonômicos. Os moluscos bivalves foram o grupo mais abundante, representado por seis espécies. A espécie *Nuculana aff. semen* foi dominante. Os crustáceos também foram representados por seis espécies. Os anelídeos poliquetas foram representados por quatro espécies e os outros grupos contribuíram com uma ou duas espécies. Foram registrados um total de 46 espécimes (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

A densidade por amostra foi baixa, entre 1 a 4 indivíduos por 0,08 m<sup>2</sup>, com média de 18,8 ind/m<sup>2</sup>. A presença de organismos esteve associada principalmente a camada superficial do sedimento, onde foram registrados 60% dos indivíduos (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, a riqueza variou entre 2 e 6 taxa. Foram encontrados organismos pertencentes a dois filos bentônicos nas estações mais profundas: Annelida e Nemertini. O filo com maior número de taxa foi Annelida (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014).

A densidade variou entre 44 e 176,5 ind/m<sup>2</sup> nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas. Os anelídeos também dominaram quantitativamente as amostras. A diversidade variou entre 0 e 0,81 e a equitabilidade entre 0 e 0,65 nas estações mais profundas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014).

A comunidade bentônica da primeira campanha de monitoramento do Piloto de Lula teve riqueza variando entre 38 e 43 taxa, considerando apenas as estações mais profundas. Os taxa estiveram distribuídos em diversos grupos:

Nematoda, Scaphopoda, Oligochaeta, Crustacea, Gastropoda, Ophiurida, Polychaeta e Bivalvia. Em geral, os poliquetas foram os responsáveis pelo maior número de taxa (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010).

A densidade média das estações mais profundas da primeira campanha de monitoramento do Piloto de Lula foi de  $432,50 \pm 47,17$  ind/m<sup>2</sup>. A diversidade média foi de  $4,20 \pm 0,08$ . Já a equitabilidade média foi de  $0,78 \pm 0,02$ . Tanto a diversidade como a equitabilidade foram altas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010).

A comunidade bentônica da segunda campanha de monitoramento do Piloto de Lula teve riqueza variando entre 25 e 34 taxa, considerando apenas as estações mais profundas. Os taxa estiveram distribuídos em diversos grupos: Bivalvia, Ostracoda, Gastropoda, Phascolosomatidea, Polychaeta, Malascotraca, Scaphopoda, Oligochaeta e Sipunculidae. Em geral, Polychaeta foi responsável pelo maior número de taxa (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012).

A densidade média das estações mais profundas da segunda campanha de monitoramento do Piloto de Lula foi de  $2.050 \pm 369,68$  ind/m<sup>2</sup>. O índice de diversidade médio foi de  $4,63 \pm 0,17$ . Já a equitabilidade média foi de  $0,95 \pm 0,01$ . A diversidade e a equitabilidade foram altas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012).

Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1, a riqueza variou entre 0 e 7 taxa. Foram encontrados organismos pertencentes a cinco filos bentônicos: Annelida, Sipuncula, Mollusca, Arthropoda e Nematoda. O filo com maior número de taxa foi Annelida (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a).

A densidade variou entre 0 e  $103,33$  ind/m<sup>2</sup> na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1. Os anelídeos também dominaram quantitativamente as amostras. A diversidade variou entre 0 e 0,54 e a equitabilidade entre 0 e 0,33 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a).

Na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, a riqueza variou entre 0 e 4 taxa. Foram encontrados organismos pertencentes a quatro filos bentônicos: Annelida, Arthropoda, Nemertea e Nematoda, sendo que Annelida apresentou a maior riqueza de taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

A densidade variou entre 0 e  $73,67$  ind/m<sup>2</sup>, com média de  $31,83 \pm 24,17$  ind/m<sup>2</sup> na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1. Os anelídeos

também dominaram as amostras quantitativamente. A diversidade de Shannon variou entre 0 e 0,23 bits/ind, com média de 0,08 bits/ind. Já a equitabilidade variou entre 0 e 0,33, com média de 0,11. Ambos os índices foram baixos em todas as estações dessa campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, a riqueza variou entre 1 e 6 taxa. A campanha encontrou organismos pertencentes a cinco filos bentônicos: Annelida, Sipuncula, Mollusca, Arthropoda e Nemertea, sendo que o filo Annelida apresentou a maior riqueza de taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

A densidade variou entre 14,67 e 133 ind/m<sup>2</sup>, com média de 51,44 ± 37,98 ind/m<sup>2</sup> na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1. O filo Annelida também apresentou maiores valores de densidade. O índice de diversidade médio foi de 0,15 ± 0,28 bits/ind, com valores entre 0 e 0,83 bits/ind. Já a equitabilidade média foi de 0,15 ± 0,26, com valores entre 0 e 0,67. A diversidade e a equitabilidade foram baixas em todas as estações (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).

### **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 LL-IA1 um dos poços selecionados.

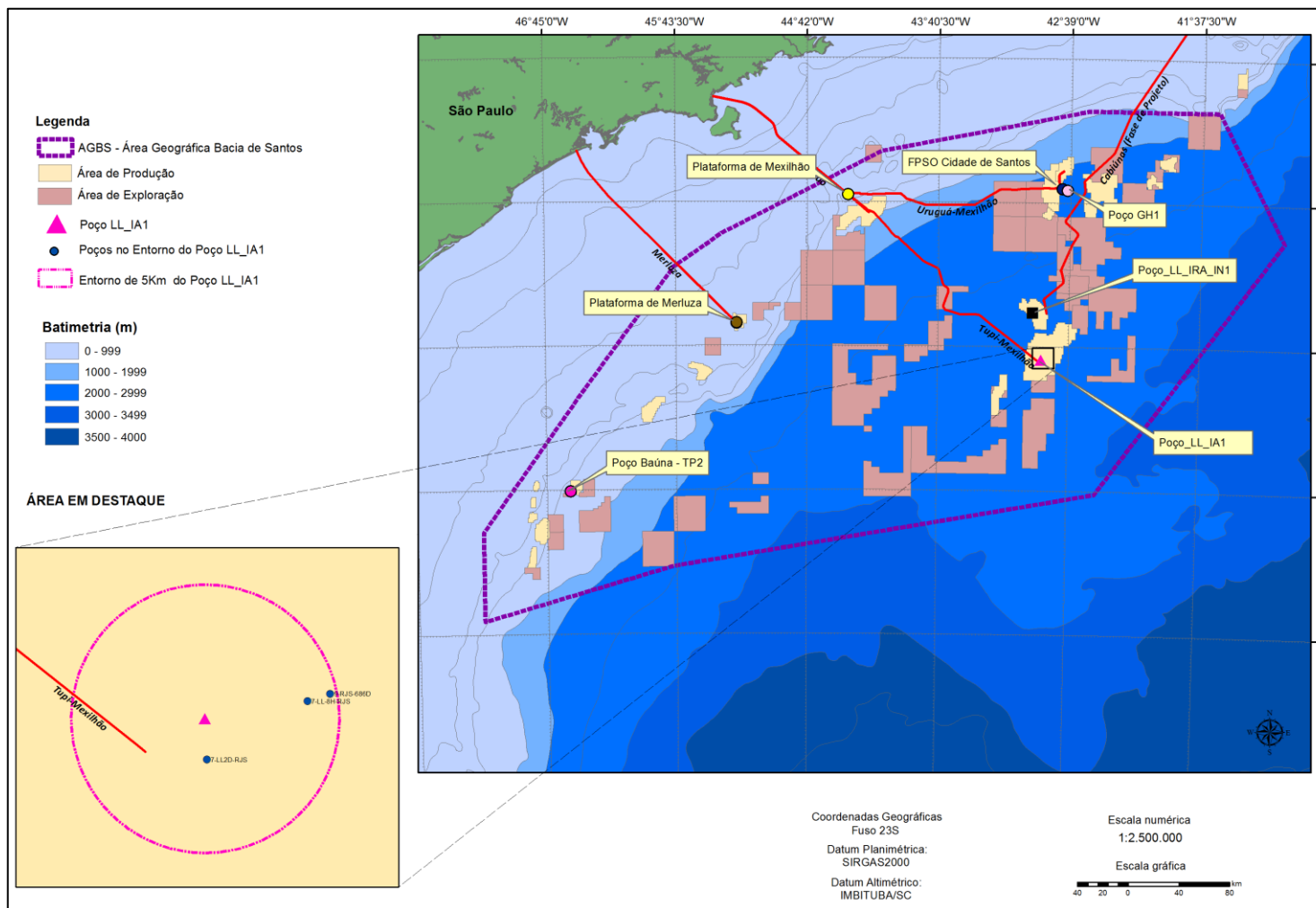
Localizada no Bloco BM-S-11, na porção central da Bacia de Santos, na direção do litoral do estado do Rio de Janeiro, a Área de Tupi dista 280 km da

costa, em lâmina d'água em torno de 2.200 metros. O Piloto de Lula é interligado a 8 poços, dos quais 5 são produtores (P1, P3, P4H, P5 e P6), 2 injetores de água (I1 e I2) e 1 injetor de gás (P2 (IG1)). Além dos 8 poços citados, foram identificados mais 9 poços que poderão ser utilizados, dependendo dos resultados da avaliação da produção na Área de Tupi, que são RJS-646, P7, P8, P9, P10, I3, I4, I5, IG2, chamados de poços de contingência. A vazão da produção esperada é de aproximadamente 90.000 bpd (14.300 m<sup>3</sup>/d) de óleo e 3.823 m<sup>3</sup>/d de gás. O escoamento do gás produzido é realizado por meio de um gasoduto de 18" com aproximadamente 216 km de extensão interligando o FPSO Cidade de Angra dos Reis a Plataforma de Mexilhão (PMXL-1), o Gasoduto Tupi-Mexilhão. A partir daí, o gás escoo pelo gasoduto que interliga a PMXL-1 a Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA), no município de Caraguatatuba, onde é tratado (PETROBRAS/ICF, 2008). O escoamento do óleo produzido é realizado por meio de navios aliviadores.

A Área de Tupi encontra-se em fase exploratória desde maio de 2009. A atividade de instalação do sistema definitivo teve seu início em setembro de 2009. Após a instalação do duto e a chegada da FPSO Cidade de Angra dos Reis ao local seguiu-se o início da operação. A licença de operação foi concedida pelo IBAMA em 22 de outubro de 2010, e a unidade opera desde 27 de outubro do mesmo ano, produzindo gás natural e petróleo.

O poço LL-IA1 foi perfurado na Área de Tupi (atual Campo de Lula). A profundidade no local é de aproximadamente 2.400 metros.

Outras perfurações também já foram realizadas na área. No entorno do poço LL-IA1, em um raio de 5 km, existem três poços: 9-RJS-686D, 7-LL-8H-RJS e 7-LL2D-RJS (Figura III.3-1).



**Figura III.3-1 – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço LL-IA1 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 22 e 26 de março de 2015 a bordo do Navio de Pesquisa *Seward Johnson* (Figura IV.1-1), foram coletadas amostras de sedimento para análise físico-química e dos organismos bentônicos associados em 12 estações no entorno do poço Lula – IA1, em local com profundidade aproximada de 2.100 metros. O trânsito rumo à primeira estação LL\_4R foi iniciado às 11h36min do dia 22/03/2015. As amostragens foram finalizadas às 02h31min do dia 26/03/2015 na estação LL\_3R2.



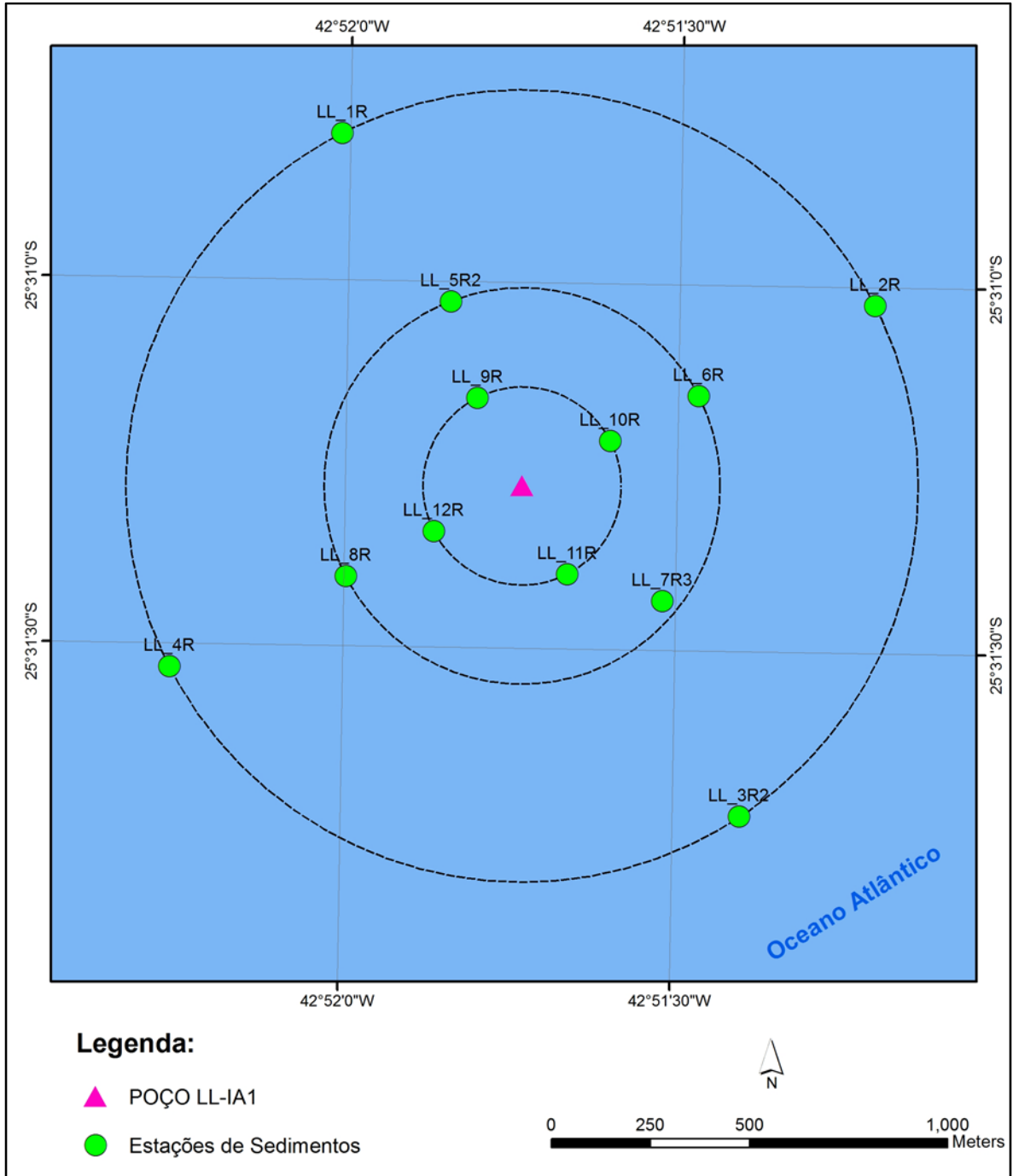


Fonte: Relatório Técnico de Bordo CP+ (RL-3A00.00-5521-996-RKE-012).

**Figura IV.1-1** - Diagrama do NP Seward Johnson mostrando a localização onde são feitas as operações de pesca, MOCNESS e plâncton (área verde); as operações de amostragem de sedimento (área vermelha) e as operações de CTD e Hidroquímica (área azul). Nota: Localização dos refrigeradores e congeladores (1 - câmara fria; 2- congelador laboratório seco I; 3- congelador laboratório seco II; 4- congelador -80 °C; 5- congelador do laboratório seco III; 6- congelador laboratório molhado).

As estações de coleta não foram dispostas conforme o padrão em quatro círculos concêntricos ao redor do poço, com raios de 250, 500 e 1.000 m. Todas as estações foram reposicionadas em relação às coordenadas da primeira campanha, devido ao reposicionamento do poço perfurado. Coordenadas reposicionadas foram utilizadas na segunda e na terceira campanha. A Figura IV.1-2 apresenta o mapa da malha amostral realizada durante a campanha.

As coordenadas originais (utilizadas na segunda campanha) e reposicionadas para as estações amostrais da atual campanha podem ser observadas na Tabela IV.1-1.



**Figura IV.1-2** – Figura representativa da malha amostral para coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento ambiental do poço LL-IA1, fase pós-perfuração.

**Tabela IV.1-1 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°) das estações amostrais originais e reposicionadas da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, 2º retorno.**

Estações	Coordenadas Originais		Reposicionamentos	
	Norte	Este	Norte	Este
LL_1R	7176490,93	714375,99		
LL_2R	7176054,00	715720,95		
LL_3R2	7174766,11	715376,83		
LL_4R	7175146,04	713939,04		
LL_5R2	7176065,54	714650,54		
LL_6R	7175826,96	715275,38		
LL_7R3	7175213,40	715147,52	7175309,60	715183,58
LL_8R	7175373,05	714384,54		
LL_9R	7175822,67	714716,50		
LL_10R	7175713,46	715052,62		
LL_11R	7175377,33	714943,41		
LL_12R	7175486,54	714607,29		

A estação LL\_7R2 foi reposicionada 100 m, rumo 21°, após verificação de sobreposição a dutos rígidos identificados no SGO – Sistema de Gerenciamento de Obstáculos, sendo renomeada para LL\_7R3.

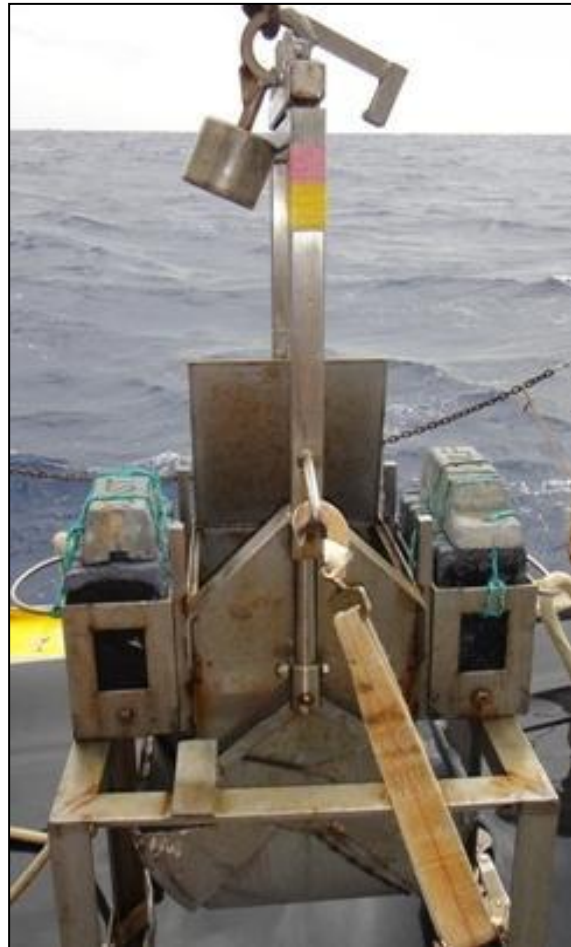
As amostragens foram realizadas em triplicata (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem. As coordenadas de coleta de cada uma das réplicas são apresentadas no Tabela IV.1-2.

**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 LL-IA1.**

Estações	Coordenadas Coletadas UTM					
	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
LL_1R	7176461,67	714348,03	7176503,92	714387,58	7176465,83	714380,68
LL_2R	7176074,03	715704,29	7176087,15	715690,68	7176020,27	715686,25
LL_3R2	7174786,46	715361,68	7174765,85	715396,11	7174793,25	715356,48
LL_4R	7175153,88	713898,68	7175180,98	713909,57	7175157,96	713920,77
LL_5R2	7176084,17	714662,39	7176031,77	714634,74	7176058,23	714634,14
LL_6R	7175862,07	715242,72	7175822,69	715277,08	7175808,14	715283,63
LL_7R3	7175306,49	715157,74	7175309,85	715149,98	7175325,31	715178,06
LL_8R	7175343,07	714367,00	7175356,88	714373,20	7175401,12	714380,25
LL_9R	7175815,55	714683,83	7175835,22	714675,58	7175846,09	714681,54
LL_10R	7175721,14	715025,65	7175711,30	715009,21	7175688,41	715026,24
LL_11R	7175334,16	714946,42	7175334,16	714946,42	7175387,86	714966,19
LL_12R	7175485,74	714637,94	7175483,62	714655,50	7175476,66	714652,77

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento de amostras, empregados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1 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.



**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, e;
- Profundidade de no mínimo 12 cm de sedimento.
- 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 µm, foram transferidos para um pote plástico devidamente identificado e destinado ao armazenamento de amostra da macrofauna bentônica. Em seguida, foram subamostrados 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 Mini-box corer (30 x 30 x 50 cm) para subamostragem dos parâmetros solicitados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1.

A desmobilização da campanha ocorreu no dia 30/03/2015 no estaleiro *Mac Laren*, 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 LL-IA1.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Fração</b>	<b>Acondicionamento</b>	<b>Preservação</b>
<b>MOT / COT</b>	0-10cm (1/2 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>Granulometria e carbonatos</b>	0-10cm (1/2 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>Hidrocarbonetos</b>	0-2 cm (1 corer 10x10x2cm)	Recipiente de alumínio	Congelamento
<b>Metais</b>	0-2 cm (1 corer 10x2)	Saco Zip	Congelamento
<b>N / P</b>	0-10cm (1 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
<b>Macrofauna bentônica</b>	0-10 cm (4 corers 10x10x10cm)	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 carbono orgânico total (COT) teve como base sua oxidação a CO<sub>2</sub> por íons dicromato de potássio, em meio fortemente ácido. A quantidade de íons Cr III reduzidos é 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 total (MOT) 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 não haver mais reação pela observação da liberação de CO<sub>2</sub> em intervalos regulares. Neste momento, enxaguou-se a amostra com água destilada e esperou-se o material decantar para retirar o excesso de água. Esse enxágue foi feito pelo menos duas vezes. Para finalizar o processo, secou-se a amostra em estufa a 60°C e transferiu-se a amostra seca para um dessecador até atingir a temperatura ambiente. Depois, pesou-se a amostra em balança com precisão de quatro casas decimais.

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<sup>1</sup>.

### 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, de novembro/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

<sup>1</sup> Houve modificação de nomenclatura do referido método da primeira para a segunda campanha do empreendimento, porém a metodologia permanece a mesma.

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 foi 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. Tal método analítico, 4500 N org. B/NH<sub>3</sub> C/NH<sub>3</sub> G, é baseado no protocolo do SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22ªEd.

#### **IV.2.5 - Fósforo Total**

A determinação de fósforo total em sedimentos consiste em duas etapas: digestão ácida e reação. Uma alíquota de sedimento “in natura” é digerida com adição de ácidos inorgânicos. Numa primeira fase adiciona-se ácido nítrico e ácido sulfúrico concentrado e aquece em chapa de aquecimento até digestão da matéria orgânica. Em seguida, adiciona-se ácido perclórico concentrado para finalizar a digestão completa da matéria orgânica.

Após a digestão, segue-se a reação do fósforo pelo método molibdato de amônio/ácido ascórbico, método de referência SMEWW 4500-P E, conforme metodologia 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 (adição de ácido ascórbico), formando 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), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), níquel (Ni), manganês (Mn), 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 (ácido nítrico, ácido sulfúrico, permanganato de potássio e persulfato de potássio), adicionado de cloridrato de hidroxilamina, filtrado e analisado 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 pela 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 3630 – Sílica gel *clean up* (modificado) – para casos em que foram necessário *clean up*. 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 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 e EPA 8015D – Nonhalogenated Organics Using CGFID. A preparação das amostras seguiu o mesmo procedimento dos HPA's. 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 foi utilizado o padrão para calibração de uma mistura de n-alcanos de n-C10 a n-C40, mais pristano e fitano. Como traçadores foram utilizados as substâncias n-eicosano d42 e n-tetracosano d50.

A mistura complexa não resolvida (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. Os n-alcanos foram identificados e quantificados através dos respectivos padrões de C10 a C40.

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

A Tabela IV.2-2 apresenta o resumo dos métodos analíticos utilizados, com os respectivos limites de quantificação e detecção, conforme os parâmetros analisados nas amostras de sedimentos.

**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>Parâmetro</b>	<b>Método analítico</b>	<b>Limite de Quantificação</b>	<b>Limite de Detecção</b>	
Carbonatos	Descarbonatação/Gravimetria	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 Total	SMEWW 4500-P E	26 mg P/kg	9 mg P/kg	
Granulometria	N.T. CETESB L6.160	#	#	
COT	Oxidação com Dicromato de potássio - IAC	0,3%C	0,1%C	
MOT	SMEWW 2540-B/C/D	0,3%	0,1%	
Metals	Alumínio (Al)	USEPA SW 846 USEPA 3051A, USEPA 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
	Chumbo (Pb)		2,5 mg Pb/kg	0,8 mg Pb/kg
	Cobre (Cu)		1,1 mg Cu/kg	0,4 mg Cu/kg
	Cromo (Cr)		1,7 mg Cr/kg	0,5 mg Cr/kg
	Ferro Total (Fe)		8,1 mg Fe/kg	2,6 mg Fe/kg
	Níquel (Ni)		1,0 mg Ni/kg	0,3 mg Ni/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
HPA's	Acenafteno	USEPA 8270D, USEPA 3550C, USEPA 3630	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
	Fluoreno		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		
HTPs, n-alcanos e MCNR	USEPA SW 8015D / 3550C	#	#	

## IV.2.9 - Macrofauna Bentônica

Em laboratório, as amostras foram lavadas cuidadosamente em peneiras com malha de 300 µm. Para otimizar a triagem foi feita subamostragem retirando ¼ da amostra para identificação e quantificação após peneiramento. 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), Kensley & 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 depositória das amostras de macrofauna bentônica coletadas pelo Projeto de Monitoramento Ambiental Marinho das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo na Bacia de Santos. As cartas de destinação dos resíduos são apresentadas no Anexo IX-1. As cartas de aceite da instituição consultada e de tombamento são apresentadas no Anexo IX-2.



## **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 Larsonneur (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 LL-IA1 (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).

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:

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

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

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 Lula-IA1, 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:

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

onde,

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

$S_{obs}$  = 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 (ind/m<sup>2</sup>). A densidade considera a área amostrada. Neste caso, 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. As médias foram acompanhadas do desvio-padrão. O mesmo 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;

Hmax = 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, densidade, diversidade e equitabilidade) 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 durante a terceira campanha de pré-perfuração do poço LL-IA1, 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 12 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.

Previamente às análises, todas as variáveis foram transformadas em log (x+1), para padronização. Correlações de Spearman foram realizadas para avaliar a correlação entre os dados ambientais e os biológicos.

Para o compartimento bentônico duas ACP foram realizadas: uma considerando os indicadores biológicos como variáveis ativas e os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes como variáveis suplementares; a segunda utilizando-se 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 - HPA, HTP, n-alcanos, MCNR, cádmio e mercúrio - foram desconsideradas das análises dos dados.

---

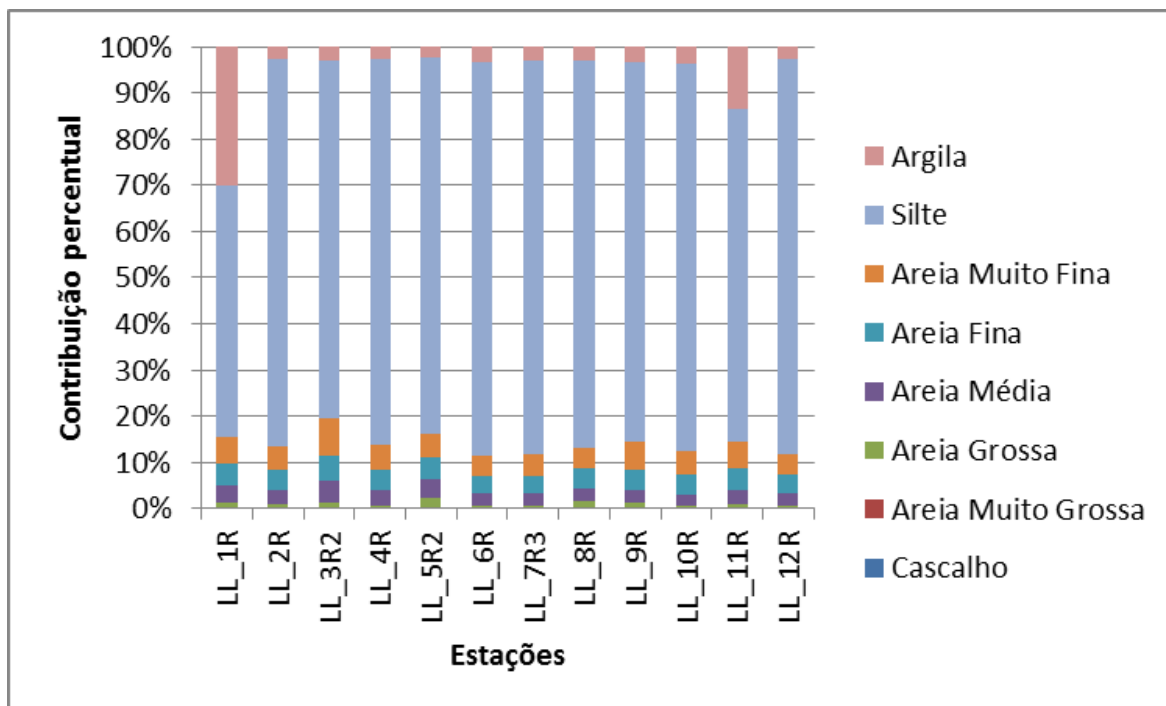
## **V - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **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 silte 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 constatou que a maioria das amostras foi classificada como silte arenoso, exceto as estações LL\_1R e LL\_4R, que foram classificadas como lama arenosa, e a estação LL\_5R2, que foi classificada como lama arenosa ligeiramente cascalhenta. Já a classificação por diâmetro médio (Tabela V.1-2) indicou que a maioria das amostras foi classificada como silte fino, exceto a estação LL\_3R2, que foi classificada como silte médio.



**Figura V.1-1** – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

O sedimento analisado nas doze estações amostradas durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1 mostrou certa variação nos resultados de média, mediana e seleção entre as estações amostradas. Os valores de média variaram entre 5,80  $\Phi$  (LL\_3R2) e 6,59  $\Phi$  (LL\_1R), e os valores de mediana, entre 6,16  $\Phi$ , na estação LL\_3R2, e 7,26  $\Phi$ , na estação LL\_8R (Tabela V.1-2).

O grau de seleção 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 na estação LL\_1R, que foi classificado como muito pobremente selecionado, sendo causado pela ocorrência de mais de uma fração dominante: argila e silte (Tabela V.1-2).

**Tabela V.1-1 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 12 estações de amostragem no entorno do poço LL-IA1, Bacia de Santos.**

Estações	Cascalho	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila	Classificação Textural de Folk
LL_1R	0,00	0,05	1,06	3,54	4,74	5,39	52,63	29,11	Lama Arenosa
LL_2R	0,00	0,04	0,82	3,08	4,30	4,96	83,32	2,53	Silte Arenoso
LL_3R2	0,00	0,07	1,30	4,26	5,30	7,93	74,40	2,89	Silte Arenoso
LL_4R	0,00	0,05	0,65	3,24	4,25	5,21	81,50	2,61	Lama Arenosa
LL_5R2	0,03	0,31	1,77	4,06	4,70	4,92	79,99	2,12	Lama Arenosa Ligeiramente Cascalhenta
LL_6R	0,00	0,06	0,61	2,42	3,59	4,43	82,41	3,24	Silte Arenoso
LL_7R3	0,00	0,04	0,59	2,41	3,79	4,73	82,83	2,76	Silte Arenoso
LL_8R	0,00	0,02	1,52	2,63	4,32	4,34	81,34	2,86	Silte Arenoso
LL_9R	0,00	0,02	1,20	2,68	4,02	5,75	78,90	3,07	Silte Arenoso
LL_10R	0,00	0,03	0,51	2,28	4,48	4,85	81,82	3,64	Silte Arenoso
LL_11R	0,00	0,03	0,76	3,06	4,50	5,47	68,54	12,99	Silte Arenoso
LL_12R	0,00	0,01	0,71	2,40	3,90	4,56	83,67	2,44	Silte Arenoso

**Tabela V.1-2 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 12 estações de amostragem no entorno do poço LL-IA1, Bacia de Santos.**

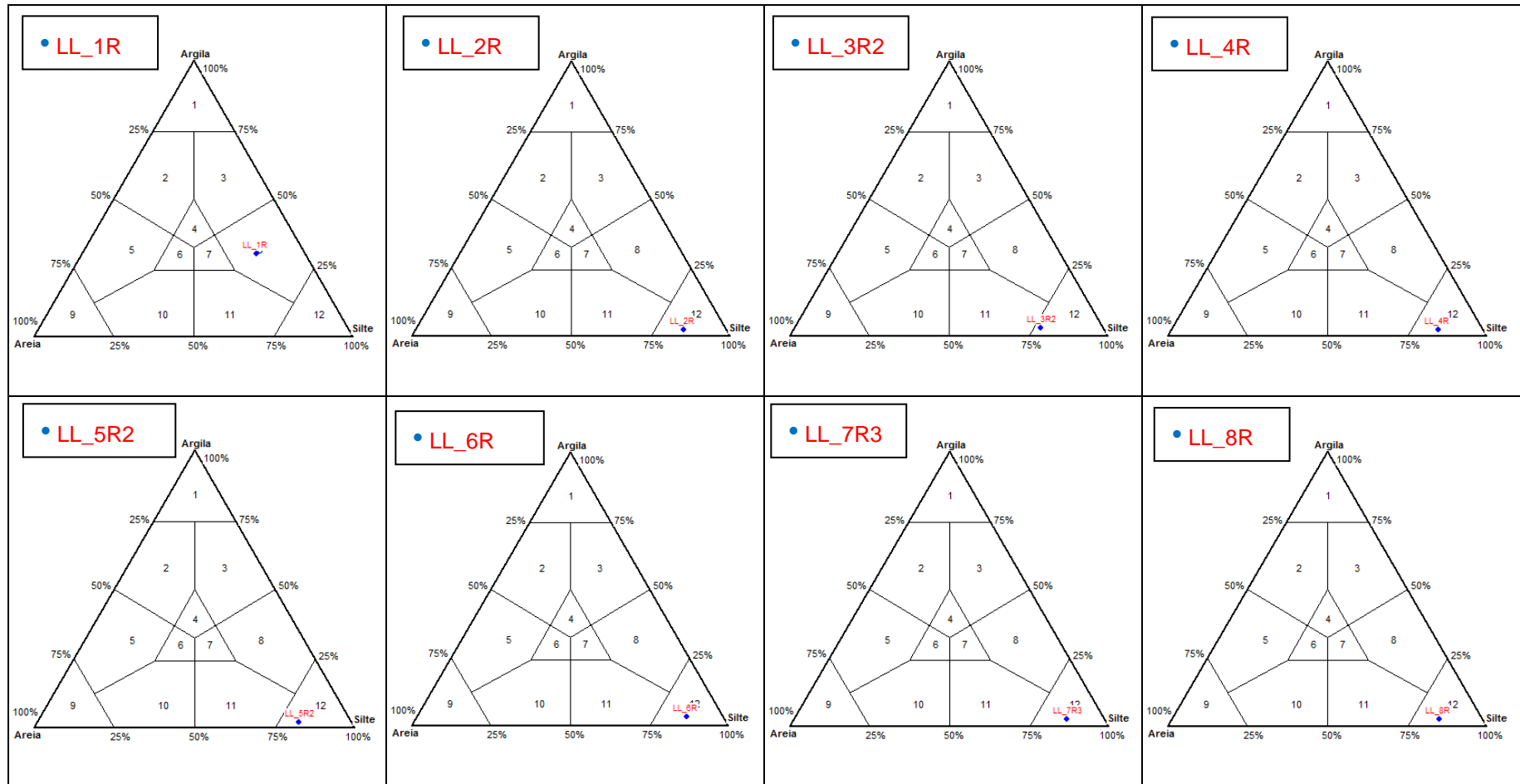
Estações	Média	Diâmetro Médio	Mediana	Seleção	Grau de Seleção	Assimetria	Assimetria	Curtose	Curtose
LL_1R	6,59	Silte fino	7,25	2,14	Muito pobremente selecionado	-0,49	Muito negativa	0,79	Platicúrtica
LL_2R	6,17	Silte fino	6,63	1,75	Pobremente selecionado	-0,46	Muito negativa	0,85	Platicúrtica
LL_3R2	5,80	Silte médio	6,16	1,96	Pobremente selecionado	-0,34	Muito negativa	0,80	Platicúrtica
LL_4R	6,37	Silte fino	7,18	1,77	Pobremente selecionado	-0,70	Muito negativa	0,82	Platicúrtica
LL_5R2	6,25	Silte fino	7,06	1,89	Pobremente selecionado	-0,68	Muito negativa	0,86	Platicúrtica
LL_6R	6,28	Silte fino	6,79	1,67	Pobremente selecionado	-0,51	Muito negativa	0,93	Mesocúrtica
LL_7R3	6,44	Silte fino	7,22	1,70	Pobremente selecionado	-0,70	Muito negativa	0,87	Platicúrtica
LL_8R	6,45	Silte fino	7,26	1,76	Pobremente selecionado	-0,73	Muito negativa	1,01	Mesocúrtica
LL_9R	6,35	Silte fino	7,14	1,78	Pobremente selecionado	-0,68	Muito negativa	0,88	Platicúrtica
LL_10R	6,47	Silte fino	7,26	1,70	Pobremente selecionado	-0,71	Muito negativa	0,99	Mesocúrtica
LL_11R	6,42	Silte fino	7,21	1,93	Pobremente selecionado	-0,59	Muito negativa	0,88	Platicúrtica
LL_12R	6,45	Silte fino	7,24	1,70	Pobremente selecionado	-0,71	Muito negativa	0,89	Platicúrtica

No estudo de caracterização da Bacia de Santos, o silte também predominou nas amostras, seguido por areia muito fina e areia fina (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). As análises realizadas em regiões ultraprofundas da Bacia de Santos mostraram um sedimento bastante homogêneo, com alto percentual de fração fina (argila e silte) na maioria das estações (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Já nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, a predominância foi de areia muito fina e areia fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Nas campanhas de monitoramento do Piloto de Lula, a fração granulométrica predominante nas estações mais profundas das duas primeiras campanhas foi o silte (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 também houve a predominância de silte (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b, 2016). Os dados de estudos anteriores corroboram com os dados da atual campanha. Devido a grande participação de finos, o sedimento também foi classificado como pobremente selecionado na maioria dos estudos anteriores.

A Tabela V.1-2 mostra que a assimetria dos grãos variou entre -0,73 e -0,34, nas estações LL\_8R e LL\_3R2, respectivamente. A assimetria da distribuição granulométrica indica para que lado se inclina a cauda mais longa da curva (DIAS, 2004). Para a atual campanha, todas as estações foram classificadas como muito negativas (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 variações elevadas.

Em relação à curtose, os valores ficaram entre 0,79 na estação LL\_1R e 1,01 na estação LL\_8R (Tabela V.1-2), sendo que a maioria das estações foi classificada como platicúrtica, exceto as estações LL\_6R, LL\_8R e LL\_10R, que foram classificadas como mesocúrticas (Tabela V.1-2). Segundo Machado (2010), curvas mais platicúrticas indicam ambiente de deposição. As distribuições platicúrtica e muito platicúrtica indicam uma preferência de frequência de classes de grãos, que no caso dos dados obtidos foram de grãos de tamanho menor, como silte e argila.

No diagrama de Shepard (Figura V.1-2), estão representadas as 12 estações de amostragem. Neste diagrama pode-se constatar que a maioria das estações amostradas estão situadas na classe 12, correspondente à classe silte ou siltito, exceto a estação LL\_1R, que está situada na classe 8, correspondente à classe silte argiloso, e a estação LL\_11R, que está situada na classe 11, correspondente à classe silte arenoso. Esse resultado é um indicativo de certa similaridade granulométrica entre as estações amostradas.





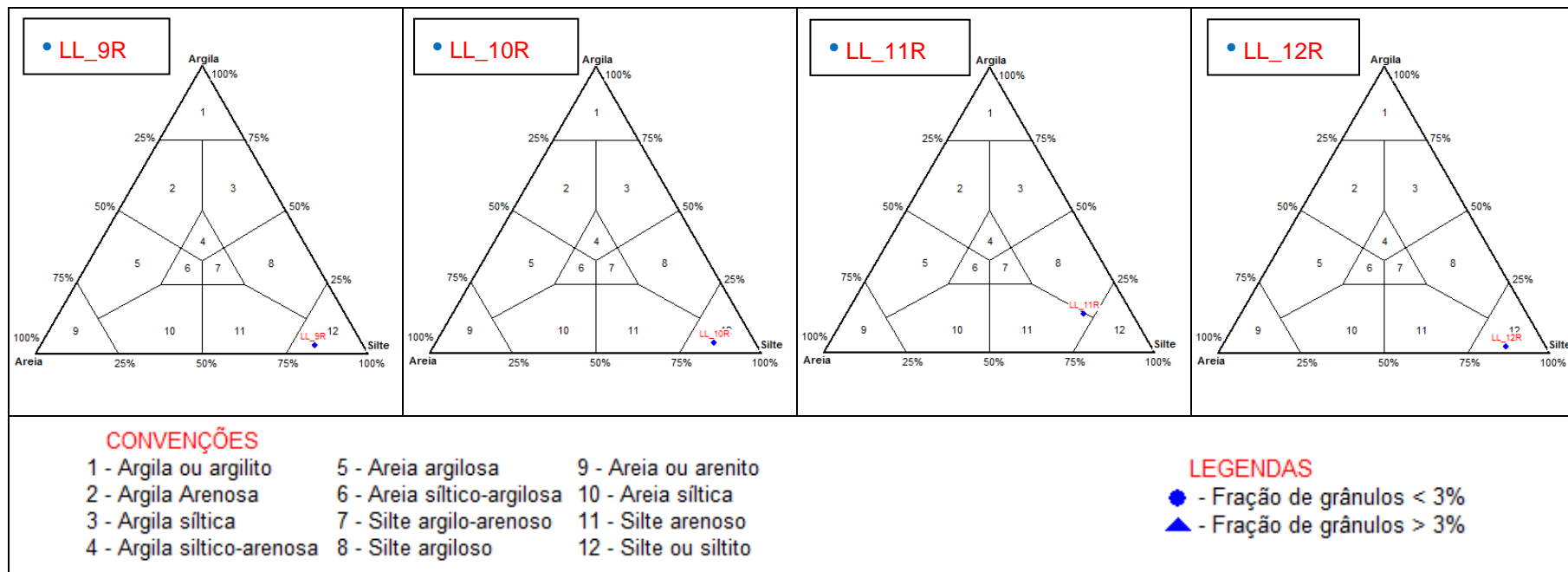
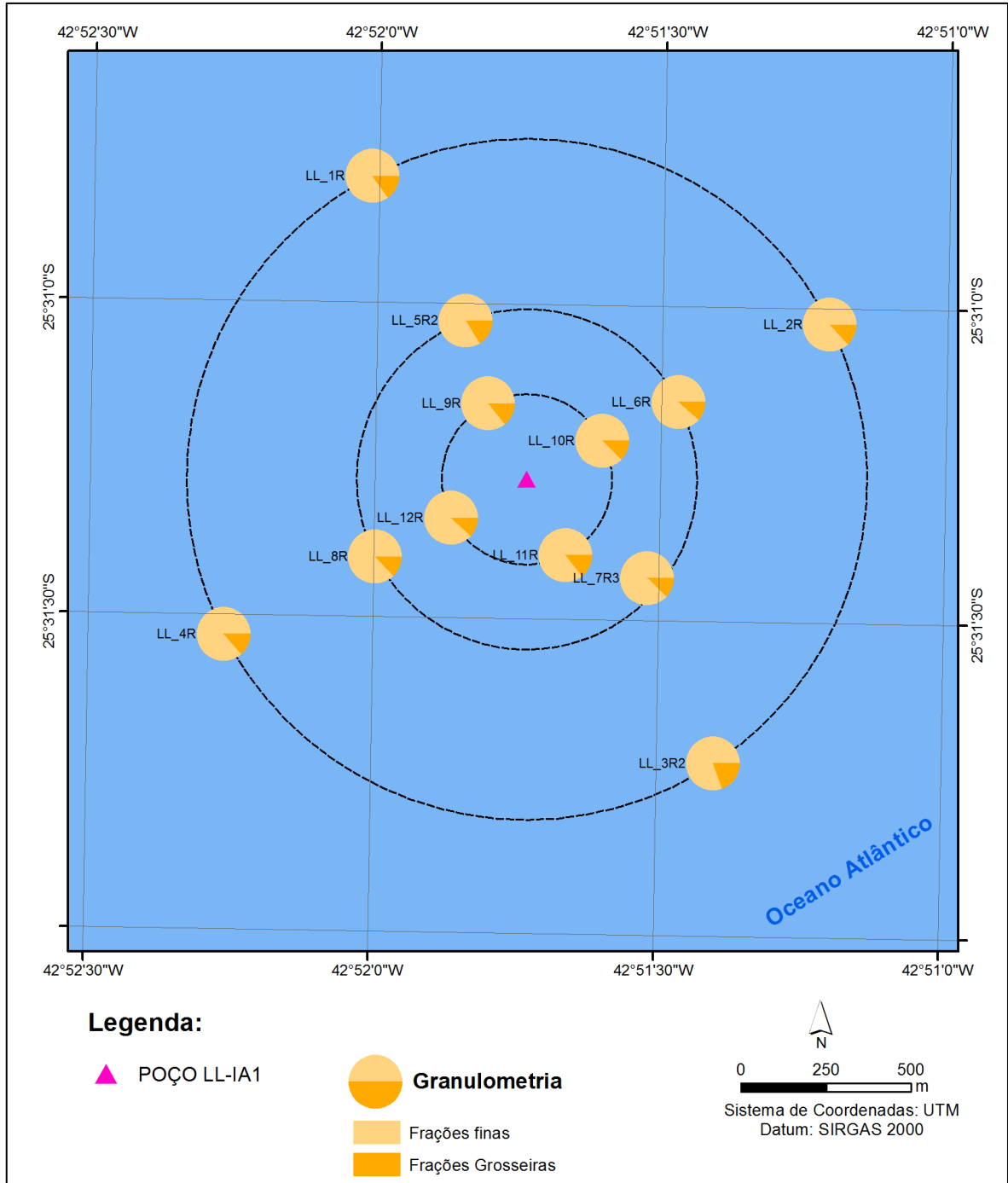


Figura V.1-2 – Diagrama de Shepard para cada uma das 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-3, é possível observar a granulometria das estações amostradas no entorno do poço LL-IA1 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. Foi possível observar a predominância das frações finas em todas as estações, indicando similaridade granulométrica entre as estações, considerando a divisão em frações grosseiras e finas.



**Figura V.1-3** – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, 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, foram observadas diferenças significativas somente para o

silte ( $p < 0,05$ ). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.

**Tabela V.1-3** – Análise de variância das frações granulométricas das 12 estações de coleta durante a 3ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1 (fase pós-perfuração).  $p < 0,05$ .

	Cas	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Arg
<b>F</b>	-	-	-	-	0,956	-	-	-
<b>H</b>	9,550	16,459	18,970	17,979	-	10,892	19,889	11,607
<b>p</b>	0,571	0,125	0,062	0,082	0,509	0,452	<b>0,047</b>	0,394

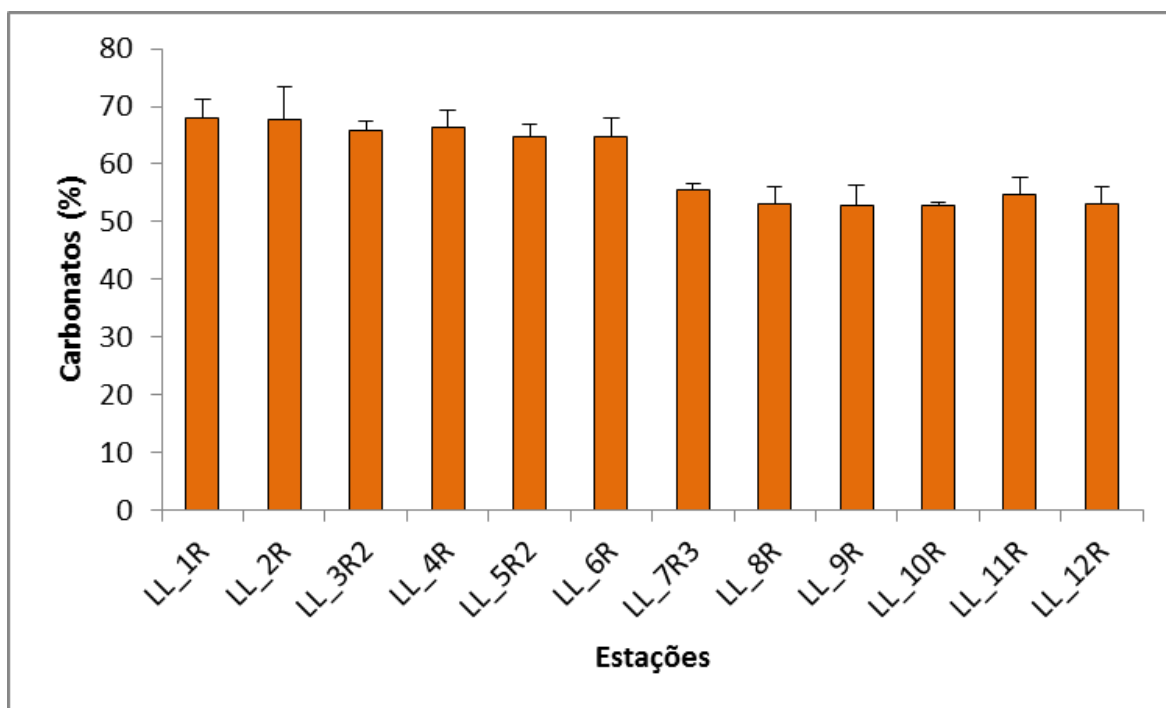
Legenda: F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de *Kruskal-Wallis*; p, probabilidade de cada teste. Cas: cascalho; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; Arg: argila.

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, briozoários e corais (DIAS, 2004).

As concentrações de carbonatos nas amostras de sedimento da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1 variaram entre  $52,70 \pm 0,74\%$ , na estação LL\_10R, e  $68,02 \pm 3,30\%$ , na estação LL\_1R (Tabela V.1-4; Figura V.1-4). As concentrações de carbonato nas estações variaram significativamente entre si (ANOVA,  $p < 0,05$ ). O grupo formado pelas estações LL\_1R, LL\_2R, LL\_3R2, LL\_4R, LL\_5R2 e LL\_6R diferiu significativamente do grupo formado pelas demais estações (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).

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

Estações	Carbonato (%)		
	Média		Desvio padrão
LL_1R	68,02	±	3,30
LL_2R	67,59	±	5,68
LL_3R2	65,73	±	1,74
LL_4R	66,33	±	3,08
LL_5R2	64,79	±	2,00
LL_6R	64,65	±	3,28
LL_7R3	55,62	±	1,07
LL_8R	53,07	±	3,06
LL_9R	52,74	±	3,69
LL_10R	52,70	±	0,74
LL_11R	54,60	±	2,96
LL_12R	53,01	±	2,98



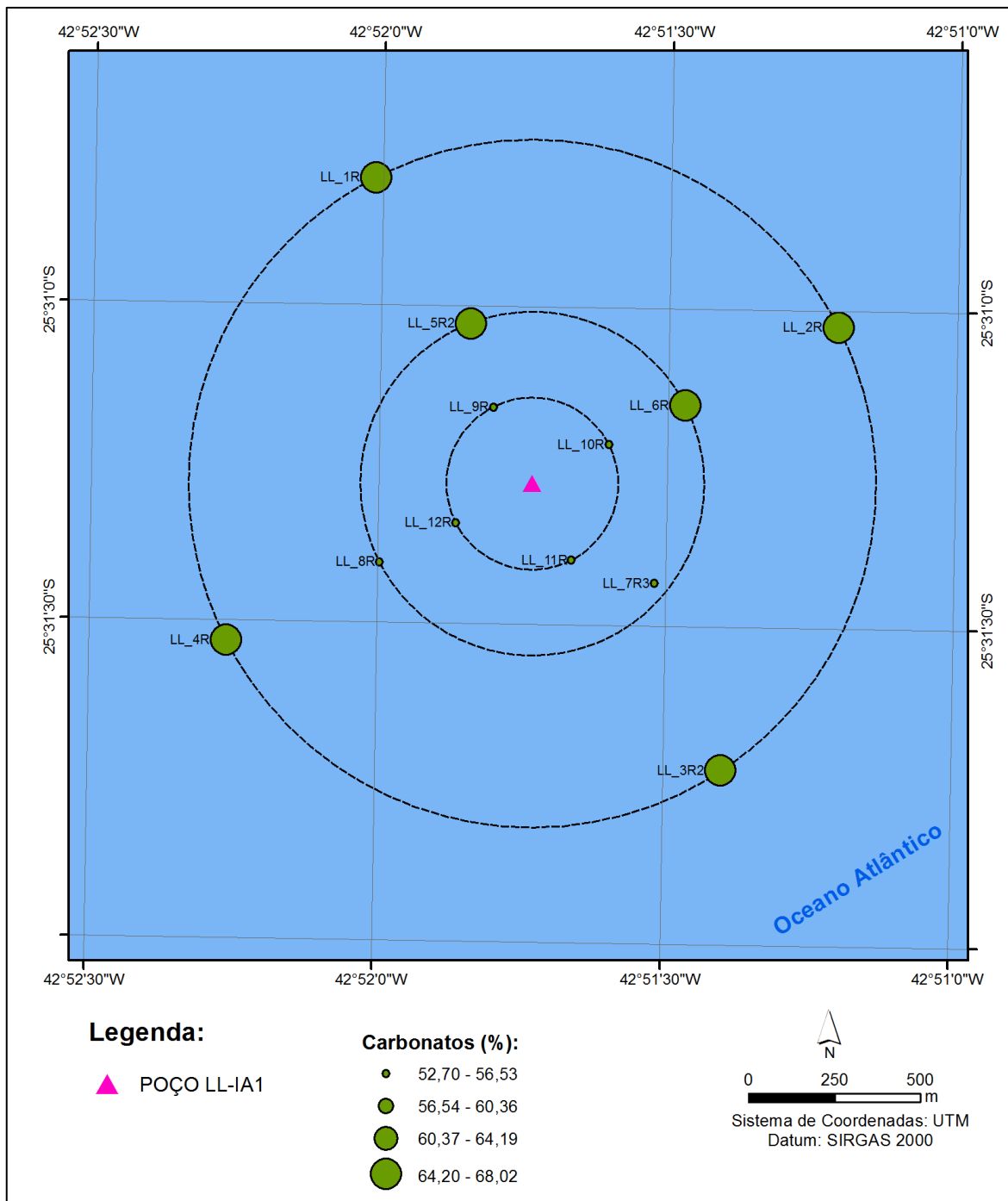
**Figura V.1-4 – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.**

Conforme classificação de Larssonneur (1977), os sedimentos em todas as estações amostradas foram classificados sedimentos biotoclásticos (50 a 70%) ou com alto conteúdo de carbonato de cálcio. Amaral *et al.* (2004), encontraram

padrão distinto 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 muito superiores aos encontrados na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a), no monitoramento das estações mais profundas de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014), na primeira e na segunda campanha de monitoramento do Piloto de Lula (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012), em que os valores variaram entre 17,13 e 20,67%, 13,90 e 21,77%, 12,68 e 21,26% e entre 25,27 e 29,29%, respectivamente. Os resultados da atual campanha foram semelhantes aos encontrados na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, que encontraram concentrações variando entre 58,73 e 62,28% e entre 50,42 e 60,36%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016). Em relação ao estudo de caracterização da Bacia de Santos e ao estudo em regiões ultraprofundas, os valores encontrados na atual campanha estiveram dentro da faixa de variação encontrada nesses estudos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003).

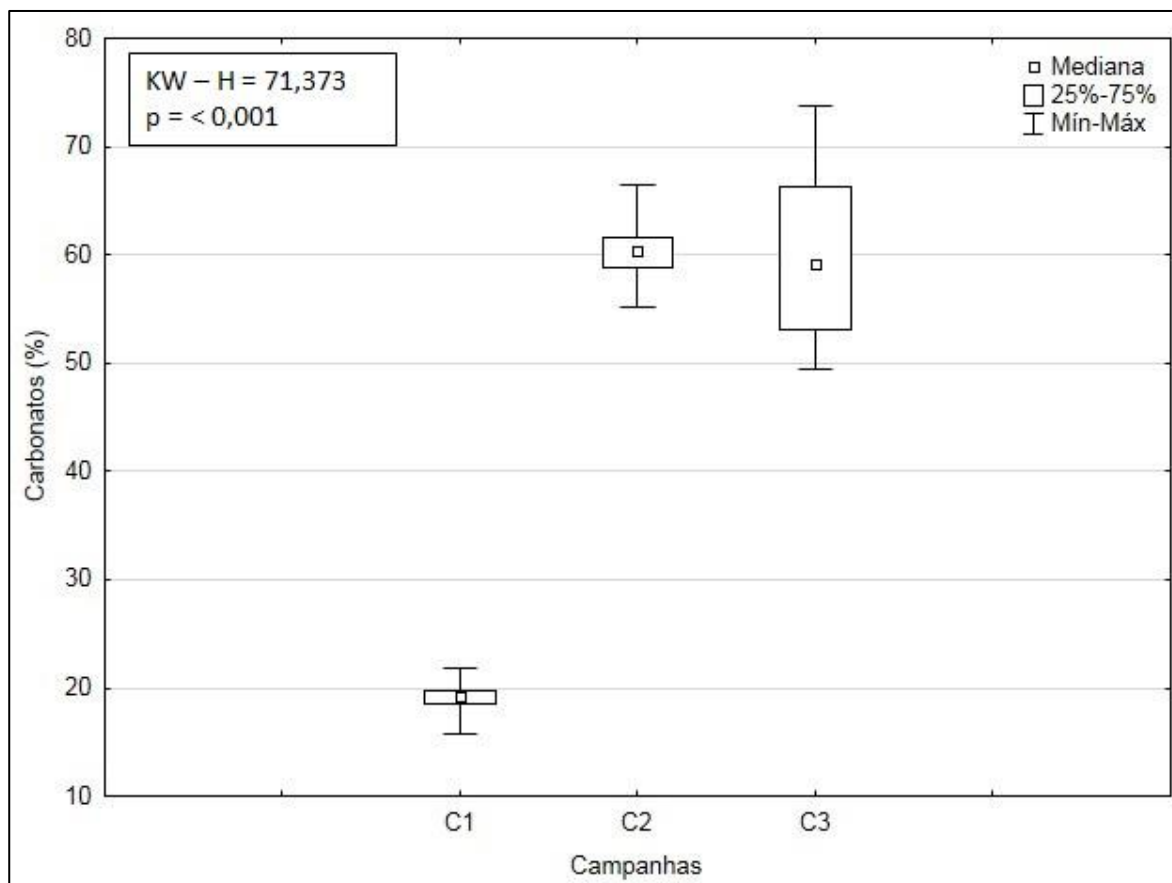
Não foi observado nenhum padrão de distribuição espacial das concentrações de carbonatos, mas de maneira geral observam-se maiores concentrações a noroeste e nordeste do poço LL-IA1 (Figura V.1-5).



**Figura V.1-5** – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-6 são apresentadas as faixas de porcentagem de carbonato obtidas nas campanhas do poço LL-IA1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou uma variação mais ampla de valores e maiores valores de carbonato. Na comparação dos resultados 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.1-6** – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

### 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).

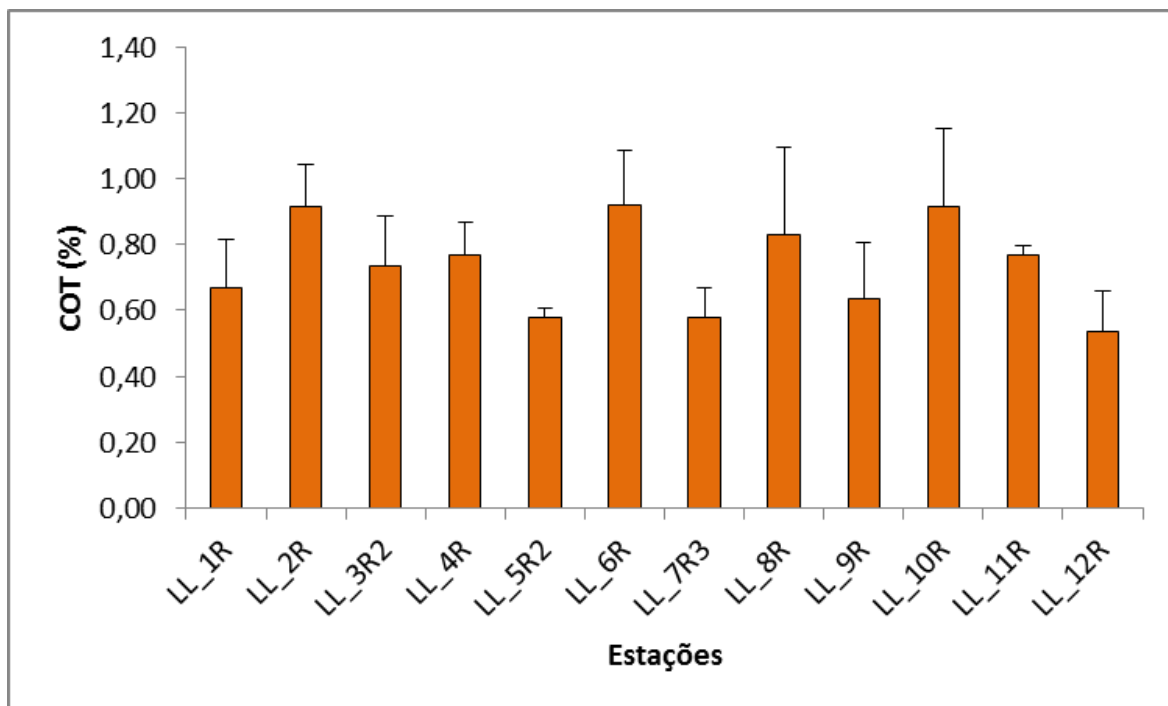
As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre  $0,53 \pm 0,12\%$ , na estação LL\_12R, a  $0,92 \pm 0,13\%$ , na estação LL\_2R (Tabela V.1-5 e Figura V.1-7). Já a concentração média entre as estações nesta campanha foi de  $0,74 \pm 0,14\%$ . Os valores encontrados foram um pouco maiores que os valores encontrados em estudos anteriores (PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a; PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), que encontraram concentrações variando entre 0,21 e 0,89%. Já o estudo de caracterização da Bacia de Santos e a segunda campanha de monitoramento do Piloto de Lula encontraram concentrações superiores em relação aos valores da atual campanha, com valores entre 0,204 e 6,200% e entre 2,77 e 5,2%, respectivamente (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2012). A segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 também encontraram concentrações superiores, variando entre 0,96 e 1,50% e entre 0,59 e 2,44%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016). Segundo Huc (1980 *apud* RASHID, 1985), áreas oceânicas tendem a apresentar concentrações de carbono orgânico inferiores a 1%. As concentrações de carbono orgânico total apresentaram diferença significativa 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.

As concentrações de matéria orgânica total (MOT) variaram entre  $1,21 \pm 0,42\%$ , na estação LL\_8R, a  $4,70 \pm 2,46\%$ , na estação LL\_3R2 (Tabela V.1-5 e

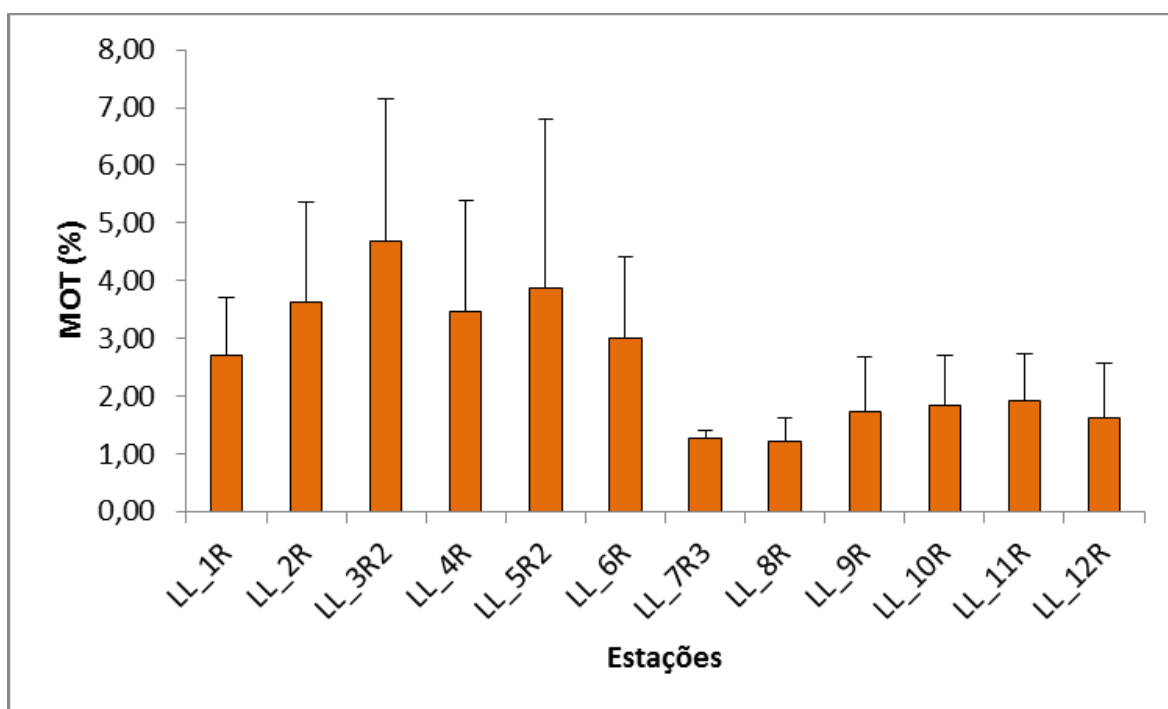
Figura V.1-8). Já a concentração média obtida entre as estações nesta campanha foi de  $2,58 \pm 1,14\%$ . As concentrações encontradas na atual campanha não corroboram com os dados dos estudos anteriores. Os resultados encontrados foram superiores em relação à primeira campanha de monitoramento do duto de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014), a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a) e em relação à primeira campanha de monitoramento do Piloto de Lula (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), que encontraram concentrações variando entre 1,05 e 4,22%, e inferiores em relação aos resultados encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), na segunda campanha de monitoramento do Piloto de Lula (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012), na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016) e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b), que encontraram concentrações variando entre 0,75 e 9,57%. 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 LL-IA1.**

Estações	Carbono Orgânico Total (%)			Matéria Orgânica Total (%)		
	Média		Desvio padrão	Média		Desvio padrão
LL_1R	0,67	±	0,14	2,72	±	0,99
LL_2R	0,92	±	0,13	3,62	±	1,73
LL_3R2	0,74	±	0,15	4,70	±	2,46
LL_4R	0,77	±	0,10	3,46	±	1,91
LL_5R2	0,58	±	0,03	3,88	±	2,91
LL_6R	0,92	±	0,17	3,00	±	1,41
LL_7R3	0,58	±	0,09	1,28	±	0,12
LL_8R	0,83	±	0,26	1,21	±	0,42
LL_9R	0,64	±	0,17	1,74	±	0,95
LL_10R	0,91	±	0,24	1,84	±	0,88
LL_11R	0,77	±	0,03	1,93	±	0,79
LL_12R	0,53	±	0,12	1,63	±	0,94

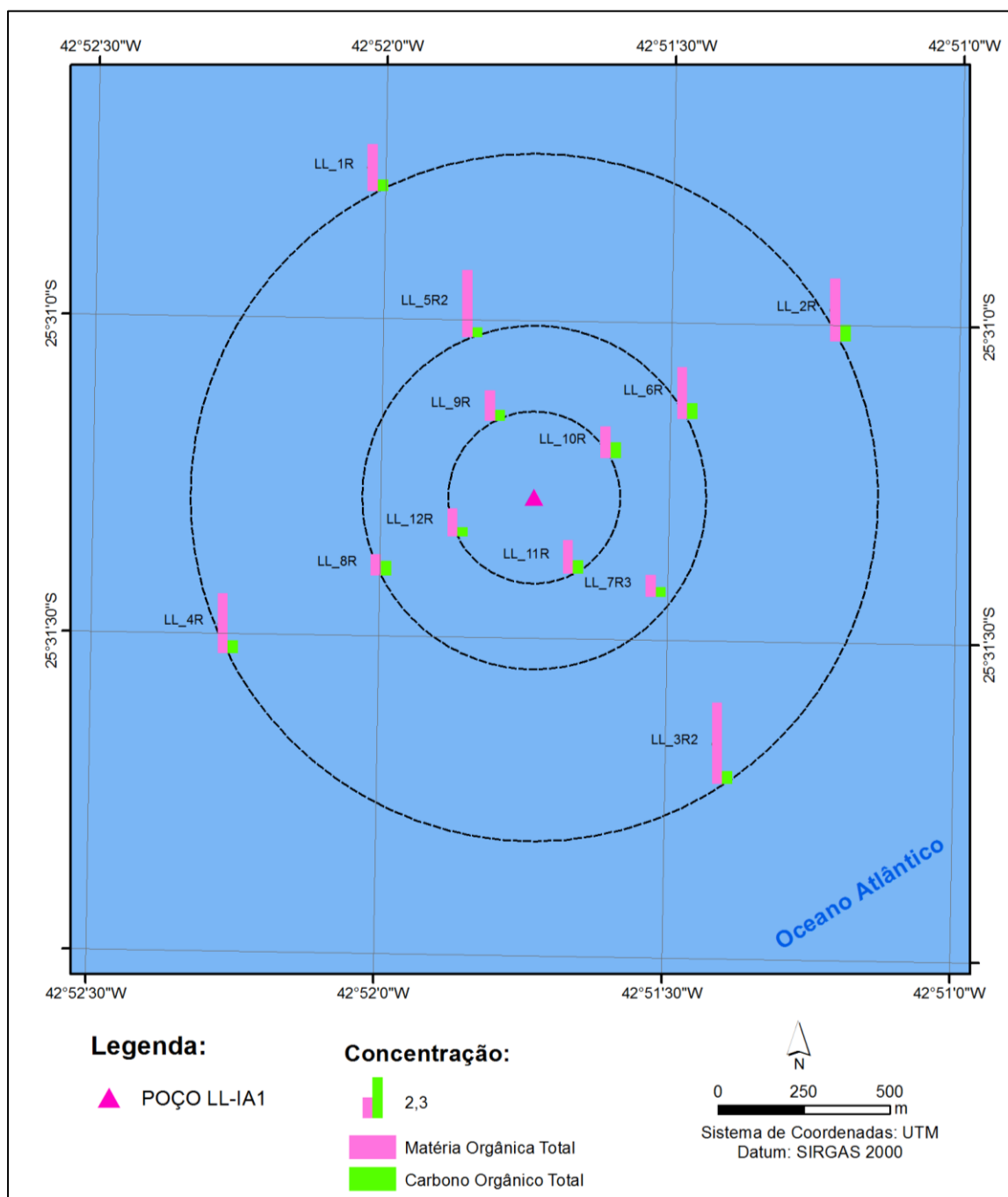


**Figura V.1-7** – Concentração média de carbono orgânico total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.



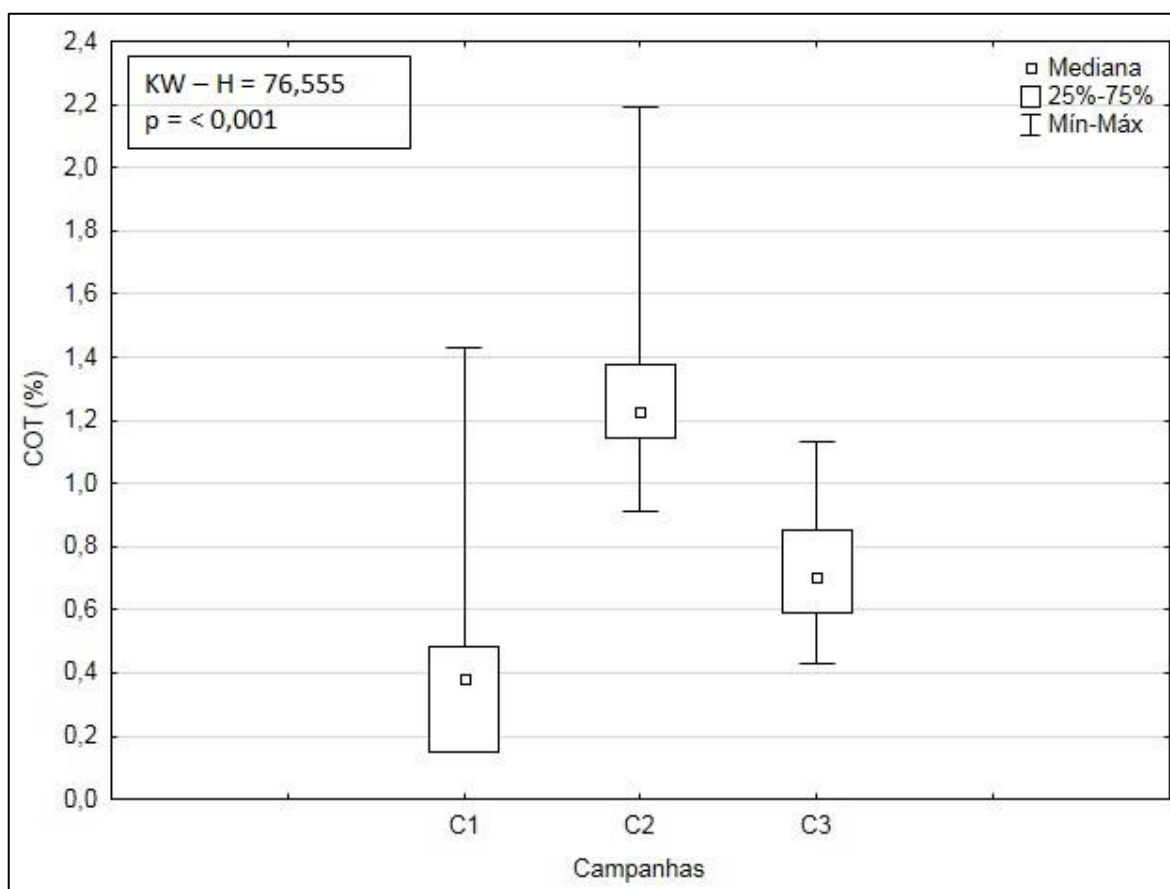
**Figura V.1-8** – Concentração média de matéria orgânica total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

Na Figura V.1-9 é apresentada a distribuição espacial de carbono orgânico total e matéria orgânica total. De maneira geral, as maiores concentrações de ambos os parâmetros foram encontradas nas estações mais distantes do poço LL-IA1.



**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 LL-IA1, Bacia de Santos.

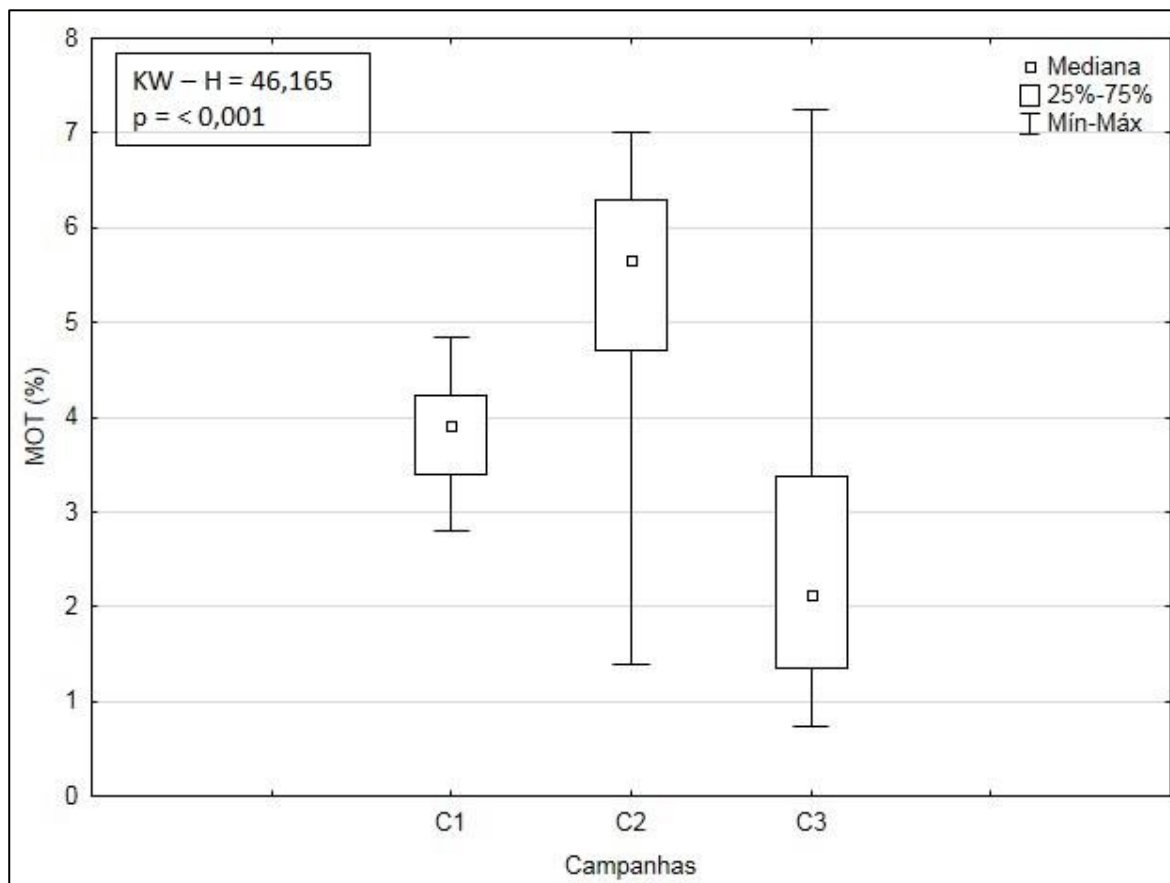
Na Figura V.1-10 são apresentadas as faixas das concentrações de carbono orgânico total obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou uma variação mais ampla e maiores valores de COT. Na comparação dos resultados de concentração de COT nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-10** – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.1-11 são apresentadas as faixas de concentração de matéria orgânica total obtidas nas amostras das três campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou uma variação mais ampla de valores e maiores concentrações de MOT. Na comparação dos

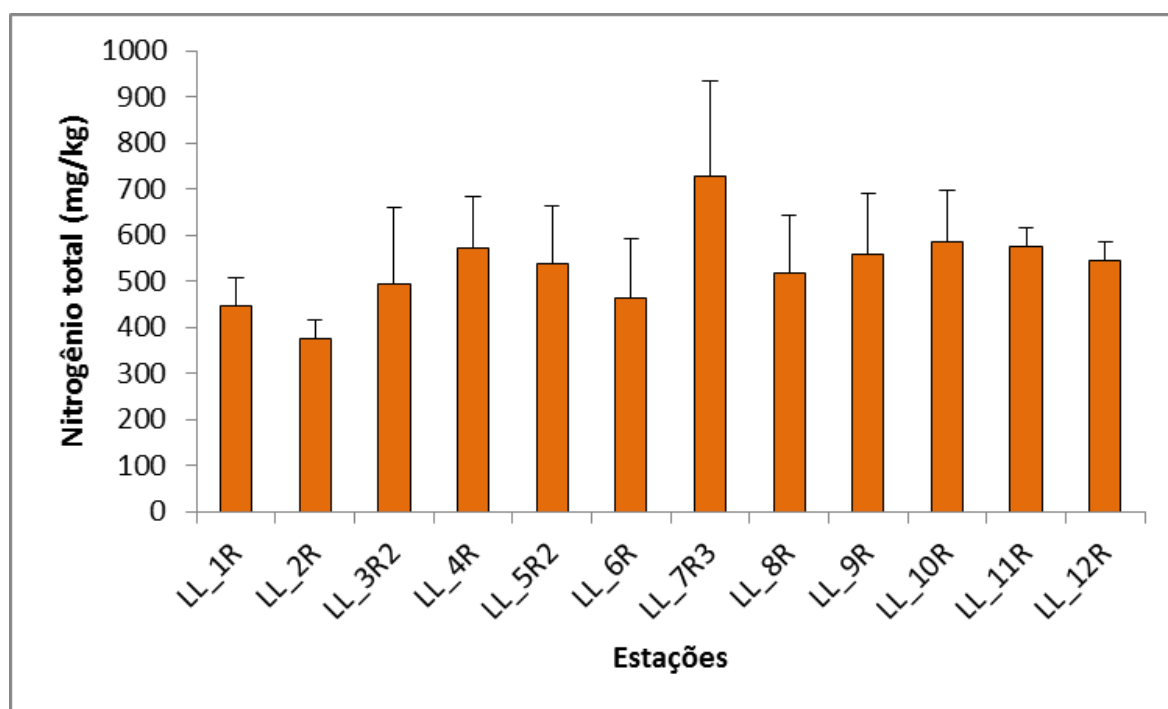
resultados de concentração de MOT nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-11** – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Como pode ser observado na Figura V.1-10 e Figura V.1-11, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas, com maiores concentrações de COT e MOT na segunda e na atual campanha de monitoramento, respectivamente. Essa diferença pode ser possivelmente explicada pelo revolvimento do sedimento durante as atividades de perfuração, disponibilizando maiores quantidades de COT e MOT para a coluna d' água e para o sedimento do entorno do ponto de perfuração.

A concentração de nitrogênio total nas amostras variou entre  $375,23 \pm 42,31$  mg/kg, na estação LL\_2R, e  $727,67 \pm 205,35$  mg/kg, na estação LL\_7R3 (Tabela V.1-6; Figura V.1-12), sendo que a concentração média entre as estações foi de  $533,41 \pm 87,15$  mg/kg. As concentrações de nitrogênio não diferiram significativamente entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ). As concentrações encontradas em estudos anteriores foram superiores as encontradas na atual campanha, com valores entre 318,80 e 3.895,74 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; PETROBRAS/HABTEC, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016), exceto a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1, que encontrou valores inferiores, variando entre 394,90 e 518,83 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a) e a primeira campanha de monitoramento do duto de Cabiúnas, que encontrou concentrações variando entre 352,50 e 620,57 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014).



**Figura V.1-12** – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

A concentração média de fósforo total foi de  $171,36 \pm 23,51$  mg/kg, com mínimo de  $123,33 \pm 13,80$  mg/kg na estação LL\_8R e máximo de  $215,00 \pm 40,29$  mg/kg na estação LL\_10R (Tabela V.1-6; Figura V.1-13). A análise estatística

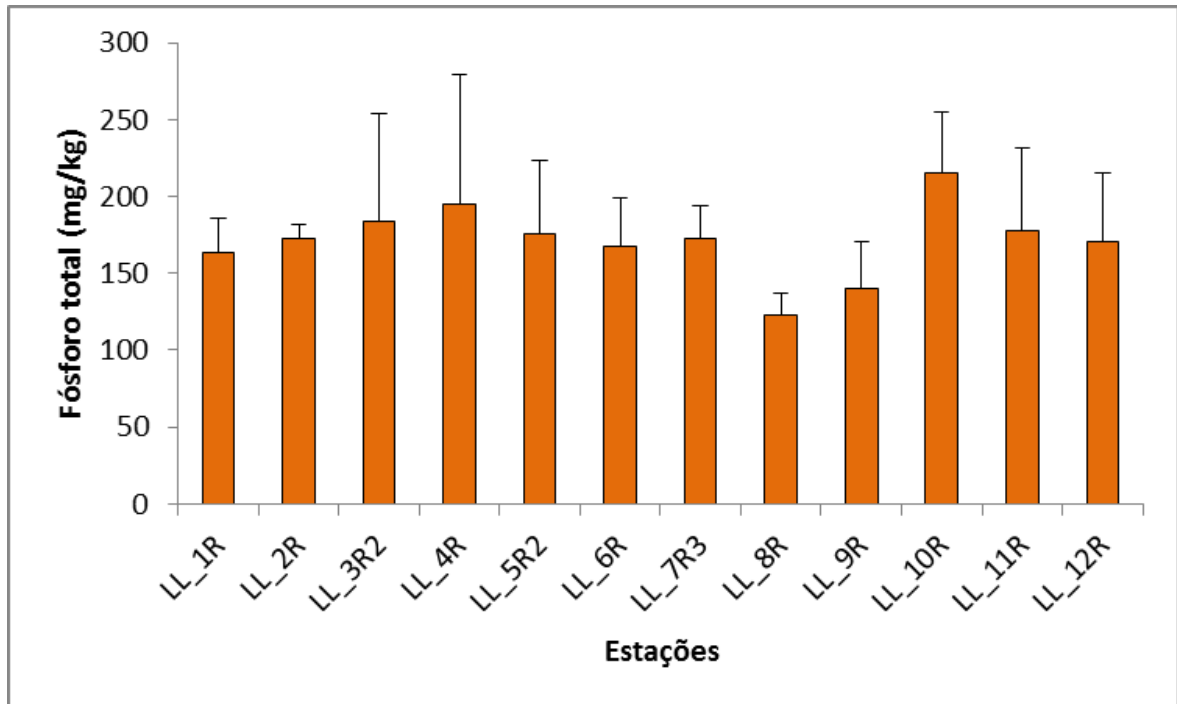
mostrou que não existem diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

**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
LL_1R	445,73	± 60,32	163,27	± 22,59
LL_2R	375,23	± 42,31	172,40	± 9,82
LL_3R2	495,00	± 163,92	183,60	± 70,21
LL_4R	570,93	± 114,37	195,27	± 84,02
LL_5R2	539,73	± 122,85	175,80	± 47,40
LL_6R	464,80	± 127,72	167,37	± 31,37
LL_7R3	727,67	± 205,35	172,33	± 21,78
LL_8R	517,40	± 125,06	123,33	± 13,80
LL_9R	558,77	± 131,27	139,67	± 30,99
LL_10R	585,00	± 110,90	215,00	± 40,29
LL_11R	575,53	± 40,33	177,67	± 53,50
LL_12R	545,17	± 39,20	170,67	± 45,06

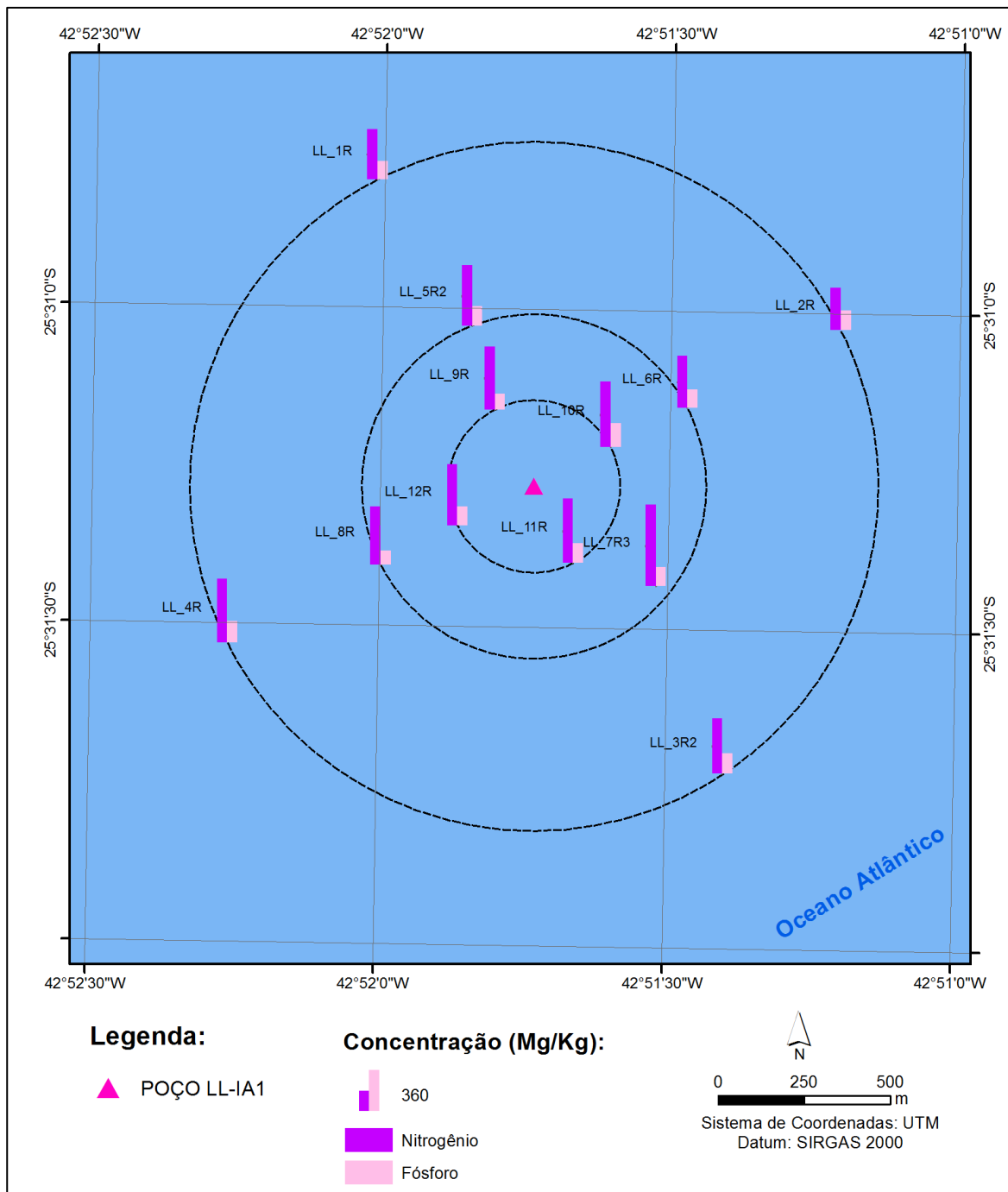
Em comparação com os dados pretéritos da região, os valores obtidos nesta campanha foram em geral menores que os relatados para os estudos anteriores, que encontraram valores entre 90,20 e 738,23 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016), exceto a primeira campanha de monitoramento do duto de Cabiúnas, que encontrou valores inferiores, variando entre 164,67 e 171 mg/kg, e a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1, que encontrou concentrações entre 57,67 e 83,03 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a). 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, também encontraram concentrações de fósforo total maiores que os encontrados nesse estudo, variando entre 40 e 583 mg/kg.





**Figura V.1-13** – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

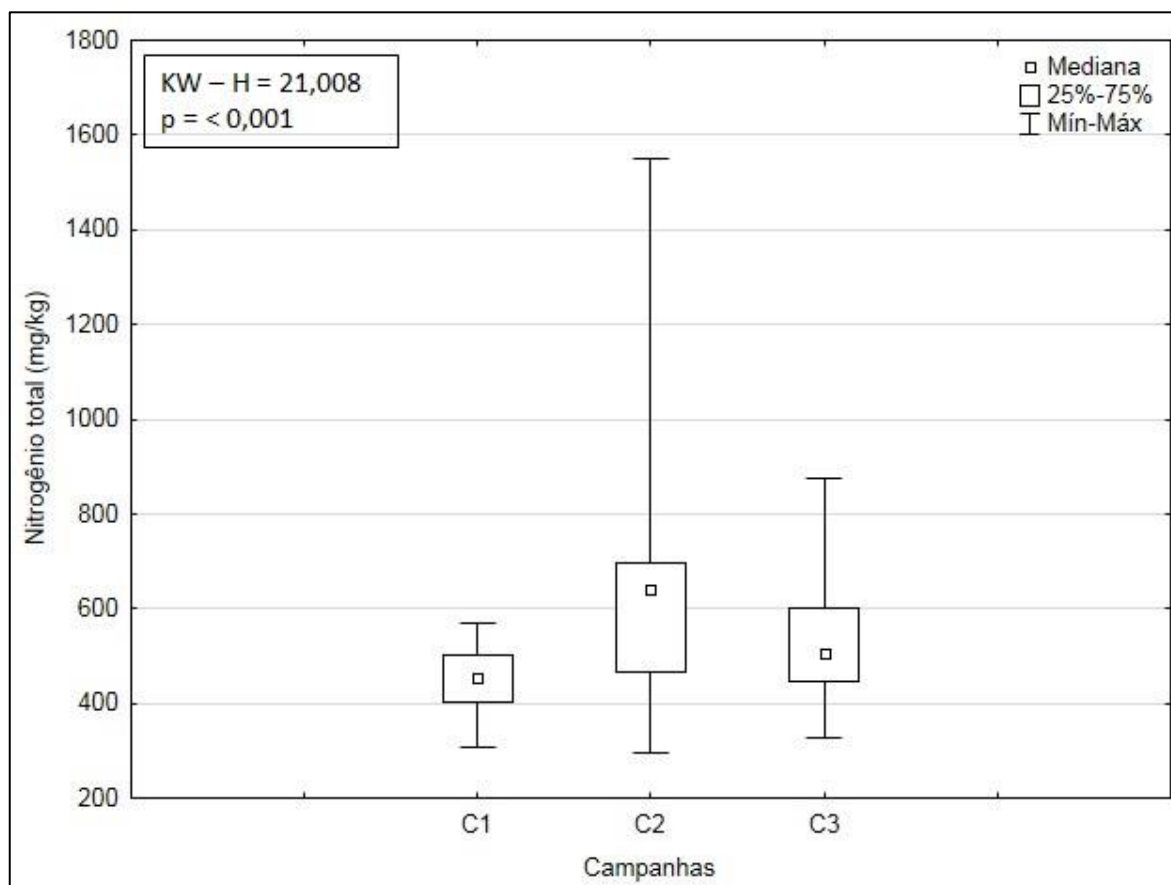
Não foi observado um padrão de distribuição espacial das concentrações de nitrogênio e fósforo totais, mas de maneira geral maiores concentrações foram observadas nas estações mais próximas do poço LL-IA1 (Figura V.1-14).



**Figura V.1-14 – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos**

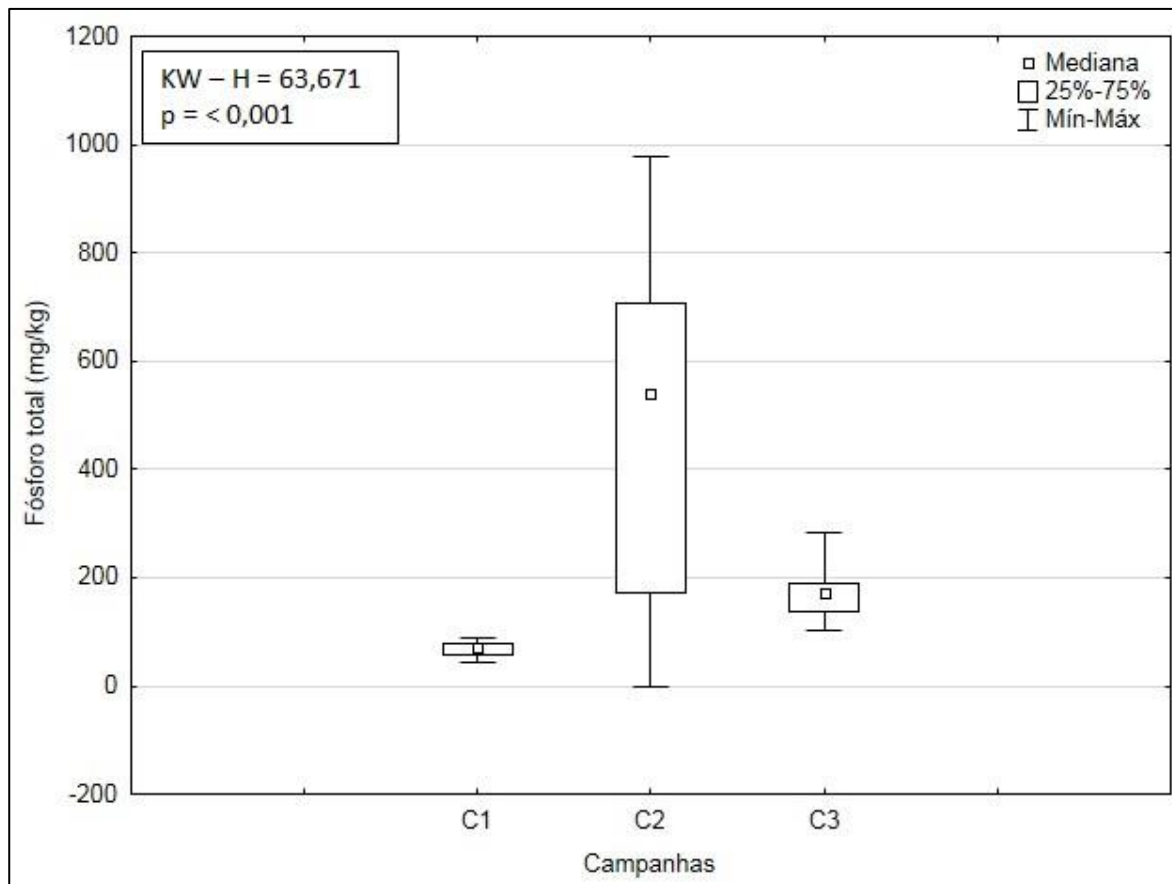
Na Figura V.1-15 são apresentadas as faixas das concentrações de nitrogênio total obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de nitrogênio total. Na comparação dos resultados de concentração de nitrogênio total nas

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



**Figura V.1-15** – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.1-16 são apresentadas as faixas de concentração de fósforo total obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de fósforo total. Na comparação dos resultados de concentração de fósforo 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.1-16** – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

### V.1.3 - Metais

Um dos maiores problemas entre os contaminantes marinhos é a presença de metais traço (metais em baixa concentração), pois apresentam, ao mesmo tempo, toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar (MARINS *et al.*, 2002). Essas características fazem com que a presença, mobilidade e disponibilidade de metais em sedimentos sejam motivo de grande preocupação, pois sua presença nos sedimentos é uma garantia de persistência de contaminação durante longos períodos (WASSERMAN & WASSERMAN, 2008).

As concentrações de metais podem ter diversas origens, tais como intemperismo das rochas e fragmentos de rochas em leitos de rios; precipitação

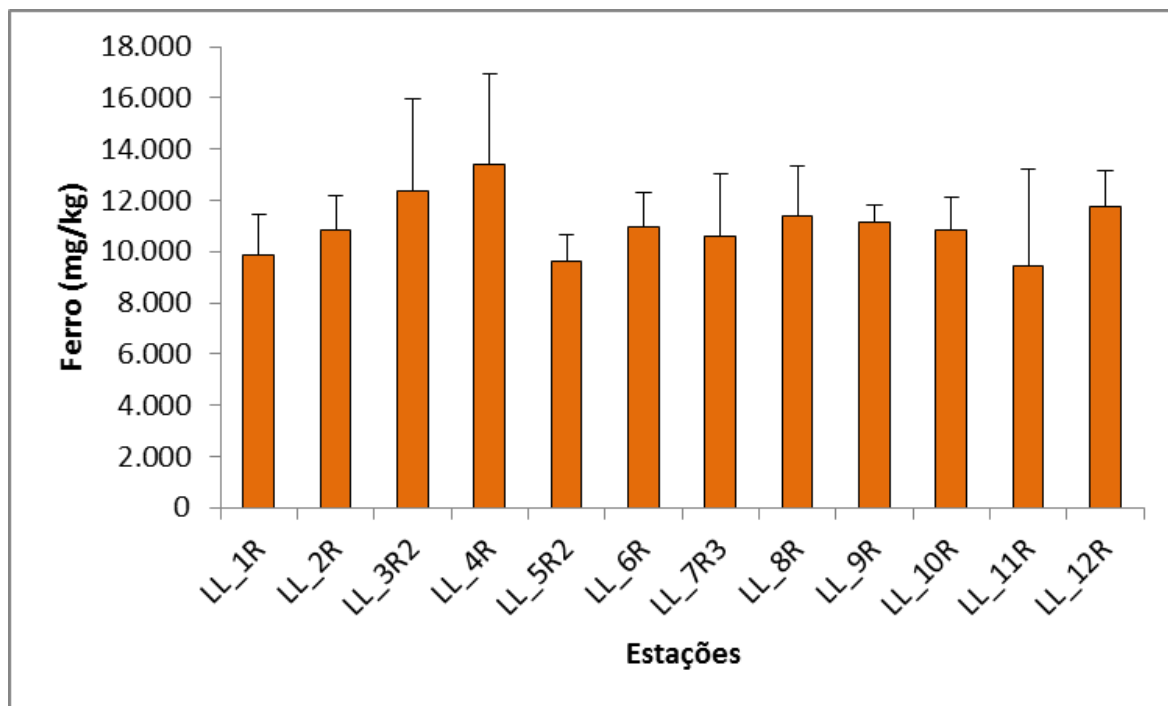
ou solubilização de substâncias adsorvidas com consequentes mudanças das características físico-químicas das águas; originadas de resíduos biológicos e produtos de decomposição de substâncias orgânicas; originados de conchas calcárias e silicosas; originados da precipitação atmosférica próxima às áreas urbanas e industriais; e decorrentes de processos de descarga dos dejetos urbano-industriais (AGUIAR NETO *et al.*, 2007).

Outras fontes de metais podem ser relacionadas com fases de um empreendimento de exploração de petróleo e gás, e variabilidades espaciais e temporais precisam ser observadas e controladas em regiões onde ocorrem perfurações de poços (PULGATI *et al.*, 2005).

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 pelo elemento chumbo, além de cádmio e mercúrio que não foram detectados.

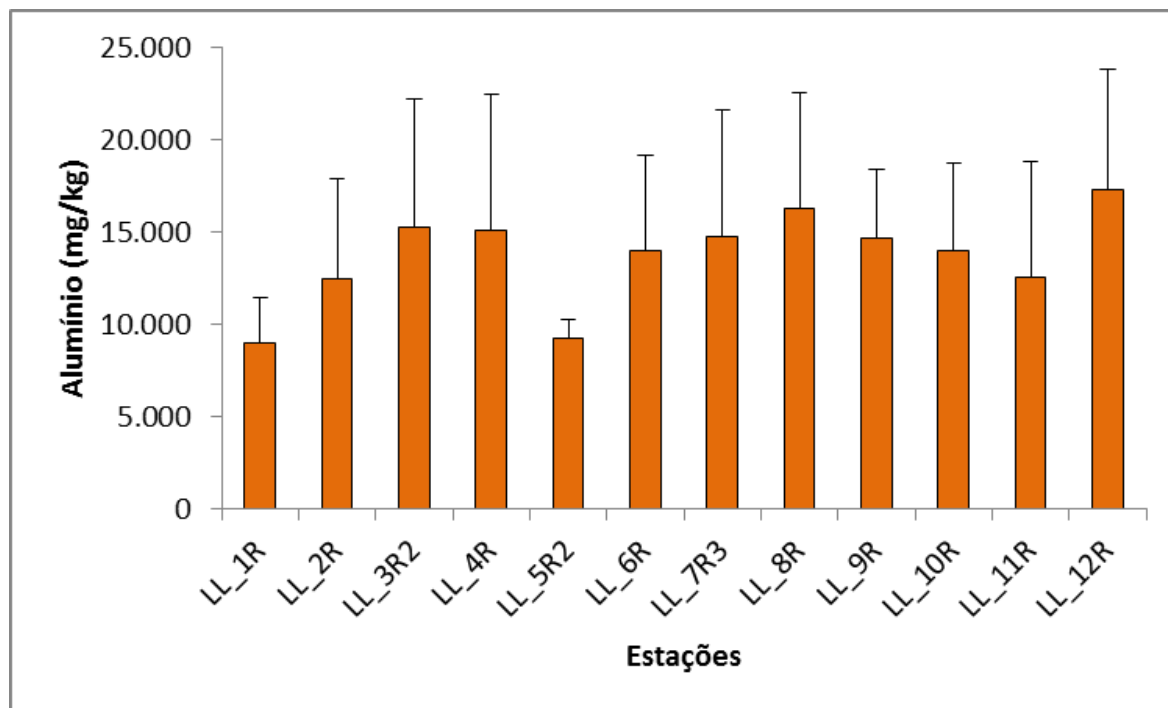
Dessa forma, a sequência de concentrações obtida na presente campanha foi a seguinte: Al > Fe > Mn > Ba > Zn > V > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd > Hg. Esta sequência segue, em geral, o padrão encontrado em estudos anteriores na região, exceto pelo alumínio, que apresentou maiores concentrações que o ferro (PETROBRAS/ANALITYCAL SOLUTIONS, 2002, 2010, 2012; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2016), além de ser a distribuição esperada para ambientes naturais (LACERDA & MARINS, 2006).

A concentração média de ferro nas estações amostradas foi de  $11.021,67 \pm 1.134,97$  mg/kg, com mínimo de  $9.470 \pm 3.748,69$  mg/kg em LL\_11R e máximo de  $13.400 \pm 3.553,87$  mg/kg em LL\_4R (Tabela V.1-7; Figura V.1-17). O baixo valor do desvio padrão indica que a concentração de ferro é homogênea entre as estações, o que é corroborado pelo fato de que não foram identificadas diferenças significativas na concentração de ferro entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-17** – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

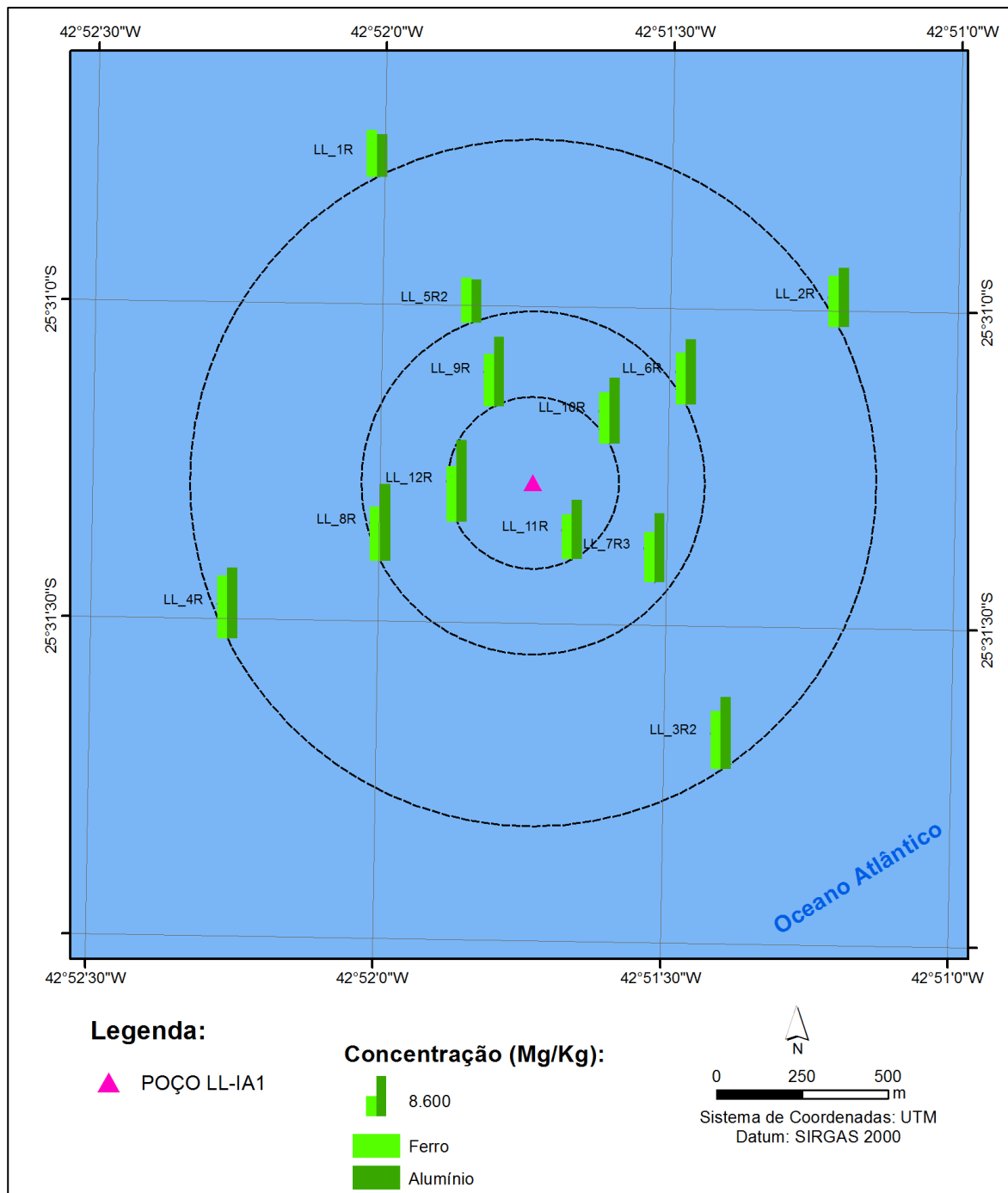
As concentrações de alumínio variaram entre  $8.963,33 \pm 2.453,33$  mg/kg, na estação LL\_1R, e  $17.230 \pm 6.512,89$  mg/kg, na estação LL\_12R (Tabela V.1-7; Figura V.1-18). A média entre as estações foi de  $13.687,78 \pm 2.545,53$  mg/kg e não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-18** – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, 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 de estudos anteriores na Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2010, 2012; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2016), exceto em relação à primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e à primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, para ambos os metais, que mostraram valores inferiores aos encontrados na atual campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b) e para as estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, que apresentaram menores valores para o alumínio em relação a atual campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014) (Tabela V.1-9).

Após a realização dos testes estatísticos e 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, com tendência de maiores concentrações no eixo nordeste-sudoeste.

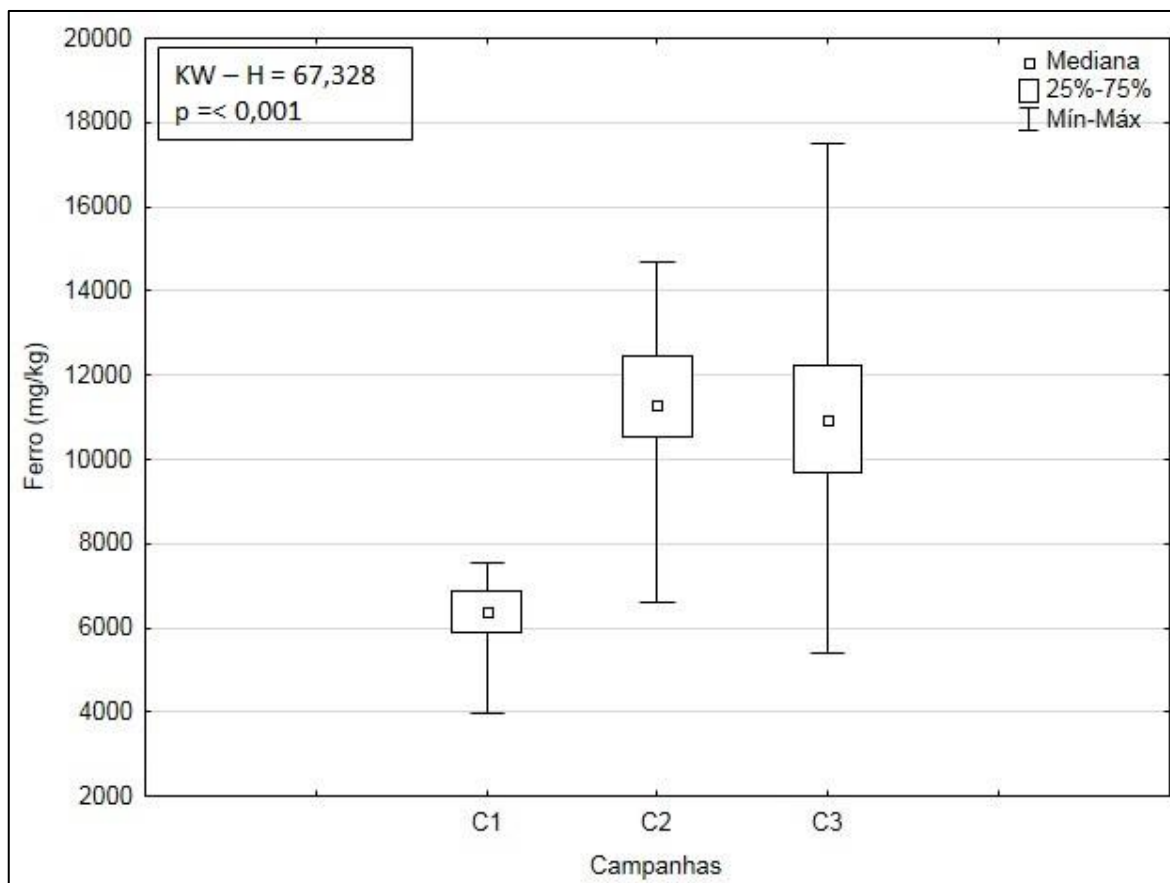


**Figura V.1-19** – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-20 são apresentadas as faixas das concentrações de ferro obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou maiores valores de ferro. Na comparação dos resultados de concentração de ferro nas campanhas foram detectadas

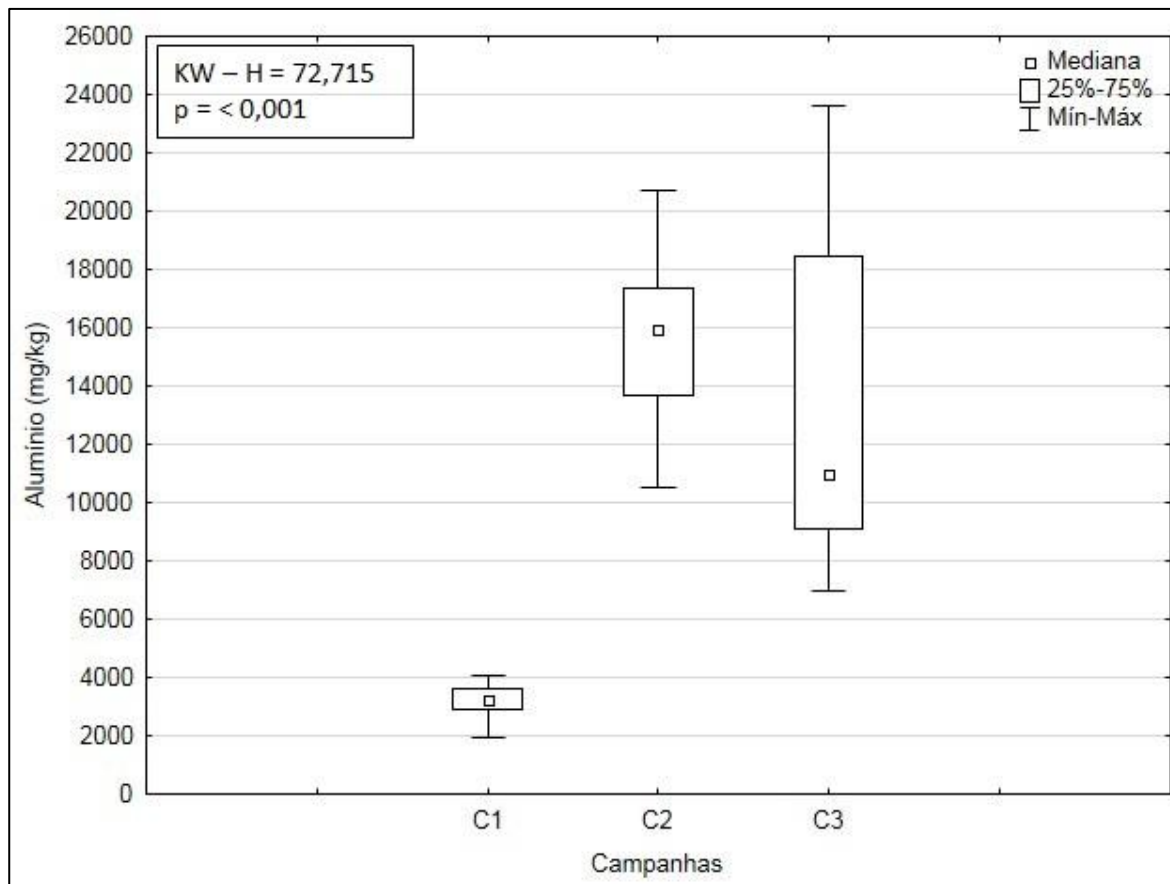


diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-20** – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

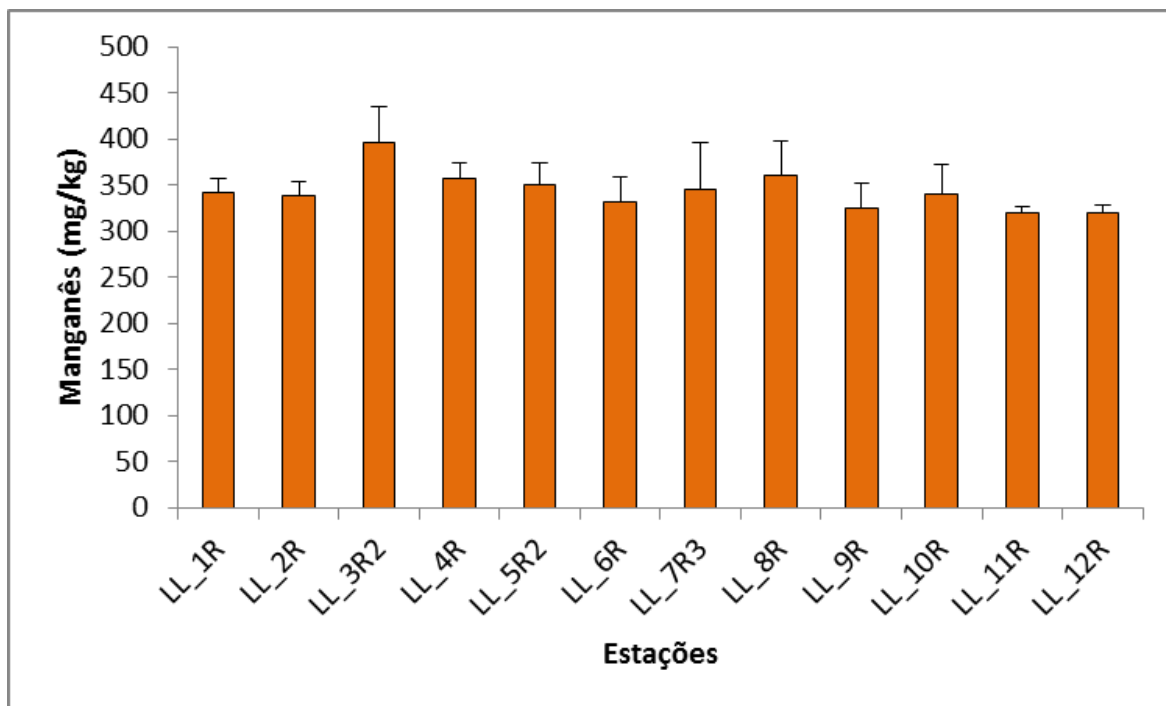
Na Figura V.1-21 são apresentadas as faixas de concentração de alumínio obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 3ª campanha apresentou concentração de alumínio máxima bem superior à máxima da 1ª campanha. Na comparação dos resultados de concentração de alumínio nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A primeira campanha diferiu significativamente das demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-21** – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

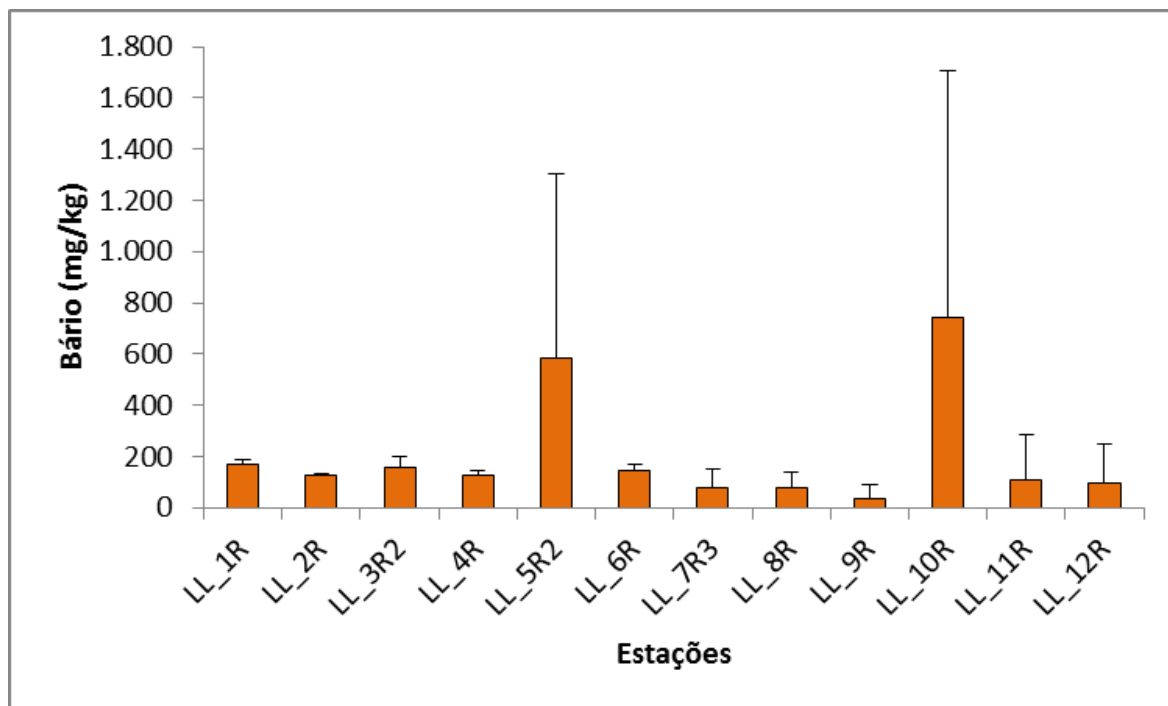
A concentração média de manganês foi de  $343,64 \pm 21,24$  mg/kg, cujo valor mínimo observado foi de  $319,33 \pm 8,74$  mg/kg, na estação LL\_12R, e máximo de  $395,67 \pm 39,40$  mg/kg, na estação LL\_3R2 (Tabela V.1-7; Figura V.1-22). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

As concentrações de manganês obtidas neste estudo mostram-se inferiores em relação aos dados dos estudos anteriores na Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2010, 2012; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2016) apresentados na Tabela V.1-9. A única exceção foram os dados encontrados na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, que encontrou valores inferiores aos da atual campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b).



**Figura V.1-22** – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

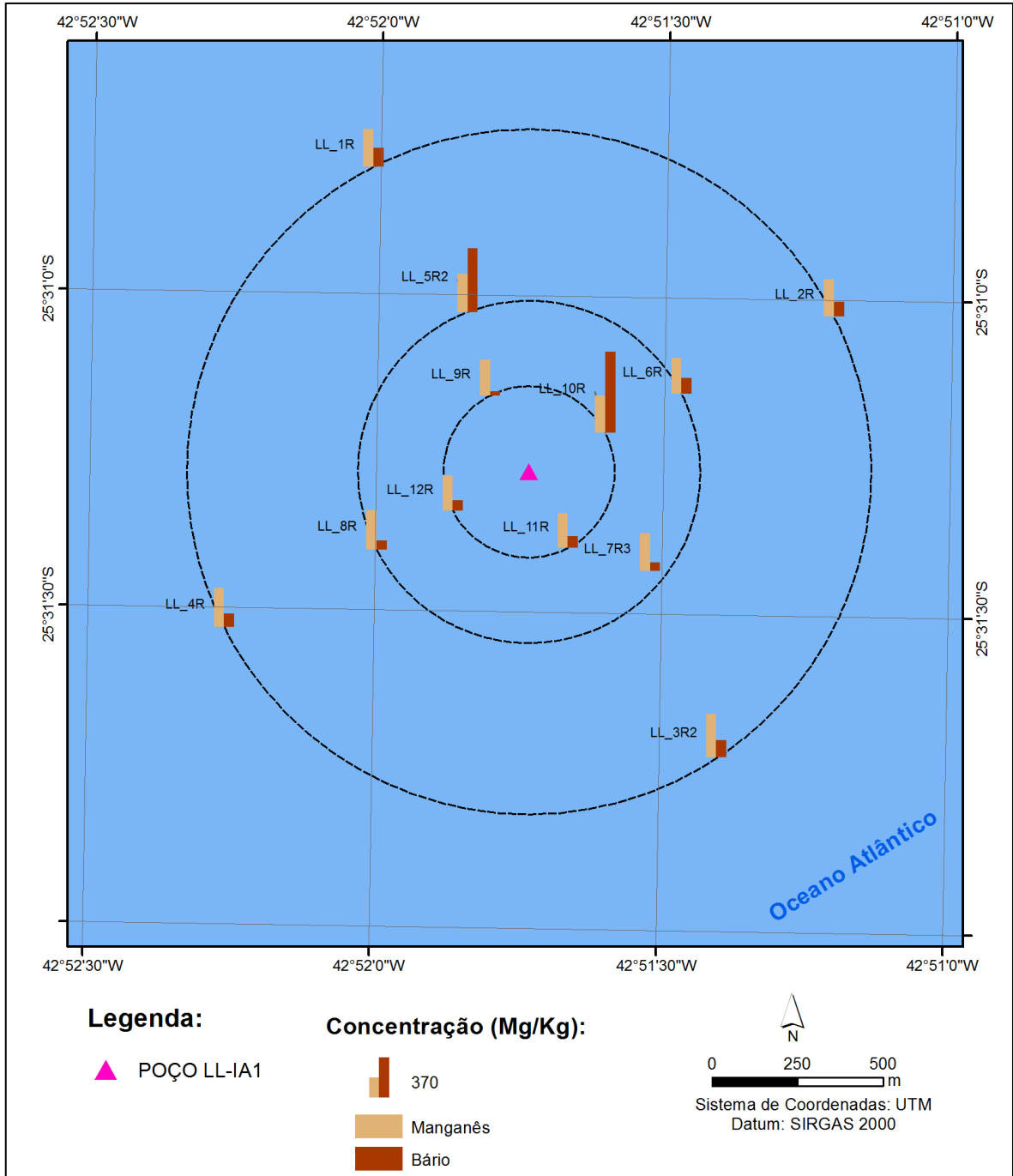
As concentrações de bário variaram de  $35,65 \pm 54,62$  mg/kg, na estação LL\_9R, até  $742,33 \pm 962,64$  mg/kg, na estação LL\_10R, sendo que a média entre as estações foi de  $204,67 \pm 220,54$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-23). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-23** – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de bário observadas foram muito superiores aos dados pretéritos já citados para a região de estudo (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2010, 2012; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a), exceto em relação à segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, que encontraram valores superiores (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016) (Tabela V.1-9).

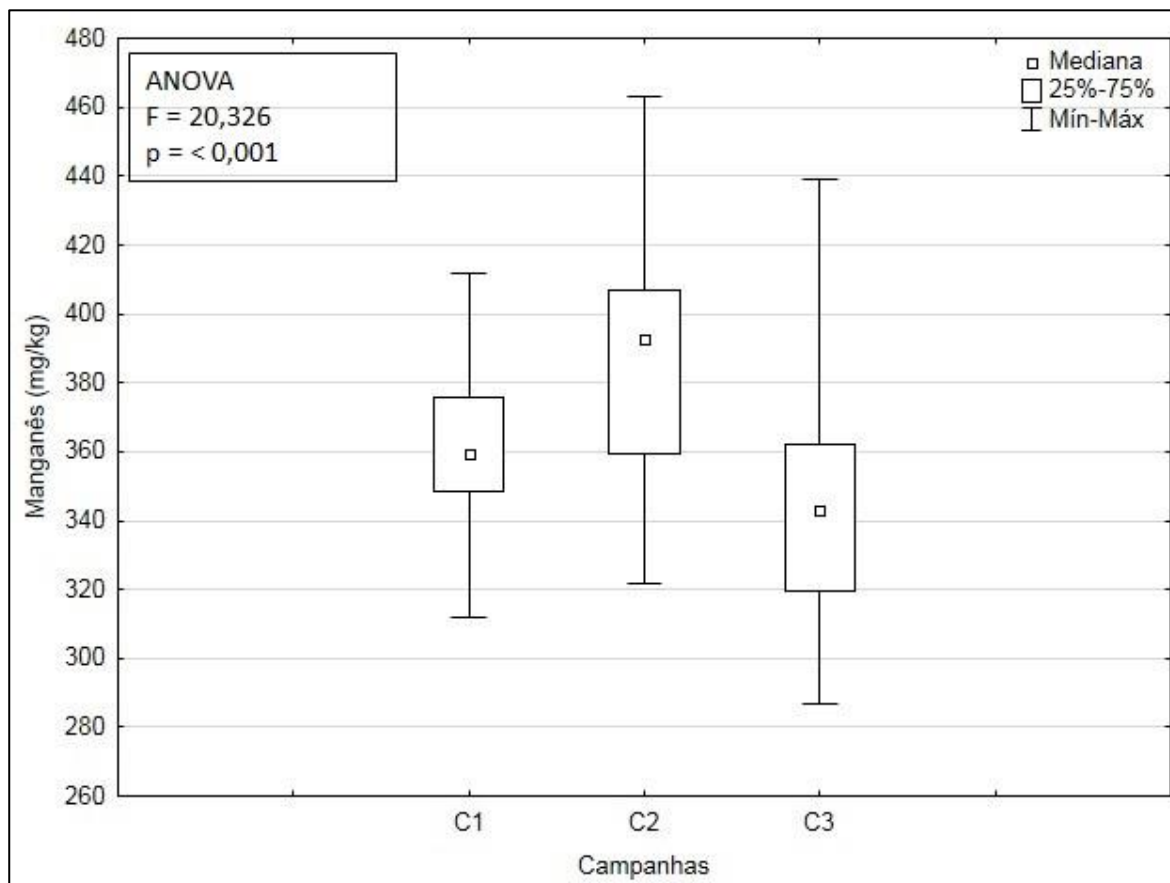
A análise da distribuição espacial das concentrações de manganês e bário não permitiu a visualização de um padrão de distribuição, mas observam-se maiores concentrações de bário na estação LL\_10R (Figura V.1-24).



**Figura V.1-24 – Distribuição espacial das concentrações de manganês e bário (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.**

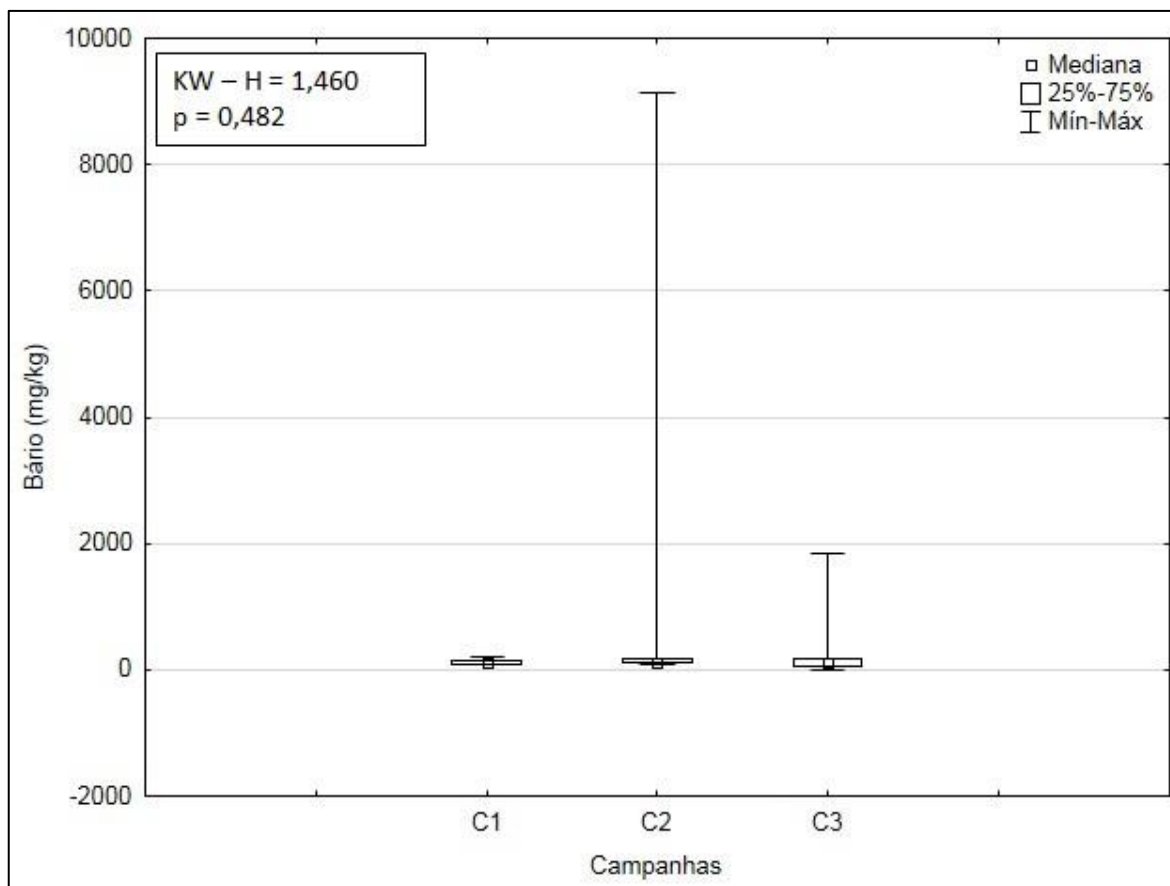
Na Figura V.1-25 são apresentadas as faixas das concentrações de manganês obtidas nas amostras das três campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de concentração. Na comparação dos resultados de concentração de manganês nas

campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Foram encontradas diferenças significativas entre todas as campanhas (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-25** – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.1-26 são apresentadas as faixas das concentrações de bário obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou maiores valores de bário. Na comparação dos resultados de concentração de bário nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre elas (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

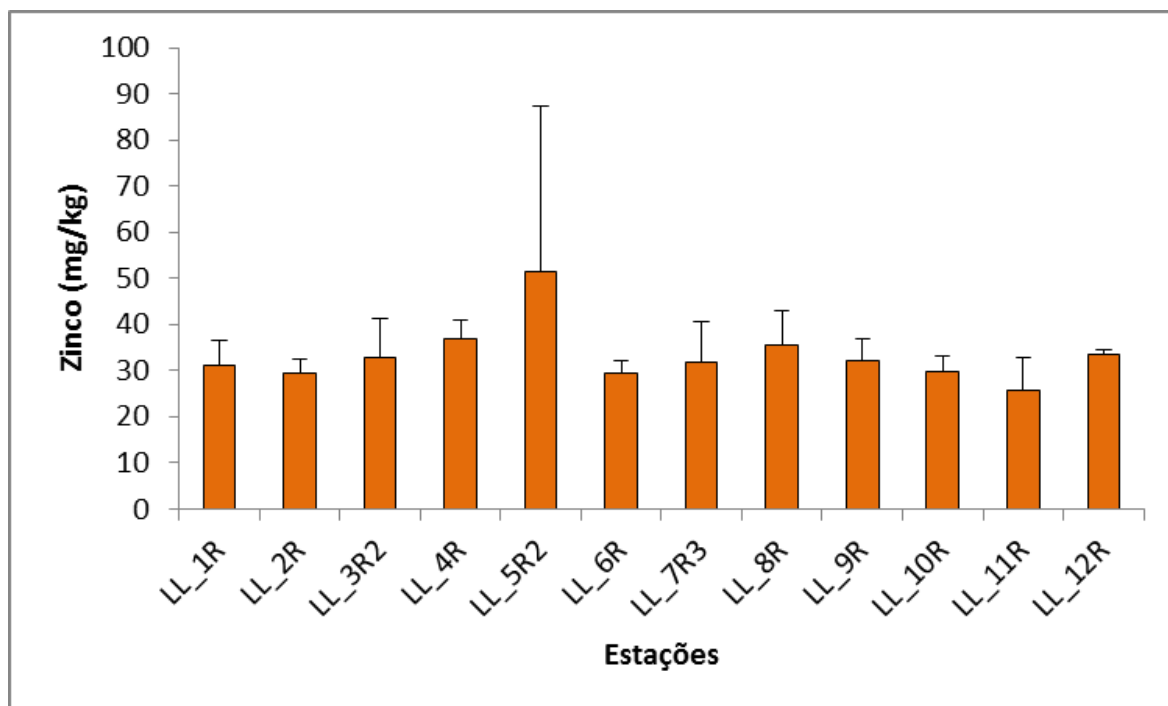


**Figura V.1-26** – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

A concentração média de zinco foi de  $33,33 \pm 6,47$  mg/kg, com mínimo de  $25,80 \pm 6,88$  mg/kg na estação LL\_11R, e  $51,60 \pm 35,62$  mg/kg, na estação LL\_5R2 (Tabela V.1-7; Figura V.1-27). 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. As concentrações de zinco não apresentaram diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

As concentrações de zinco observadas foram inferiores aos dados pretéritos já citados para a região de estudo (PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012), semelhantes aos dados encontrados nas estações mais profundas do duto de Cabiúnas, na primeira campanha de monitoramento do Piloto de Lula e na segunda campanha de

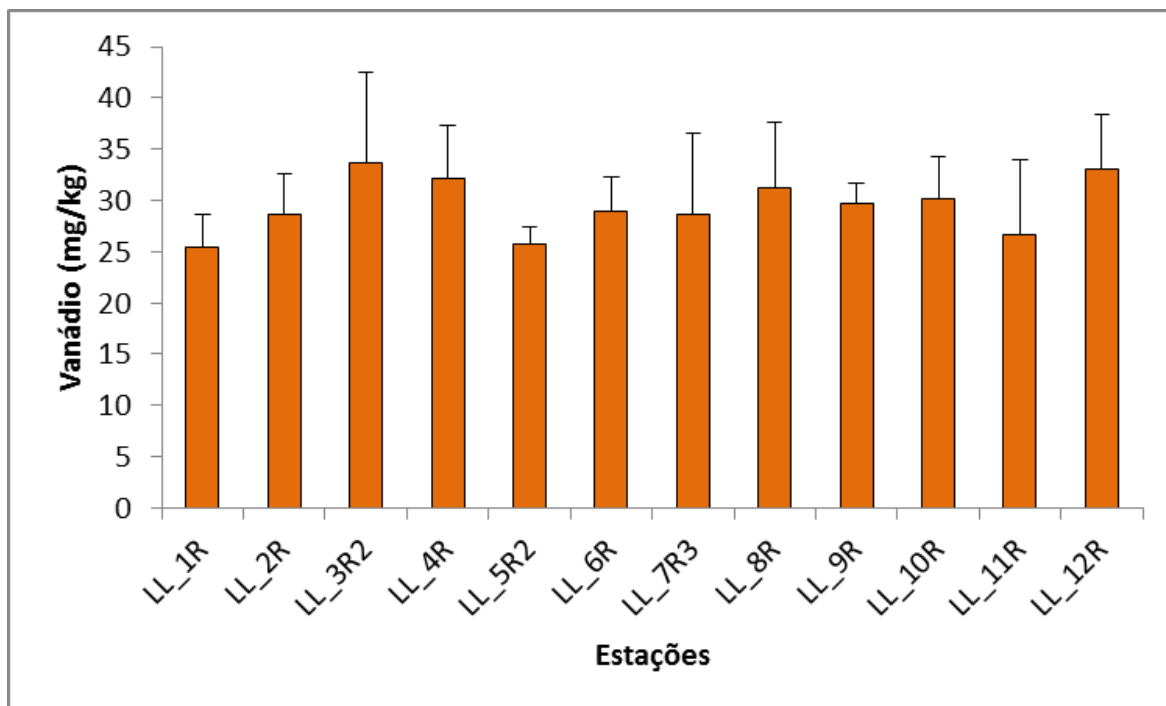
monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014; 2016; PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), e superiores aos dados encontrados na caracterização da Bacia de Santos, na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b) (Tabela V.1-9).



**Figura V.1-27** – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de vanádio variaram entre  $25,37 \pm 3,23$  mg/kg na estação LL\_1R, e  $33,67 \pm 8,87$  mg/kg na estação LL\_3R2, sendo que a média das estações foi de  $29,49 \pm 2,72$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-28). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

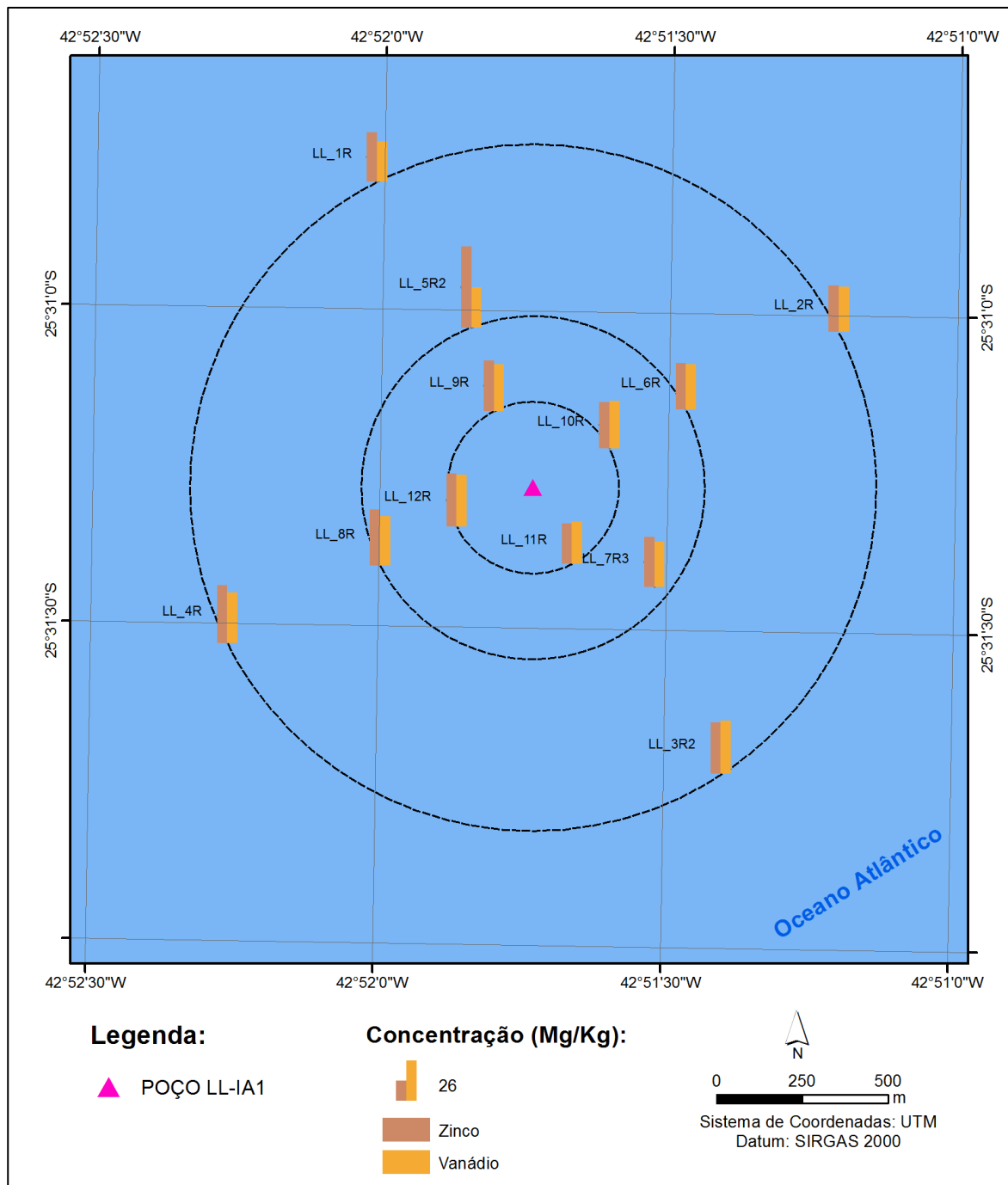




**Figura V.1-28** – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de vanádio encontradas no atual monitoramento foram inferiores em relação às concentrações encontradas em estudos anteriores realizados por Petrobras/Analytical Solutions (2010, 2012), Petrobras/Habtec (2003), semelhantes aos encontrados por Petrobras/Bourscheid (2014, 2016), e superiores aos encontrados por Petrobras/Analytical Solutions (2002) e Petrobras/Bourscheid (2015a, 2015b), apresentados na Tabela V.1-9.

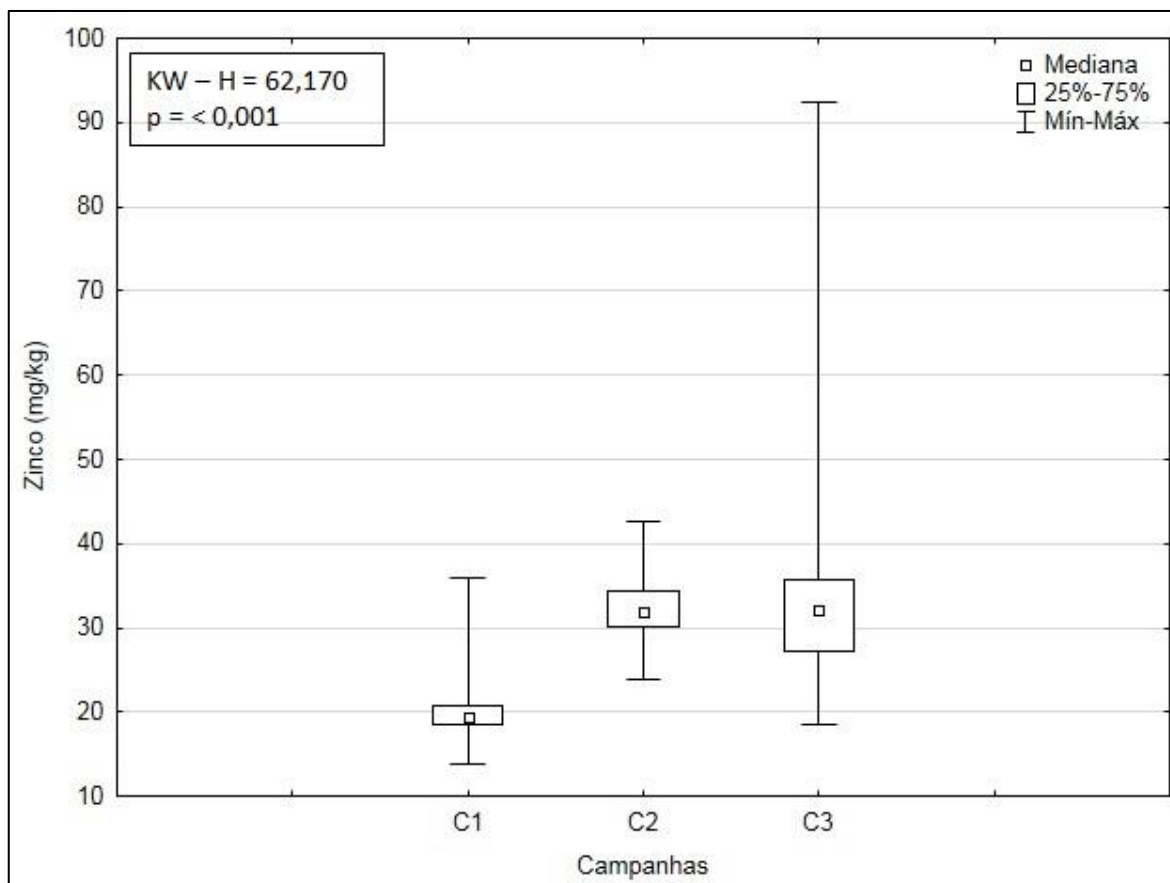
Não foi verificado um padrão na distribuição espacial destes dois parâmetros (Figura V.1-29).



**Figura V.1-29** – Distribuição espacial das concentrações de zinco e vanádio (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

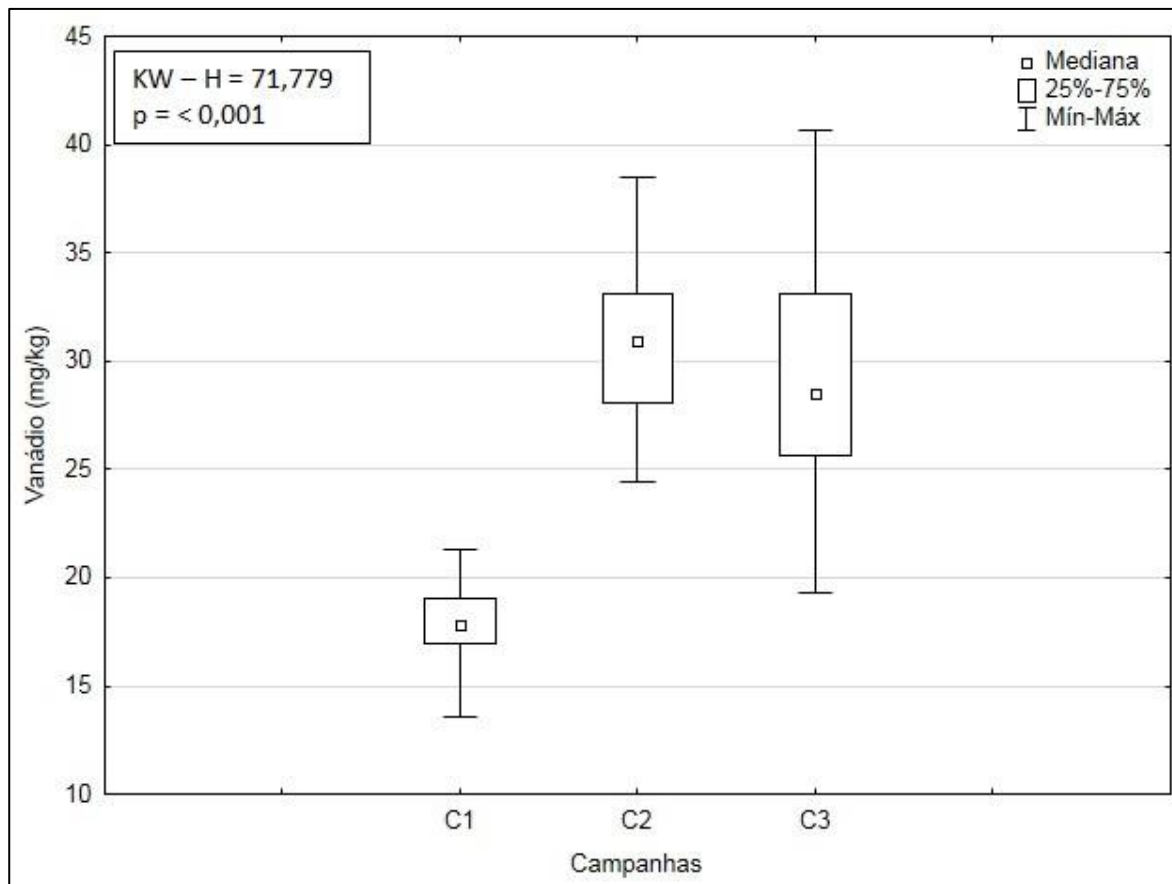
Na Figura V.1-30 são apresentadas as faixas de concentração de zinco obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a atual campanha mostrou maiores concentrações. Na comparação dos resultados de concentração de zinco nas campanhas foram detectadas diferenças

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



**Figura V.1-30** – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.1-31 são apresentadas as faixas das concentrações de vanádio obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 3ª campanha apresentou maiores valores e maior variação nos valores de concentração de vanádio. Na comparação dos resultados de concentração de vanádio das campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).

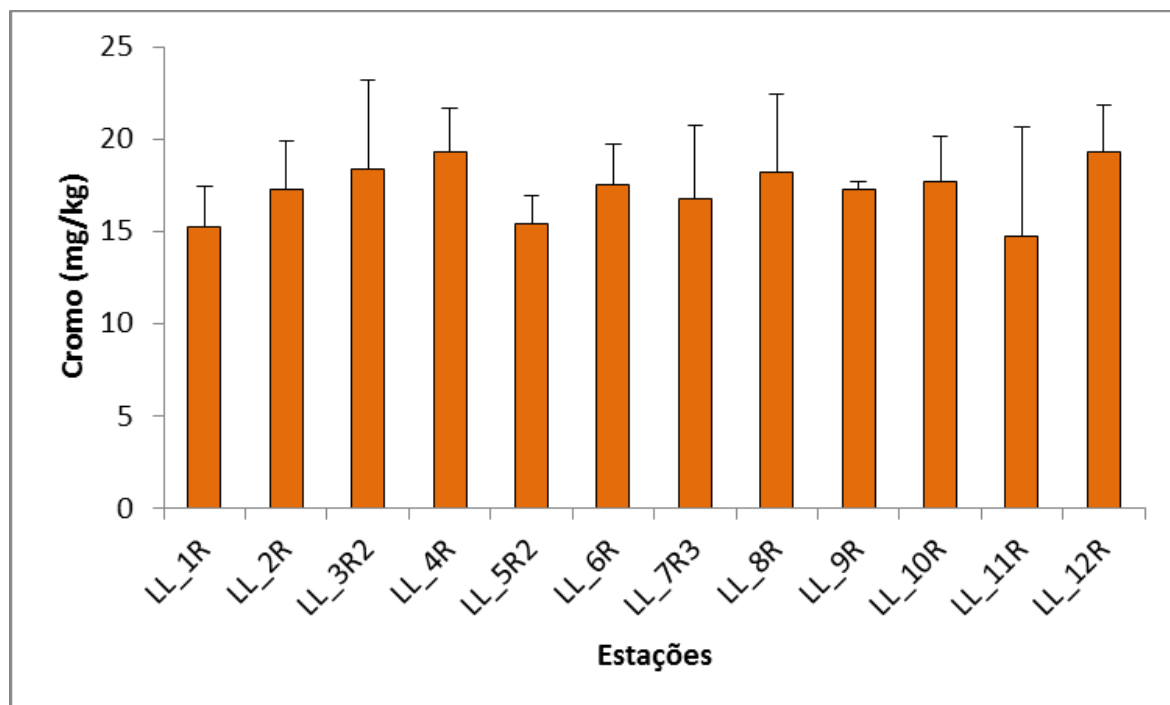


**Figura V.1-31** – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

As concentrações de cromo observadas resultaram em uma concentração média de  $17,25 \pm 1,49$  mg/kg, com mínimo de  $14,75 \pm 5,87$  mg/kg na estação LL\_11R e máximo de  $19,30 \pm 2,36$  mg/kg, na estação LL\_4R (Tabela V.1-7; Figura V.1-32). Não houve diferença significativa nas concentrações de cromo entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).

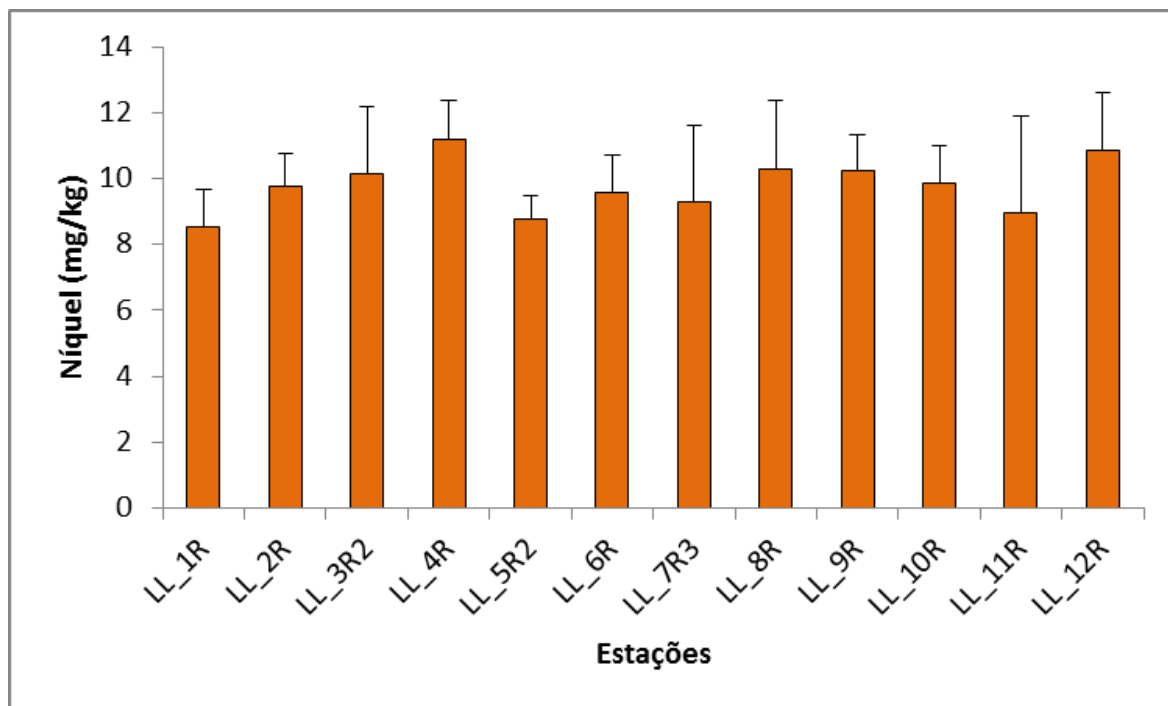
A Resolução CONAMA nº 454/12 define que a concentração limite de cromo para sedimentos marinhos nível 1 é de 81 mg/kg, considerando o objetivo da referida resolução, que é classificar a qualidade de sedimentos costeiros passíveis de serem dragados, as concentrações encontradas na atual campanha estão abaixo do limite estabelecido. Embora a área abrigue diversos empreendimentos antrópicos no entorno, como por exemplo, o duto de Cabiúnas e o duto de Tupi-Mexilhão, que poderiam influenciar na concentração deste metal,

todos os valores encontrados nesta campanha estiveram bem abaixo do limite estabelecido pela legislação.



**Figura V.1-32** – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

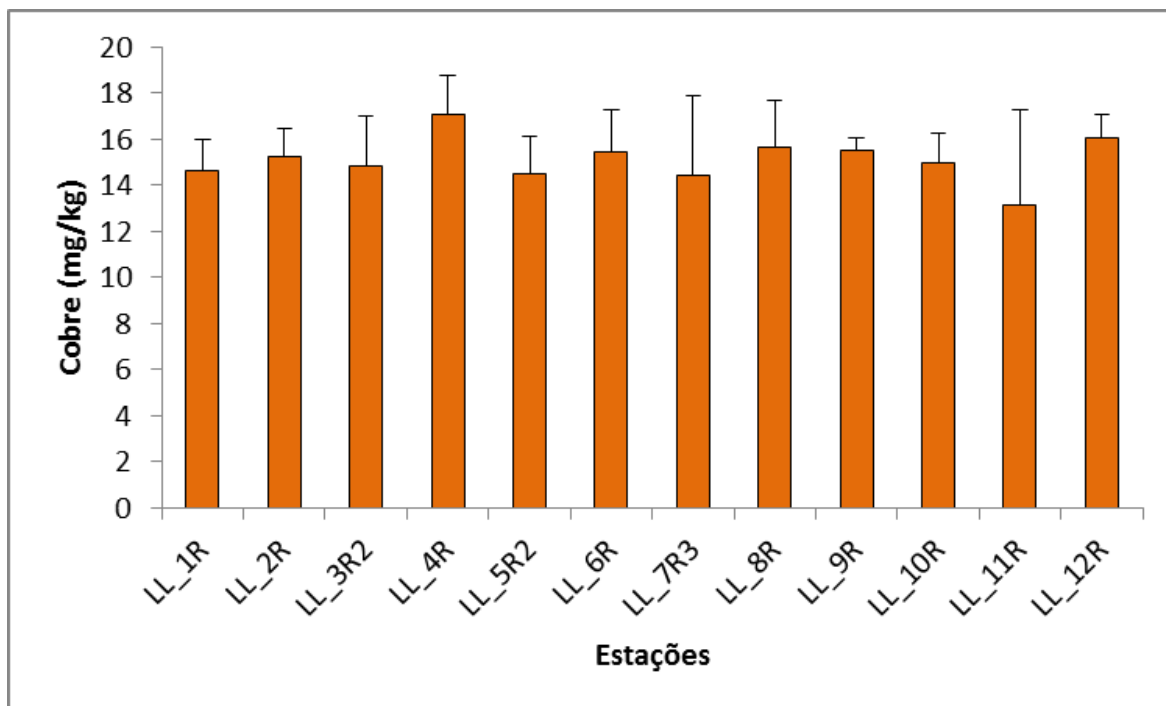
As concentrações de níquel variaram entre  $8,55 \pm 1,11$  mg/kg, na estação LL\_1R e  $11,17 \pm 1,19$  mg/kg, na estação LL\_4R. A média entre as estações foi de  $9,79 \pm 0,80$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-33). Não foram encontradas diferenças significativas entre as estações amostradas (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-33** – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cromo encontradas no atual monitoramento foram inferiores em relação às concentrações encontradas por Petrobras/Habtec (2003) e Petrobras/Analytical Solutions (2010, 2012), superiores as encontradas por Petrobras/Analytical Solutions (2002) e Petrobras/Bourscheid (2014, 2015a, 2015b) e semelhantes as encontradas por Petrobras/Bourscheid (2016). Já as concentrações de níquel foram inferiores em relação aos dados anteriores, exceto em relação às estações mais profundas do duto de Cabiúnas e a segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, que apresentaram valores semelhantes (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2016) e a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e a primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, que apresentaram valores inferiores em relação a atual campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b) (Tabela V.1-9).

As concentrações de cobre apresentaram mínimo de  $13,17 \pm 4,12$  mg/kg na estação LL\_11R, e máximo de  $17,03 \pm 1,71$  mg/kg, na estação LL\_4R, com média de  $15,11 \pm 0,96$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-34). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA,  $p > 0,05$ ).



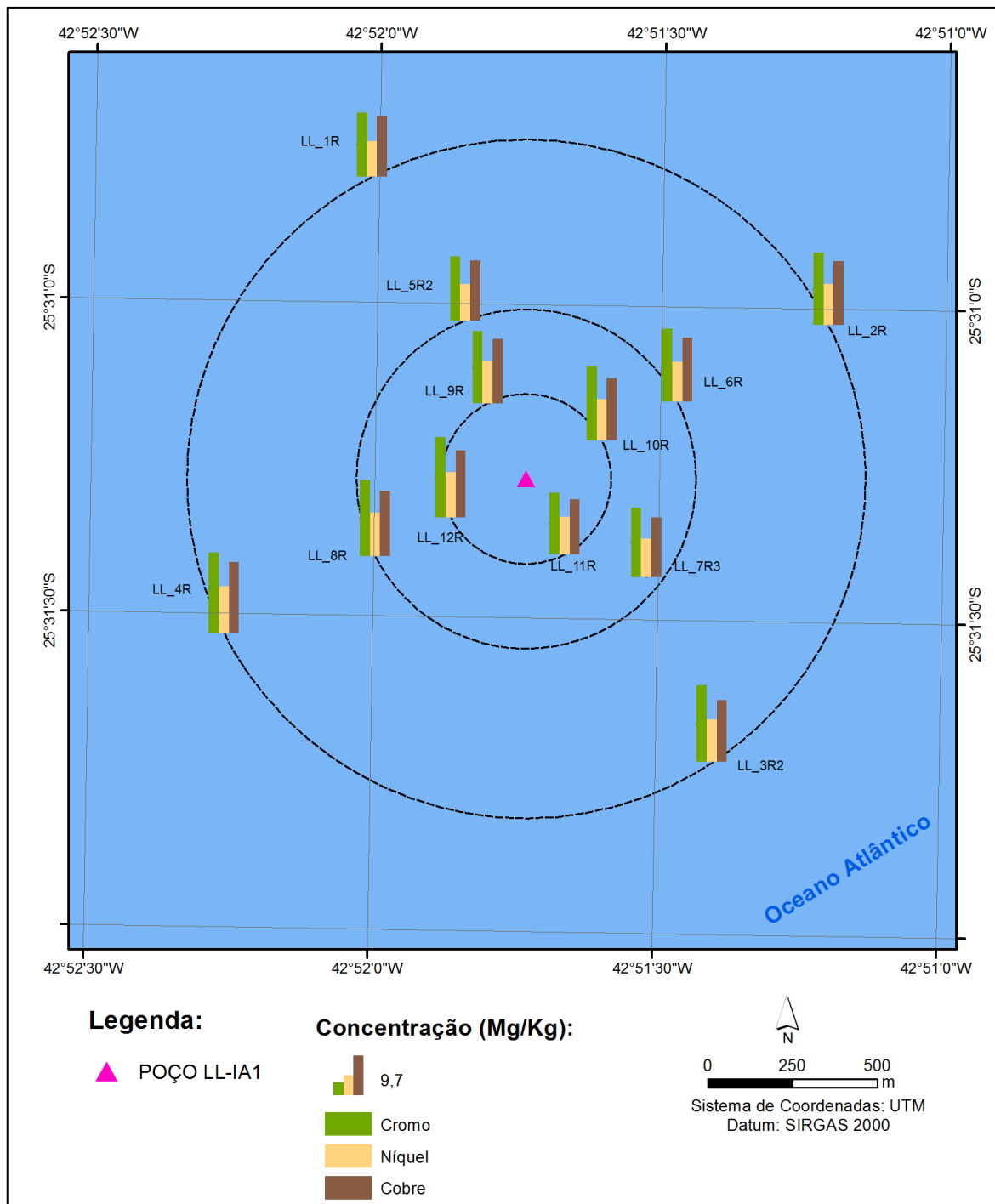
**Figura V.1-34** – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cobre mostram-se distintas das concentrações encontradas em estudos anteriores na região. As concentrações observadas na atual campanha foram superiores em relação aos valores encontrados na caracterização da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002), nas estações mais profundas do duto de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014) e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a), inferiores em relação aos valores encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003) e nas estações mais profundas das duas primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Lula (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012) e semelhantes às concentrações encontradas na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2016). Os resultados dos estudos anteriores são apresentados na Tabela V.1-9. 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.

A análise da distribuição espacial das concentrações destes metais (Figura V.1-35) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme destes metais entre as estações, com maiores concentrações de cromo, níquel e cobre na estação LL\_4R.

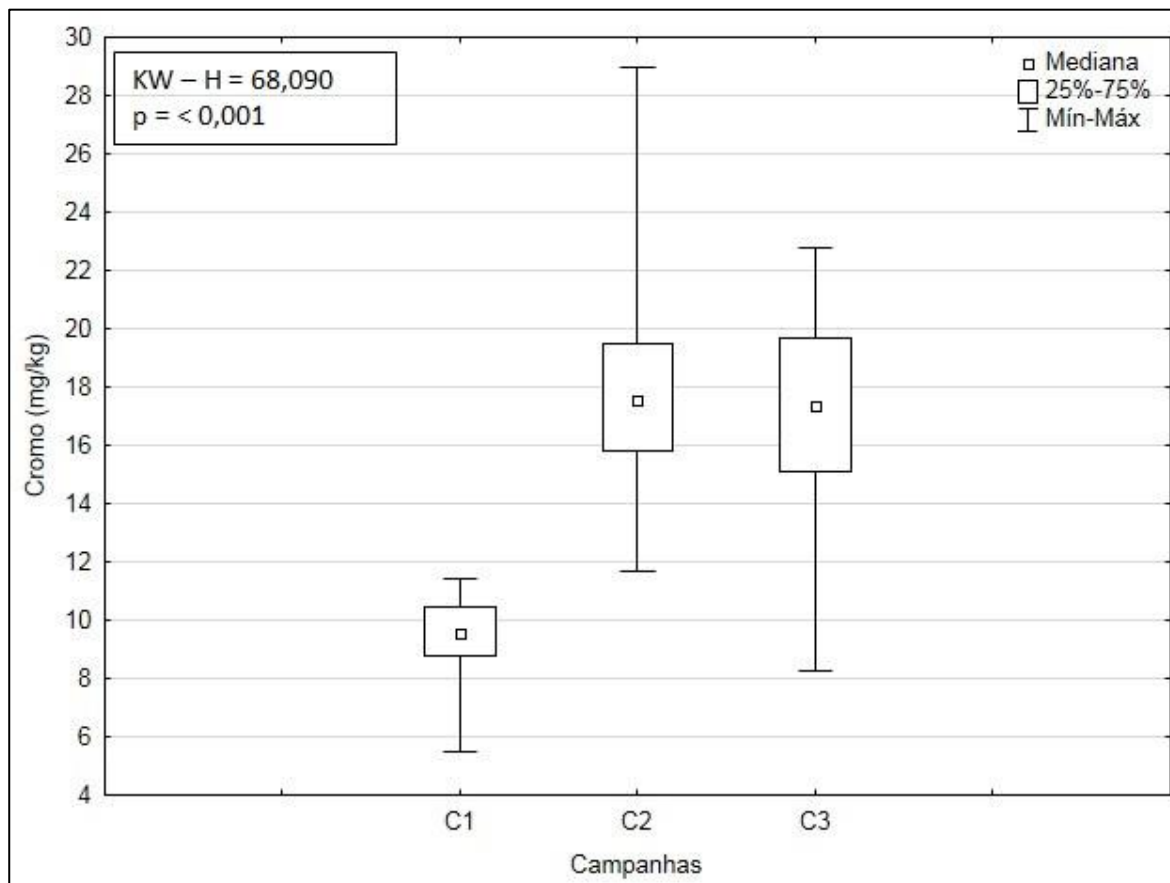




**Figura V.1-35** – Distribuição espacial das concentrações de cromo, níquel e cobre (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

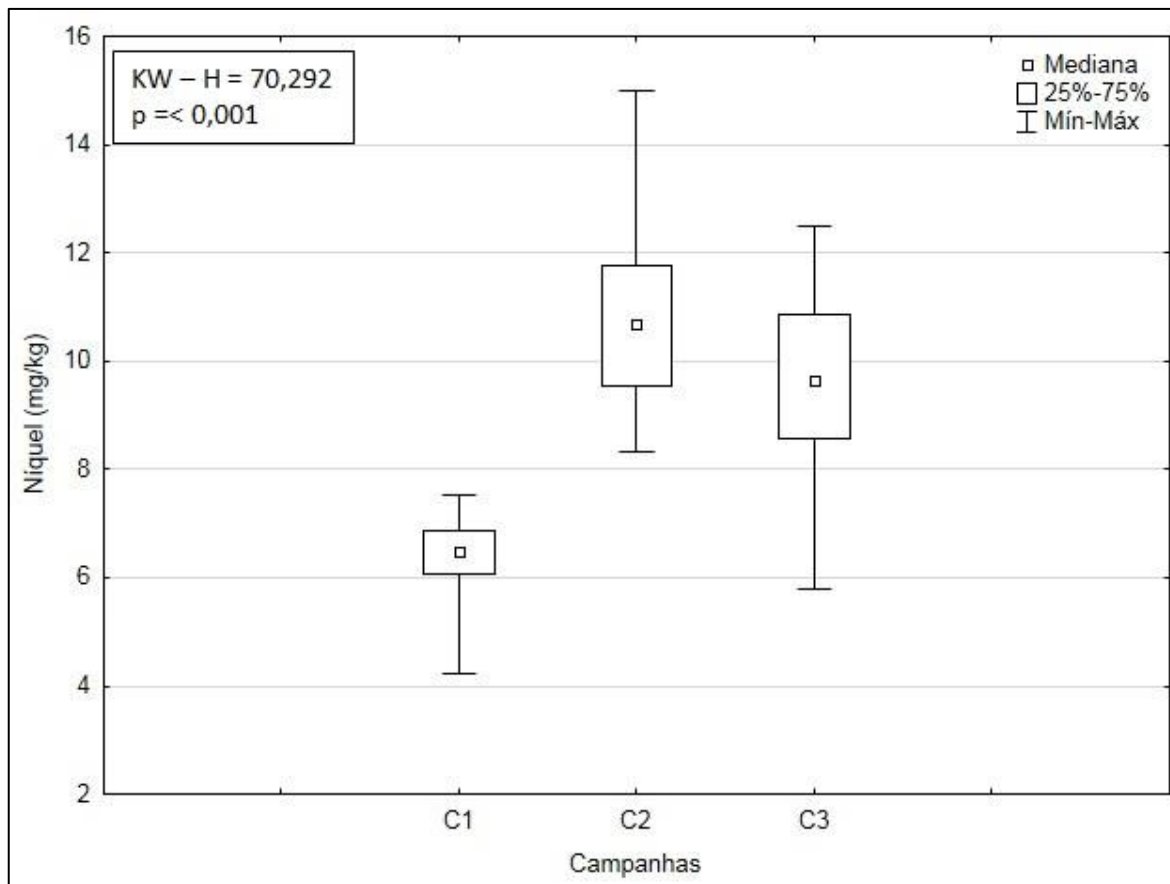
Na Figura V.1-36 são apresentadas as faixas de concentração de cromo obtidas nas campanhas de monitoramento poço LL-IA1. O maior intervalo de valores foi encontrado na 2ª campanha, que também apresentou maiores valores.

Na comparação dos resultados de concentração de cromo nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A primeira campanha diferiu significativamente das demais campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



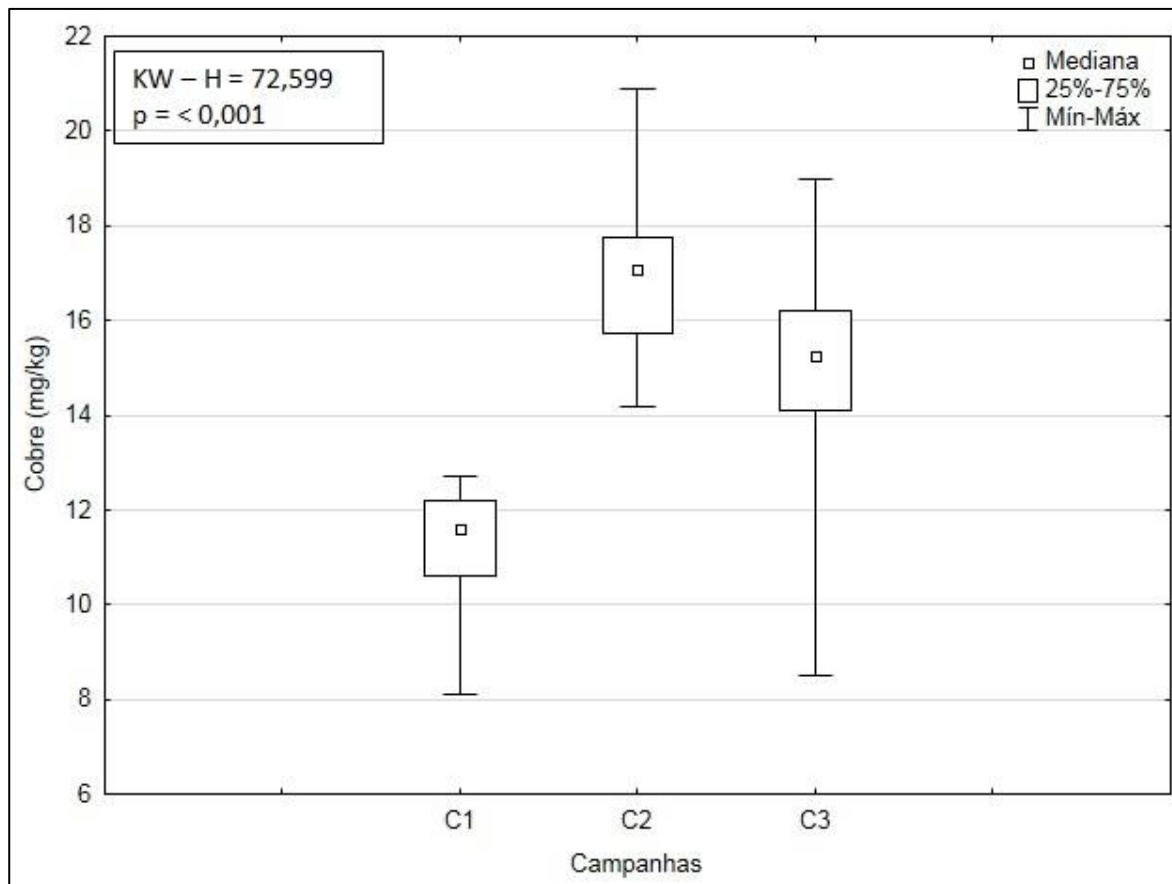
**Figura V.1-36** – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.1-37 são apresentadas as faixas das concentrações de níquel obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha apresentou maior intervalo de valores e também maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de níquel 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.1-37** – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

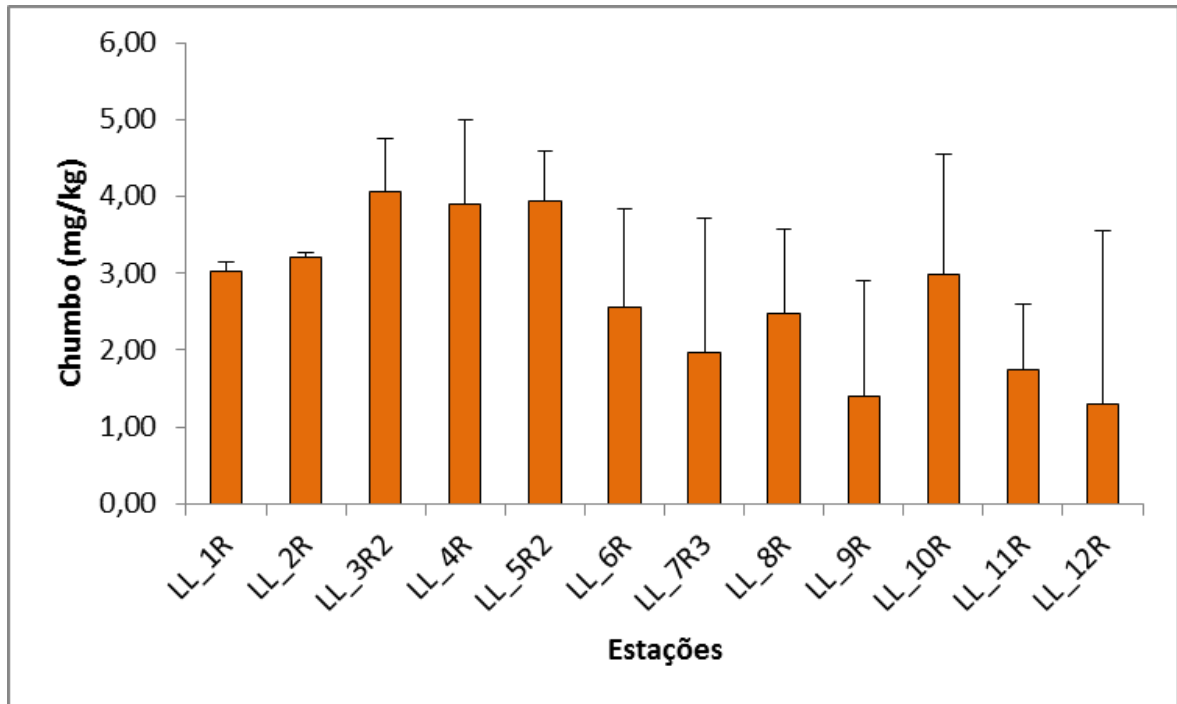
Na Figura V.1-38 são apresentadas as faixas das concentrações de cobre obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a atual campanha apresentou maior intervalo de valores, enquanto que a 2ª campanha apresentou maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de cobre nas 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.1-38** – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

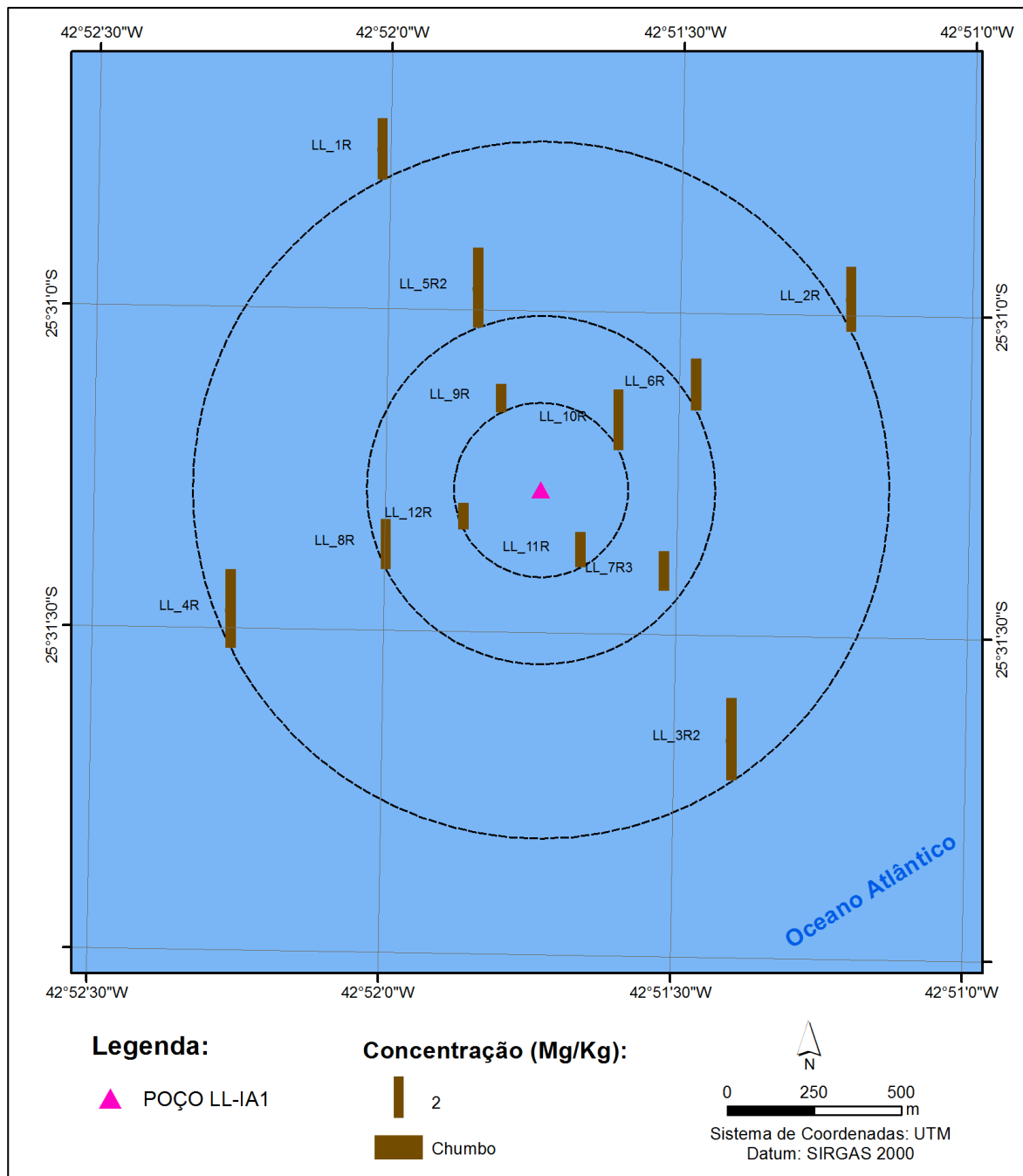
As concentrações de chumbo apresentaram mínimo de  $1,30 \pm 2,25$  mg/kg na estação LL\_12R e máximo de  $4,07 \pm 0,68$  mg/kg, na estação LL\_3R2, com média de  $2,72 \pm 0,97$  mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-39). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

Conforme apresentado na Tabela V.1-9, as médias das concentrações de chumbo registradas para a região de estudo apresentam valores médios entre não detectado e 19 mg/kg. O chumbo teve concentrações detectadas em todos os estudos anteriores, exceto nas estações mais profundas do duto de Cabiúnas e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a).



**Figura V.1-39** – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

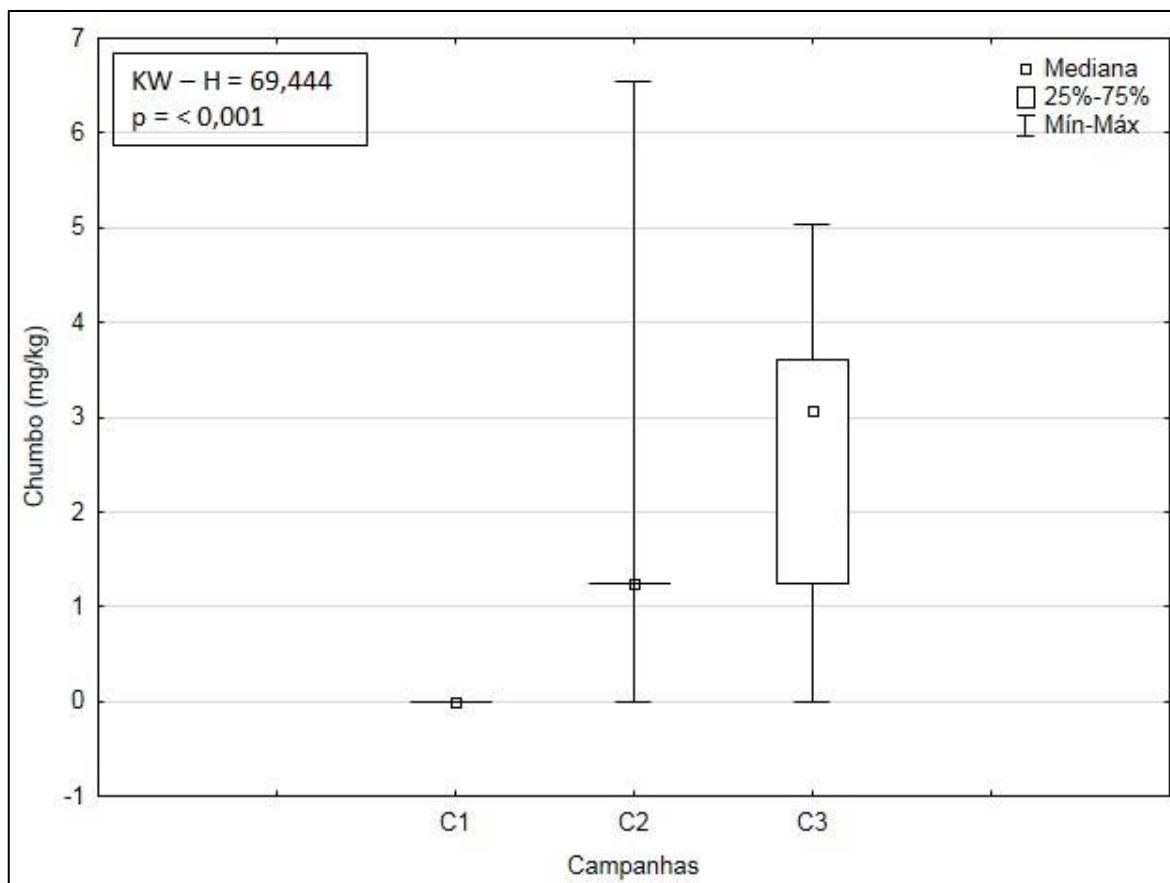
A análise da distribuição espacial das concentrações de chumbo (Figura V.1-40) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente, mas maiores concentrações foram observadas nas estações LL\_3R2 e LL\_5R2.



**Figura V.1-40** – Distribuição espacial das concentrações de chumbo (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-41 são apresentadas as faixas das concentrações de chumbo obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a segunda campanha apresentou maiores valores para esse metal. Na comparação dos resultados de concentração de chumbo nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p <$

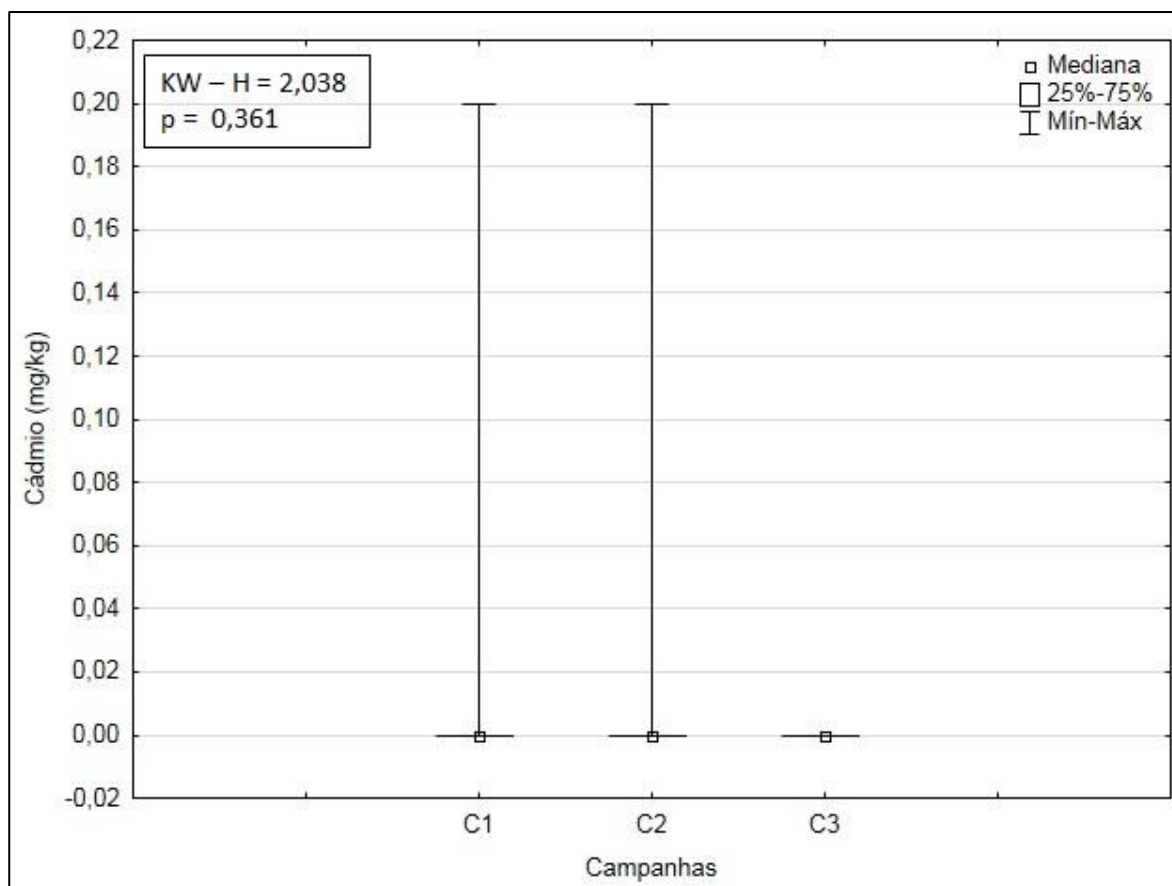
0,05). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V.1-41** – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

As concentrações de cádmio não foram detectadas em nenhuma das estações ( $LD = 0,1$  mg/kg). Conforme apresentado na Tabela V.1-9, as médias das concentrações de cádmio registradas para a região de estudo apresentam valores médios entre não detectado e  $0,20$  mg/kg. Foram detectadas concentrações de cádmio somente nas duas primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Lula, nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2015b, 2016).

Na Figura V.1-42 são apresentadas as faixas das concentrações de cádmio obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. As concentrações foram semelhantes entre as duas primeiras campanhas. Na comparação dos resultados de concentração de cádmio nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-42** – Concentrações de cádmio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Enfatiza-se que o metal mercúrio esteve abaixo do limite de detecção em todas as estações. Em estudos anteriores na região, as médias das concentrações de mercúrio variaram de não detectado a 0,55 mg/kg (Tabela V.1-9).

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 LL-IA1 são, de maneira geral, inferiores em relação às concentrações encontradas em estudos prévios na região (Tabela V.1-9). Os valores estão em consonância com os valores de referência de TEL e PEL, ou seja, os valores encontrados são muito inferiores ao nível estabelecido por TEL, exceto o cobre, que apresentou valores muito próximos ao limite de TEL. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral, também não indicaram contaminação do sedimento (SeQI = 100).

O fator de enriquecimento foi inferior a 1 para todos os metais em todas as estações, exceto para o bário, nas estações LL\_5R2 e LL\_10R, e para o chumbo em todas as estações, exceto na LL\_9R e na LL\_12R (Tabela V.1-8). Para o bário, o enriquecimento foi classificado como pequeno em ambas as estações, enquanto que para o chumbo, o enriquecimento também foi classificado como pequeno em todas as estações, exceto na estação LL\_5R2, em que o enriquecimento foi classificado como moderado.

Ao analisar os resultados acima apresentados, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento na área onde foi perfurado o poço LL-IA1 não apresenta evidências de contaminação destes parâmetros devido aos baixos valores do fator de enriquecimento, exceto o bário nas estações LL\_5R2 e LL\_10R e o chumbo, em todas as estações, exceto na LL\_9R e LL\_12R, embora os valores não tenham ultrapassado os valores de referência TEL e PEL (Tabela V.1-7). Porém, é preciso cautela ao analisar os maiores valores de bário encontrados na atual campanha, que podem estar associados à atividade de perfuração. Por outro lado, também se deve considerar que todas as estações foram reposicionadas, da primeira para a segunda campanha, devido ao reposicionamento do poço, portanto os valores de *background* para o fator de enriquecimento não foram coletados exatamente nas mesmas coordenadas que foram coletadas na atual campanha.

**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
LL_1R	8.963,33	2.453,62	171,67	17,50	14,60	1,39	15,23	2,22	9.856,67	1.600,51	342,33	15,37	8,55	1,11	3,02	0,12	25,37	3,23	31,27	5,22
LL_2R	12.440,00	5.429,07	128,67	5,03	15,23	1,20	17,23	2,64	10.826,67	1.360,20	338,00	15,87	9,76	0,97	3,20	0,07	28,57	4,07	29,40	3,18
LL_3R2	15.256,67	6.877,25	155,33	42,34	14,80	2,17	18,40	4,81	12.350,00	3.639,71	395,67	39,40	10,13	2,07	4,07	0,68	33,67	8,87	32,77	8,49
LL_4R	15.100,00	7.361,39	125,00	18,52	17,03	1,71	19,30	2,36	13.400,00	3.553,87	357,33	17,39	11,17	1,19	3,89	1,11	32,10	5,15	36,83	4,10
LL_5R2	9.190,00	1.021,32	586,67	714,51	14,50	1,61	15,43	1,53	9.600,00	1.044,03	350,00	24,52	8,76	0,74	3,94	0,66	25,73	1,63	51,60	35,62
LL_6R	13.923,33	5.166,49	148,67	20,79	15,43	1,86	17,53	2,20	10.990,00	1.315,03	331,33	27,59	9,55	1,18	2,57	1,27	28,87	3,37	29,37	2,90
LL_7R3	14.700,00	6.846,17	80,36	70,72	14,40	3,47	16,77	3,95	10.606,67	2.441,34	345,00	51,64	9,31	2,30	1,98	1,75	28,70	7,83	31,97	8,55
LL_8R	16.286,67	6.202,46	79,05	60,56	15,63	2,06	18,17	4,23	11.413,33	1.913,77	360,67	37,43	10,30	2,05	2,47	1,10	31,23	6,43	35,50	7,50
LL_9R	14.633,33	3.693,69	35,65	54,62	15,50	0,53	17,27	0,40	11.133,33	680,69	324,33	27,59	10,21	1,11	1,41	1,49	29,70	1,97	32,17	4,72
LL_10R	14.000,00	4.677,61	742,33	962,64	14,97	1,25	17,70	2,44	10.846,67	1.308,64	340,00	32,45	9,88	1,11	2,99	1,57	30,23	4,08	29,63	3,67
LL_11R	12.530,00	6.260,33	107,55	178,79	13,17	4,12	14,75	5,87	9.470,00	3.748,69	319,67	7,02	8,97	2,94	1,75	0,86	26,67	7,35	25,80	6,88
LL_12R	17.230,00	6.512,89	95,12	152,33	16,07	1,01	19,27	2,57	11.766,67	1.365,04	319,33	8,74	10,83	1,77	1,30	2,25	33,00	5,46	33,60	0,82
<b>Máximo</b>	17.230,00		742,33		17,03		19,30		13.400,00		395,67		11,17		4,07		33,67		51,60	
<b>Mínimo</b>	8.963,33		35,65		13,17		14,75		9.470,00		319,33		8,55		1,30		25,37		25,80	
<b>Média</b>	13.687,78		204,67		15,11		17,25		11.021,67		343,64		9,79		2,72		29,49		33,33	
<b>Desvio</b>																				
<b>Padrão</b>	2.545,53		220,54		0,96		1,49		1.134,97		21,24		0,80		0,97		2,72		6,47	
<b>TEL</b>	-		-		18,70		52,30		-		-		-		30,20		-		124,00	
<b>PEL</b>	-		-		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. Valores em laranja indicam enriquecimento pequeno ( $1 < FE < 3$ ) e valores em verde claro indicam enriquecimento moderado ( $3 < FE < 5$ ).

Estações	Bário	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
LL_1R	0,53	0,46	0,56	0,55	0,33	0,47	2,63	0,49	0,53
LL_2R	0,22	0,34	0,45	0,43	0,23	0,37	2,00	0,40	0,39
LL_3R2	0,16	0,27	0,41	0,41	0,22	0,33	2,09	0,39	0,36
LL_4R	0,24	0,31	0,42	0,43	0,20	0,35	1,99	0,37	0,38
LL_5R2	1,71	0,44	0,54	0,51	0,32	0,46	3,46	0,48	0,90
LL_6R	0,29	0,31	0,41	0,39	0,20	0,33	1,47	0,36	0,35
LL_7R3	0,12	0,27	0,40	0,38	0,20	0,32	1,03	0,35	0,33
LL_8R	0,17	0,30	0,41	0,38	0,21	0,35	1,28	0,37	0,38
LL_9R	0,06	0,30	0,44	0,41	0,17	0,37	0,64	0,35	0,36
LL_10R	1,64	0,32	0,46	0,41	0,24	0,38	1,91	0,42	0,30
LL_11R	0,19	0,29	0,41	0,40	0,24	0,37	1,16	0,39	0,36
LL_12R	0,17	0,28	0,38	0,36	0,18	0,33	0,68	0,37	0,34

**Tabela V.1-9 - Concentrações médias de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.**

Fonte		Alumínio	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Ferro	Mercúrio	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
Bacia de Santos <sup>1</sup>	Média	-	88,87	n.d.	15,41	5,70	16.247,02	n.d.	540,75	13,30	14,26	26,00	19,13
	Desvio	-	59,11	n.d.	6,84	6,90	25.902,77	n.d.	-	8,32	21,90	-	-
Região ultraprofunda <sup>2</sup>	Média	-	124,00	n.d.	28,00	21,00	-	n.d.	602,30	19,00	19,00	38,00	59,00
	Desvio	-	18,00	n.d.	3,00	1,00	-	n.d.	30,00	2,00	6,00	4,00	4,00
CAB C1 <sup>3</sup>	Média	9.487,78	105,32	n.d.	16,53	11,59	13.111,11	n.d.	455,33	10,92	n.d.	29,37	32,81
	Desvio	650,57	5,53	n.d.	1,99	2,21	700,26	n.d.	25,62	1,00	n.d.	2,74	1,72
TUPI C1 <sup>4</sup>	Média	17.707,64	149,87	0,20	22,42	29,25	18.841,85	0,45	469,54	11,78	7,56	31,59	34,84
	Desvio	5.615,73	34,00	0,08	6,42	7,83	5.496,90	0,08	105,08	3,04	1,55	8,96	9,53
TUPI C2 <sup>5</sup>	Média	31.9643,37	145,04	0,01	28,46	34,88	31.794,50	0,55	730,65	13,24	8,19	39,65	50,86
	Desvio	2.372,93	4,68	0,01	1,52	1,61	1.697,25	0,28	48,49	0,60	0,94	1,73	2,46
C1 LL-IA1 <sup>6</sup>	Média	3.204,72	128,10	0,01	9,33	11,27	6.255,28	n.d.	361,61	6,32	n.d.	17,82	19,85
	Desvio	245,15	28,60	0,03	0,81	0,73	468,17	n.d.	12,04	0,49	n.d.	0,90	2,04
C2 LL-IA1 <sup>7</sup>	Média	15.475,00	436,72	0,01	17,92	16,93	11.416,11	n.d.	388,36	10,78	1,25	30,82	32,57
	Desvio	1.272,64	956,74	0,02	2,32	0,95	1.133,78	n.d.	21,88	0,82	0,63	1,89	2,20
C1 LL-IRA-IN1 <sup>8</sup>	Média	12.707,78	415,02	0,01	12,49	14,28	10.770,83	n.d.	290,67	8,54	0,65	27,11	26,95
	Desvio	1.679,31	402,51	0,02	1,08	0,78	776,78	n.d.	16,63	0,59	1,11	1,58	1,87

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2002); 2 = Petrobras/Habtec (2003); 3 = Petrobras/Bourscheid (2014); 4 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 5 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 6 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2016); 8 = Petrobras/Bourscheid (2015b).

### 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 emanações 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. Na caracterização da Bacia de Santos, os HPA's apresentaram valores entre 0,0002 e 0,13 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Já no monitoramento das estações mais profundas do Piloto de Lula, as concentrações variaram entre não detectado e 0,05 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Nas estações mais

profundas do gasoduto de Cabiúnas, nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 não foram detectadas concentrações de HPA's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2016).

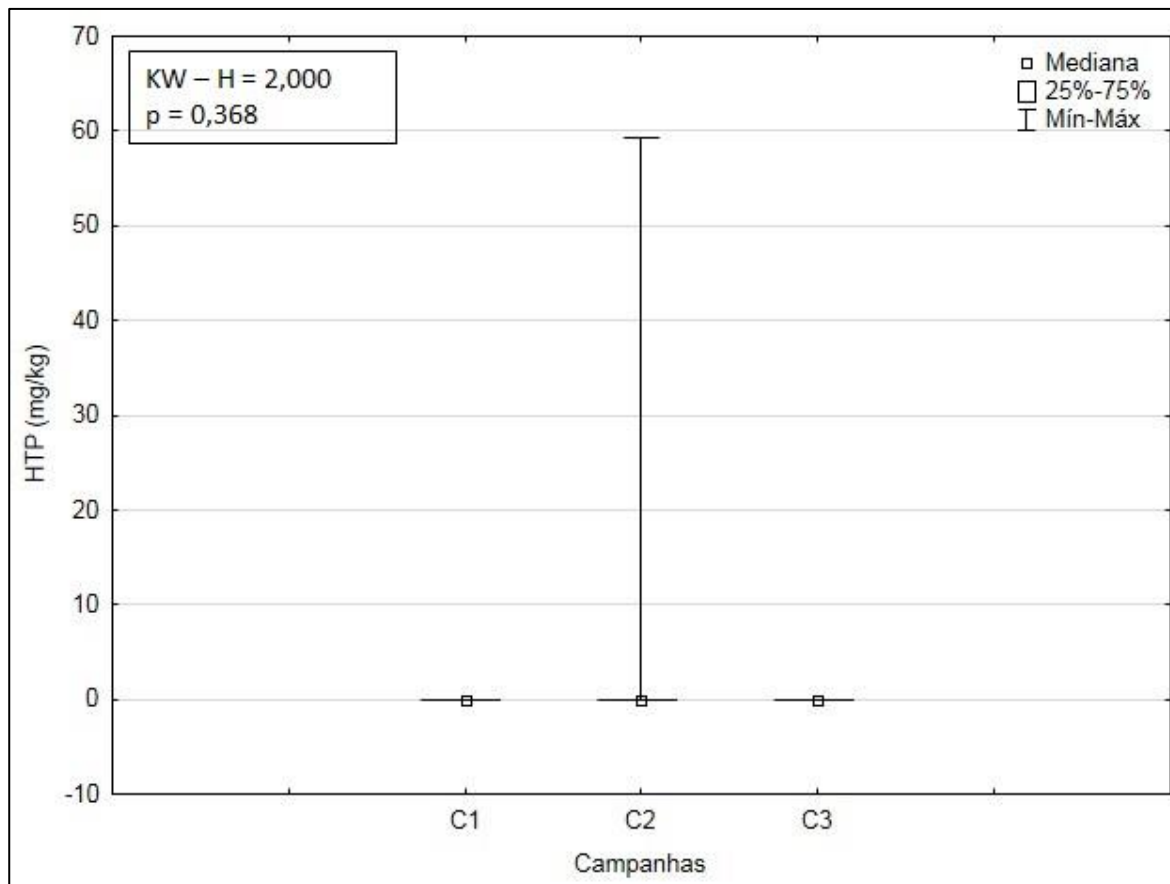
Não foram verificadas concentrações detectáveis de HTP's, n-alcanos e MCNR em nenhuma das estações.

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 0,40 até 127,60 mg/kg (média de 6,76 mg/kg  $\pm$  14,16 mg/kg). Na região mais profunda da Bacia de Santos, as concentrações de HTP's variaram entre 0,16 e 1,30 mg/kg (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 não foram detectadas concentrações de HTP's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a). Nas estações mais profundas do monitoramento do Piloto de Lula, as concentrações variaram entre 0,12 e 1,01 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, as concentrações de HTP's variaram entre não detectado e 19,75 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, as concentrações de HTP's variaram entre não detectado e 153,49 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). Estes resultados indicam que não há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas no entorno do ponto de perfuração do poço LL-IA1, no momento da realização dos estudos prévios.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos não apresentaram concentrações detectáveis de MCNR (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a), exceto nas estações mais profundas das duas primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Lula, em que foram encontradas concentrações variando entre não detectado e 1,01 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de MCNR entre não detectado e 10,83 mg/kg. Na

segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, as concentrações de MCNR variaram entre não detectado e 17,68 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, as concentrações de MCNR variaram entre não detectado e 141,15 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). Estes resultados indicam que não há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas no entorno da locação do ponto de perfuração do poço LL-IA1, no momento de realização de estudos prévios.

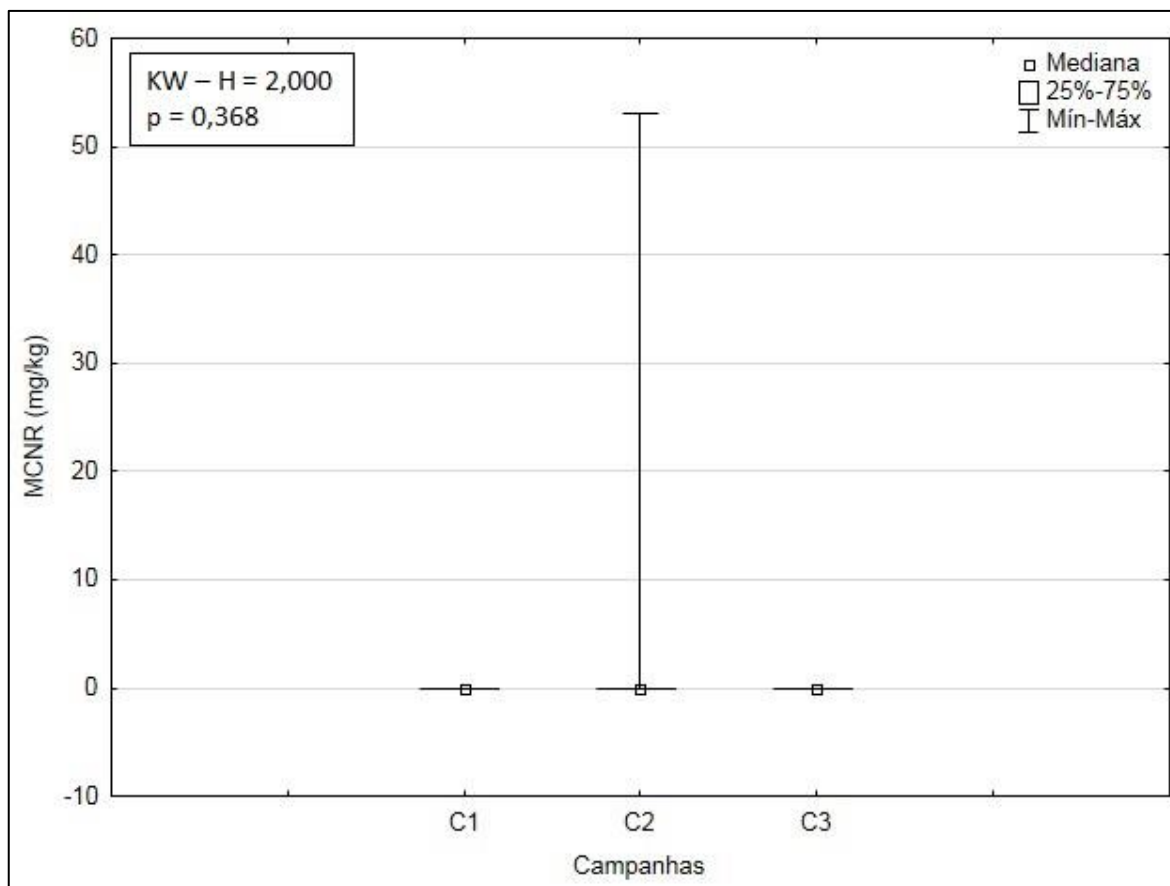
Na Figura V.1-43 são apresentadas as faixas das concentrações de HTP's obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha apresentou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de HTP's nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-43** – Concentrações de HTP's (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.1-44 são apresentadas as faixas das concentrações de MCNR obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a 2ª campanha apresentou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de MCNR nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

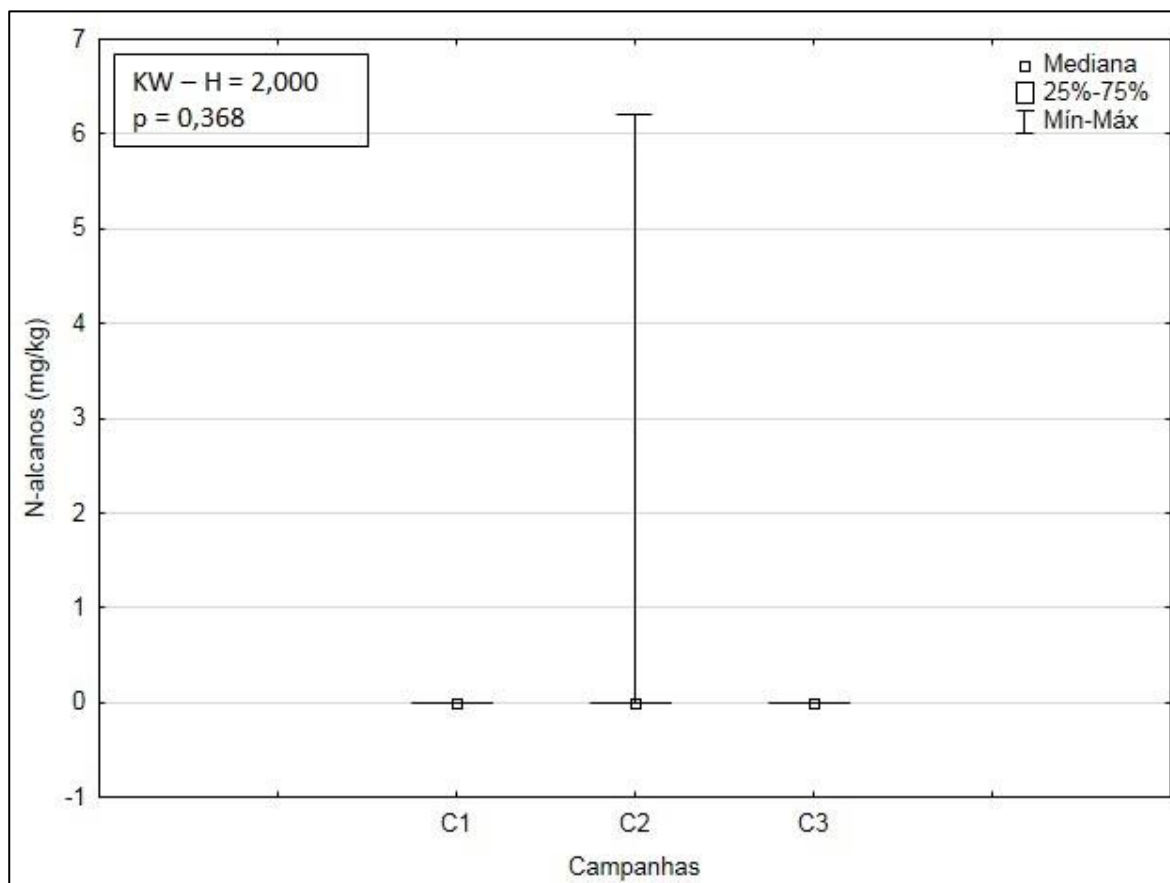




**Figura V.1-44** – Concentrações de MCNR (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de n-alcenos abaixo do limite de detecção dos métodos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a). Na segunda campanha de monitoramento do poço LL-IA1, as concentrações n-alcenos variaram entre não detectado e 2,07 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, as concentrações de n-alcenos variaram entre não detectado e 7,47 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). Estes resultados indicam que não há indícios de contaminação por estes compostos nas estações localizadas no entorno da locação do ponto de perfuração do poço LL-IA1, no momento das campanhas de monitoramento.

Na Figura V.1-45 são apresentadas as faixas das concentrações de n-alcenos obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. É possível verificar que a segunda campanha apresentou maior intervalo de valores. Na comparação dos resultados de concentração de n-alcenos nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



**Figura V.1-45** – Concentrações de n-alcenos (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

## 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).

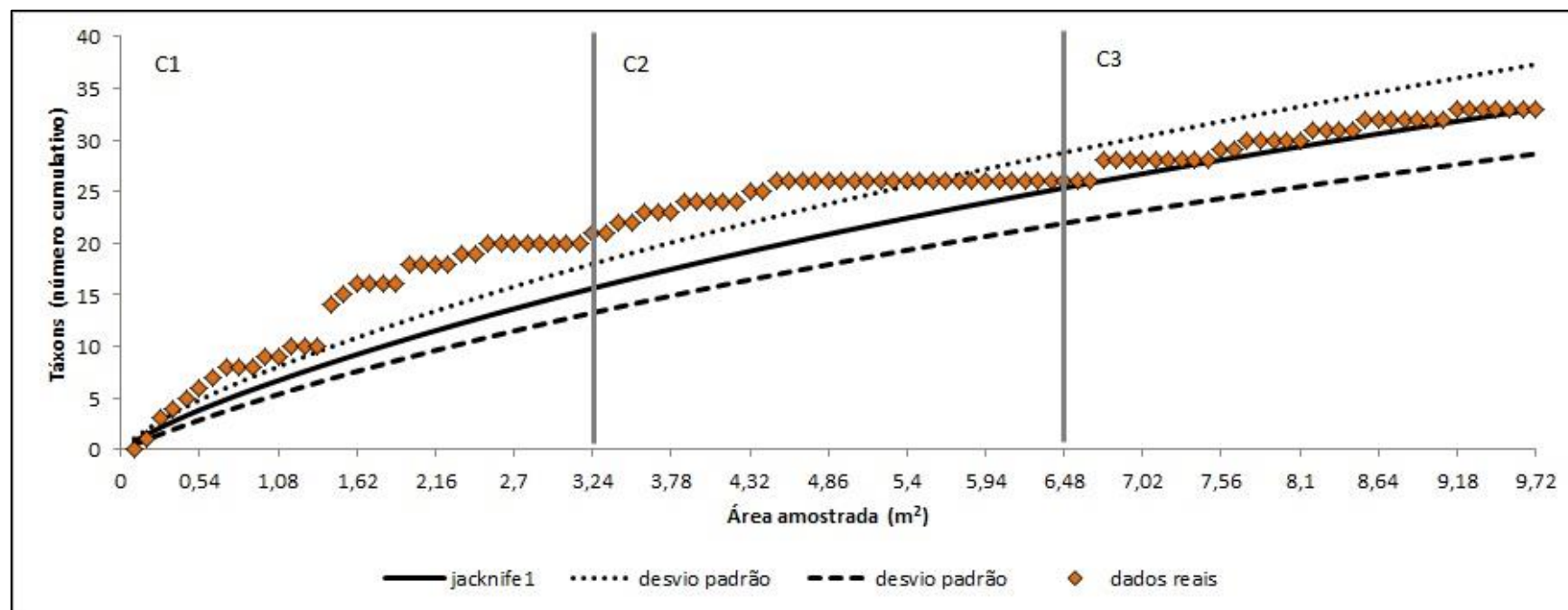
A distribuição, ocorrência e abundância dos organismos da macrofauna bentônica dependem das características ambientais predominantes, principalmente quanto à composição granulométrica do substrato, profundidade, disponibilidade de alimento e estabilidade do ambiente. Diferentes tipos de sedimentos podem 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 108 réplicas com uma área de 900 cm<sup>2</sup> (30 x 30 cm) cada, o que equivale a um total de 9,72 m<sup>2</sup> amostrados.

A curva formada pelo número cumulativo de táxons coletados evidencia um incremento maior de taxa entre a 16<sup>a</sup> e 50<sup>a</sup> réplica (16 taxa), ou seja, boa parte dos taxa foi coletado nas últimas réplicas da primeira campanha e nas primeiras réplicas da segunda campanha (Figura V.2-1). Em comparação com a curva de Jacknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real foi superior a distribuição esperada na maioria dos pontos, com exceção das últimas réplicas da segunda campanha e de todas as réplicas da terceira campanha, que se aproximaram mais da distribuição esperada. Esse resultado evidencia a importância do esforço amostral realizado no poço LL-IA1, pois a distribuição real dos dados se aproximou muito da distribuição esperada para a área nas últimas amostras.

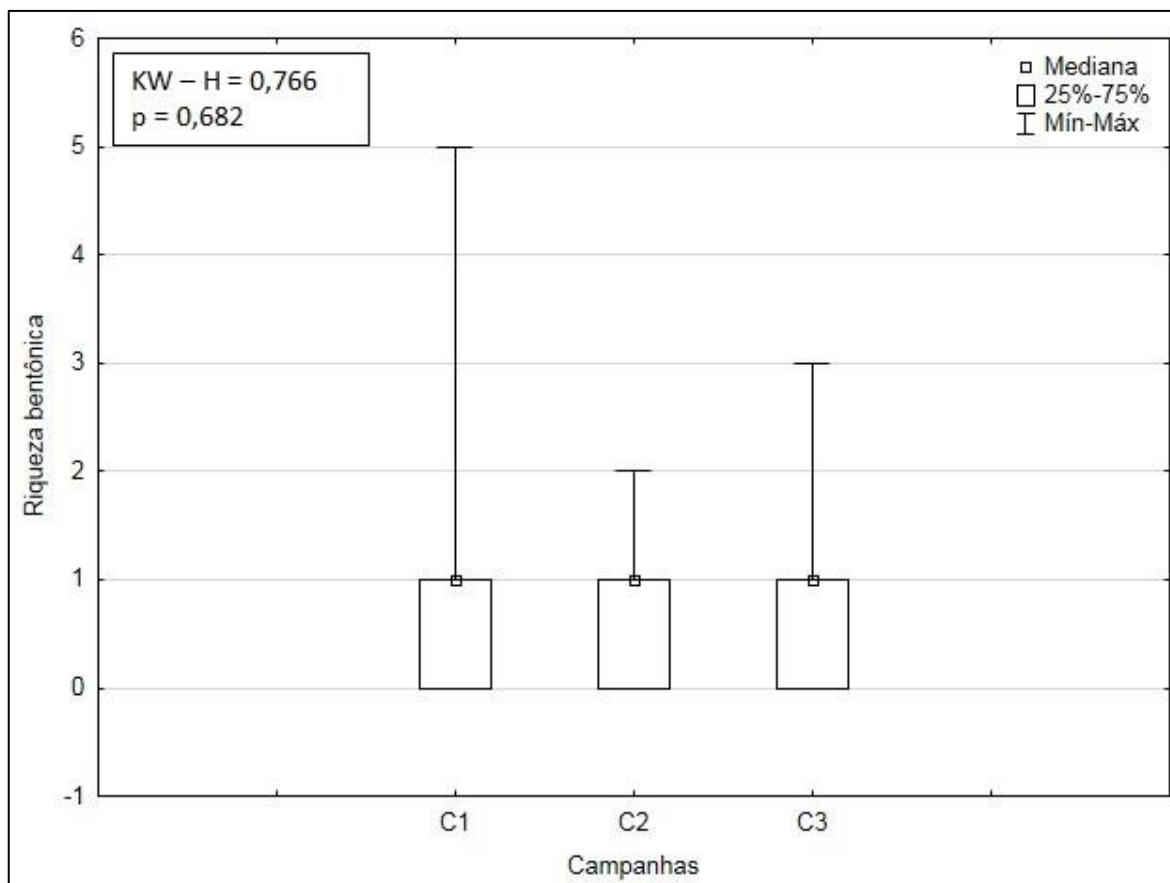


**Figura V.2-1** – Número cumulativo de taxa por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

## V.2.2 - Análise Qualitativa

A amostragem da comunidade bentônica nas doze estações de coleta registrou um total de 12 taxa, dentre os quais, 1 foi identificado a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 1 a nível de subclasse, 3 a nível de ordem, 4 a nível de família, 1 a nível de gênero e 1 a nível de espécie. À vista disso, as comunidades foram descritas qualitativamente pelo número de taxa e não pelo número de espécies. Nas estações mais profundas do duto de Cabiúnas, a riqueza variou entre 2 e 6 taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Já as estações mais profundas das duas primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Lula encontraram riquezas variando entre 25 e 43 taxa (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1, a riqueza variou de 0 a 7 taxa e na segunda campanha variou entre 0 e 4 taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, a riqueza variou entre 1 e 6 taxa (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo IX-3.

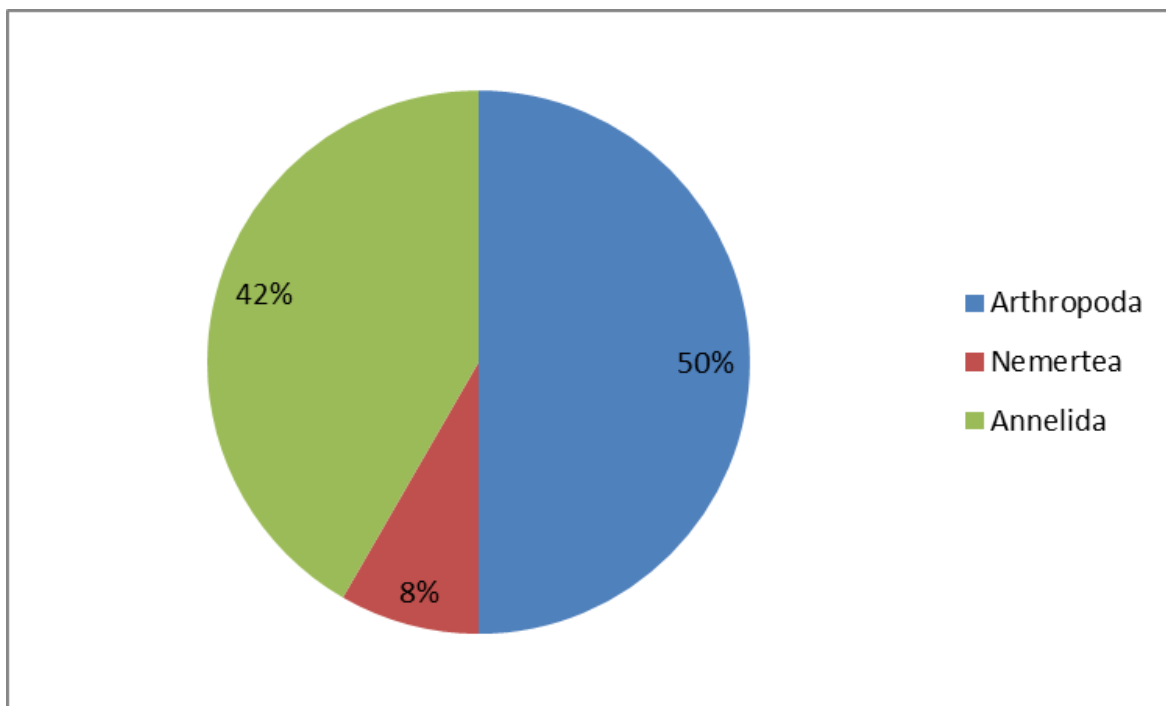
Na Figura V.2-2 são apresentadas as riquezas de taxa obtidas nas campanhas de monitoramento do poço LL-IA1. Os maiores valores e a maior amplitude de valores foram encontrados na primeira campanha. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as três campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

**Figura V.2-2** – Box plots representativos dos valores de riqueza ( $n^\circ$  de taxa) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

A atual campanha encontrou organismos pertencentes a três filos bentônicos (Annelida, Arthropoda e Nemertea). A maioria dos filos (Annelida e Arthropoda) foram registrados nos programas de monitoramento citados anteriormente. De maneira geral, o filo com maior número de taxa foi Annelida, com riqueza total de 6 taxa (Figura V.2-3). Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram riqueza máxima de 5 taxa (Annelida) e 1 táxon (Nemertea). Vale ressaltar que os organismos pertencentes ao filo Nemertea não foram identificados. Por este motivo, o resultado desses grupos não pôde ser descrito com grande precisão.



**Figura V.2-3** – Porcentagem de riqueza de taxa dos filos bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

A dominância de anelídeos na comunidade bentônica de substrato inconsolidado corrobora os dados da literatura. Em campanhas de monitoramento realizadas nas proximidades, esses organismos, com destaque para os poliquetas, foram descritos como o grupo dominante nessas comunidades (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2016).

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 de zoobentos (AMARAL *et al.*, 2004).

O filo Arthropoda, que esteve representado em sua maioria por organismos do subfilo Crustacea, também foi bastante representativo na atual campanha.



Esse filo possui grande importância nas comunidades bentônicas, sendo 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).

A macrofauna de substratos inconsolidados da plataforma brasileira é composta majoritariamente pelos filos 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. As campanhas de monitoramento realizadas nas estações mais profundas do duto de Cabiúnas, nas duas primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Lula, nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço LL-IA1 e na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2016; PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012) também encontraram dominância de anelídeos e artrópodes. Esses filos também foram encontrados na caracterização da Bacia de Santos e na região ultraprofunda da Bacia (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003).

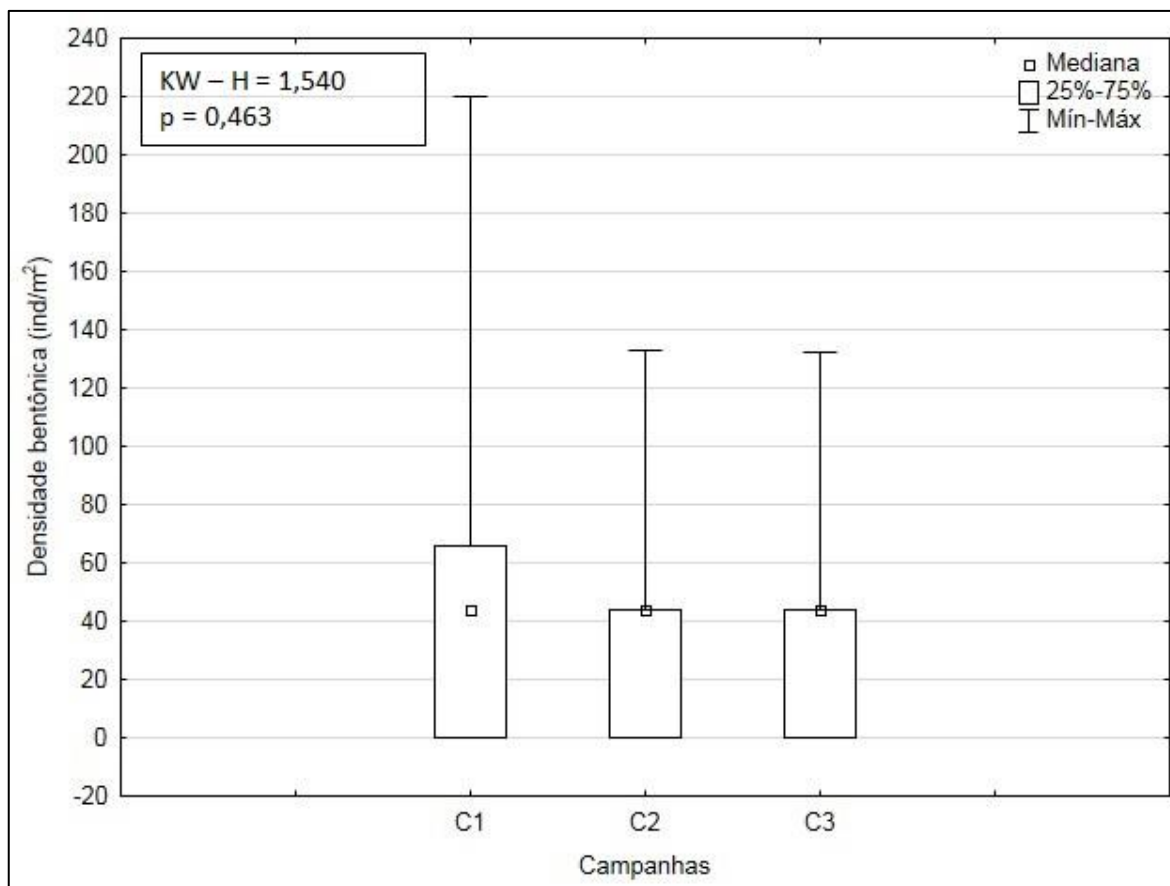
Os indivíduos do filo Nemertea só foram identificados em nível de filo. No entanto, os mesmos são reconhecidamente menos ricos na Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012) e nas comunidades bentônicas marinhas de maneira geral (SOARES-GOMES *et al.*, 2009; LANA *et al.*, 1996).

### V.2.3 - Análise Quantitativa

A densidade média de organismos bentônicos obtida na presente campanha foi de  $106,33 \pm 43,83$  ind/m<sup>2</sup>, variando de 0 ind/m<sup>2</sup> em LL\_6R até 132 ind/m<sup>2</sup> nas estações LL\_1R, LL\_2R, LL\_4R, LL\_5R2, LL\_8R, LL\_9R, LL\_10 e LL\_12R (Figura V.2-8). Campanhas de monitoramento realizadas nas proximidades do local encontraram densidade variando entre 44 e 176,5 ind/m<sup>2</sup> nas estações mais profundas do duto de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014), e

densidades médias de 432,50 e 2.050 ind/m<sup>2</sup> nas estações mais profundas das duas campanhas de monitoramento do Piloto de Lula, respectivamente (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010,2012). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 foram encontradas densidades variando entre 0 e 103,33 ind/m<sup>2</sup>, e na segunda campanha foram encontradas densidades variando entre 0 e 73,67 ind/m<sup>2</sup> (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015a, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço LL-IRA-IN1, a densidade variou entre 14,67 e 133 ind/m<sup>2</sup> (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). Os dados dessas campanhas anteriores foram, portanto, maiores em relação aos dados encontrados na presente campanha, exceto as campanhas anteriores de monitoramento do poço LL-IA1, que apresentaram valores inferiores. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo IX-3.

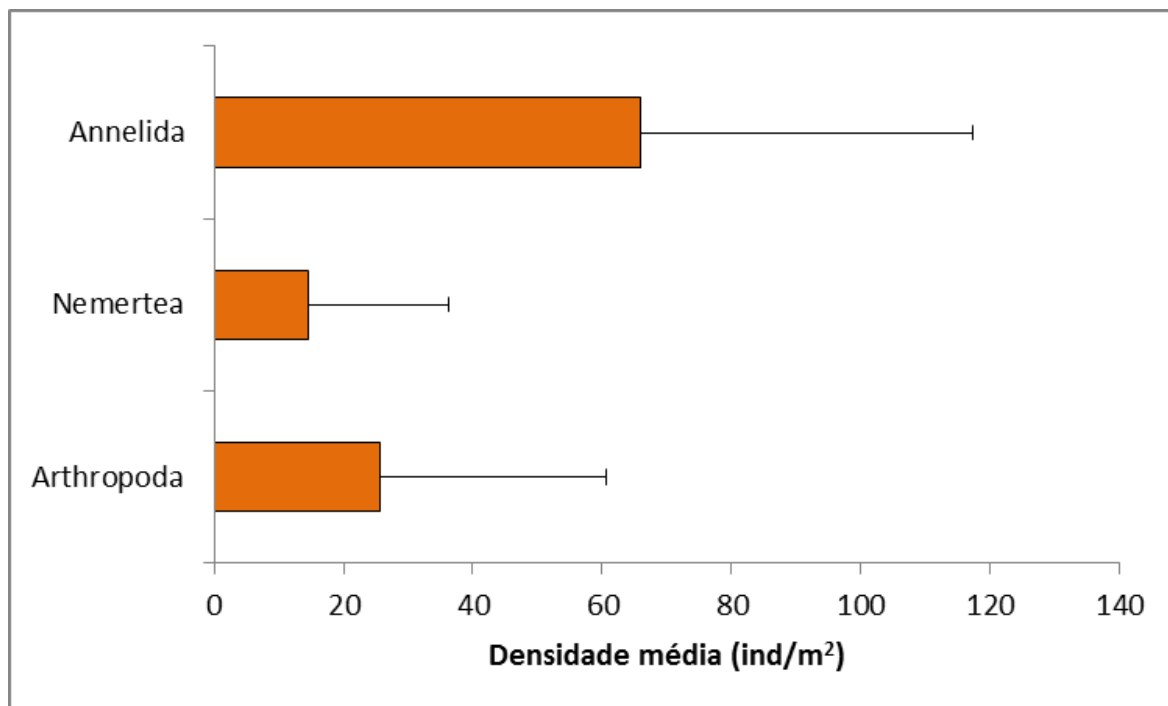
Na Figura V.2-4 é apresentada a densidade de macrofauna obtida nas três campanhas do poço LL-IA1. A atual campanha apresentou os menores valores de densidade. Não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

**Figura V.2-4** – Box plots representativos da densidade (ind/m<sup>2</sup>) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Além de apresentar maior número de taxa (Figura V.2-3), o filo dos anelídeos também apresentou a maior densidade de organismos nas comunidades bentônicas do local, registrando média de  $66,00 \pm 51,38$  ind/m<sup>2</sup>. Os outros grupos tiveram valores muito inferiores, dos quais foram encontrados valores 2 vezes menores ou inferiores. Arthropoda foi o segundo grupo com maior densidade ( $25,67 \pm 34,89$  ind/m<sup>2</sup>), seguido por Nemertea ( $14,67 \pm 21,66$  ind/m<sup>2</sup> cada) (Figura V.2-5).



**Figura V.2-5** – Densidade média de organismos (ind/m<sup>2</sup>) dos filos bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. A barra representa a 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).

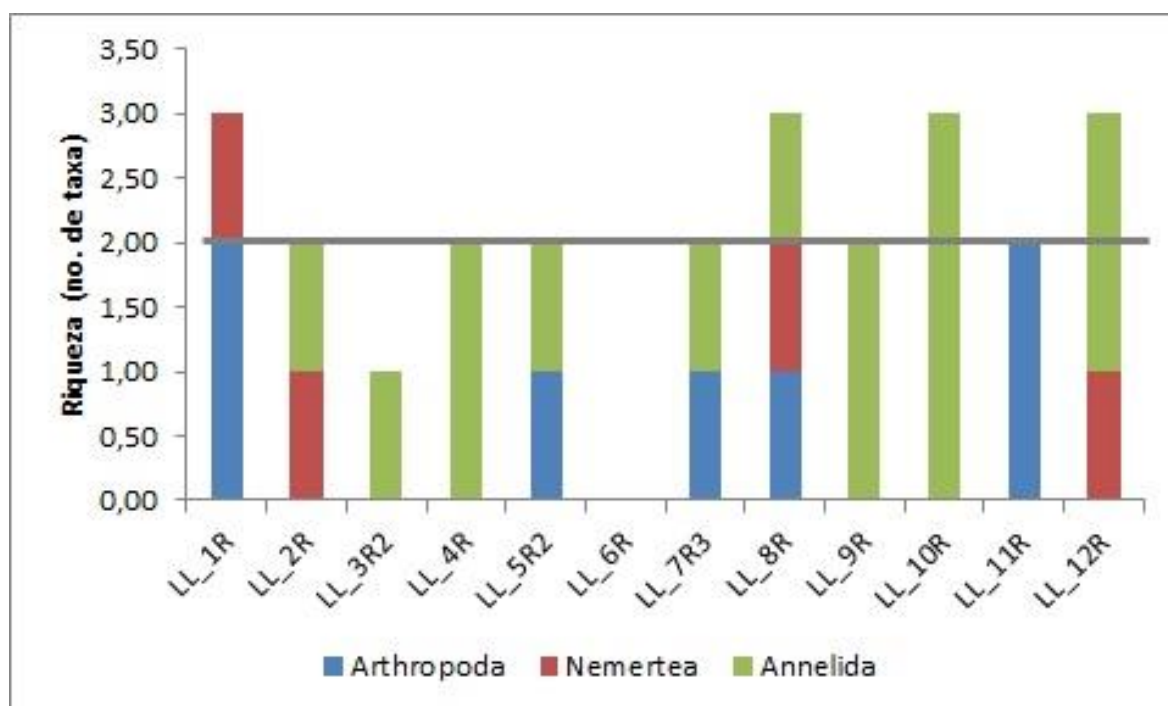
#### **V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos**

De maneira geral, os valores de riqueza total entre as estações foram distintos. A riqueza de taxa variou de 0 (LL\_6R) a 3 taxa (LL\_1R, LL\_8R, LL\_10R e LL\_12R). A riqueza média das estações foi de  $2,08 \pm 0,90$  taxa (Figura V.2-6). Não foram encontradas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as estações (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

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.

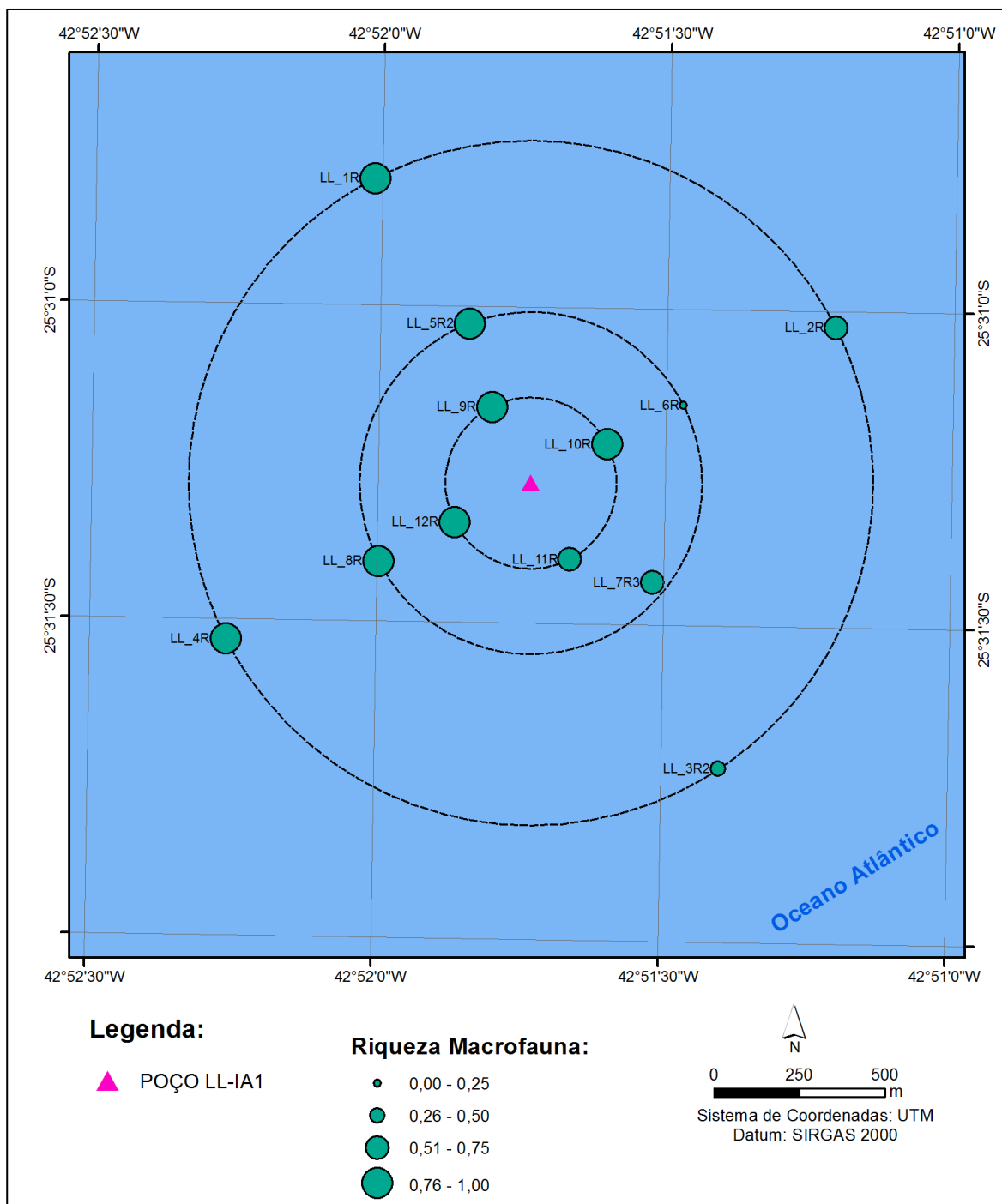
A contribuição dos diferentes filos nas estações foi similar entre as estações. Annelida ocorreu na maioria das estações, exceto nas estações LL\_1R, LL\_6R e LL\_11R. O filo Arthropoda, o segundo mais significativo, ocorreu somente nas estações LL\_1R, LL\_5R2, LL\_7R3, LL\_8R e LL\_11R (Figura V.2-6). Já o filo Nemertea ocorreu nas estações LL\_1R, LL\_2R, LL\_8R e LL\_12R.

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/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2016).



**Figura V.2-6** – Número de taxa dos filos bentônicos nas doze estações da atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1 (fase de pós-perfuração). A linha cinza representa a média das estações.

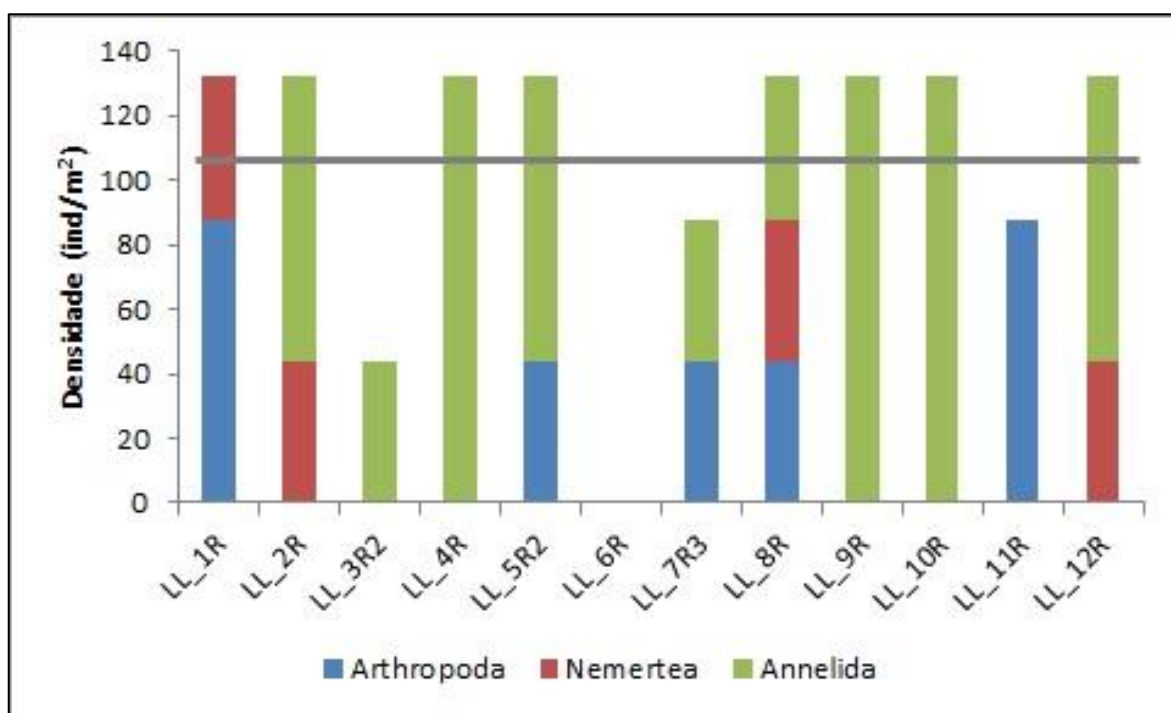
De maneira geral, foram encontrados maiores valores de riqueza no eixo nordeste-sudoeste do ponto de perfuração poço LL-IA1 (Figura V.2-7).



**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 LL-IA1 (fase de pós-perfuração).

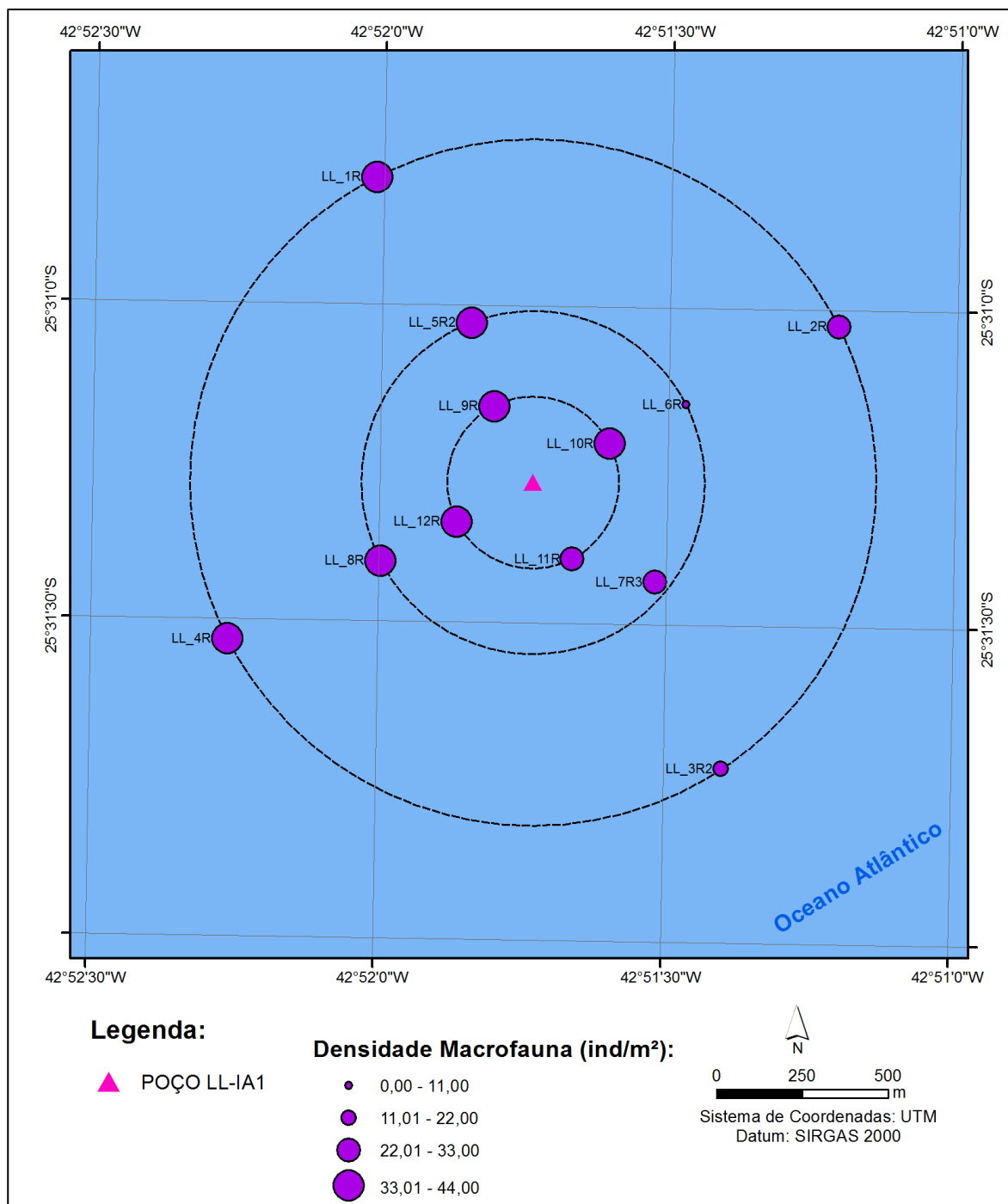
Comparando a densidade total das estações de coleta foi possível observar certa dispersão dos dados em torno da média ( $106,33 \pm 43,83 \text{ ind/m}^2$ ), resultado que pode ser confirmado visualmente no gráfico. Esse resultado sugere pouca similaridade entre as estações de coleta do monitoramento (Figura V.2-8). Porém não foram encontradas diferenças significativas entre as estações de coleta (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).

A contribuição em densidade nas estações de amostragem foi similar, devido a grande abundância de anelídeos em todas as amostras, exceto nas estações LL\_1R, LL\_6R e LL\_11R, em que não ocorreram. Os outros filos, que apresentaram menores densidades, variaram aleatoriamente nas estações devido aos tamanhos populacionais menores (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 total de organismos ( $\text{ind/m}^2$ ) dos filos bentônicos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos. A linha cinza representa a média das estações.

De maneira geral, foram encontradas maiores densidades no eixo nordeste sudoeste do poço LL-IA1 (Figura V.2-9).

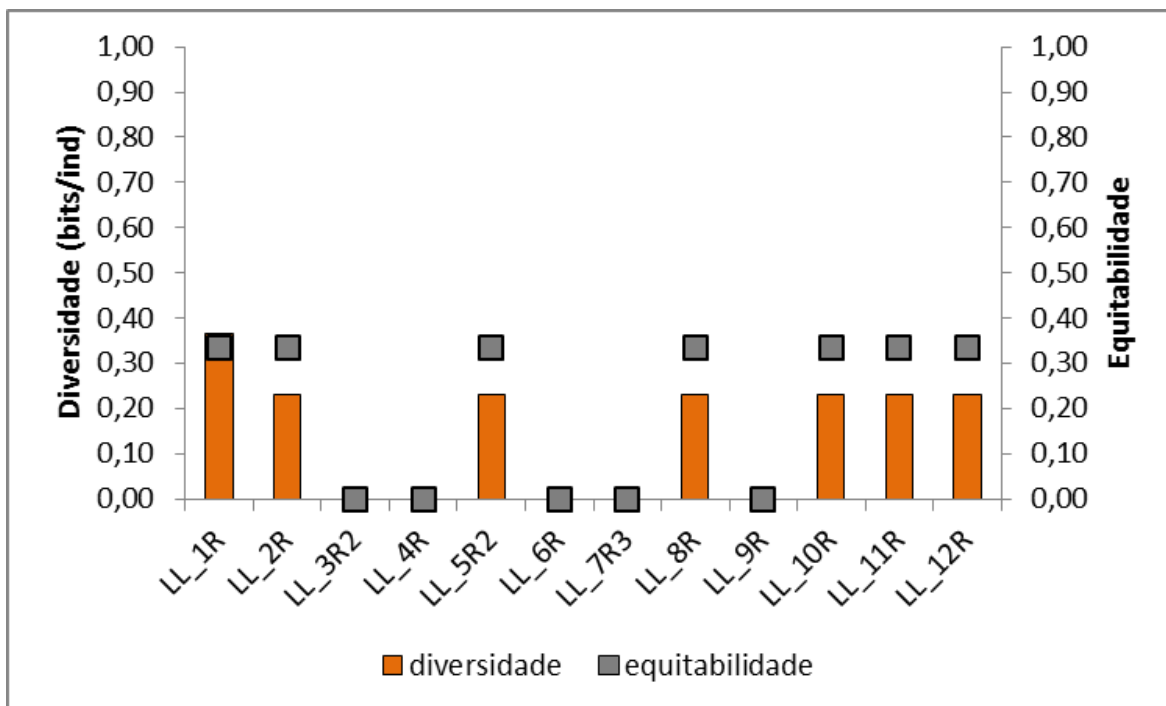


**Figura V.2-9 – Distribuição espacial da densidade total (ind/m²) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1 (fase de pós-perfuração).**



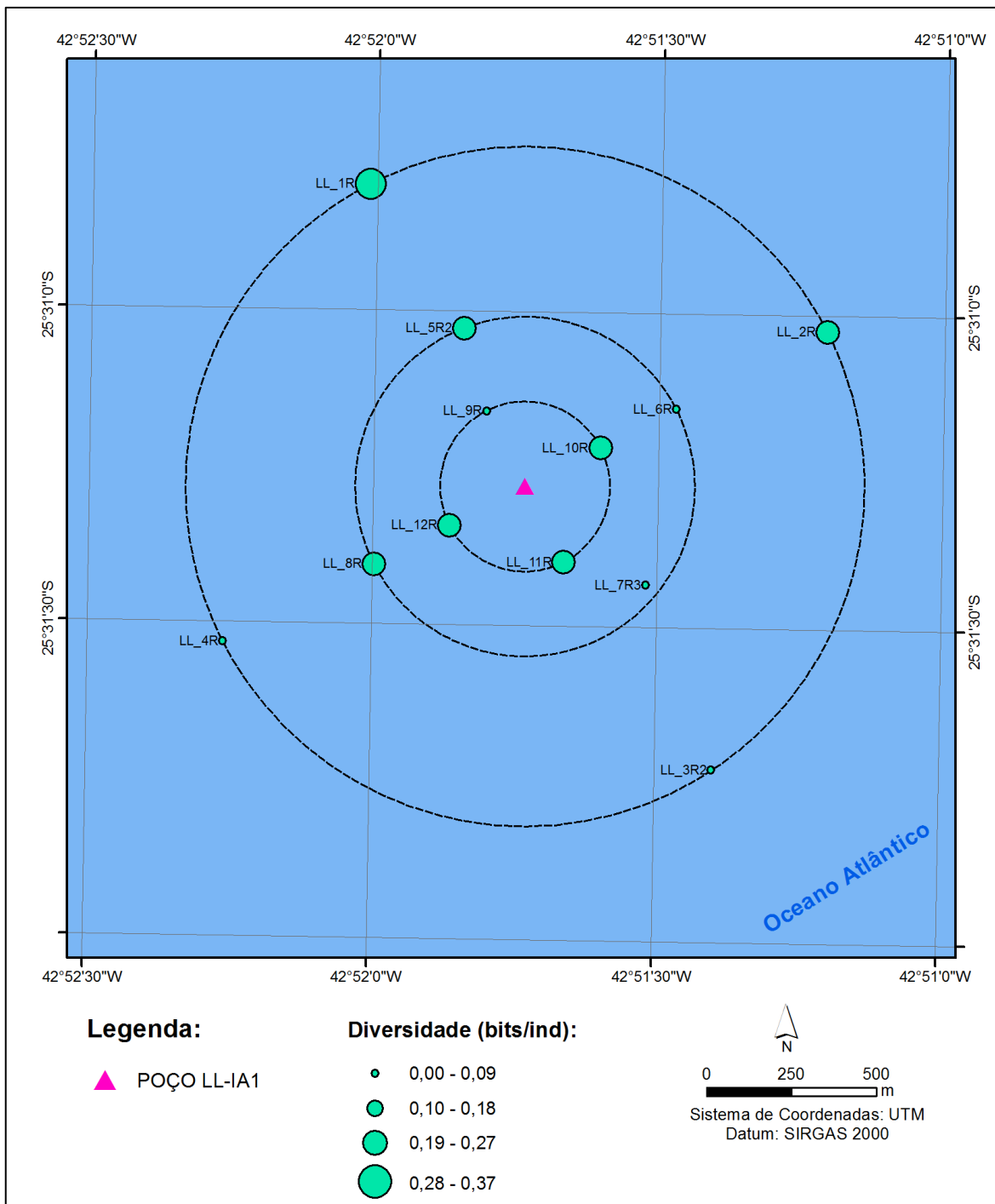
O índice de Shannon ( $H'$ ), o qual mensura a diversidade de espécies, teve valor médio de  $0,15 \pm 0,13$  nas estações de coleta. As estações de coleta não foram similares para este parâmetro, com muita variação em torno da média. Apesar disso, não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de diversidade da macrofauna bentônica entre as diferentes estações amostrais (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ). O valor mínimo observado, registrado nas estações LL\_3R2, LL\_4R, LL\_6R, LL\_7R3 e LL\_9R, foi igual a zero e o máximo foi de 0,37, na estação LL\_1R. Esse resultado está diretamente relacionado com o fato de essas estações terem sido uma das estações onde foram registrados um dos valores mínimos e um dos valores máximos para os parâmetros de riqueza e densidade de organismos. Isso porque esse índice leva em consideração a riqueza e a distribuição das abundâncias entre os taxa (SHANNON, 1948). A diversidade foi extremamente baixa em todas as estações.

As comunidades bentônicas nas diferentes estações amostrais registraram uma equitabilidade média de  $0,19 \pm 0,17$ . Bem como os valores da diversidade, os valores de equitabilidade também não foram similares entre as 12 estações de coleta do monitoramento. Porém não foram encontradas diferenças significativas entre os valores de equitabilidade da macrofauna bentônica entre as diferentes estações amostrais (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ). As estações LL\_3R2, LL\_4R, LL\_6R, LL\_7R3 e LL\_9R registraram o menor valor (0,00) e as demais estações, o maior valor (0,33) (Figura V.2-10). 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 pouco igualitária entre as abundâncias das espécies dessa comunidade, indicando uma comunidade muito pouco equitativa.

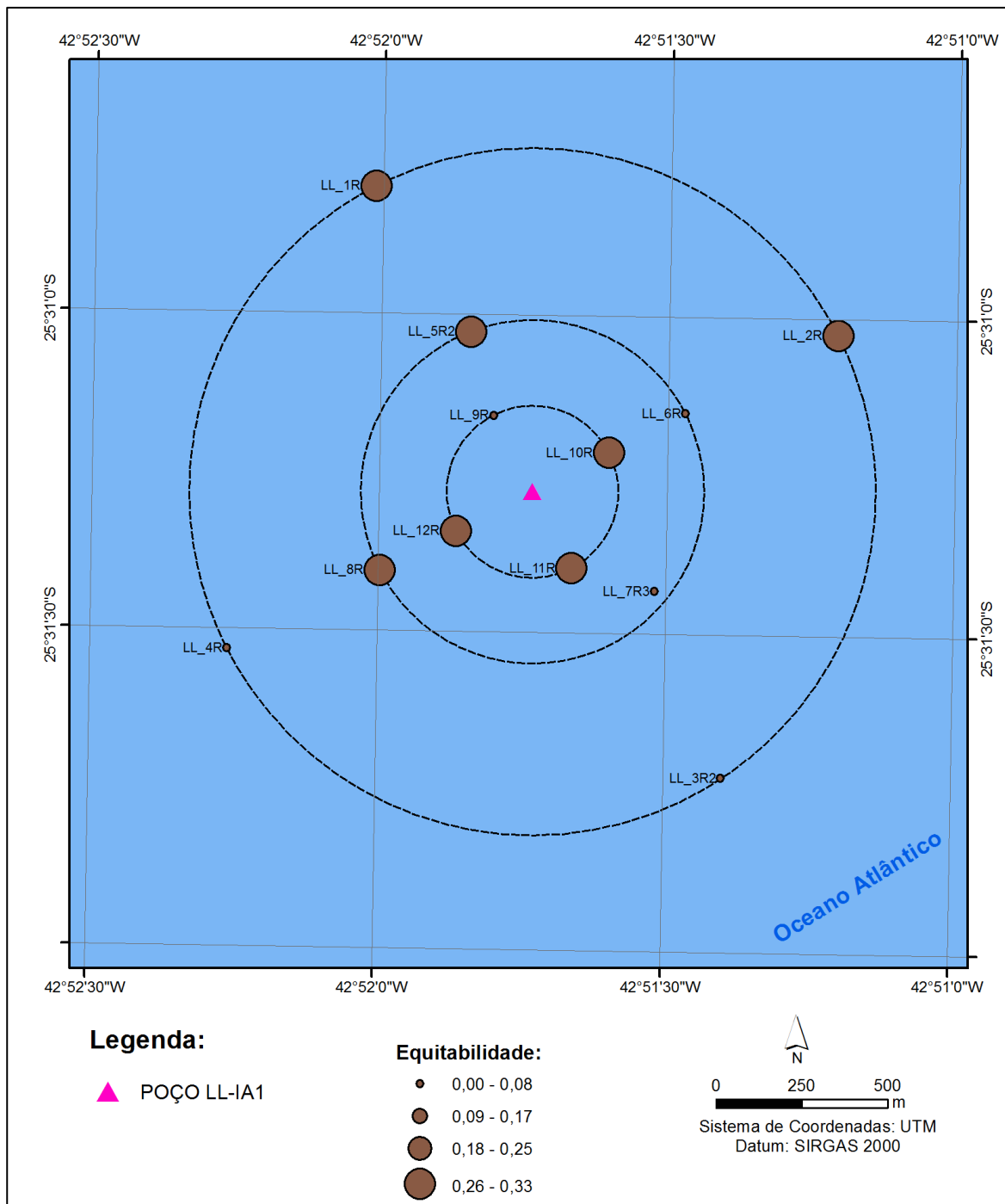


**Figura V.2-10** – Índices ecológicos da comunidade bentônica nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

Não foi observado um padrão de distribuição espacial para a diversidade e a equitabilidade (Figura V.2-11 e Figura V.2-12). De maneira geral, os maiores valores de ambos os parâmetros estão localizados no eixo nordeste sudoeste.

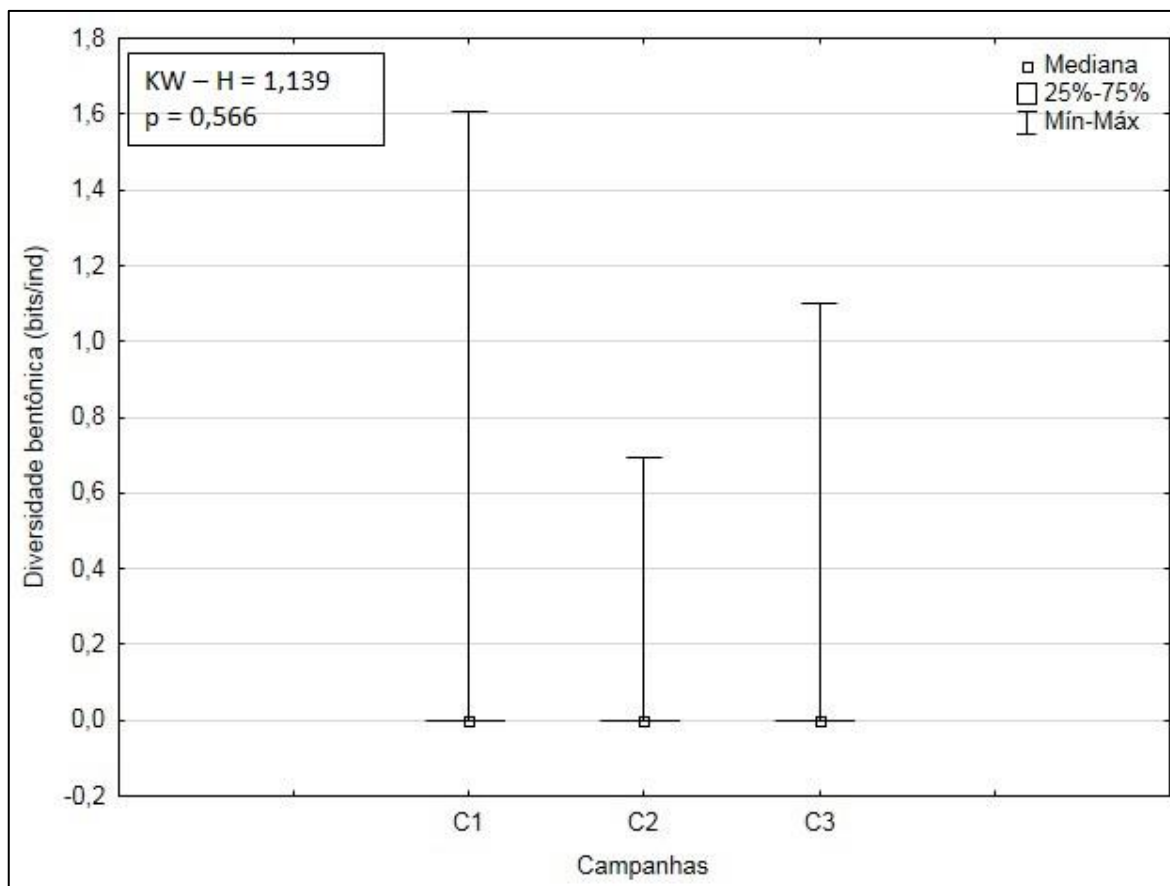


**Figura V.2-11 – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind) da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos**



**Figura V.2-12** – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

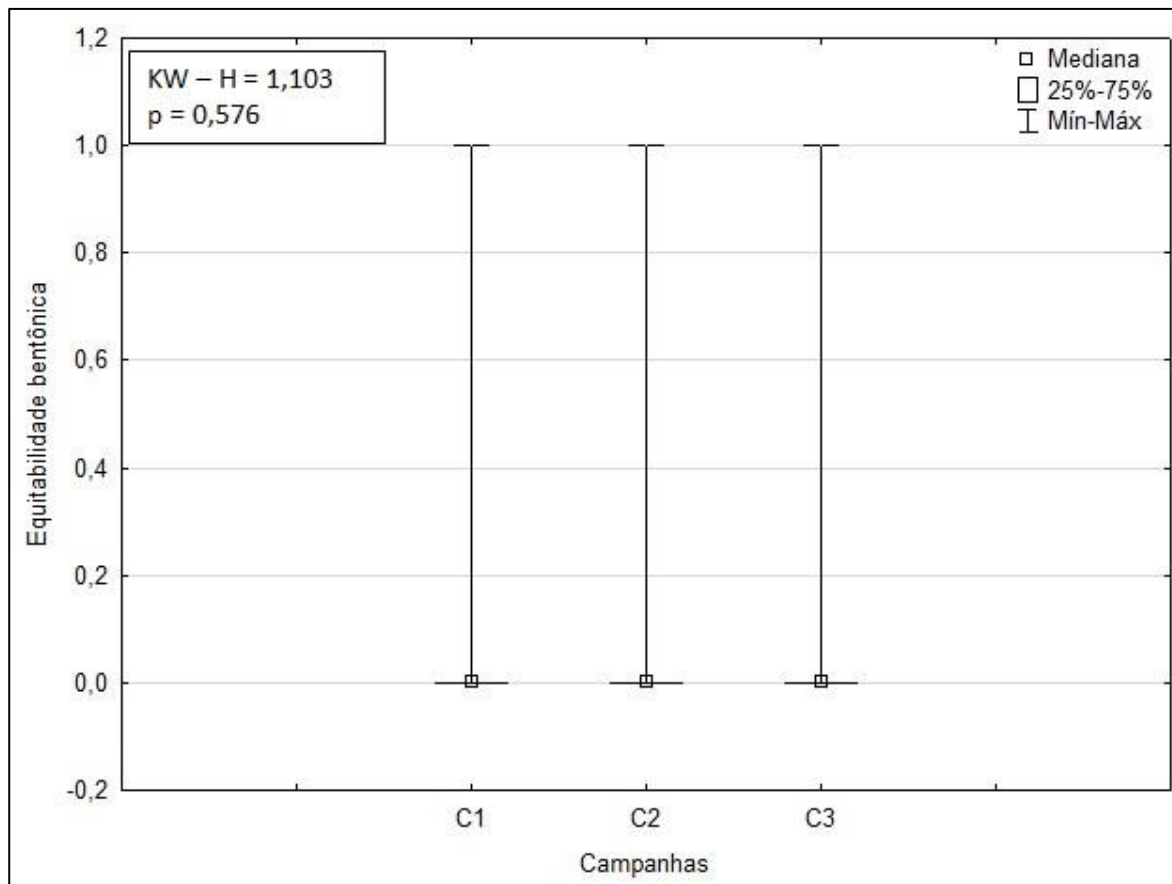
Na Figura V.2-13 é apresentada a diversidade da macrofauna obtida nas três campanhas do poço LL-IA1. A 2ª campanha apresentou os menores valores de diversidade. Não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

**Figura V.2-13** - Box plots representativos da diversidade (bits/ind) das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

Na Figura V.2-14 é apresentada a equitabilidade de macrofauna obtida nas três campanhas do poço LL-IA1. As três campanhas apresentaram valores semelhantes de equitabilidade. Não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p > 0,05$ ).



\* A elaboração do gráfico considerou os valores das três réplicas de cada uma das estações.

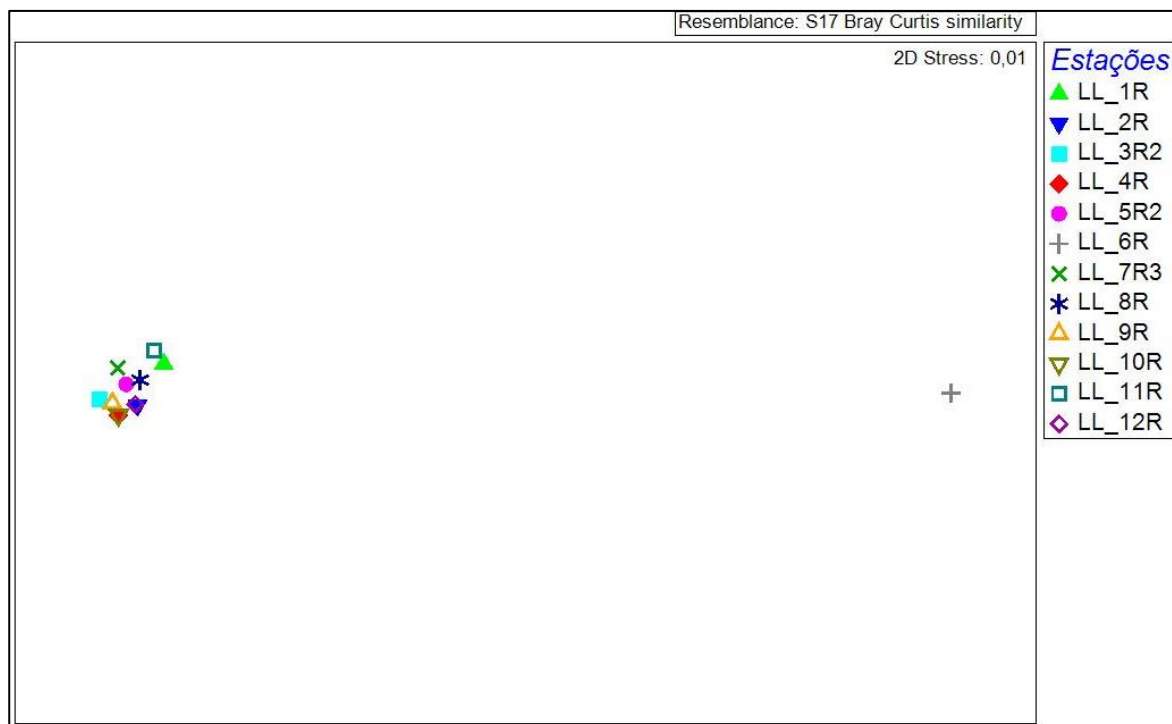
**Figura V.2-14** - Box plots representativos da equitabilidade das comunidades macrozoobentônicas encontrados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço LL-IA1.

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 baixa diversidade e baixa equitatividade em todas as estações.

#### V.2.4.1 - MDS e Análise de Cluster

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). Desta forma, o MDS preserva a ordem da inter-relação entre as amostras e permite uma observação somente do quanto as amostras são próximas ou afastadas. O gráfico gerado através da análise de MDS mostra as distâncias entre as estações (Figura V.2-15). O mesmo mostra as estações de coleta distribuídas com certo padrão de diferenciação. A estação LL\_6R esteve distante das demais estações, que se agruparam formando um único grupo.

O valor de *stress* do MDS foi igual a 0,01, 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).

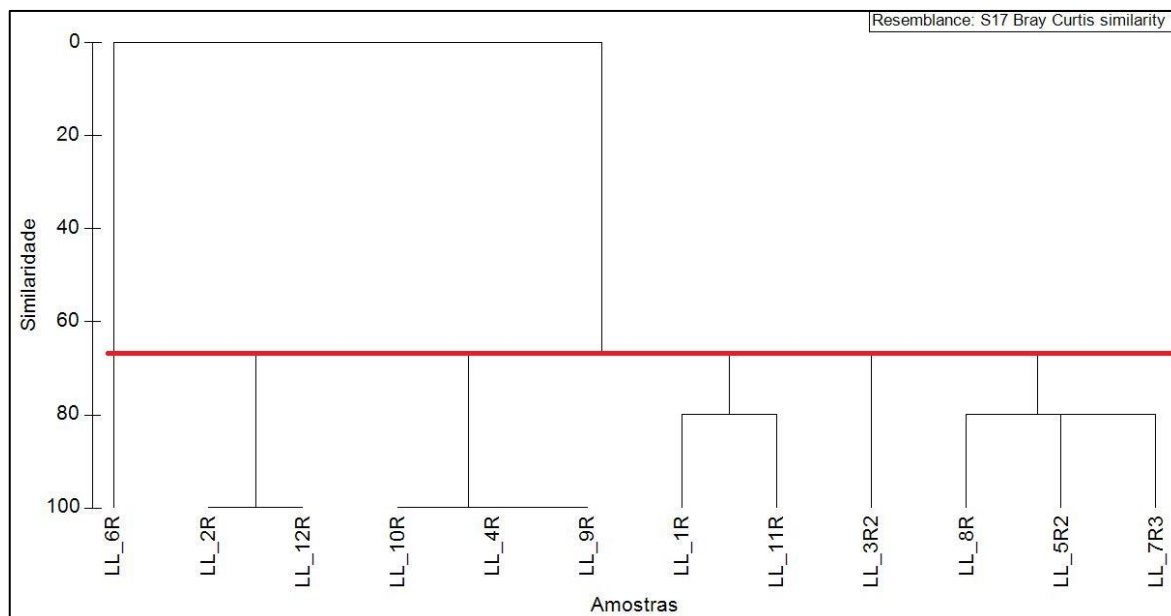


**Figura V.2-15** – Distâncias obtidas através da matriz de semelhança entre as densidades das 12 estações amostrais geradas pela análise de ordenamento multidimensional para a comunidade bentônica amostrada durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

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. O dendrograma gerado a partir da análise de *Cluster* para as doze estações amostradas durante a atual campanha de monitoramento indica que as estações possuem similaridade superior a 65 % (distância de Bray-Curtis), exceto a estação LL\_6R, que teve similaridade igual a zero, ou seja, foi diferente das demais estações. Essa análise reflete diferenças observadas entre essas comunidades, e indica que ocorre certa similaridade entre determinados grupos de estações. Com aproximadamente 65% de similaridade há a formação de seis grupos distintos: i) LL\_6R, ii) LL\_2R e LL\_12R, iii) LL\_4R, LL\_9R e LL\_10R, iv) LL\_1R e LL\_11R, v) LL\_3R2 e vi) LL\_5R2, LL\_7R3 e LL\_8R (Figura V.2-16). Somando esta análise com as outras do presente trabalho, é possível concluir que os grupos formados indicam pequenas variações, que podem ser naturais ou refletir os impactos antrópicos de empreendimentos que já existem na região, na estrutura dessas comunidades,



que representam a distribuição em manchas das comunidades bentônicas, conforme encontrado em ambientes naturais.



**Figura V.2-16** – Dendrograma da matriz de distâncias comparando as densidades de organismos da comunidade bentônica, observadas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

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 diferenças pontuais entre as estações de coleta. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando certa similaridade entre os pontos. A diferença entre os dados do presente trabalho pode estar relacionada com a variação espacial natural observada nessas comunidades. Os dados da presente campanha não corroboraram os dados da literatura para as proximidades da área amostrada, sendo os resultados dessa campanha, de maneira geral, menores em relação aos dados de estudos prévios.

## **VI - ANÁLISE INTEGRADA**

É apresentada a seguir a análise integrada dos dados ambientais e biológicos coletados durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos. Nesta análise objetiva-se investigar as relações entre os indicadores biológicos da comunidade de macrozoobentos e as variáveis físico-químicas e contaminantes coletados a partir de amostras de sedimento.

### **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**

As correlações de Spearman realizadas entre os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes e os dados de indicadores biológicos de macrozoobentos indicaram quatro correlações significativas. Duas correlações negativas, entre riqueza e MOT e riqueza e AMG. E duas correlações positivas entre mediana e densidade e mediana e riqueza (ver valores das correlações na Tabela VI.1-1)

**Tabela VI.1-1 - Correlações de Spearman entre dados de granulometria e matéria orgânica e nutrientes e dados de diversidade, equitatividade, riqueza e densidade total de macrozoobentos das amostras de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos. Valores em vermelho indicam correlação significativa  $p < 0,05$**

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
<b>MOT</b>	-0,34	<b>-0,58</b>	-0,09	-0,12
<b>COT</b>	-0,38	-0,21	0,02	0,07
<b>Carbonatos</b>	-0,27	-0,31	0,09	-0,07
<b>NT</b>	0,22	0,15	-0,27	-0,17
<b>PT</b>	-0,13	-0,20	-0,12	-0,02
<b>Cascalho</b>	0,46	0,07	0,03	0,10
<b>AMG</b>	-0,41	<b>-0,62</b>	-0,19	-0,27
<b>AG</b>	0,20	-0,01	0,23	0,22
<b>AM</b>	-0,09	-0,37	0,03	-0,07
<b>AF</b>	0,14	0,16	0,49	0,42
<b>AMF</b>	-0,08	-0,30	-0,12	-0,22
<b>Silte</b>	-0,10	0,05	-0,17	-0,02
<b>Argila</b>	-0,17	0,05	0,13	-0,02
<b>Mediana</b>	<b>0,62</b>	<b>0,88</b>	0,50	0,47

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

Depois de verificadas as correlações de Spearman, as relações entre os indicadores biológicos (densidade, riqueza, equitatividade e diversidade) e as variáveis físico-químicas do sedimento (granulometria, matéria orgânica e nutrientes), foram também investigadas através de uma análise de componentes principais (ACP). Para essa análise, as variáveis biológicas foram inseridas como variáveis ativas, e as físico-químicas, de granulometria, matéria orgânica e nutrientes, como variáveis suplementares.

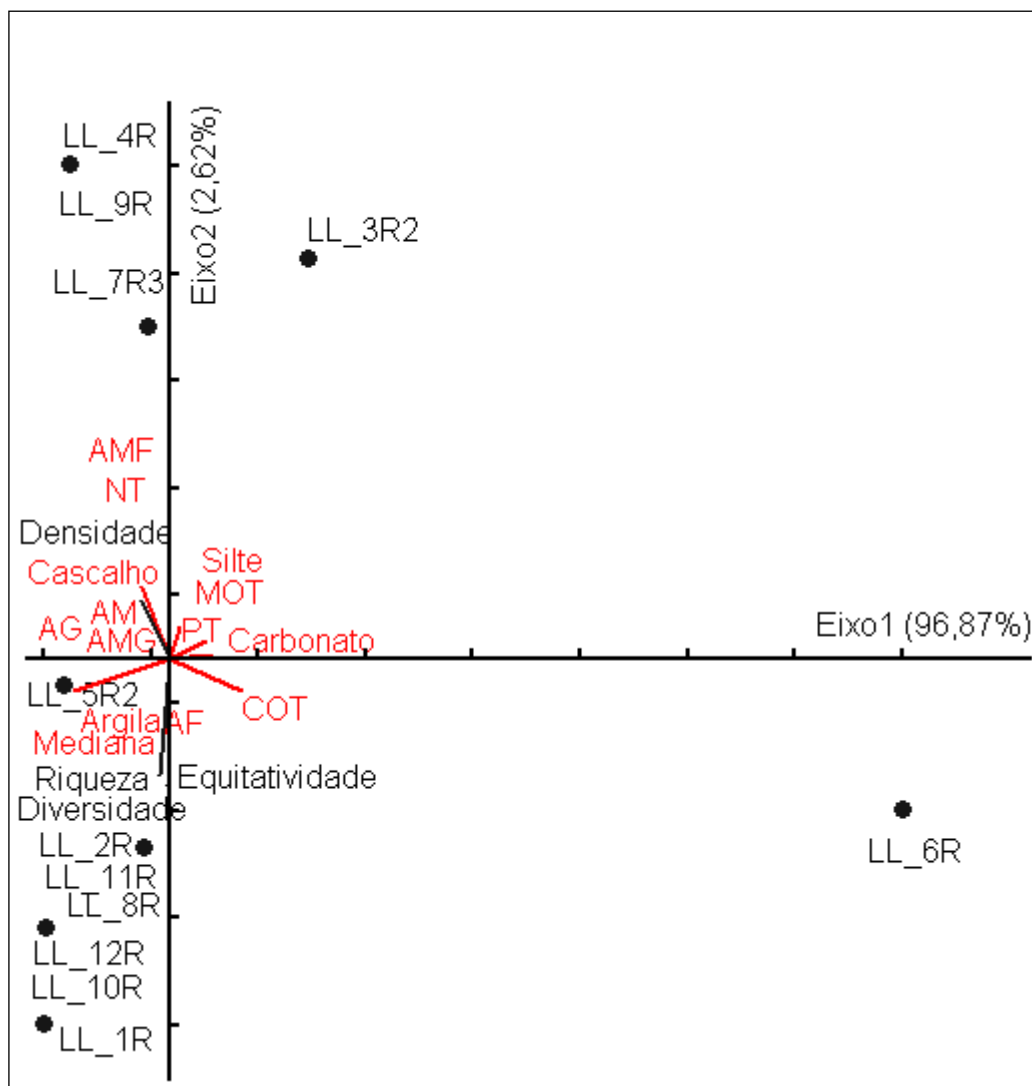
A partir da análise de componentes principais (ACP), verificou-se a distribuição espacial das estações na área de estudo, considerando-se as respostas biológicas em relação às variações ambientais. Na ACP apresentada (Figura VI.1-1) os dois primeiros eixos explicaram 99,49% da variação, sendo que o primeiro eixo explicou 96,87% e o segundo explicou 2,62% da variação dos dados.

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.

As estações de coleta distribuíram-se significativamente ( $p = 0,001$ ) ao longo do eixo 1 da ACP. Nessa análise, apenas as estações LL\_3R2 e LL\_6R, estiveram distribuídas positivamente ao longo do eixo 1, apresentando relação inversa ou negativa significativa com a densidade ( $r = -0,99$ ) e riqueza ( $r = -0,96$ ) e nenhuma relação significativa com as variáveis ambientais. As demais estações amostrais, LL\_1R, LL\_2R, LL\_4R, LL\_5R2, LL\_7R3, LL\_8R, LL\_9R, LL\_10R, LL\_11R e LL\_12R ocorreram na porção negativa do eixo 1, correlacionando-se positivamente com densidade e riqueza e igualmente não apresentaram correlações significativas com as variáveis ambientais, pois a distância dessas variáveis ao centro do plano foi inferior à 0,71.

Como a variação explicada ao longo do eixo 2 não foi significativa, foram consideradas as relações e variações observadas apenas ao longo do eixo 1.



Legenda: R, estações reposicionadas em relação à primeira campanha, 12 estações, AG, areia grossa, AMG, areia muito grossa, AM, areia média, AMF, areia muito fina, AF, areia fina, NT, nitrogênio total, PT, fósforo total, COT, carbono orgânico total, MOT, matéria orgânica total.

**Figura VI.1-1 - Análise de componentes principais dos indicadores biológicos de macrozoobentos, sobrepondo-se as variáveis ambientais (granulometria, nutrientes e matéria orgânica) sobre o plano da ACP. Coleta de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.**

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

Com relação às correlações de Spearman entre os metais e os indicadores biológicos de macrozoobentos não foram verificadas correlações significativas (ver valores da 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 de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos. Não ocorreram correlações significativas ( $p > 0,05$ ).**

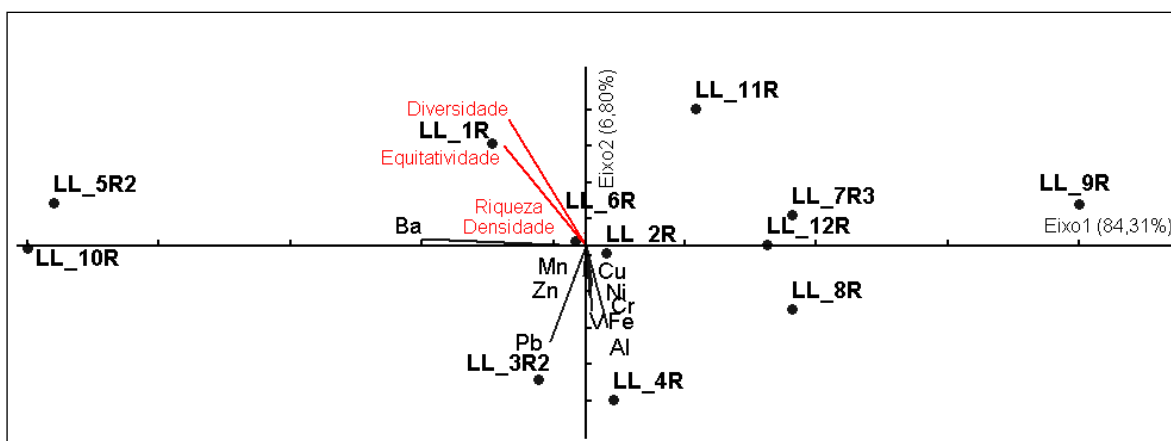
	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
Alumínio	0,08	0,11	-0,43	-0,32
Bário	-0,06	-0,04	0,33	0,27
Chumbo	-0,13	-0,32	-0,02	-0,07
Cobre	0,36	0,18	-0,22	-0,17
Cromo	0,15	0,04	-0,40	-0,32
Ferro	0,09	-0,06	-0,50	-0,47
Mangnês	0,03	-0,10	-0,18	-0,22
Níquel	0,27	0,13	-0,39	-0,27
Zinco	0,57	0,19	-0,11	-0,07
Vanádio	0,02	-0,02	-0,47	-0,37

Para complementar a análise das relações entre metais/contaminantes e os indicadores biológicos foi realizada uma ACP, a qual permite 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). Dessa forma, conforme pode ser visualizado na Figura VI.1-2, os dois primeiros eixos da ACP explicaram 91,11% da variação, sendo 84,31% e 6,80% relativos ao primeiro e segundo eixo, respectivamente.

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 0,45.

De maneira geral, as amostras distribuíram-se significativamente ( $P = 0,017$ ) ao longo do eixo 1 da ACP. A distribuição das estações ao longo do segundo eixo não foi significativa. Portanto, foram consideradas apenas as relações sobre o eixo 1. Na porção positiva do eixo 1, distribuíram-se as estações LL\_2R, LL\_4R, LL\_7R3, LL\_8R, LL\_9R2, LL\_11R e LL\_12R. Essas estações correlacionaram-se significativamente positivamente com alumínio ( $r = 0,52$ ) e negativamente com bário ( $r = -1,00$ ) e chumbo ( $r = -0,66$ ). Na porção negativa do eixo 1 ocorreram as estações LL\_1R, LL\_3R2, LL\_5R2, LL\_6R e LL\_10R, correlacionando-se

significativamente positivamente com bário e chumbo e negativamente com alumínio. Não foram verificadas correlações das estações amostrais em relação à densidade, riqueza, diversidade e equitatividade bentônica, nem com as demais variáveis de metais, pois essas variáveis apresentaram distância do centro do plano inferior a 0,45.



Legenda: R, estações reposicionadas em relação à primeira campanha, 12 estações, Al, alumínio / Ba, bário / Cr, cromo / Cu, cobre / Cd, Cádmiio / Fe, ferro / Mn, manganês / Ni, níquel / V, vanádio / Zn, zinco LL, estações de coleta do poço LL-IA1, 12 estações.

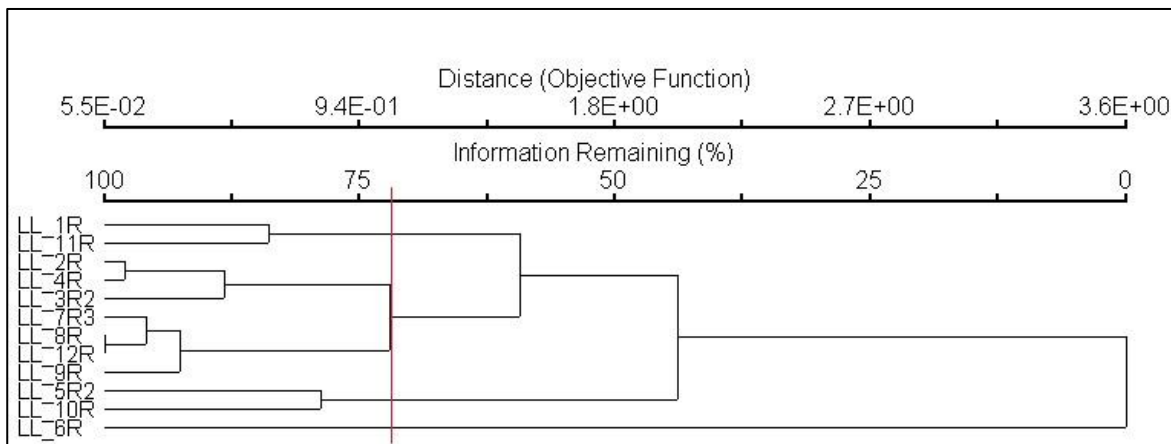
**Figura VI.1-2** - Análise de componentes principais entre os contaminantes e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.

### 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 duas análises: uma de agrupamento (*cluster*) e uma de escalonamento multidimensional (MDS).

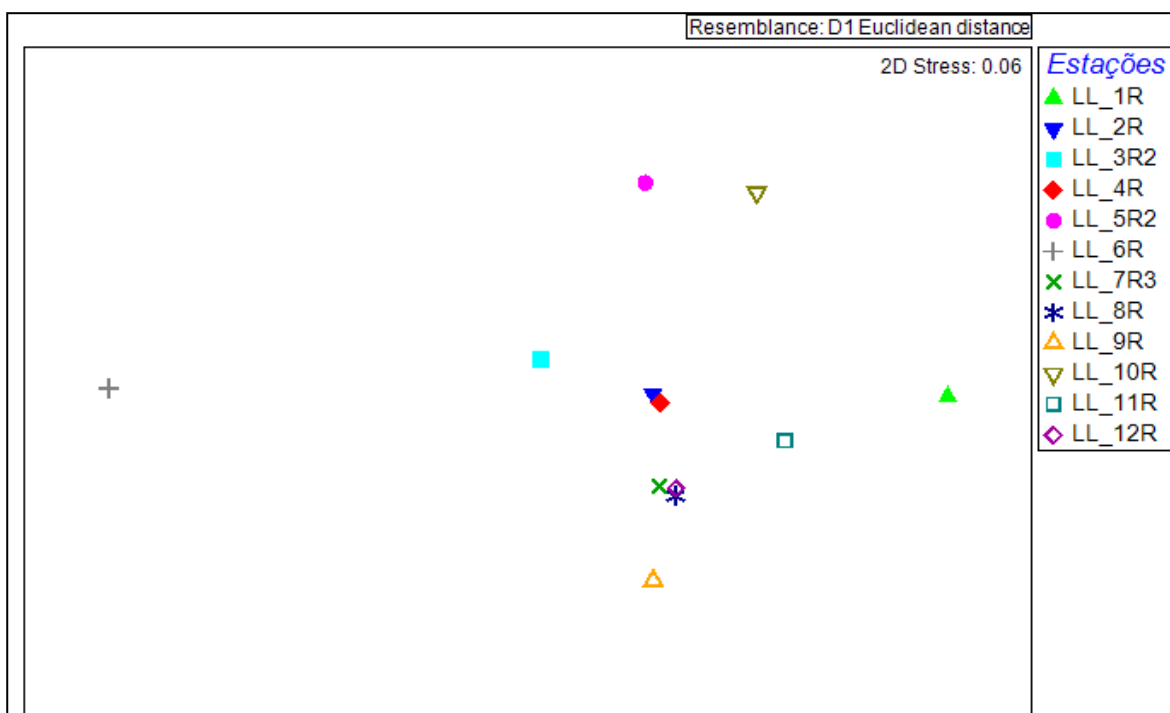
Na Figura VI.1-3 é apresentado o gráfico resultante da análise de agrupamento. Nesse *cluster*, verifica-se a formação de quatro grupos principais com 72% de similaridade: i) LL\_1R LL\_11R, ii) LL\_2R, LL\_4R, LL\_3R2, LL\_7R3, LL\_8R, LL\_12R, e LL\_9R, iii) LL\_5R2, LL\_10R e iv) LL\_6R. Essa última estação LL\_6R, destaca-se pela completa falta de similaridade entre as demais estações, isso porque, todos os dados biológicos foram nulos. A MDS resultante fortalece o

resultado observado no cluster de formação de quatro grupos principais. Nessa análise o stress foi satisfatório de 0,06 (Figura VI.1-4).



Legenda: R, estações reposicionadas em relação à primeira campanha, 12 estações

**Figura VI.1-3 -** Análise de agrupamento, das 12 estações de amostragem de sedimento durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, com base nos dados ambientais e biológicos.



Legenda: R, estações reposicionadas em relação à primeira campanha, 12 estações.

**Figura VI.1-4 -** Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas dos sedimentos coletados durante a 3ª campanha de monitoramento do poço LL-IA1, Bacia de Santos.



No atual estudo observa-se variação espacial das estações amostrais em resposta à variação biológica, ambiental e de concentração de contaminantes. Tal variação pôde ser conferida nas análises de ordenação, cluster e MDS realizadas (Figura VI.1-1, Figura VI.1-2, Figura VI.1-3 e Figura VI.1-4). Destaca-se que em relação aos indicadores biológicos, a maior variação verificada foi em relação à estação amostral LL\_6R que apresentou valores nulos de densidade, riqueza, diversidade e equitatividade e por isso, ficou mais separada em termos de similaridade das demais estações. No geral, a densidade variou de 14,66 ind/m<sup>2</sup> em LL\_3R2 a 44ind/m<sup>2</sup>, nas estações LL\_1R, LL\_4R, LL\_5R2, LL\_8R, LL\_9R, LL\_10R, e LL\_12R (considerando-se a média das réplicas de cada estação). A riqueza máxima foi de três espécies. Quanto à diversidade de Shannon, o valor mínimo observado, registrado nas estações LL\_3R2, LL\_4R, LL\_6R, LL\_7R3 e LL\_9R, foi igual a zero e o máximo foi 0,37, na estação LL\_1R e a equitatividade ficou entre 0 e 0,33. A diversidade foi extremamente baixa e isso está diretamente relacionado ao fato de terem sido encontrados valores contrastantes de densidade e riqueza nessas estações, considerando-se que o índice de Shannon leva em consideração a riqueza e a distribuição das abundâncias entre os taxa (SHANNON, 1948). A equitatividade foi igualmente extremamente baixa, indicando distribuição pouco igualitária entre as abundâncias das espécies dessa comunidade (PIELOU, 1977).

De maneira geral, o filo dos anelídeos representou o maior número de taxa e as maiores densidades entre as estações, seguido de Arthropoda e Nemertea. Conforme registrado por Amaral & Rossi-Wongtschowski (2004) os poliquetas estão entre os grupos mais bem representados, tanto em abundância, quanto em número de espécies na região sul e sudeste brasileira, e por isso, tornam-se importantes fontes de alimento, sendo fundamentais no controle de outras populações (AMARAL & MIGOTTO, 1980).

Com relação à composição granulométrica do sedimento, sabe-se que ela é um fator relevante para a distribuição e a estruturação da comunidade bentônica em ecossistemas aquáticos (ALLAN, 2004; GONÇALVES *et al.*, 1998), juntamente com a disponibilidade e qualidade de nutrientes (ESTEVES, 2011). Na atual campanha de monitoramento, verificou-se que riqueza e densidade correlacionaram-se positivamente com a mediana (dado estatístico de

granulometria) e a riqueza correlacionou-se negativamente com MOT e AMG. Nesse contexto, tem-se que a fração granulométrica predominante em todas as estações foi silte. Além disso, os valores de média e mediana apresentaram variações elevadas, indicando distribuição assimétrica da distribuição dos grãos (SUGUIO, 1973), tendendo ao enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas finas (DIAS, 2004), como silte e argila. Também, constataram-se diferenças significativas de concentração de COT entre as estações, porém não foram verificadas diferenças significativas de MOT, NT e PT.

Sabe-se que os organismos bentônicos apresentam estreita relação com o tipo de sedimento que habitam, com o processamento de matéria orgânica e com o consumo de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Esses fatores influenciam a incorporação de biomassa, o crescimento, e os fatores estruturadores da comunidade – diversidade, riqueza, equitabilidade e densidade. Além disso, a diversidade bentônica marinha está teoricamente relacionada à diversidade e estabilidade de habitats de uma dada área (GRAY *et al.*, 2002). De maneira geral, esses organismos processam a energia proveniente de detritos e matéria orgânica presentes no sedimento. Daí a importância do tipo de sedimento disponível, pois é o acúmulo de matéria orgânica nesse sedimento que será favorável ao desenvolvimento dos organismos bentônicos (VITOUSEK, 1990). Em diferentes ambientes aquáticos, os macrozoobentos dependem, em grande parte, da produção da matéria orgânica autóctone ou alóctone que sedimenta no fundo, podendo dessa forma processar a matéria orgânica sedimentada (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Em relação aos metais, é importante destacar que dependendo de como estão dispostos no sistema, os metais podem ser benéficos, impulsionando o desenvolvimento dos organismos, ou podem apresentar um elevado grau de toxicidade para as muitas formas de vida (LORENZI *et al.*, 2008). E isso não é diferente para organismos bentônicos, os quais podem ser afetados negativamente e/ou positivamente em diversos níveis organizacionais, dada a concentração desses componentes no sedimento. No presente estudo, as concentrações de ferro e alumínio foram as mais elevadas entre as estações. Em contrapartida, as menores concentrações foram de chumbo, sendo que cádmio e mercúrio que não foram detectados. Portanto a sequência de concentrações

observada nesta terceira campanha foi: Al > Fe > Mn > Ba > Zn > V > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd > Hg. Quanto ao fator de enriquecimento, utilizado para avaliar evidências de contaminação por metais (WOITKE *et al.*, 2003; SELVARAJ *et al.*, 2004), esse fator foi inferior a 1 para a maioria dos metais, exceto para o bário e chumbo. O bário foi classificado como pequeno enriquecimento, nas estações LL\_5R2 e LL\_10R, já o chumbo variou de pequeno a moderado enriquecimento, que ocorreu na maioria das estações, exceto em LL\_9R e LL\_12R (Tabela V.1-8). Em relação aos demais metais, exceto bário e chumbo, conclui-se que não há evidências de contaminação na área de perfuração do poço LL-IA1 devido aos baixos valores do fator de enriquecimento.

Embora a concentração de metais no ambiente possa exercer importante papel na função biológica de muitos organismos, inclusive organismos bentônicos, e embora tenham-se observado evidências de contaminação de bário e chumbo pelo fator de enriquecimento pequeno e moderado em algumas estações, nesta campanha não foram verificadas relações significativas entre os metais e os indicadores biológicos da comunidade bentônica.

## VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 3ª campanha de monitoramento ambiental (fase pós-perfuração) da atividade de perfuração marítima na área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Lula – IA1. Os resultados referem-se à qualidade do sedimento e caracterização da macrofauna bentônica local, com o objetivo de estabelecer um diagnóstico ambiental que sirva como base para comparações com as campanhas anteriores do poço LL-IA1, de forma a subsidiar a avaliação de possíveis alterações que tenham ocorrido em função da atividade.

Ao analisar a granulometria dos sedimentos no entorno do poço LL-IA1 foi possível observar pouca variação na distribuição granulométrica, uma vez que em todas as amostras houve predomínio da fração correspondente ao silte. Os valores de carbonato indicaram taxas relativamente altas (50 a 70%), ou seja, todas as estações amostradas foram classificadas como sedimentos biolitoclásticos.

As concentrações médias de carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica total (MOT) foram de  $0,74 \pm 0,14\%$  e  $2,58 \pm 1,14\%$ , respectivamente, nas amostras coletadas no entorno do poço LL-IA1.

As concentrações de nitrogênio total e fósforo total foram inferiores em relação aos valores encontrados na bibliografia existente para a região de estudo, exceto em relação à primeira campanha de monitoramento do poço LL-IA1 e a primeira campanha de monitoramento do duto de Cabiúnas. Estas diferenças estão provavelmente relacionadas à variabilidade natural. Não foi observado um padrão de distribuição espacial das concentrações de nitrogênio e fósforo totais, mas de maneira geral maiores concentrações foram observadas nas estações mais próximas do poço LL-IA1.

Quanto aos metais, de maneira geral, foram registradas concentrações inferiores em relação aos dados pretéritos para todos os metais. Não foi possível definir um padrão de distribuição evidente, o que indica uma distribuição uniforme na concentração dos metais analisados entre as estações. De maneira geral, o alumínio e o ferro apresentaram concentrações um pouco maiores no eixo

nordeste-sudoeste do poço LL-IA1. Essa uniformidade é corroborada pelo fato de nenhum metal ter apresentado diferença significativa entre as estações de coleta.

Os valores encontrados para os metais estão em consonância com os valores de referência de TEL e PEL, ou seja, os valores encontrados são muito inferiores ao nível estabelecido por TEL, exceto o cobre, que apresentou concentração máxima próxima ao limite de TEL. Os índices de qualidade do sedimento, por área e por ponto amostral, também não indicaram contaminação do sedimento (SeQI = 100). O fator de enriquecimento foi inferior a 1 para todos os metais em todas as estações, exceto para o bário, nas estações LL\_5R2 e LL\_10R, e para o chumbo em todas as estações, exceto na LL\_9R e na LL\_12R. Para o bário, o enriquecimento foi classificado como pequeno em ambas as estações, enquanto que para o chumbo, o enriquecimento também foi classificado como pequeno em todas as estações, exceto na estação LL\_5R2, em que o enriquecimento foi classificado como moderado. Ao analisar os resultados acima apresentados, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento na área do poço LL-IA1 não apresenta evidências de contaminação destes parâmetros devido aos baixos valores do fator de enriquecimento, exceto o bário nas estações LL\_5R2 e LL\_10R e o chumbo, em todas as estações, exceto na LL\_9R e LL\_12R, embora os valores não tenham ultrapassado os valores de referência TEL e PEL. Porém, é preciso cautela ao analisar os maiores valores de bário encontrados na atual campanha, que podem estar associados à atividade de perfuração. Por outro lado, também se deve considerar que todas as estações foram reposicionadas, da primeira para a segunda campanha, devido ao reposicionamento do poço, portanto os valores de *background* para o fator de enriquecimento não foram coletados exatamente nas mesmas coordenadas que foram coletadas na atual campanha.

Não foram verificadas concentrações detectáveis de HPA's, HTP's, n-alcanos e MCNR nas amostras analisadas. De forma geral, as concentrações de hidrocarbonetos permitem inferir que a região não apresenta indicativos de contaminação por estes compostos, e conclui-se que os sedimentos na região de entorno do poço LL-IA1 não apresentam indícios de resíduos relacionados ao petróleo no momento da atual campanha de pós-perfuração.

O filo Annelida, representado pela classe Polychaeta, ocorreu na maioria das estações, exceto nas estações LL\_1R, LL\_6R e LL\_11R. Além disso, foi o grupo taxonômico mais abundante.

As estações LL\_1R, LL\_8R, LL\_10R e LL\_12R se destacaram por apresentar o maior número de taxa (3), enquanto a estação LL\_6R obteve o valor mínimo, que foi igual a 0, nas proximidades do poço LL-IA1. As maiores densidades foram observadas nas estações LL\_1R, LL\_2R, LL\_4R, LL\_5R2, LL\_8R, LL\_9R, LL\_10R e LL\_12R.

As estações de amostragem apresentaram baixa diversidade de espécies ( $0,00 < H' < 0,37$ ). A estação LL\_1R foi a que apresentou a maior diversidade específica ( $H' = 0,37$ ).

Na presente campanha, as doze estações variaram em relação à equitabilidade, com valores baixos em todas as estações ( $\Delta: 0,00 - 0,33$ ), indicando que as espécies aparecem em abundâncias consideradas pouco uniformes, com variações significativas.

Segundo a análise de agrupamento pelo método de *Cluster*, as estações possuem similaridade superior a 65%, exceto a estação LL\_6R, que apresentou similaridade igual a zero, ou seja, foi diferente em relação as demais. A análise de ordenação multidimensional sugere similaridade entre as estações, exceto para a estação acima citada, que diferiu das demais. Com aproximadamente 65% de similaridade há a formação de seis grupos distintos: i) LL\_6R, ii) LL\_2R e LL\_12R, iii) LL\_4R, LL\_9R e LL\_10R, iv) LL\_1R e LL\_11R, v) LL\_3R2 e vi) LL\_5R2, LL\_7R3 e LL\_8R.

Através da análise dos parâmetros qualitativos (riqueza e composição de taxa) e quantitativo (densidade), bem como a avaliação dos filós encontrados e sua respectiva variação nas estações de coleta foram detectadas diferenças pontuais entre as estações de coleta. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando certa similaridade entre os pontos. A diferença entre os dados do presente trabalho pode estar relacionada com a variação espacial natural observada nessas comunidades. Os dados da presente campanha não corroboraram os dados da literatura para as proximidades da área amostrada, sendo os resultados dessa campanha, de maneira geral, menores em relação aos dados de estudos prévios.

No presente estudo observou-se variação espacial das estações amostrais em resposta à variação biológica, ambiental e de concentração de contaminantes. De maneira geral, destaca-se a estação LL\_6R por apresentar valores nulos de densidade, riqueza, diversidade e equitatividade. Em relação às demais estações, a diversidade e equitatividade foram extremamente baixas. Além disso, foram observadas relações negativas de riqueza bentônica com AMG e MOT e positiva de riqueza e densidade com mediana.

Em relação aos metais, embora sua concentração no ambiente exerça importante papel na função biológica de muitos organismos, e nesse estudo tenham-se observado evidências de contaminação de bário e chumbo com fator de enriquecimento pequeno e moderado em algumas estações, nesta campanha não foram verificadas relações significativas entre os metais e os indicadores biológicos da comunidade bentônica.

Os dados apresentados referentes à qualidade dos sedimentos e à macrofauna bentônica permitiram caracterizar satisfatoriamente a qualidade ambiental da região do entorno do poço LL-IA1, no momento da campanha de pré-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 ao bário e chumbo, que apresentaram fator de enriquecimento superior a 1. Esses metais podem estar relacionados às atividades de perfuração.





---

## **VIII - BIBLIOGRAFIA**

AGUIAR NETO, A. B.; FREIRE, G. S. S.; GOMES, D. F.; GOUVEIA, S. T. **Distribuição geoquímica de metais pesados em sedimentos de manguezais de Icapuí – CE.** In: 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. Campinas. 2007.

ALLAN, J. D. **Landscapes and riverscapes:** the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35:257–84, 2004.

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. 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 Euprosinidae. **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.; 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.

ANP. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural – Janeiro 2011. Superintendência de Desenvolvimento e Produção – SDP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 01 mar. 2011.

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.

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 subtrato 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.

BRASIL. Senado Federal. Informações do Pré-Sal. 2012. Disponível em: <[http://www.senado.gov.br/noticias/agencia/infos/info\\_presal/presal02.html](http://www.senado.gov.br/noticias/agencia/infos/info_presal/presal02.html)>. Acesso em: 05 abr. 2012.

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.

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.

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 set. 2013.

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

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.

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

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

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 upon 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.

GRAY, S.; WU, R. S.; OR, Y. Y. **Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment**. Marine Ecology Progress Series, 238 249–279. 2002.

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.

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.

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. Organismos Bênticos e Atividades de Monitoramento. Oceanografia Biológica Bentos, Diagnóstico ambiental Oceânico e costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil: Petrobrás Fundespa. In: IKEDA, I. (Org.). Oceanografia Biológica Bentos, Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. Rio de Janeiro: PETROBRÁSFUNDESPA, 1994. p. 10-21.

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.

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. et al. 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.



MARINS, R. V. et al. Impacts of land-based activities on the Ceará coast, NE Brazil. In: LACERDA, L. D.; KREMER, H. H.; KJERVFE, B.; SALOMONS, W.; MARSHALL-CROSSLAND, J.I. & CROSSLAND, J. C. (Eds.) **South American Basis: LOICZ Global change assessment and synthesis of river catchment – coastal sea interaction and human dimensions**. LOICZ Reports & Studies, n. 21, p. 92-98, 2002.

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: Plêiade, 1996, 603 p.

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

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

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. Hyperiidia. 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 200S and 28°S**. J. Geophys. Res., 103(C3):5429-5443, 1998.

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. et al. **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/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**. 1ª Campanha (Janeiro/2010). Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do sistema de produção e escoamento de óleo e gás natural na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos, 2010.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 2ª Campanha (Janeiro/2011). Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do sistema de produção e escoamento de óleo e gás natural na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos, 2012.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 1ª Campanha (Fevereiro/2013). Projeto de Monitoramento Ambiental do Projeto de Escoamento de Gás para Cabiúnas – Rota Cabiúnas, Bacia de Santos, 2014.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 1ª Campanha (Janeiro/2014). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Lula – IA1, 2015a.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 1ª Campanha (Outubro/2014). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Lula-Iracema – IN1, 2015b.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 2ª Campanha (Outubro/2014). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de

---

Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Lula – IA1, 2016.

PETROBRAS/HABTEC. **Relatório Final de Caracterização dos Blocos BM-S-8,9, 10, 11 e 21**, Bacia de Santos, 2003.

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. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental**. Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás da Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos, 2008.

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

PETROBRAS/MINERAL. **Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)**. Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos - Etapa 2. 2013.

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.

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.

PULGATI, F. H.; FACHEL, J. M. G.; RUSSO, L.; PERALBA, M. C.; POZZEBON, D. **Identificação da Área Alterada pela Presença de Fluidos de Perfuração na Atividade Exploratória Marítima**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador. 2005, 6 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, Evangraf, 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, 354 p.

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.

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.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMEWW. 22<sup>a</sup> Ed. Centennial Edition, 2005.

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.

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: Engel, M. H. & Macko, S. A. (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. E MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Physical and Chemical Properties Models**. Pollution Prevention Framework, 2005. 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.

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

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

\_\_\_\_\_ **Method 3630**. 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.

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.

WASSERMAN, J. C.; WASSERMAN, M. A. **Comportamento de metais em sedimentos.** In: NETO, J. A. B.; WALNER-KERSANACH, M. e PATCHINEELAM, S. M. (Ed). Poluição Marinha. Rio de Janeiro: Interciência, 2008, p.197-236.

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 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:

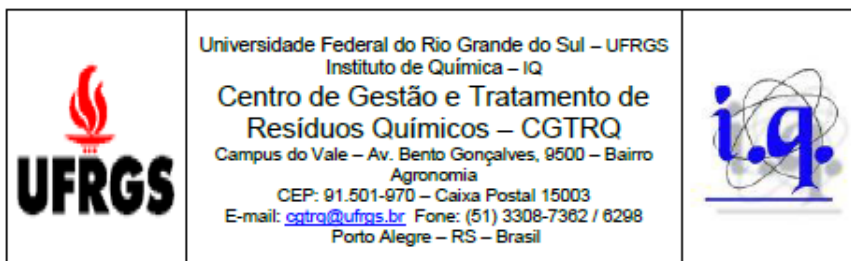
\* Locação de caminhão para transportar resíduo classe I, tratamento do resíduo que estava contaminado com formol.

\* 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.

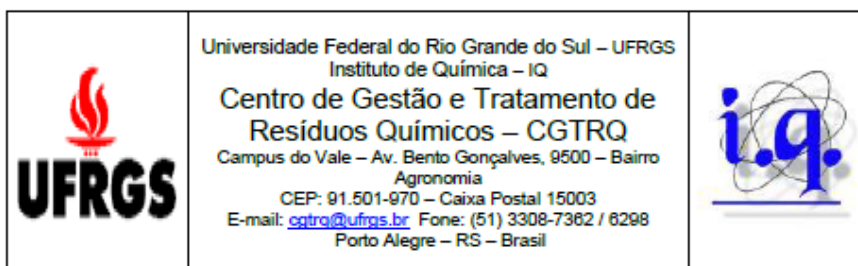
Informamos que este órgão está fazendo o apoio técnico para retirada dos resíduos químicos gerados na empresa **Lógica Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S** por tempo indeterminado.

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-2 – Carta de Tombamento da Macrofauna Bentônica Amostrada***





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 No 02001.005368/03-31, Autorização de Captura No 314/2013, com validade de 5 anos.

Foram recebidos os seguintes empreendimentos referentes ao estudo acima citado:

- 1ª Campanha PMAEper\_LL-IRA-IN1;
- 1ª Campanha PMAEper\_LBR-NW2;
- 2ª Campanha PMAEper\_FRC-SP2;
- 8ª Campanha PMAEpro\_MLZ;
- 3ª Campanha PMAEpro\_DP-B&P;
- 3ª Campanha PMAEper\_FRC-SP2;
- 3ª Campanha PMAEper\_LL-IA1;
- 8ª Campanha PMAEpro\_MXL.

Porto Alegre, 16 de fevereiro de 2016.

  
Dr. João Ito Bergonci  
Diretor.

Ao Sr.  
**Nelson Silveira**  
Diretor de Meio Ambiente  
Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente Ltda.

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](mailto:biologia@ufrgs.br) – [biociencias@ufrgs.br](mailto:biociencias@ufrgs.br).

***Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço LL-IA1, Bacia de Santos***



---

<b>Táxon</b>	<b>Densidade (ind/m<sup>2</sup>)</b>
Filo Annelida	
Subfilo Polychaeta	
Polychaeta N.Det.	440
Classe Errantia	
Subclasse Aciculata	
Ordem Phyllodocida	
Família Glyceridae	
Glyceridae N.Det.	44
Família Nereididae	
Gênero Micronereides	
<i>Micronereides</i> sp.	132
Classe Sedentaria	
Subclasse Palpata	

---

---

Táxon	Densidade (ind/m <sup>2</sup> )
Ordem Canalipalpata	
Família Sabellidae	
Sabellidae N.Det.	44
Família Spionidae	
Filo Arthropoda	88
Subfilo Crustacea	
Classe Malacostraca	
Subclasse Eumalacostraca	
Ordem Cumacea	
Cumacea N.Det.	88
Ordem Isopoda	
Isopoda N.Det.	44
Ordem Tanaidacea	

---



---

Táxon	Densidade (ind/m <sup>2</sup> )
Tanaidacea N.Det.	44
Família Apseudidae	
Apseudidae N.Det.	44
Gênero Carpoapseudes	
<i>Carpoapseudes prospectnes</i>	44
Classe Maxillopoda	
Subclasse Copepoda	
Copepoda N.Det.	44
Filo Nemertea	
Nemertea N.Det.	176

---



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



**X - EQUIPE TÉCNICA**

<b>Profissional</b>	Fernanda Trierweiler
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente
<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
<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>	Viviane Kruger
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente
<b>Formação Profissional</b>	Gestão Ambiental
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CREA/RS 195090
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	5564682
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Diego Nunes Engelke
<b>Empresa</b>	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente
<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>	