

**Projeto de Monitoramento Ambiental da
Atividade de Perfuração Marítima na Área
Denominada Área Geográfica da Bacia de
Santos – Poço Franco – SP2**

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

Volume Único

RTAA_FRC-SP2_C3_BSD_11032016-01

**Revisão 01
Junho/2016**



E&P

ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO	23/222
II - OBJETIVOS.....	25/222
III - ÁREA DE ESTUDO	26/222
III.1 - BACIA DE SANTOS.....	26/222
III.2 - BLOCO FRANCO.....	34/222
III.2.1 - Qualidade do Sedimento	36/222
III.2.2 - Macrofauna Bentônica.....	41/222
III.3 - HISTÓRICO DA ATIVIDADE	42/222
IV - MATERIAL E MÉTODOS	45/222
IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO	45/222
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	53/222
IV.2.1 -Matéria Orgânica Total (MOT) e Carbono Orgânico Total (COT).....	53/222
IV.2.2 -Carbonatos.....	54/222
IV.2.3 -Granulometria.....	54/222
IV.2.4 -Nitrogênio Total	55/222
IV.2.5 -Fósforo Total	55/222
IV.2.6 -Metais.....	56/222
IV.2.7 -Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's)	56/222
IV.2.8 -Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)	57/222
IV.2.9 -Macrofauna Bentônica.....	60/222
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS	61/222
IV.3.1 -Qualidade do Sedimento	61/222

IV.3.2 -Biota Aquática	64/222
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	66/222
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA.....	67/222
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO	70/222
V.1 - QUALIDADE DO SEDIMENTO.....	70/222
V.1.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos.....	70/222
V.1.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total e Fósforo Total	84/222
V.1.3 - Metais	96/222
V.1.4 - Hidrocarbonetos.....	128/222
V.2 - MACROFAUNA BENTÔNICA.....	133/222
V.2.1 - Avaliação da Amostragem	134/222
V.2.2 - Análise Qualitativa	136/222
V.2.3 - Análise Quantitativa	139/222
V.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos	141/222
V.2.4.1 - MDS e Análise de Cluster.....	153/222
VI - ANÁLISE INTEGRADA	156/222
VI.1 - RELAÇÕES DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE MACROZOOBENTOS COM O AMBIENTE.....	156/222
VI.1.1 -Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos	156/222
VI.1.2 -Relações entre Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos.....	158/222
VI.1.3 -Distribuição das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas	160/222
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS	165/222

VIII - BIBLIOGRAFIA.....	169/222
IX - ANEXOS.....	185/222
X - EQUIPE TÉCNICA	221/222

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura III.1-1 – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos	27/222
Figura III.1-2 - Seção geológica esquemática da Bacia de Santos.	29/222
Figura III.1-3 – Representação esquemática do Sistema Corrente do Brasil.	33/222
Figura III.2-1 - Localização da área de estudo.	34/222
Figura III.2-2 - Localização do poço GH1, do FPSO Cidade de Santos (Campo de Uruguá) e do duto Cabiúnas.	36/222
Figura III.3-1 – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço Franco-SP2 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.	44/222
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).	46/222
Figura IV.1-2 – Mapa da malha amostral executada para coleta de sedimentos na atual campanha de pós-perfuração do poço Franco – SP2.	48/222
Figura IV.1-3 – Mini Box-corer 30 x 30 x 50 cm utilizado na coleta das amostras de sedimento da presente campanha.	50/222
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 Franco-SP2.	52/222
Figura V.1-1 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	71/222
Figura V.1-2 – Diagrama de Shepard para cada uma das 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos	77/222
Figura V.1-3 – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	79/222

FIGURA	PÁG.
Figura V.1-4 – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	81/222
Figura V.1-5 – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	83/222
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 Franco-SP2.	84/222
Figura V.1-7 – Concentração média de carbono orgânico total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	87/222
Figura V.1-8 – Concentração média de matéria orgânica total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	87/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos.	88/222
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 Franco-SP2.	89/222
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 Franco-SP2.	90/222
Figura V.1-12 – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	91/222

FIGURA	PÁG.
Figura V.1-13 – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	93/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos	94/222
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 Franco-SP2.	95/222
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 Franco-SP2.	96/222
Figura V.1-17 – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	98/222
Figura V.1-18 – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	99/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos.	100/222
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 Franco-SP2.	101/222
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 Franco-SP2.	102/222

FIGURA	PÁG.
Figura V.1-22 – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	103/222
Figura V.1-23 – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	104/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos	105/222
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 Franco-SP2.	106/222
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 Franco-SP2.	107/222
Figura V.1-27 – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	108/222
Figura V.1-28 – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	109/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos.	110/222
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 Franco-SP2.	111/222

FIGURA	PÁG.
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 Franco-SP2.	112/222
Figura V.1-32 – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	113/222
Figura V.1-33 – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	114/222
Figura V.1-34 – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	115/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos	116/222
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 Franco-SP2.	117/222
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 Franco-SP2.	118/222
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 Franco-SP2.	119/222
Figura V.1-39 – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.	120/222

FIGURA	PÁG.
Figura V.1-40 – Distribuição espacial das concentrações de chumbo (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	121/222
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 Franco-SP2.	122/222
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 Franco-SP2.	123/222
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 Franco-SP2.	130/222
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 Franco-SP2.	131/222
Figura V.1-45 – 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 Franco-SP2.	132/222
Figura V.2-1 – Número cumulativo de táxons 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 Franco-SP2. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de táxons esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	135/222

FIGURA	PÁG.
Figura V.2-2 – 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 Franco-SP2.	137/222
Figura V.2-3 – Porcentagem de riqueza de taxa dos filis bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	138/222
Figura V.2-4 – Box plots representativos da densidade (ind/m ²) 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 Franco-SP2.	140/222
Figura V.2-5 – Densidade média de organismos (ind/m ²) dos filis bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. A barra representa a média das 12 estações ± desvio-padrão.	141/222
Figura V.2-6 – Número de taxa dos filis bentônicos nas doze estações da terceira campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase de pós-perfuração). A linha cinza representa a média das estações.	143/222
Figura V.2-7 – Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na terceira campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase de pós-perfuração).	144/222
Figura V.2-8 – Densidade total de organismos (ind/m ²) dos filis bentônicos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. A linha cinza representa a média das estações.	145/222
Figura V.2-9 – Distribuição espacial da densidade total (ind/m ²) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase de pós-perfuração).	146/222
Figura V.2-10 – Índices ecológicos da comunidade bentônica nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	148/222

FIGURA	PÁG.
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 Franco-SP2, Bacia de Santos	149/222
Figura V.2-12 – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	150/222
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 Franco-SP2.	151/222
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 Franco-SP2.	152/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos.	154/222
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 Franco-SP2, Bacia de Santos.	155/222
Figura VI.1-1 – Análise de componentes principais entre os indicadores biológicos de macrozoobentos e as variáveis ambientais das estações de coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	158/222
Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais entre os contaminantes (metais) e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	160/222
Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento, das 12 estações de amostragem de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, relacionando dados ambientais e bióticos.	161/222

FIGURA	PÁG.
Figura VI.1-4 - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas para os sedimentos coletados nas estações da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	162/222

TABELAS E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela III.2-1 – Concentrações de COT, MOT, N e P totais encontrados em estudos anteriores na Bacia de Santos.	38/222
Tabela III.2-2 – Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em campanhas anteriores na Bacia de Santos.	39/222
Tabela IV.1-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°W) das estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2.	49/222
Tabela IV.1-2 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°W) das réplicas (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2.	49/222
Tabela IV.1-3 - 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 Franco-SP2.	53/222
Tabela IV.2-1 - Escala de Wentworth utilizada para classificação dos grãos.	55/222
Tabela IV.2-2 – Resumo dos métodos utilizados, com os respectivos limites de quantificação e detecção, para os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.	59/222
Tabela V.1-1 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas 12 estações de amostragem no entorno do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	72/222
Tabela V.1-2 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 12 estações de amostragem no entorno do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.	73/222
Tabela V.1-3 – Análise de variância das frações granulométricas das 12 estações de coleta durante 3ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase pós-perfuração). $p < 0,05$.	80/222
Tabela V.1-4 – Concentrações médias de carbonato (%) nas diferentes estações da atual campanha monitoramento ambiental.	81/222
Tabela V.1-5 – Concentrações médias de carbono orgânico total e matéria orgânica total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento do Poço Franco-SP2.	86/222

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V.1-6 – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento.	92/222
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.	125/222
Tabela V.1-8 – Valores do Fator de Enriquecimento (FE) para cada um dos metais por estação.	126/222
Tabela V.1-9 - Concentrações de metais pesados no sedimento amostrado em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.	127/222
Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes e os dados de diversidade, equitabilidade, riqueza e densidade total de macrozoobentos. Correlações não foram significativa, pois não apresentaram $p < 0,05$.	157/222
Tabela VI.1-2 - Correlação de Spearman (ρ) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a 3ª campanha monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. Valores em vermelho indicam correlações significativas ($p \leq 0,05$).	159/222

ANEXOS

Anexo IX-1 – Cartas de Destinação de Resíduos
Anexo IX-2 – Cartas de Recusa e Aceite de Tombamento
Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos
Anexo IX-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica

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 Franco-SP2 (FRC-SP2), 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 26 a 29 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 de 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 Franco-SP2, 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 km², 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).

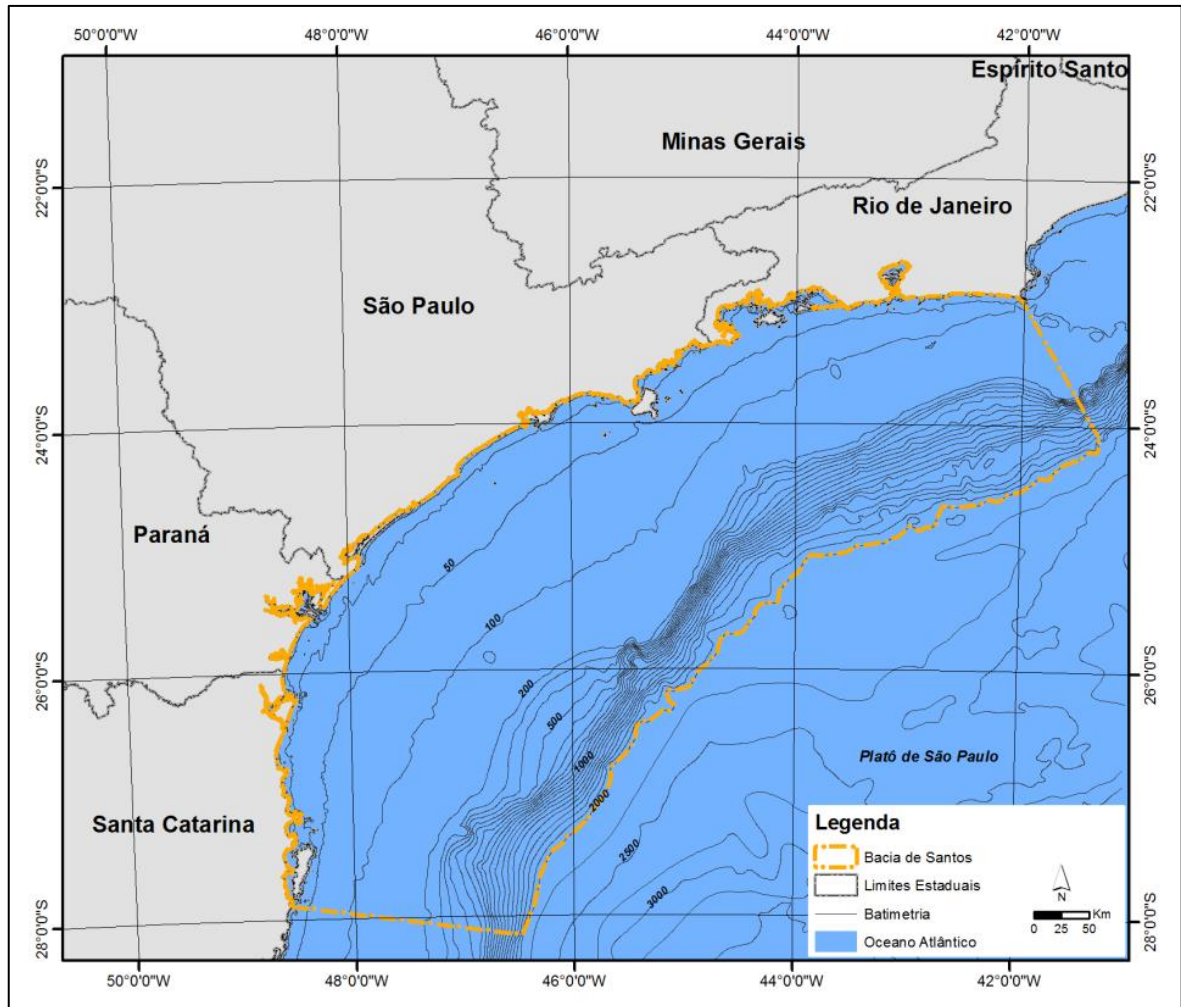


Figura III.1-1 – Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos.

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).

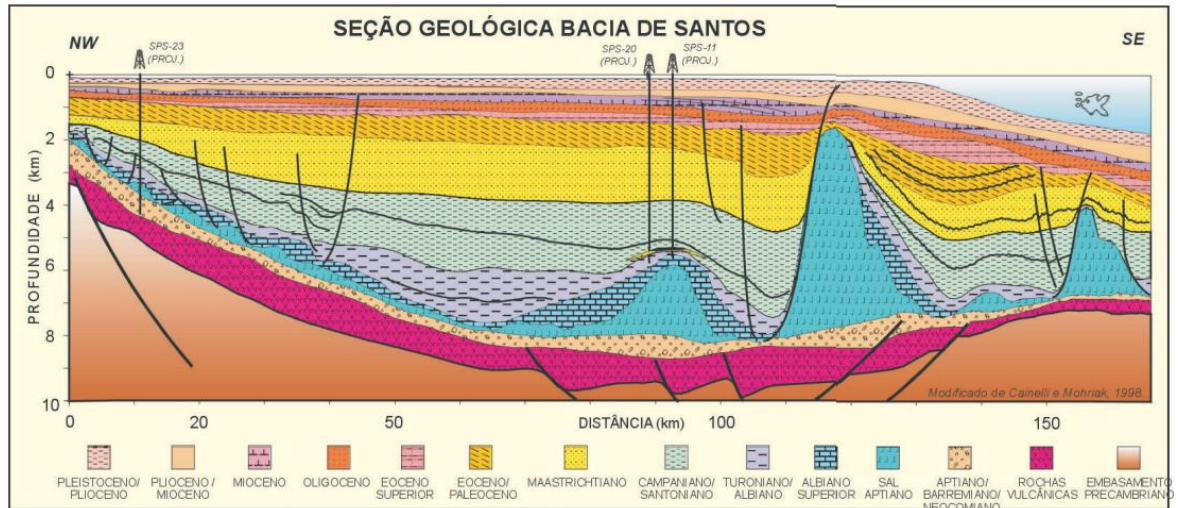
A margem continental sudeste brasileira é caracterizada por feições típicas de uma margem passiva, mas também por estruturas transversais, cujas implicações tectônicas ainda não são completamente conhecidas e por um magmatismo intensificado, relacionado aos inúmeros eventos desde o Mesozóico (STANTON, 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 3.000 m, cujas características magnéticas e topográficas representam uma crosta intermediária, constituída por diques basálticos intrudidos em crosta continental distendida (ASMUS, 1984). O limite sul desta feição é a Zona de Fratura de Rio Grande, que coincide com o limite sul da Bacia de Santos (KUMAR e GAMBOA, 1979) enquanto que o limite norte desse platô localiza-se junto à Cadeia Vitória-Trindade, na latitude de 20°S (BIZZI *et al.*, 2003).

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

A Figura III.1-2 apresenta uma seção geosísmica esquemática da Bacia de Santos, na região do campo de Merluza, 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).

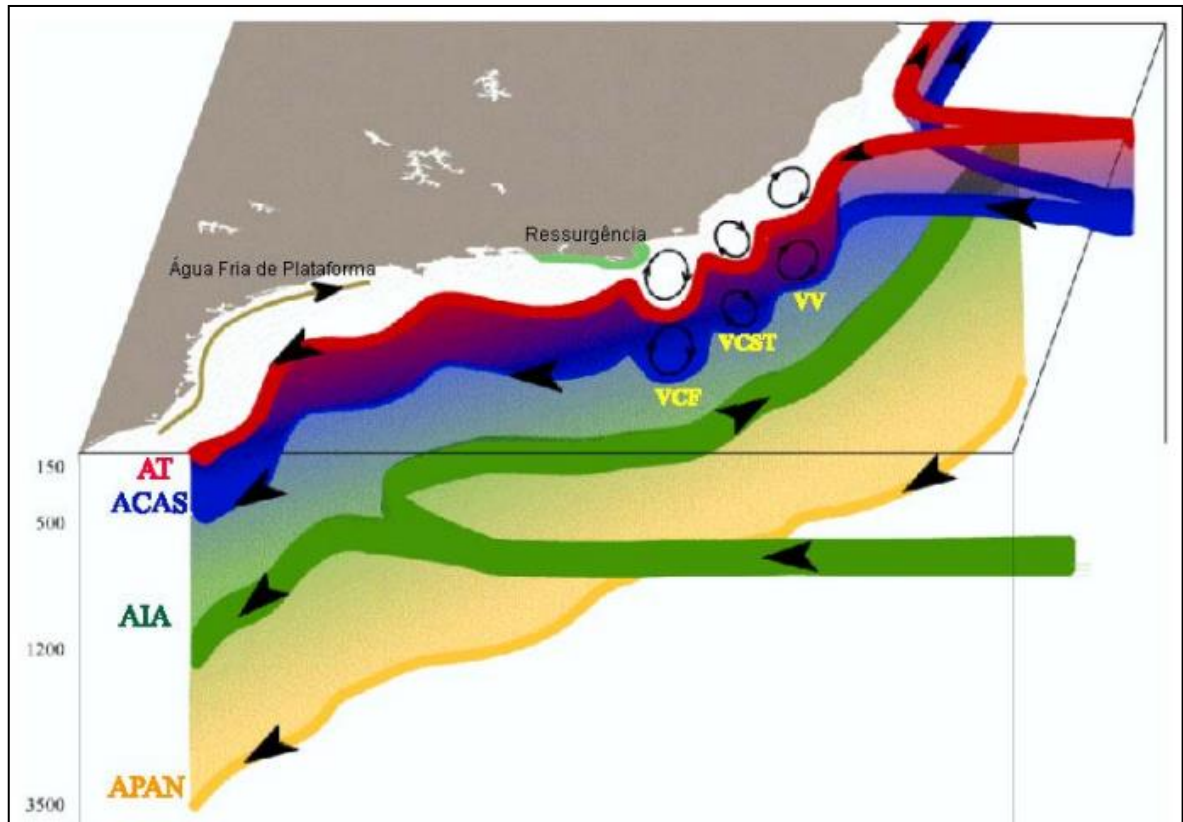
- Água Profunda do Atlântico Norte (APAN): Subjacente à AIA, a APAN apresenta temperaturas entre 3°C - 4°C e salinidades entre 34,6 - 35, ocupando níveis entre 1500 e 3000 m, fluindo para o sul ao longo do contorno oeste, ao largo do sudeste brasileiro, até cerca de 32°S. É formada no Hemisfério Norte 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 1.200 m. A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), em amarelo, é a massa d'água mais profunda, encontrada a 3.500 m de profundidade (GODOI, 2005).

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

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

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



Fonte: Godoi (2005).

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

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

III.2 - BLOCO FRANCO

O Bloco Franco localiza-se na porção centro norte do Platô de São Paulo, próximo ao limite com o talude continental, no limite das sub-bacias denominadas Embaiamento Norte e Embaiamento Sul, na Zona de Transferência de Curitiba (PETROBRAS/ICF, 2010). Depois de declarada comercialidade, o Bloco Franco foi nomeado como Campo de Búzios. A área de estudo está localizada entre as isóbatas de -1.807 e -2.078m (PETROBRAS/MINERAL, 2011), na porção central da Bacia de Santos, em frente aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, a cerca de 180 km da costa do município do Rio de Janeiro – Jacarepaguá, em lâmina d'água em torno de 1.894 m de profundidade (PETROBRAS/MINERAL, 2013). A profundidade do local onde foi perfurado o poço Franco-SP2 é de aproximadamente 2.400 metros (Figura III.2-1).

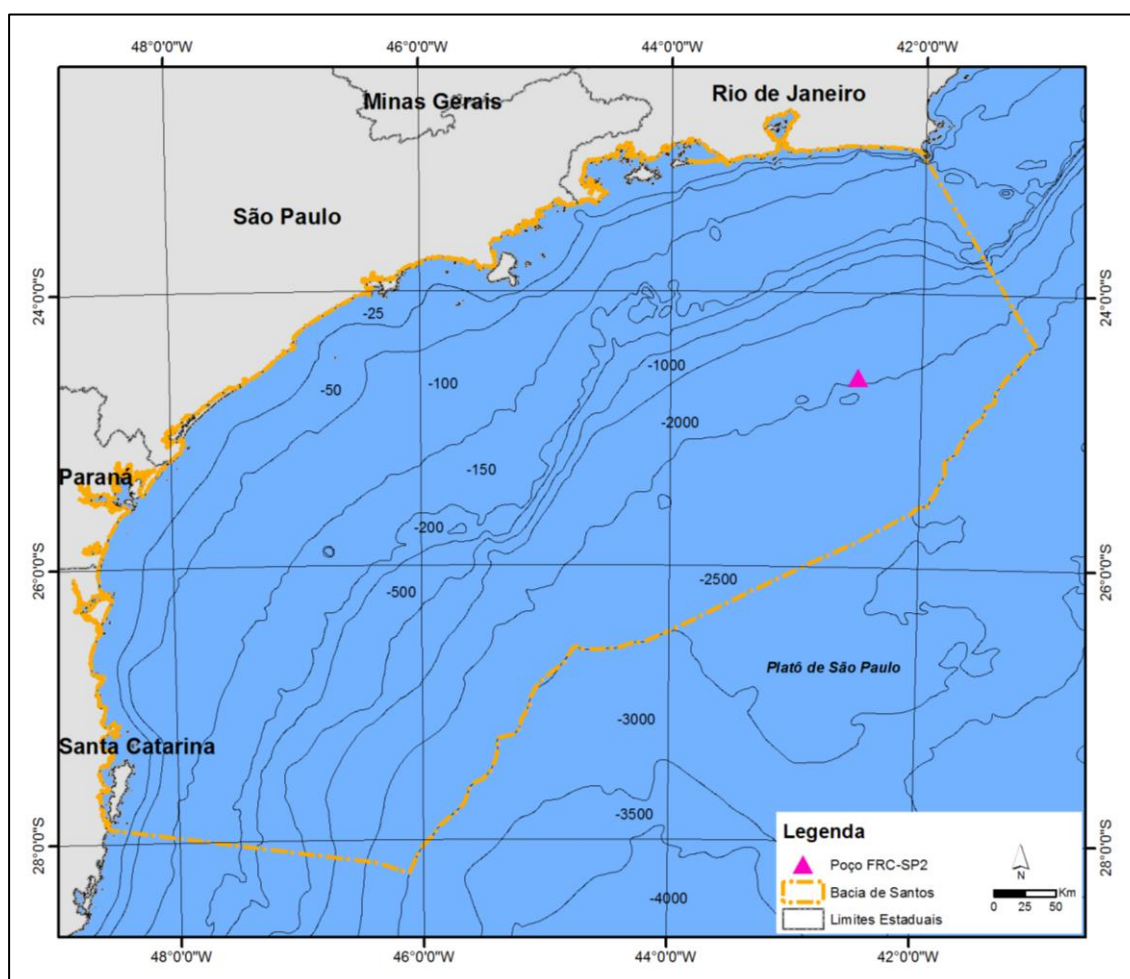


Figura III.2-1 - Localização da área de estudo.

Considerando que este relatório se refere à 2ª campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, 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 sete principais estudos utilizados nesta caracterização foram o Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Projeto TLD de Franco 1, Cessão Orenosa – Pré-Sal, Bacia de Santos (PETROBRAS/MINERAL, 2011), 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), 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) e 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 Franco – SP2 (campanha de pré-perfuração e campanha de pós-perfuração, 1º retorno) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016).

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 Franco-SP2, ou seja, as estações CAB_1, CAB_1_C e CAB_2.

Importante destacar que o monitoramento do Campo de Uruguá (FPSO Cidade de Santos) e o monitoramento do poço GH1 não foram utilizados para a caracterização da área, pois estão localizados a cerca de 42 km e 36 km, respectivamente, a noroeste da área onde foi perfurado o poço Franco-SP2 e as diferenças de profundidade são significativas. Já a parte mais profunda do gasoduto de Cabiúnas está localizada a cerca de 8 km a oeste do ponto de perfuração do poço Franco-SP2 (Figura III.2-2).

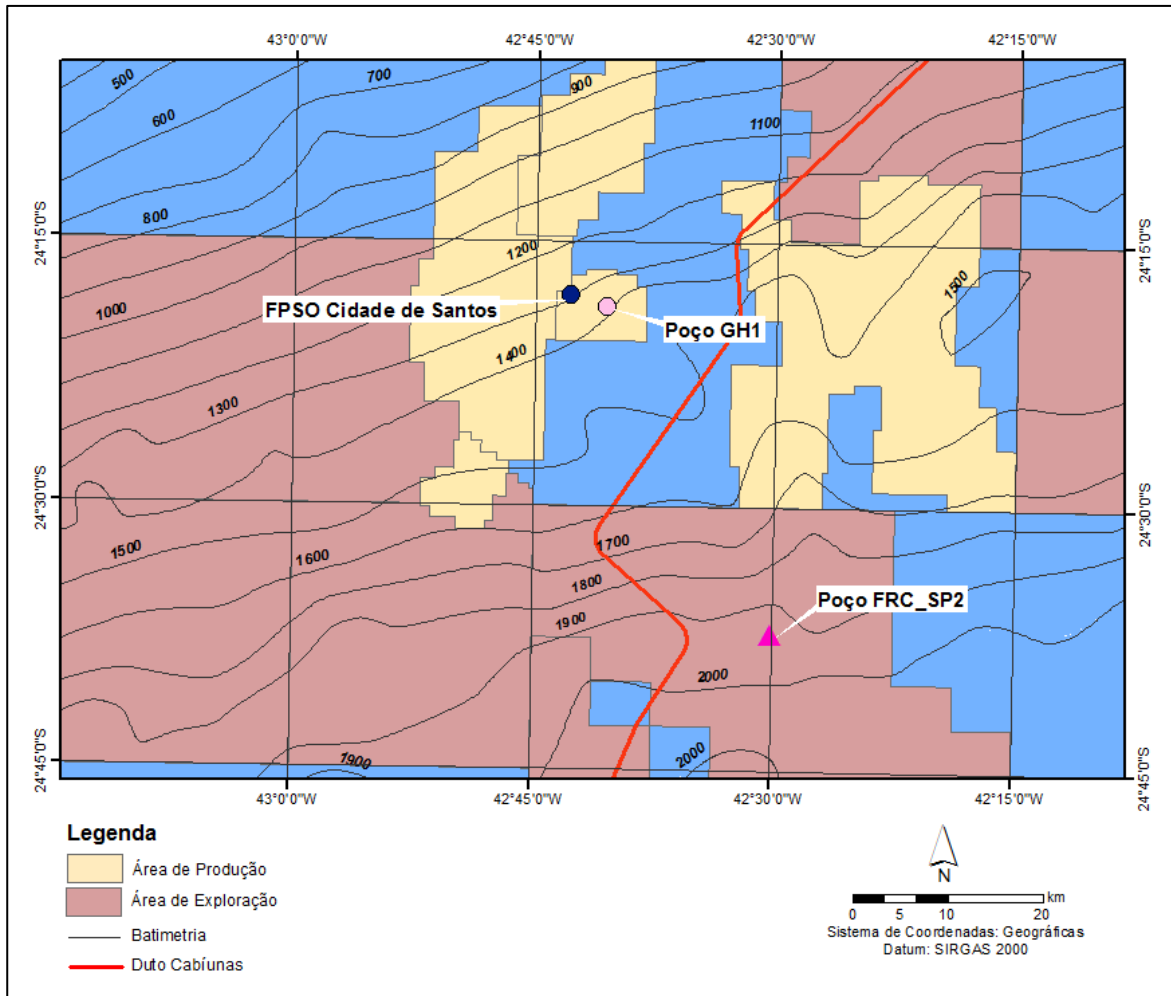


Figura III.2-2 - Localização do poço GH1, do FPSO Cidade de Santos (Campo de Uruguá) e do duto Cabiúnas.

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 duas primeiras campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2, o silte também predominou nas amostras (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 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 platicúrtica na maioria das estações, resultado da preferência de frequência de classes de grãos, que no caso dos dados obtidos foram de grãos de menor tamanho, como silte e argila.

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). Nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2, as concentrações variaram entre 16,67 e 18,70%, e entre 47,48 e 55,31%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016).

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 ponto de perfuração do poço Franco-SP2. As concentrações de MOT e COT variaram entre 0,75 e 9,57% e 0,05 e 6,20%, respectivamente. Já as concentrações de nitrogênio total e fósforo total variaram entre 222,83 e 1.226,00 mg/kg e 45,63 e 628,00 mg/kg, respectivamente. De maneira geral, as menores concentrações foram encontradas nas amostras da primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2.

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 ¹	-	-	0,204	6,200	-	-	-	-
Região Ultraprofunda ²	0,750	9,570	0,410	0,880	465,000	1.226,000	320,000	628,000
CAB C1 ³	1,930	2,000	0,570	0,730	352,500	620,570	164,670	171,000
Franco-SP2 C1 ⁴	3,000	4,260	0,050	0,250	222,830	306,300	45,630	74,100
Franco-SP2 C2 ⁵	2,970	5,730	0,580	1,830	556,93	1.208,10	67,50	517,47

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2002); 2 = Petrobras/Habtec (2003); 3 = Petrobras/Bourscheid (2014); 4 = Petrobras/Bourscheid (2015) e 5 = Petrobras/Bourscheid (2016).

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 campanhas anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado.

Metal	Bacia de Santos ¹		Região ultraprofunda ²	
	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)
Al	-	-	-	-
Ba	88,87	59,11	124,00	18,00
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cr	15,41	6,84	28,00	3,00
Cu	5,70	6,90	21,00	1,00
Fe	16.427,02	25.902,77	-	-
Hg	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	540,75	-	602,00	30,00
Ni	13,30	8,32	19,00	2,00
Pb	14,26	21,90	19,00	6,00
V	26,00	-	38,00	4,00
Zn	19,13	-	59,00	4,00

Metal	CAB C1 ³		Franco-SP2 C1 ⁴		Franco-SP2 C2 ⁵	
	Média* (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)	Média (mg/kg)	Desvio (mg/kg)
Al	9.487,78	650,57	3.451,11	394,85	19.669,44	1.571,94
Ba	105,32	5,53	59,92	19,33	127,15	69,59
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	0,04
Cr	16,53	1,99	9,88	1,03	21,51	2,36
Cu	11,59	2,21	5,71	0,92	16,58	1,17
Fe	13.111,11	700,26	5.577,50	727,91	16.055,56	1.149,38
Hg	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mn	455,33	25,62	195,58	31,02	402,03	28,01
Ni	10,92	1,00	5,61	0,73	12,81	0,71
Pb	n.d.	n.d.	0,22	0,78	1,34	0,19
V	29,37	2,74	13,62	1,66	39,08	2,28
Zn	32,81	1,72	17,41	2,16	40,21	3,15

* Valores referem-se a média das estações CAB_1, CAB_1_C e CAB_2 (estações mais profundas).

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2002); 2 = Petrobras/Habtec (2003); 3 = Petrobras/Bourscheid (2014); 4 = Petrobras/Bourscheid (2015); 5 = Petrobras/Bourscheid (2016).

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 não foram detectadas concentrações de HTP's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, as concentrações de HTP's variaram entre não detectado e 11,18 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Já na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, as concentrações de HTP variaram entre não detectado e 5,30 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

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 e na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 não foram detectadas concentrações de HPA's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, as concentrações variaram entre não detectado e 0,05 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Nessa última campanha foram calculadas razões para os HPA's, indicando origem petrogênica, sendo que a principal fonte para o ambiente em questão é a combustão de petróleo.

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 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram detectadas concentrações de MCNR e n-alcanos em apenas uma estação, com concentrações de $8,11 \pm 14,05$ mg/kg e $3,07 \pm 5,32$ mg/kg, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram encontradas concentrações de MCNR variando entre não detectado e 5,06 mg/kg e concentrações de n-alcanos variando entre não detectado e 1,15 mg/kg, sendo que o Índice Preferencial de Carbono e a razão MCNR/HRP indicaram resíduos relacionados ao petróleo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

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 táxons, 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 táxons 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 m², com média de 18,8 ind/m². 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 filós

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/m² 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).

Na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, a riqueza variou entre 3 e 10 taxa. Foram encontrados organismos pertencentes a seis filos bentônicos: Mollusca, Platyhelminthes, Nemertea, Arthropoda, Annelida e Echinodermata. O filo com maior número de taxa foi Annelida (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

A densidade variou entre 73,33 e 236 ind/m² na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2. Os anelídeos também dominaram quantitativamente as amostras. A diversidade variou entre 0,46 e 0,92 e a equitabilidade entre 0,63 e 0,98 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

Na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, a riqueza variou entre 0 e 6 taxa. Foram encontrados organismos pertencentes a três filos bentônicos: Mollusca, Arthropoda e Annelida. O filo com maior número de taxa foi Annelida (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

A densidade variou entre 0 e 103 ind/m² na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2. Os anelídeos também dominaram quantitativamente as amostras. A diversidade variou entre 0 e 0,60 e a equitabilidade entre 0 e 0,67 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

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 km² 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 Franco-SP2 um dos poços selecionados.

O Bloco Franco foi descoberto em maio de 2010, através do poço 2-ANP-1-RJS, localizado na porção central da Bacia de Santos, em frente aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro – Jacarepaguá, em lâmina em torno de 1.894 m de profundidade. O poço teve como principal objetivo investigar a seção Pré-Sal nesta região da Bacia de Santos. Os dados iniciais apresentavam perspectivas de produção, considerando todos os empreendimentos do Bloco Franco, de 9.061 Mm³/d de gás e de 260 mil bpd de óleo, correspondendo a cerca de 12,7 e 12,4% da produção em relação à produção nacional, respectivamente (PETROBRAS/MINERAL, 2013).

O poço Franco-SP2 foi perfurado no atual Campo de Búzios (antigo Bloco Franco). A área de estudo está localizada entre as isóbatas de -1.807 e - 2.078m (PETROBRAS/MINERAL, 2011). A profundidade do local onde foi perfurado o poço Franco-SP2 é de aproximadamente 2.400 metros.

Outras perfurações também já foram realizadas na área. No entorno do poço Franco-SP2, em um raio de 5 km, existem dois poços: 3-RJS-700i e 3-RJS-716 (Figura III.3-1).

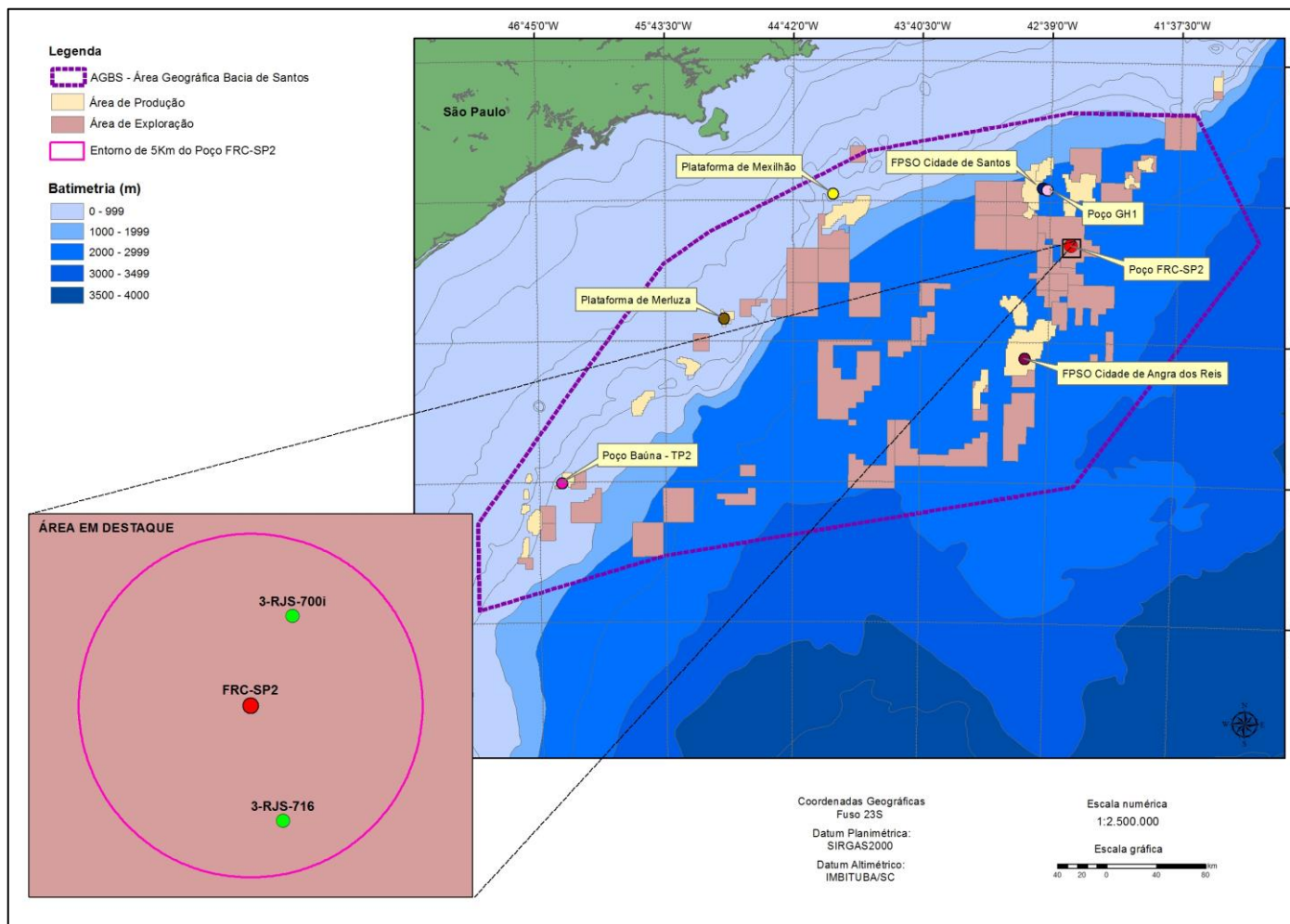


Figura III.3-1 – Área geográfica da Bacia de Santos, com destaque para o poço Franco-SP2 e os poços interferentes, em um raio de 5 km.

IV - MATERIAL E MÉTODOS

IV.1 - ATIVIDADE DE CAMPO

Durante a campanha, realizada entre os dias 26 e 29 de março de 2015 a bordo do navio N.P. *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 Franco-SP2, em local com profundidade aproximada de 2.400 metros. O trânsito rumo à primeira estação FRC_12 foi iniciado às 14h03min do dia 26/03/2015. As amostragens foram finalizadas às 04h43min do dia 29/03/2015 na estação FRC_4.



Fonte: Relatório Técnico de Bordo CP+ (RL-3A00.00-5521-996-RKE-011=A).

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 foram dispostas em três círculos concêntricos ao redor do poço FRC-SP2, com raios de 250, 500 e 1.000 m. Em cada raio foram posicionadas quatro estações dispostas perpendicularmente entre si. As estações foram orientadas de maneira que um dos eixos estivesse paralelo às linhas batimétricas e o outro, perpendicular. A Figura IV.1-2 apresenta o mapa da malha amostral realizada durante a campanha.

As coordenadas definidas para as estações amostrais da campanha podem ser observadas na Tabela IV.1-1.

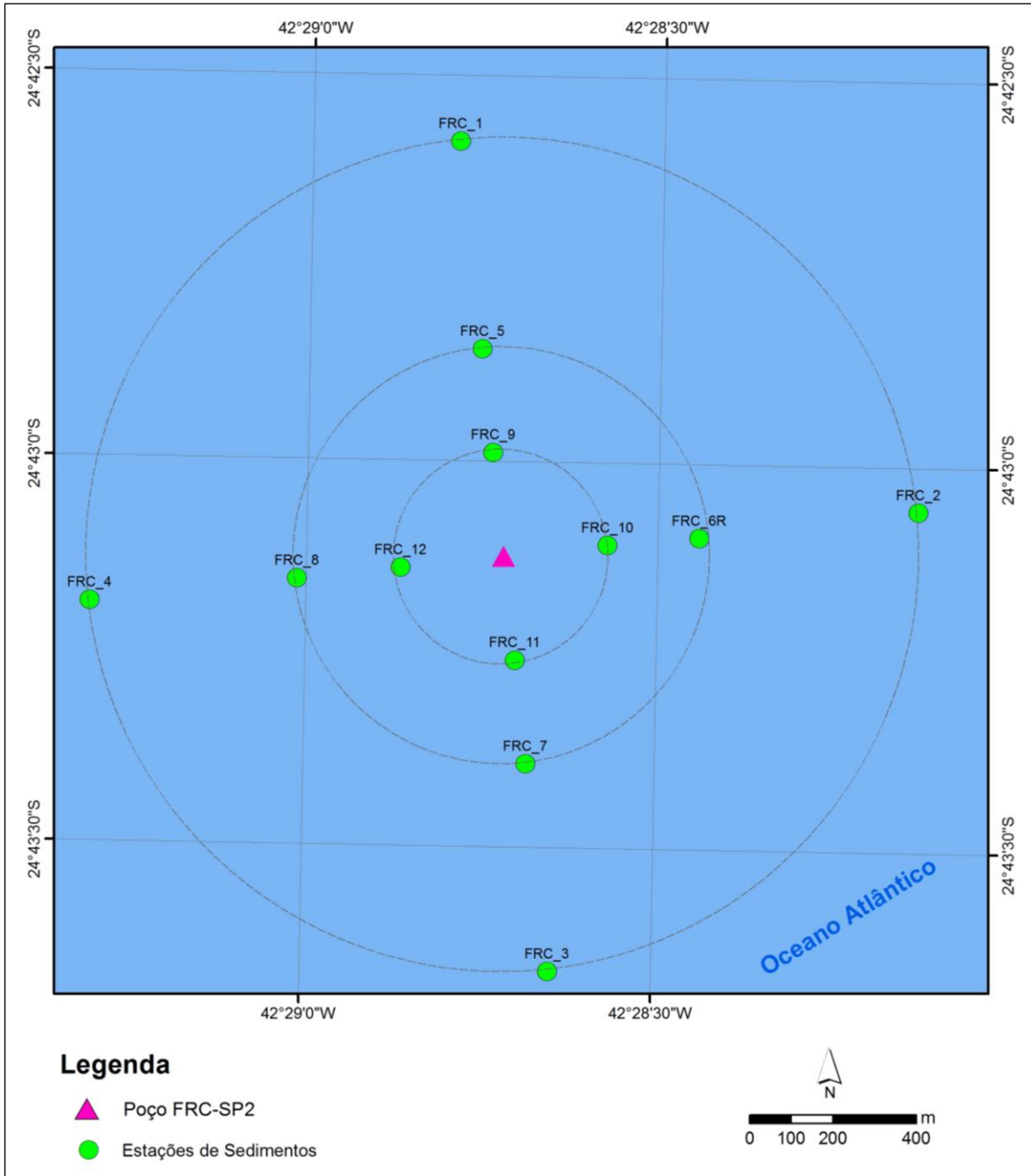


Figura IV.1-2 – Mapa da malha amostral executada para coleta de sedimentos na atual campanha de pós-perfuração do poço Franco – SP2.

Tabela IV.1-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23, MC 045°W) das estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2.

Estações	Coordenadas Originais	
	Norte	Este
FRC_1	7264844,68	754947,03
FRC_2	7263952,96	756044,65
FRC_3	7262855,37	755152,96
FRC_4	7263747,04	754055,41
FRC_5	7264347,25	754998,53
FRC_6R	7263891,99	755518,34
FRC_7	7263352,75	755101,47
FRC_8	7263798,52	754552,69
FRC_9	7264098,63	755024,26
FRC_10	7263875,73	755298,56
FRC_11	7263601,39	755075,73
FRC_12	7263824,26	754801,32

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 045°W) das réplicas (R1, R2 e R3) para cada estação de amostragem da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2.

Estações	Coordenadas Coletadas UTM					
	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
FRC_1	7264880,44	754973,60	7264840,19	754901,95	7264871,47	754919,21
FRC_2	7263905,90	756054,97	7263928,81	756063,13	7263931,01	756009,14
FRC_3	7262807,87	755148,46	7262858,33	755116,05	7262820,78	755186,22
FRC_4	7263791,57	754046,94	7263764,85	754034,84	7263761,77	754070,73
FRC_5	7264317,71	755027,44	7264352,90	755045,40	7264367,96	754991,99
FRC_6R	7263865,67	755537,10	7263877,31	755552,63	7263896,16	755557,63
FRC_7	7263338,69	755107,23	7263343,43	755117,43	7263372,92	755089,59
FRC_8	7263816,49	754530,18	7263797,59	754531,38	7263836,77	754522,73
FRC_9	7264129,68	755036,50	7264132,88	755048,42	7264095,68	755057,43
FRC_10	7263900,49	755329,43	7263872,85	755336,34	7263900,18	755312,15
FRC_11	7263610,47	755054,16	7263619,96	755118,39	7263621,42	755083,72
FRC_12	7263818,05	754762,05	7263861,25	754820,79	7263846,77	754840,85

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento de amostras, empregados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2 estiveram em conformidade com as orientações recomendadas em reunião de pré-campanha e preconizadas em protocolo de coleta elaborado pelo CENPES/PDEDS/AMA (2009).

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

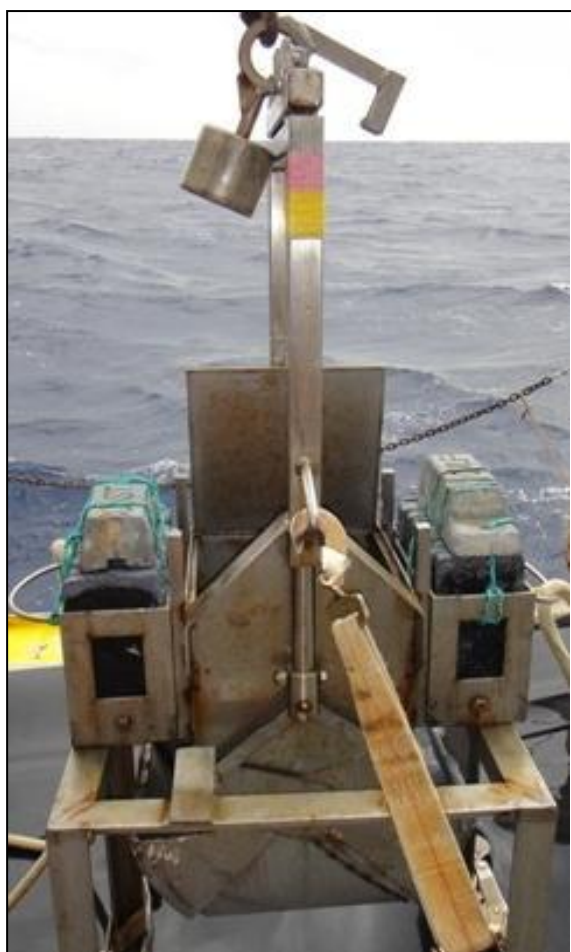


Figura IV.1-3 – Mini Box-corer 30 x 30 x 50 cm utilizado na coleta das amostras de sedimento da presente campanha.

As amostras coletadas foram destinadas à análise dos seguintes parâmetros:

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

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

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

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

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

Os materiais retidos através do sifonamento, em puçá com malha de 300 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 Franco-SP2.

A desmobilização da campanha ocorreu no dia 30/03/2015 no estaleiro *Mac Laren* – Niterói/RJ, com o envio de duas remessas de amostras aos laboratórios de análise. As amostras destinadas às análises de macrofauna bentônica foram encaminhadas ao Laboratório Lótica - Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S e as amostras destinadas às análises dos parâmetros físico-químicos foram enviadas para a empresa Ecolabor - Comercial Consultoria e Análises LTDA. A Tabela IV.1-3 apresenta os parâmetros coletados, com suas respectivas frações, formas de acondicionamento e preservação.

Tabela IV.1-3 - *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 Franco-SP2.*

Parâmetros	Fração	Acondicionamento	Preservação
MOT / COT	0-10cm (1/2 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
Granulometria e carbonatos	0-10cm (1/2 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
Hidrocarbonetos	0-2 cm (1 corer 10x10x2cm)	Recipiente de alumínio	Congelamento
Metais	0-2 cm (1 corer 10x2)	Saco Zip	Congelamento
N / P	0-10cm (1 corer 10x10x10cm)	Saco Zip	Congelamento
Macrofauna bentônica	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 COT teve como base sua oxidação a CO₂ por íons dicromato, em meio fortemente ácido. A quantidade de íons Cr III reduzidos foi medida indiretamente por titulação dos íons dicromato em excesso, com solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal, sendo o valor expresso em % de carbono. A metodologia de referência é Apostila de Análise de Solo, Plantas e Outros Materiais, 2^o. ed. revisada e ampliada, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995 e EMBRAPA, 1997. Esta metodologia também foi validada para sedimento marinho.

A matéria orgânica foi obtida por calcinação a 550°C (após descarbonatação) conforme metodologia SMEWW 2540-B/C/D.

IV.2.2 - Carbonatos

O teor de carbonato no sedimento foi determinado em uma alíquota lavada e seca de sedimento, com adição de solução de ácido clorídrico a 10% até que não haja mais reação pela observação da liberação de CO₂ em intervalos regulares. A amostra foi enxaguada, e depois de retirado o excesso de água, foi seca em estufa a 60°C. Depois, a amostra foi pesada. A diferença percentual entre a massa inicial e a massa final da amostra expressa o teor de carbonatos existente. O método utilizado é parte da Norma da CETESB utilizada para eliminação de carbonato – N.T. CETESB L6.160 nov/95¹.

IV.2.3 - Granulometria

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

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

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

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

IV.2.4 - Nitrogênio Total

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

A quantificação é realizada conforme o método de nitrogênio amoniacal, sendo que a faixa de calibração esteve entre 0,12 a 5.000 mg/kg de N. O resultado obtido foi corrigido para base seca. O método analítico utilizado foi 4.500 N org. B/NH₃ C/NH₃ G, que é baseado no protocolo do SMEWW - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22^a Ed.

IV.2.5 - Fósforo Total

A determinação de fósforo total em sedimentos consistiu em duas etapas: digestão ácida e reação. Uma alíquota de sedimento “*in natura*” foi digerida com adição de ácidos inorgânicos. Numa primeira fase adicionou-se ácido nítrico e

ácido sulfúrico concentrado, depois foi aquecido em chapa até digestão da matéria orgânica e, em seguida, adicionou-se ácido perclórico concentrado para finalizar a digestão completa da matéria orgânica.

Após a digestão, seguiu a reação do fósforo pelo método molibdato de amônio/ácido ascórbico, método de referência 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 que, com a adição de ácido ascórbico, forma um complexo de azul de molibdênio, cuja intensidade é lida no espectrofotômetro de absorção visível, no comprimento de onda 880 nm.

IV.2.6 - Metais

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

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

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

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

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) foram analisados conforme protocolo da United States Environmental Protection Agency – USEPA, métodos 8270D, EPA 3550C – extração ultrassônica e EPA 3630C – Silica gel

Clean up (modificado). Inicialmente, as amostras foram secas em estufa a 40°C até obtenção de peso constante, e adicionadas de mistura de *surrogates* (traçadores 2-fluorbinila e terfenil-d14) para avaliação da eficiência do processo de extração, realizado com diclorometano. Após repouso, resfriamento e concentração da amostra, a mesma foi fracionada em coluna de sílica gel, com a fração aromática recolhida com eluição de mistura de diclorometano: n-hexano 3:1.

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

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

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

A determinação dos HTP's, n-alcenos e MCNR da série C10 a C40 foi realizada de acordo com as metodologias EPA 3550C – extração ultrassônica, EPA 3630C – Sílica gel *Cleanup* e EPA 8015D – *Nonhalogenated Organics Using* CGFID. A preparação das amostras seguiu o mesmo procedimento dos HPA's, com extrato final filtrado em funil contendo leito de sílica gel, para remoção de possíveis compostos polares, como esteróis e ácidos orgânicos. Após concentração, a amostra foi analisada por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG-FID).

Na determinação de HTP's, n-alcenos e MCNR foram utilizados os seguintes padrões: padrão para calibração de uma mistura de n-alcenos de n-C10 a n-C40

mais pristano e fitano da marca Accustandard, lote 2120441086, referência DRH-008S-R2. Como traçadores foram utilizados as substâncias n-eicosano d42 e n-tetracosano d50.

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

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

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

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

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

ANÁLISE DE SEDIMENTO				
Parâmetros	Método analítico	Limites de Quantificação (LQ)	Limites de Detecção (LD)	
Carbonatos	Descarbonatação/Gravimetria	0,3%	0,1%	
Nitrogênio Total	4500 N org. B / NH ₃ C/ NH ₃ G	109 mg N/kg	30 mg N/kg	
Fósforo	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 EPA 3051A EPA 6010C	19,7 mg Al/kg	6,2 mg Al/kg
	Bário (Ba)		2,1 mg Ba/kg	0,7 mg Ba/kg
	Cádmio (Cd)		0,4 mg Cd/kg	0,1 mg Cd/kg
	Cromo (Cr)		1,7 mg Cr/kg	0,5 mg Cr/kg
	Cobre (Cu)		1,1 mg Cu/kg	0,4 mg Cu/kg
	Ferro (Fe)		8,1 mg Fe/kg	2,6 mg Fe/kg
	Níquel (Ni)		1,0 mg Ni/kg	0,3 mg Ni/kg
	Manganês (Mn)		0,7 mg Mn/kg	0,2 mg Mn/kg
	Chumbo (Pb)		2,5 mg Pb/kg	0,8 mg Pb/kg
	Vanádio (V)		0,5 mg V/kg	0,1 mg V/kg
	Zinco (Zn)		1,0 mg Zn/kg	0,3 mg Zn/kg
	Mercúrio (Hg)		USEPA 7471B	0,038 mg Hg/kg
HPA's	Acenafteno	EPA 8270D, EPA 3550C	0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Acenaftileno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Antraceno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (a) antraceno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (a) pireno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Benzo (b) fluoranteno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Benzo (g,h,i) perileno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Benzo (k) fluoranteno		0,1 µg/kg	0,05 µg/kg
	Criseno		0,1 µg/kg	0,02 µg/kg
	Dibenzo (a,h) antraceno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Fenantreno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
	Fluoranteno		0,1 µg/kg	0,03 µg/kg
	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	0,50 µg/kg
	Pireno		0,1 µg/kg	0,04 µg/kg
HTP's, n-alcanos e MCNR	EPA 3550C, EPA 8015D	#	#	

Não estabelecido.

IV.2.9 - Macrofauna Bentônica

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

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

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

Para a identificação dos macroinvertebrados marinhos bentônicos foram consultadas as obras dos autores Amaral & Nonato (1982a, 1982b, 1984, 1994, 1996), Amaral *et al.* (2005), Bowman e Gruner (1973), Cutler & Cutler (1980), Ditadi & Migotto (1982), Garraffoni & Lana (2003), 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 Franco-SP2 (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_x] = concentração do elemento no sedimento em uma dada estação x

[Metal C1_x] = concentração do elemento na primeira campanha de monitoramento na mesma estação x

[Al_x] = concentração do elemento Al (elemento conservativo) no sedimento da mesma estação x

[Al C1_x] = 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 Franco-SP2, 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/m²). 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

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

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

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

IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade do sedimento e da macrofauna (riqueza de taxa, 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 perfuração marítima do poço Franco-SP2 (FRC), 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 em nenhuma estação amostral deste estudo (mercúrio, cádmio, HPA, HTP, n-alcanos e MCNR) 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 constata que a maioria das amostras foi classificada como silte arenoso, exceto as estações FRC_1 e FRC_7, que foram classificadas como lama arenosa ligeiramente cascalhenta, as estações FRC_2, FRC_3, FRC_11 e FRC_12 que foram classificadas como lama arenosa, a estação FRC_4, que foi classificada como lama, a estação FRC_5, que foi classificada como silte. Considerando a classificação a partir do diâmetro médio (Tabela V.1-1), todas as amostras foram classificadas como silte fino.

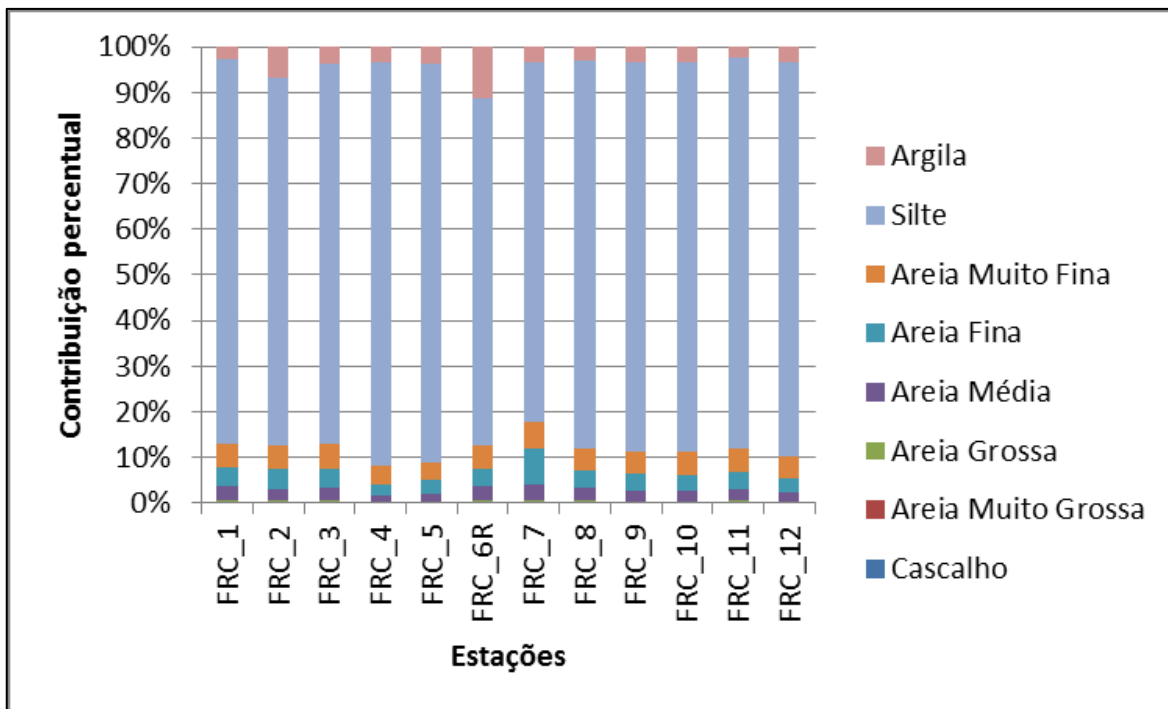


Figura V.1-1 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

O sedimento analisado nas doze estações amostradas durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2 mostrou certa variação nos resultados de média, mediana e seleção entre as estações amostradas. Os valores de média variaram entre 6,24 Φ (FRC_7) e 6,88 Φ (FRC_5), e os valores de mediana, entre 7,16 Φ , na estação FRC_1, e 7,36 Φ , nas estações FRC_10 e FRC_12 (Tabela V.1-2).

O grau de selecionamento é dado pela predominância de uma ou mais classes granulométricas. Um sedimento altamente selecionado apresenta predominância de uma classe granulométrica enquanto um sedimento pobremente selecionado (entre 1,00 e 2,00) é composto por duas ou mais classes granulométricas (SUGUIO, 1973). Na atual campanha, o selecionamento foi classificado como pobremente selecionado em todas as estações, sendo causado pela ocorrência de mais de uma fração dominante: silte e argila (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 Franco-SP2, Bacia de Santos.

Estações	Cascalho	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila	Classificação Textural de Folk
FRC_1	0,01	0,04	0,64	2,91	3,94	5,12	82,13	2,68	Lama Arenosa Ligeiramente Cascalhenta
FRC_2	0,01	0,04	0,41	2,49	4,25	4,98	78,62	6,53	Lama Arenosa
FRC_3	0,00	0,02	0,49	2,81	3,97	5,31	80,69	3,75	Lama Arenosa
FRC_4	0,01	0,01	0,33	1,31	2,28	3,86	85,58	3,23	Lama
FRC_5	0,00	0,02	0,28	1,70	3,12	3,62	85,26	3,55	Silte
FRC_6R	0,00	0,03	0,60	2,82	3,81	4,90	74,64	10,91	Silte Arenoso
FRC_7	0,03	0,05	0,56	3,16	7,64	5,63	75,92	3,17	Lama Arenosa Ligeiramente Cascalhenta
FRC_8	0,00	0,04	0,61	2,68	3,54	4,71	83,38	3,02	Silte Arenoso
FRC_9	0,00	0,02	0,37	2,20	3,61	4,74	83,19	3,45	Silte Arenoso
FRC_10	0,00	0,02	0,38	2,15	3,48	4,77	81,85	3,25	Silte Arenoso
FRC_11	0,00	0,10	0,46	2,52	3,61	4,80	82,93	2,36	Lama Arenosa
FRC_12	0,00	0,01	0,32	1,85	3,16	4,56	82,92	3,23	Lama Arenosa

Tabela V.1-2 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas 12 estações de amostragem no entorno do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Estações	Média	Diâmetro Médio	Mediana	Seleção	Selecionamento	Assimetria	Assimetria	Curtose	Curtose
FRC_1	6,40	Silte fino	7,16	1,72	Pobrememente selecionado	-0,68	Muito negativa	0,92	Mesocúrtica
FRC_2	6,41	Silte fino	7,19	1,78	Pobrememente selecionado	-0,64	Muito negativa	0,83	Platicúrtica
FRC_3	6,46	Silte fino	7,23	1,71	Pobrememente selecionado	-0,70	Muito negativa	1,01	Mesocúrtica
FRC_4	6,67	Silte fino	7,30	1,44	Pobrememente selecionado	-0,68	Muito negativa	1,21	Leptocúrtica
FRC_5	6,88	Silte fino	7,33	1,35	Pobrememente selecionado	-0,66	Muito negativa	2,17	Muito leptocúrtica
FRC_6R	6,47	Silte fino	7,21	1,84	Pobrememente selecionado	-0,59	Muito negativa	0,95	Mesocúrtica
FRC_7	6,24	Silte fino	7,24	1,91	Pobrememente selecionado	-0,74	Muito negativa	0,95	Mesocúrtica
FRC_8	6,60	Silte fino	7,29	1,61	Pobrememente selecionado	-0,71	Muito negativa	1,18	Leptocúrtica
FRC_9	6,60	Silte fino	7,32	1,60	Pobrememente selecionado	-0,72	Muito negativa	1,63	Muito leptocúrtica
FRC_10	6,81	Silte fino	7,36	1,45	Pobrememente selecionado	-0,70	Muito negativa	3,19	Extremamente leptocúrtica
FRC_11	6,55	Silte fino	7,32	1,65	Pobrememente selecionado	-0,73	Muito negativa	1,48	Leptocúrtica
FRC_12	6,80	Silte fino	7,36	1,43	Pobrememente selecionado	-0,70	Muito negativa	3,07	Extremamente leptocúrtica

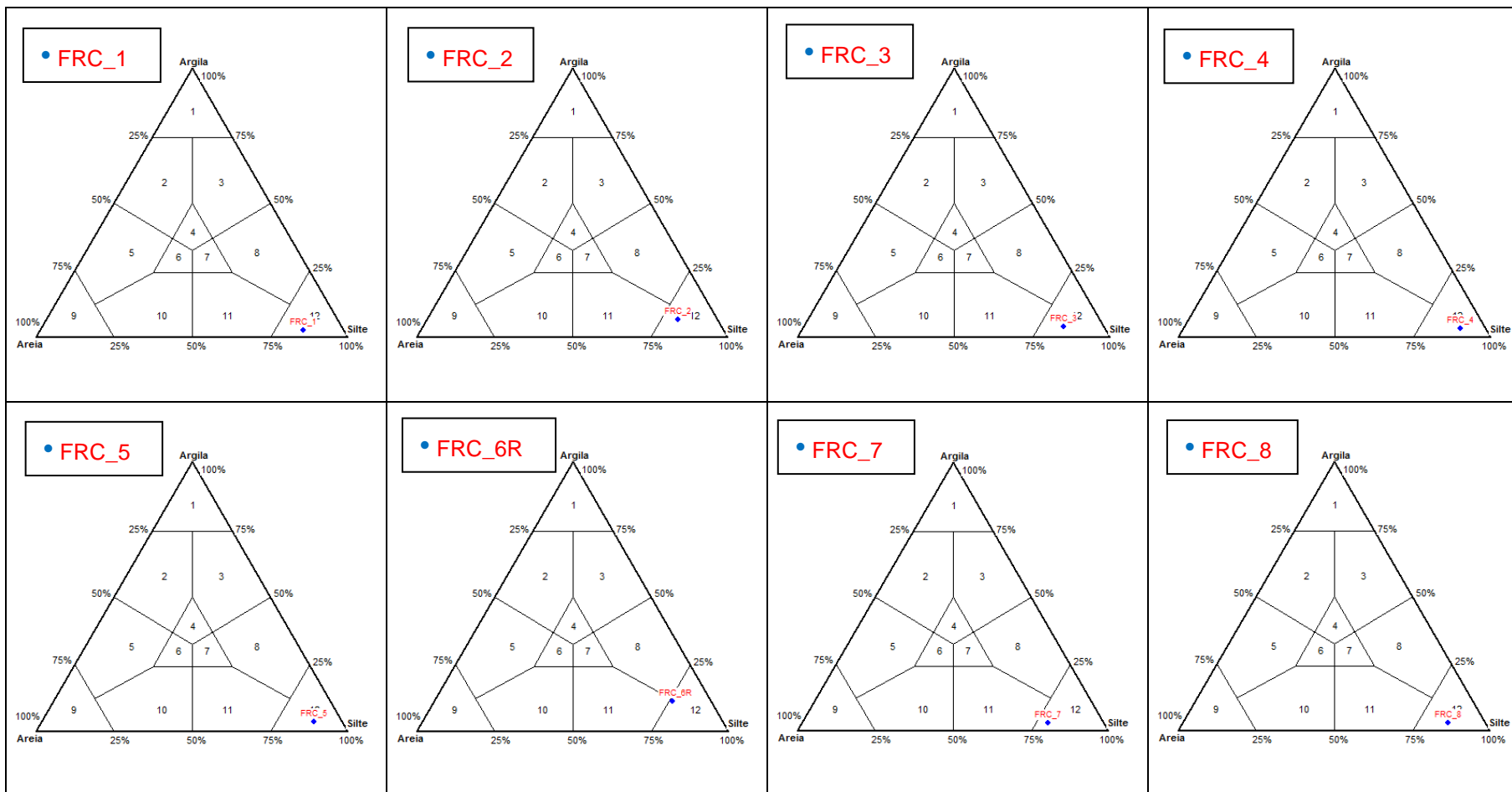
No estudo de caracterização da Bacia de Santos e nas regiões ultraprofundas da Bacia, as frações finas (silte e argila) predominaram nas amostras (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003). Já nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas, a predominância foi de areia muito fina e areia fina (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Nas duas primeiras campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2, o silte também predominou nas estações (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 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.

A Tabela V.1-2 mostra que a assimetria dos grãos variou entre -0,74 e -0,59, nas estações FRC_7 e FRC_6R, 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. 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 em todas as estações, uma vez que, na atual campanha, os valores de média e mediana apresentaram certa variação.

Em relação à curtose, os valores ficaram entre 0,83, na estação FRC_2 e 3,19, na estação FRC_10 (Tabela V.1-2), sendo que as estações FRC_1, FRC_3, FRC_6R e FRC_7 foram classificadas como mesocúrtica, a estação FRC_2 foi classificada como platicúrtica, as estações FRC_4, FRC_8 e FRC_11 foram classificadas como leptocúrticas, as estações FRC_5 e FRC_9 foram classificadas como muito leptocúrticas, e as estações FRC_10 e FRC_12 foram classificadas como extremamente leptocúrticas (Tabela V.1-2). Segundo Machado (2010), curvas mais leptocúrticas indicam ambiente de transporte.

No diagrama de Shepard (Figura V.1-2), estão representadas as 12 estações de amostragem. Neste diagrama pode-se constatar que todas as estações amostradas estão situadas na classe 12, correspondente à classe silte ou siltito.

Esse resultado é um indicativo de muita similaridade granulométrica entre as estações amostradas.



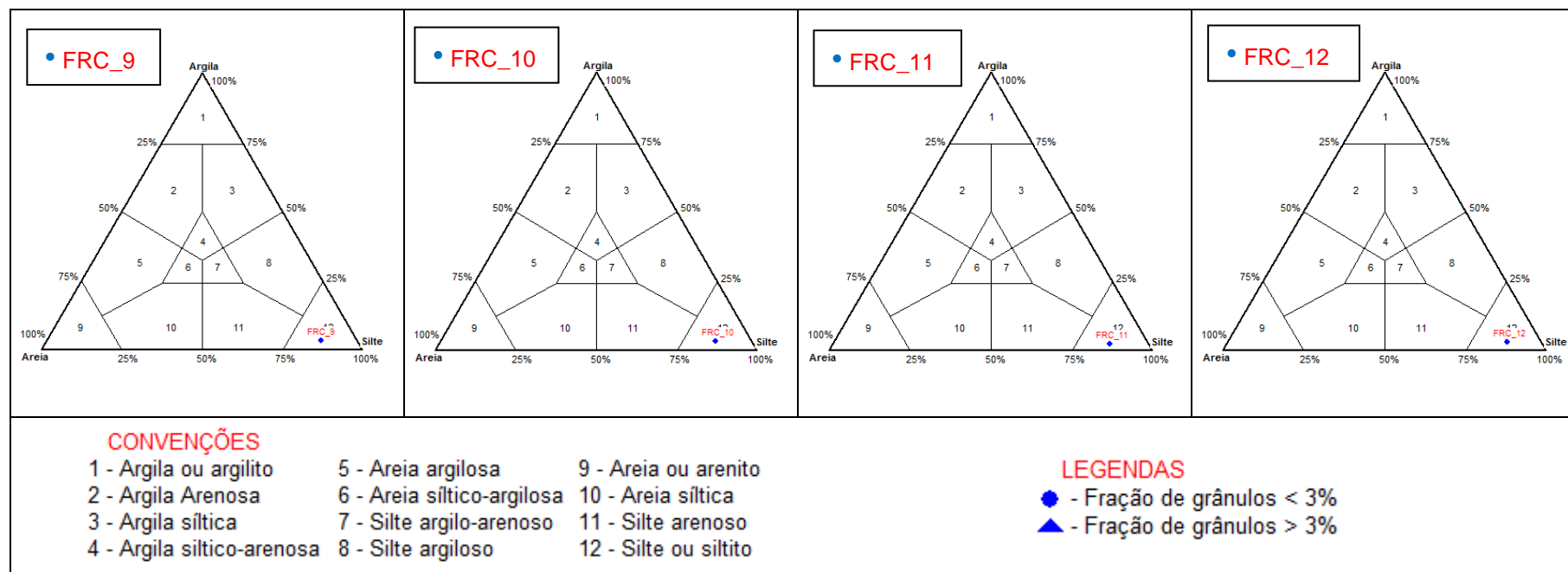


Figura V.1-2 – Diagrama de Shepard para cada uma das 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-3, é possível observar a granulometria das estações amostradas no entorno do poço Franco-SP2 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 quando considerado somente frações grossas e finas.

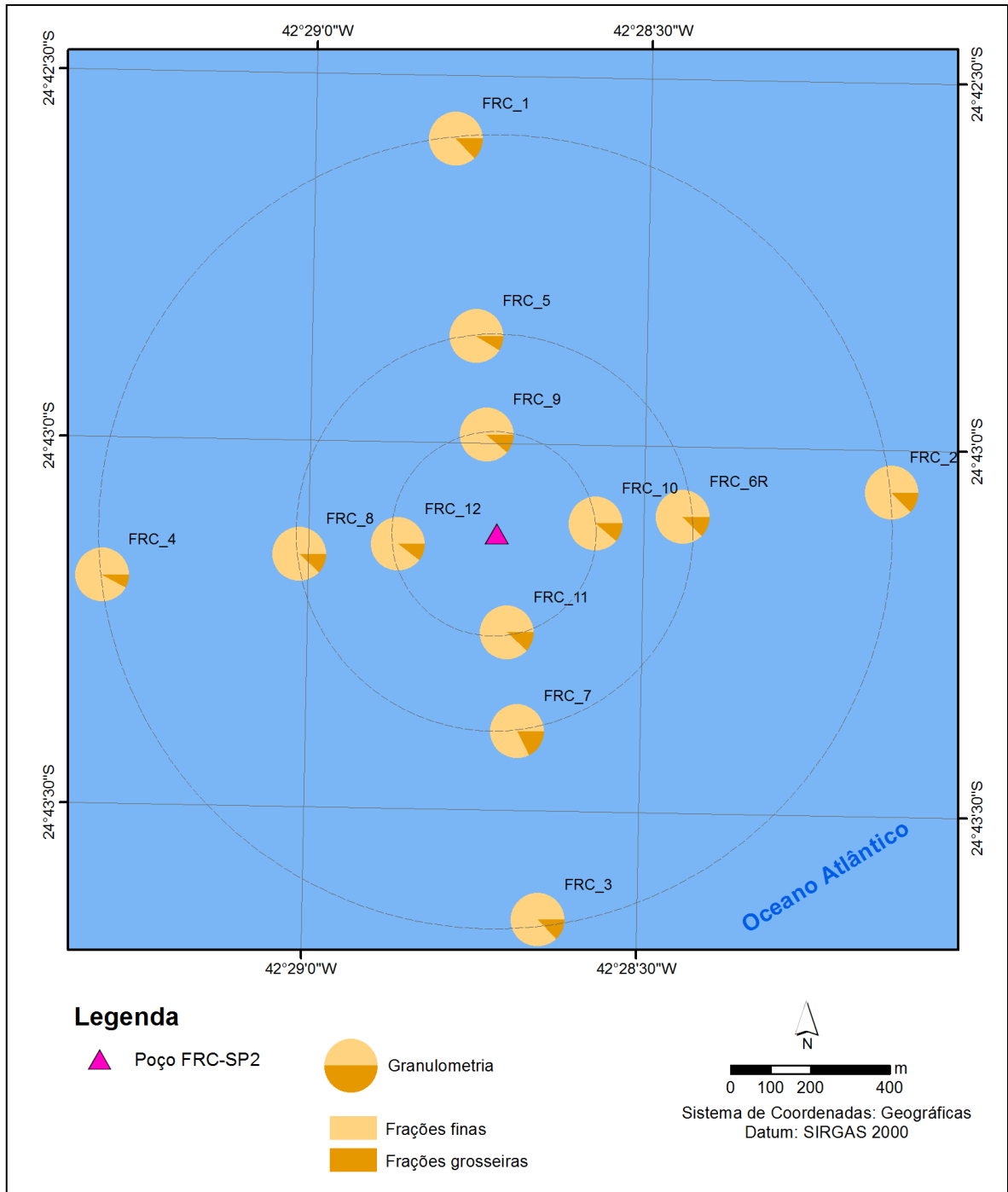


Figura V.1-3 – Distribuição espacial da composição granulométrica dos sedimentos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

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

média, areia fina, areia muito fina e silte. Para a areia média e areia fina foram encontradas diferenças significativas entre as estações FRC_4 e FRC_7 (Tukey, $p < 0,05$). Para a areia muito fina, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença. Para o silte, as estações FRC_4 e FRC_5 diferiram significativamente das estações FRC_6R e FRC_7, e a estação FRC_6R diferiu significativamente das estações FRC_8 e FRC_9 (Tukey, $p < 0,05$).

Tabela V.1-3 – Análise de variância das frações granulométricas das 12 estações de coleta durante 3ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase pós-perfuração). $p < 0,05$.

	Cas	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Arg
F	-	-	1,749	2,513	-	-	4,369	-
H	11,597	13,955	-	-	21,048	20,526	+	14,736
p	0,395	0,235	0,122	0,029	0,033	0,039	0,001	0,195

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 (CaCO_3) é principalmente processada por organismos bentônicos, como moluscos, foraminíferos, brizoários e corais (DIAS, 2004).

As concentrações de carbonatos nas amostras de sedimento da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2 variaram entre $54,98 \pm 2,41\%$, na estação FRC_7, e $62,01 \pm 5,84\%$, na estação FRC_10 (Tabela V.1-4; Figura V.1-4). As concentrações de carbonato nas estações não variaram significativamente entre si (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

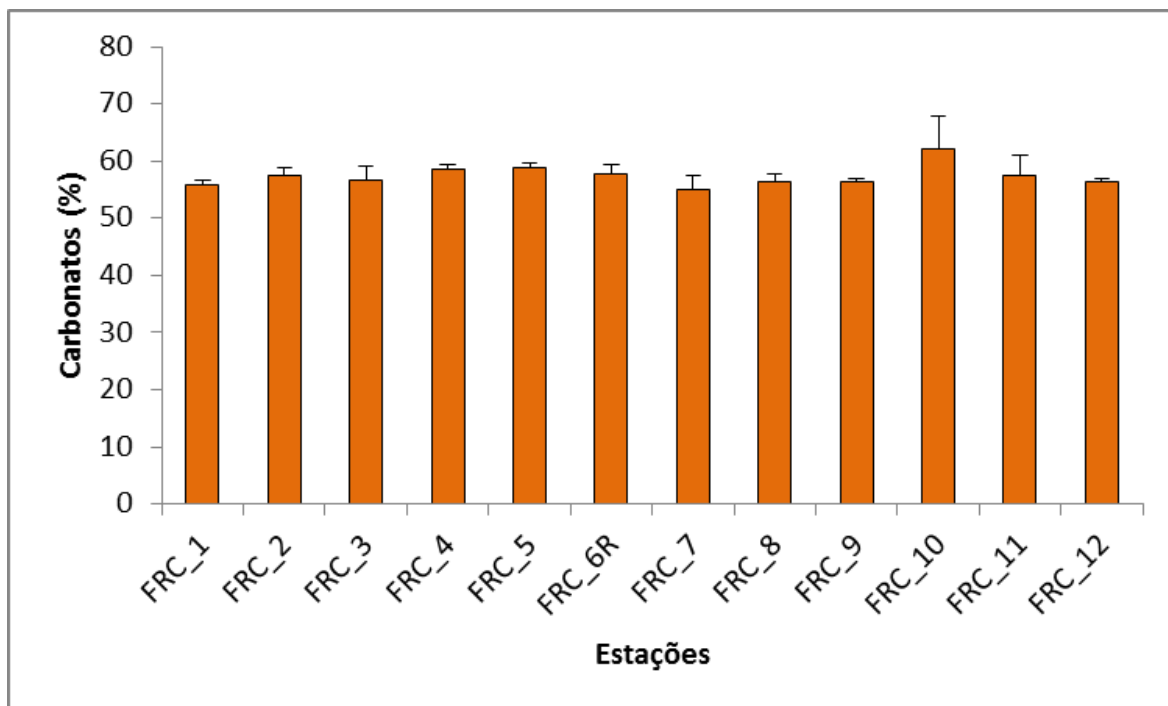


Figura V.1-4 – Concentrações médias (%) de carbonato encontrados nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

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

Estações	Carbonato (%)		
	Média		Desvio padrão
FRC_1	55,73	±	0,88
FRC_2	57,60	±	1,23
FRC_3	56,52	±	2,69
FRC_4	58,54	±	0,76
FRC_5	58,93	±	0,74
FRC_6R	57,63	±	1,63
FRC_7	54,98	±	2,41
FRC_8	56,42	±	1,39
FRC_9	56,32	±	0,55
FRC_10	62,01	±	5,84
FRC_11	57,53	±	3,57
FRC_12	56,51	±	0,38

Conforme classificação de Larsonneur (1977), os sedimentos da maioria das estações amostradas foram classificados como sedimentos biolitolásticos (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 superiores ao intervalo de concentrações observadas no monitoramento das estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014), o qual constatou concentrações de carbonato entre 13,90% até 21,77%, e as duas primeiras campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2, que encontrou concentrações variando entre 16,67 e 18,70%, e entre 47,48 e 55,31%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016). No estudo de caracterização da Bacia de Santos e no estudo na região ultraprofunda da mesma Bacia, foram encontradas concentrações maiores do que a presente campanha, variando entre 0,08 e 96,8% e 56,65 e 61,74%, respectivamente (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 no eixo leste-oeste do poço Franco-SP2 (Figura V.1-5).

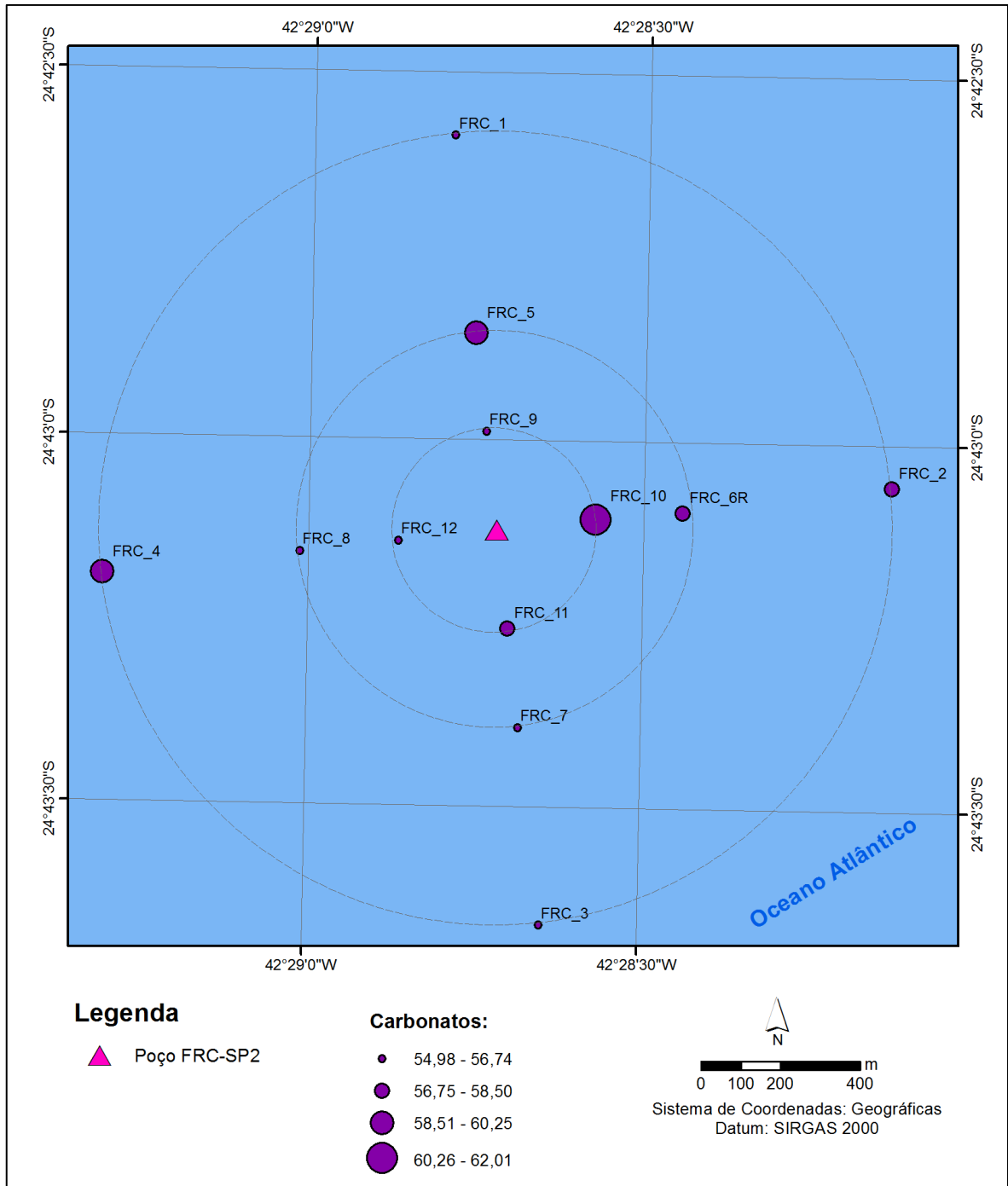


Figura V.1-5 – Distribuição espacial da concentração de carbonato no sedimento nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-6 são apresentadas as faixas de porcentagem de carbonato obtidas nas campanhas do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou uma variação mais ampla de valores, enquanto que a terceira campanha apresentou maiores valores de carbonato. Na comparação dos

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

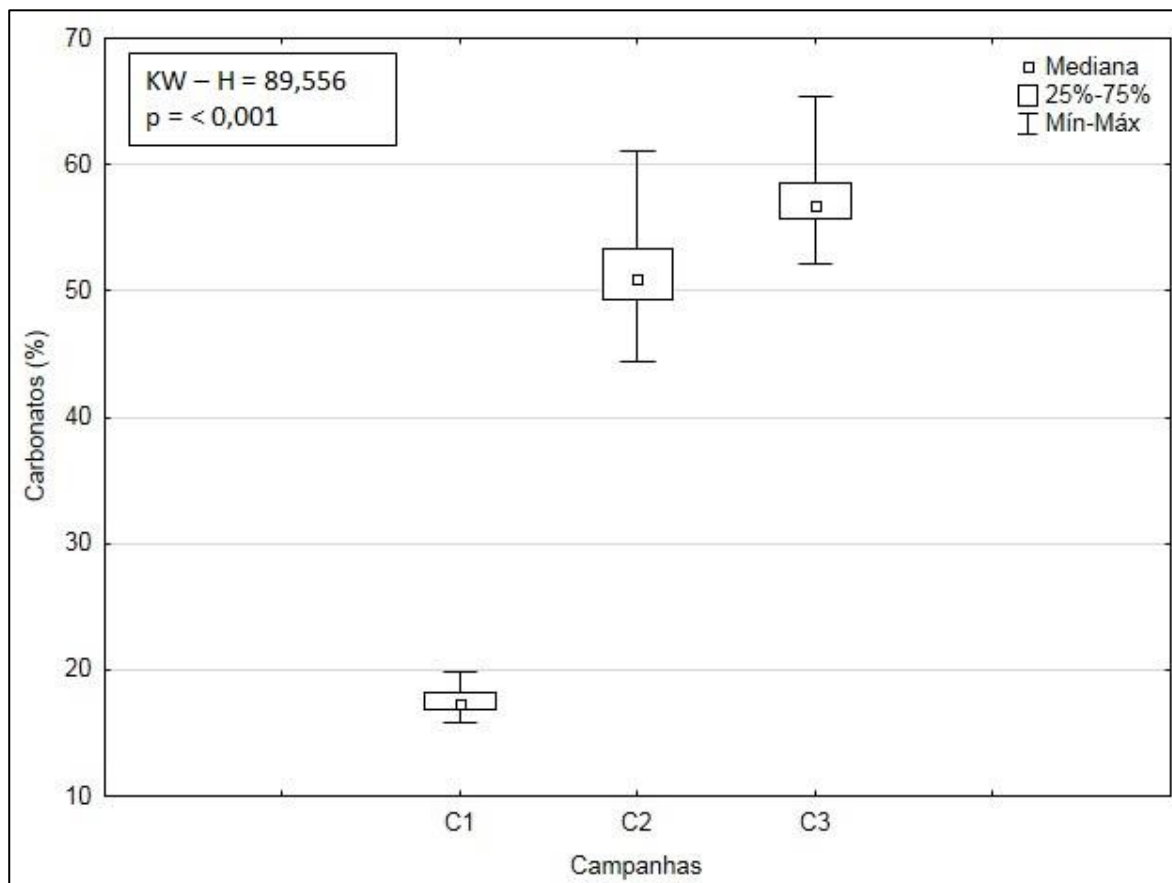


Figura V.1-6 – Teores de carbonato (%) observados ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

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 2×10^{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 130×10^{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 $0,63 \pm 0,35\%$, na estação FRC_6R, a $0,96 \pm 0,15\%$, na estação FRC_8 (Tabela V.1-5 e Figura V.1-7). Já a concentração média entre as estações nesta campanha foi de $0,80 \pm 0,11\%$. Os valores encontrados em outros estudos da região foram distintos dos encontrados na atual campanha. A caracterização da Bacia de Santos encontrou valores maiores do que os encontrados na atual campanha, com valores entre 0,20 e 6,20% (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Já os estudos na região ultraprofunda, o monitoramento do duto de Caiúnas e a primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 encontraram valores inferiores, com valores entre 0,41 e 0,88% na região ultraprofunda (PETROBRAS/HABTEC, 2003), entre 0,57 e 0,73% nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014) e entre 0,05 e 0,25% na primeira campanha do poço Franco-SP2 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, os valores encontrados foram um pouco maiores, variando entre 0,58 e 1,83% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 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 não apresentaram diferença significativa entre as estações (ANOVA, $p > 0,05$).

As concentrações de matéria orgânica total (MOT) variaram entre $1,51 \pm 0,19\%$, na estação FRC_7, a $2,81 \pm 0,85\%$, na estação FRC_3 (Tabela V.1-5 e

Figura V.1-8). Já a concentração média obtida entre as estações nesta campanha foi de $1,98 \pm 0,43\%$. Na região ultraprofunda da Bacia de Santos, o intervalo de concentrações de MOT foi maior do que o encontrado na presente campanha, variando entre 0,75 e 9,57% (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Já no monitoramento das estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas as concentrações foram menores, variando entre 1,93 e 2% (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Nas duas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2, as concentrações foram maiores, variando entre 3 e 4,26%, e entre 2,97 e 5,73%, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016). As concentrações de matéria orgânica total apresentaram diferença significativa entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). A estação FRC_3 diferiu significativamente da estação FRC_7 (Tukey, $p < 0,05$).

Tabela V.1-5 – Concentrações médias de carbono orgânico total e matéria orgânica total nas diferentes estações da atual campanha de monitoramento do Poço Franco-SP2.

Estações	Carbono Orgânico Total (%)			Matéria Orgânica Total (%)		
	Média		Desvio padrão	Média		Desvio padrão
FRC_1	0,93	±	0,11	1,95	±	0,28
FRC_2	0,68	±	0,12	2,21	±	0,20
FRC_3	0,86	±	0,10	2,81	±	0,85
FRC_4	0,83	±	0,05	1,71	±	0,68
FRC_5	0,94	±	0,12	1,70	±	0,32
FRC_6R	0,63	±	0,35	2,67	±	0,46
FRC_7	0,70	±	0,11	1,51	±	0,19
FRC_8	0,96	±	0,15	2,28	±	0,49
FRC_9	0,73	±	0,24	1,59	±	0,21
FRC_10	0,83	±	0,19	1,64	±	0,35
FRC_11	0,78	±	0,18	1,77	±	0,27
FRC_12	0,75	±	0,13	1,88	±	0,16

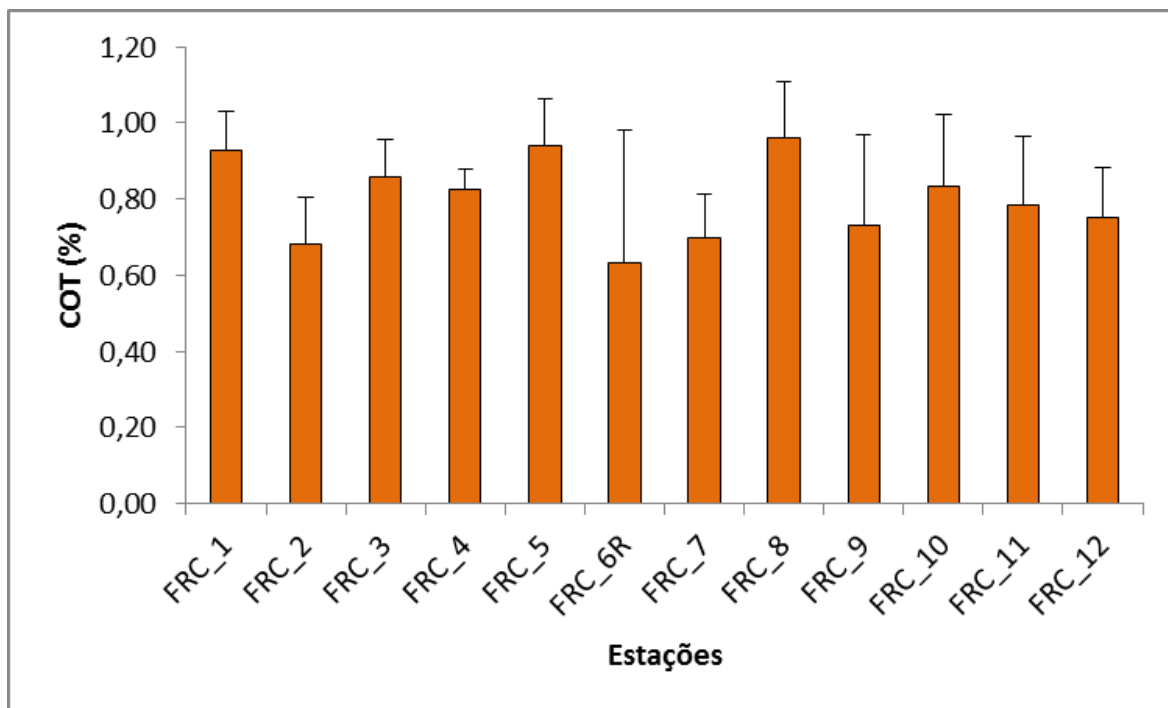


Figura V.1-7 – Concentração média de carbono orgânico total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

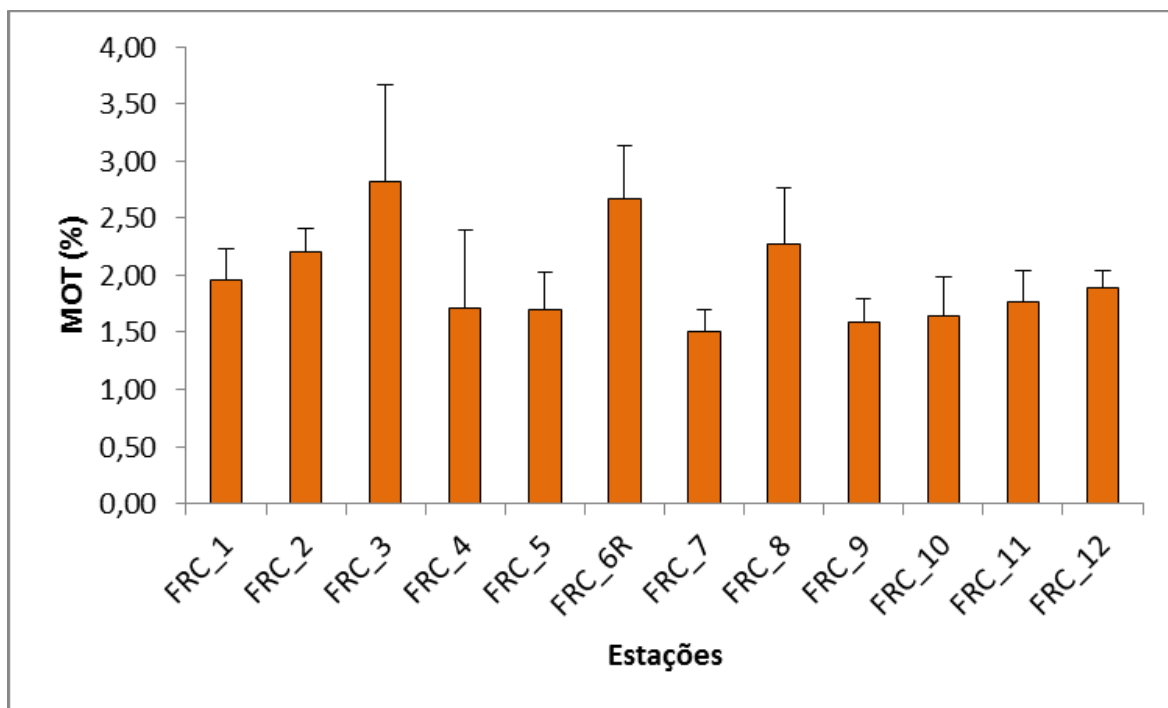


Figura V.1-8 – Concentração média de matéria orgânica total nas 12 diferentes estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

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 no eixo leste oeste.

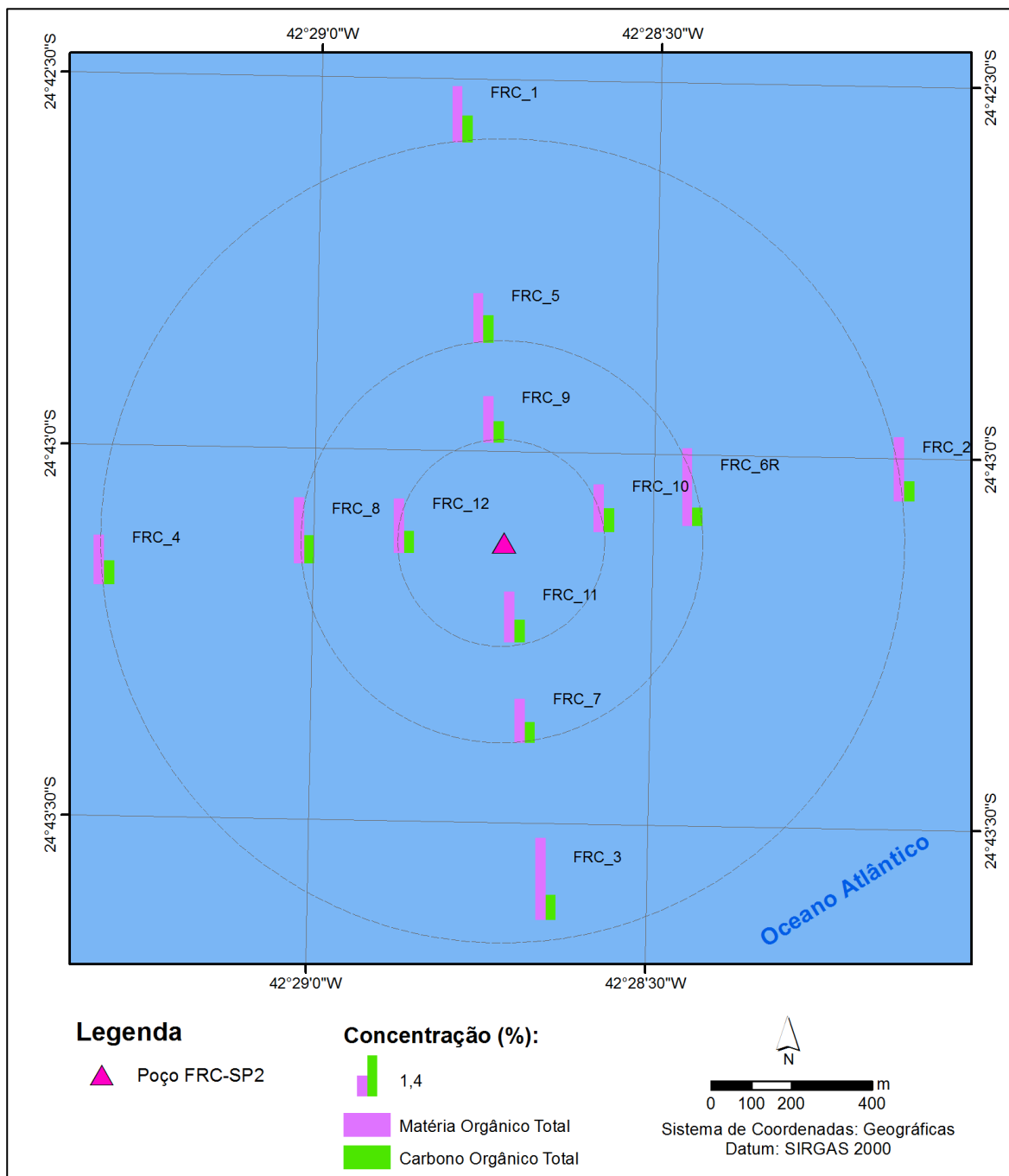


Figura V.1-9 – Distribuição espacial das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento das estações da atual campanha de monitoramento de pós-perfuração do Poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-10 são apresentadas as faixas das concentrações de carbono orgânico total obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou uma variação mais ampla e maiores valores de COT. Na comparação dos resultados de concentração de COT nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*, $p < 0,05$).

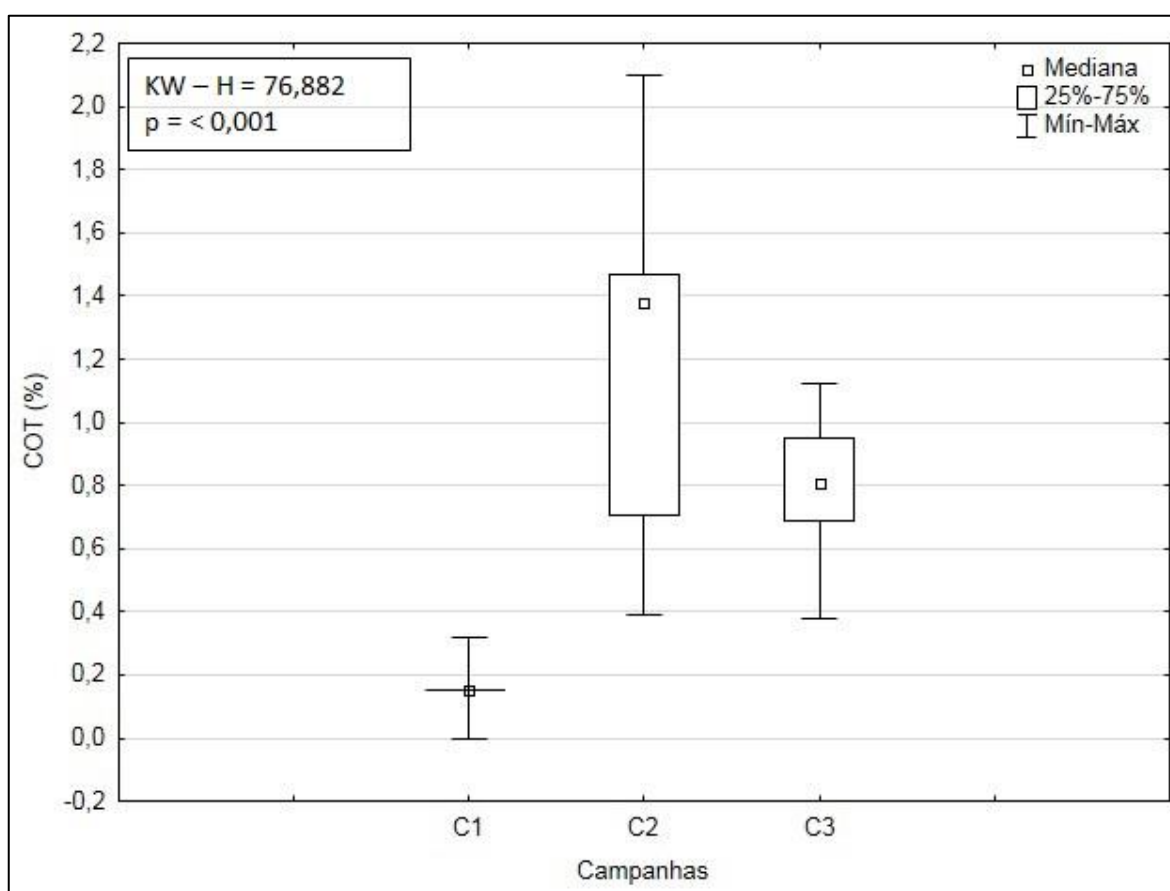


Figura V.1-10 – Concentrações de carbono orgânico total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

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 Franco-SP2. Assim como verificado para as concentrações de COT, é possível verificar que a 2ª 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*, $p < 0,05$). A terceira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*, $p < 0,05$).

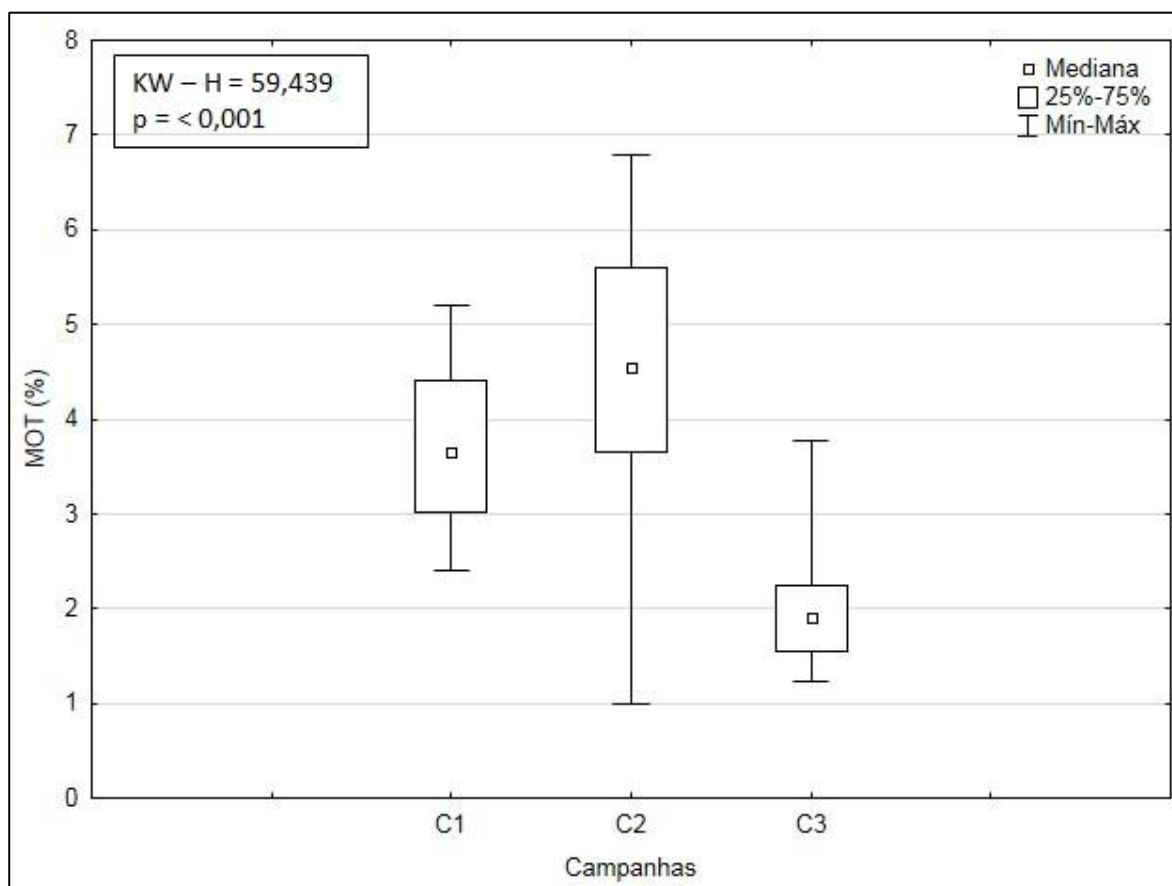


Figura V.1-11 – Concentrações de matéria orgânica total (%) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

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 campanha de monitoramento. 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 $499,07 \pm 95,17$ mg/kg, na estação FRC_4, e $679,00 \pm 105,27$ mg/kg, na estação FRC_1 (Tabela V.1-6; Figura V.1-12), sendo que a concentração média entre as estações foi de $577,76 \pm 58,17$ mg/kg. As concentrações de nitrogênio não diferiram significativamente entre as estações (ANOVA, $p > 0,05$). Somente as concentrações encontradas na região ultraprofunda da Bacia de Santos e na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram maiores do que as encontradas na atual campanha, com valores entre 465 e 1.226 mg/kg e entre 556,93 e 1.208,10 mg/kg, respectivamente (PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Já as concentrações encontradas no duto de Cabiúnas e na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram inferiores as encontradas na atual campanha, com valores entre 352,50 e 620,57 mg/kg, e entre 222,83 e 306,30 mg/kg, respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015).

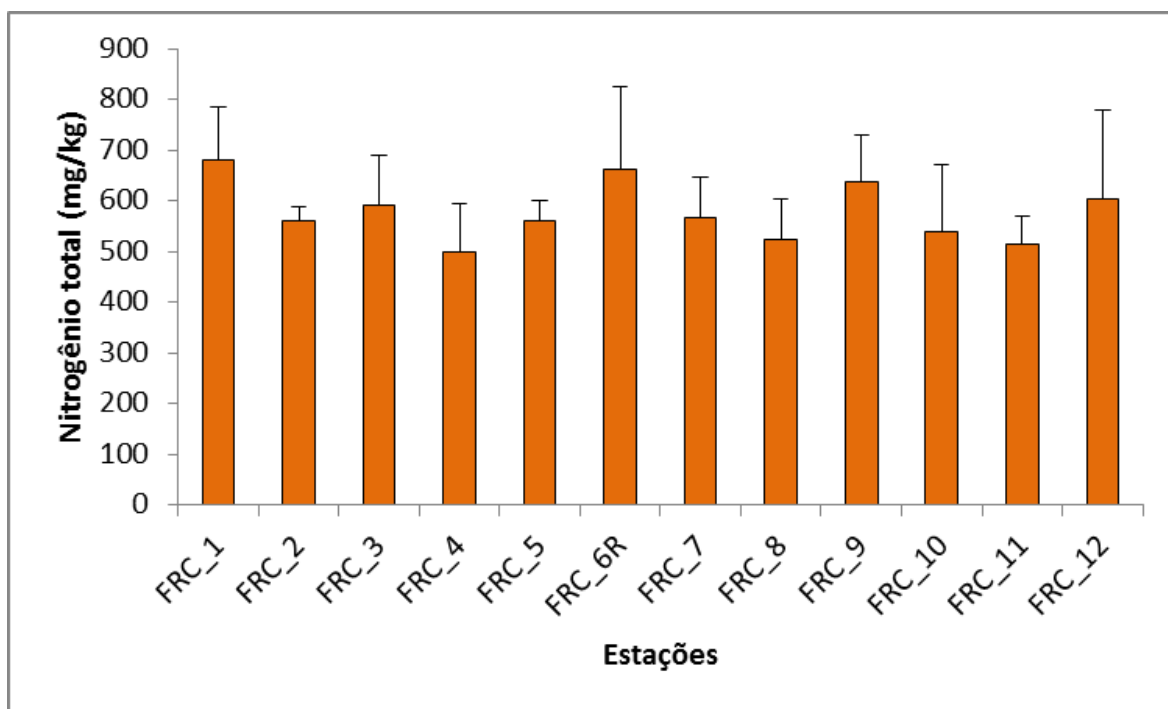


Figura V.1-12 – Concentrações médias (mg/kg) de nitrogênio total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

A concentração média de fósforo total foi de $182,06 \pm 20,81$ mg/kg, com mínimo de $144,67 \pm 31,90$ mg/kg na estação FRC_10 e máximo de $209,33 \pm 16,65$ mg/kg na estação FRC_4 (Tabela V.1-6; Figura V.1-13). A análise estatística mostrou que não existem diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p > 0,05$).

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

Estações	Nitrogênio total (mg/kg)		Fósforo total (mg/kg)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
FRC_1	679,00	± 105,27	203,00	± 29,46
FRC_2	561,57	± 27,10	193,33	± 51,48
FRC_3	591,37	± 98,73	201,00	± 21,00
FRC_4	499,07	± 95,17	209,33	± 16,65
FRC_5	559,43	± 39,68	156,00	± 39,36
FRC_6R	662,07	± 163,51	179,33	± 63,52
FRC_7	565,77	± 80,39	183,00	± 18,52
FRC_8	523,33	± 81,45	162,33	± 25,66
FRC_9	637,40	± 92,40	168,00	± 14,00
FRC_10	538,07	± 132,89	144,67	± 31,90
FRC_11	514,07	± 54,71	182,00	± 59,35
FRC_12	602,00	± 176,45	202,67	± 17,90

Em comparação com os dados pretéritos, os valores obtidos nesta campanha foram distintos em relação aos relatados para os estudos na região. Na região ultraprofunda da Bacia de Santos (PETROBRAS/HABTEC, 2003), os valores variaram entre 230 e 628 mg/kg, sendo portanto, superiores aos encontrados na atual campanha. Já no monitoramento do gasoduto de Cabiúnas variaram entre 164,67 e 171 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014) e na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 variaram entre 45,63 e 74,10 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015), sendo portanto, inferiores aos encontrados na atual campanha. Já as concentrações encontradas na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram maiores em relação as encontradas na atual campanha, com valores entre 67,50 e 517,47 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Esta diferença nas concentrações de fósforo total está provavelmente relacionada à variabilidade natural. Pellens *et al.* (1998), em um estudo sobre a distribuição de fósforo na plataforma continental

interna de Santa Catarina, encontraram concentrações de fósforo total superiores as encontradas nesse estudo, variando entre 40 e 583 mg/kg.

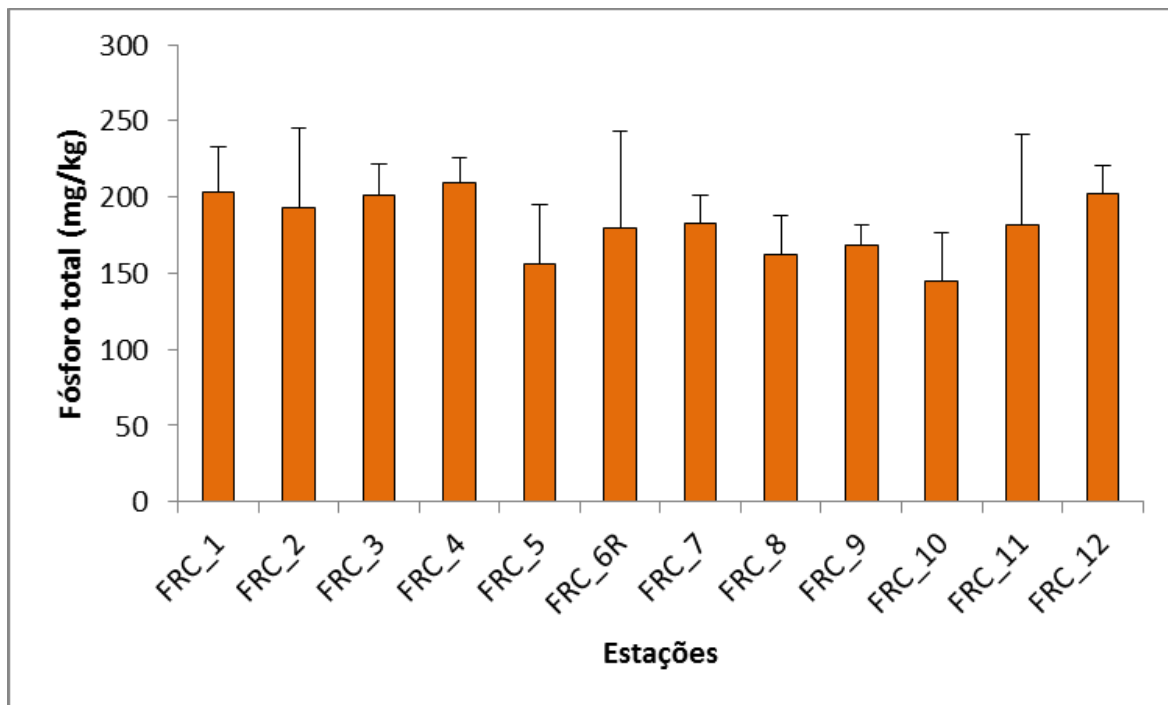


Figura V.1-13 – Concentrações médias (mg/kg) de fósforo total encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

Não foi observado um padrão de distribuição espacial das concentrações de nitrogênio e fósforo totais, mas de maneira geral as maiores concentrações destes compostos foram encontradas nas estações do eixo norte sul (Figura V.1-14).

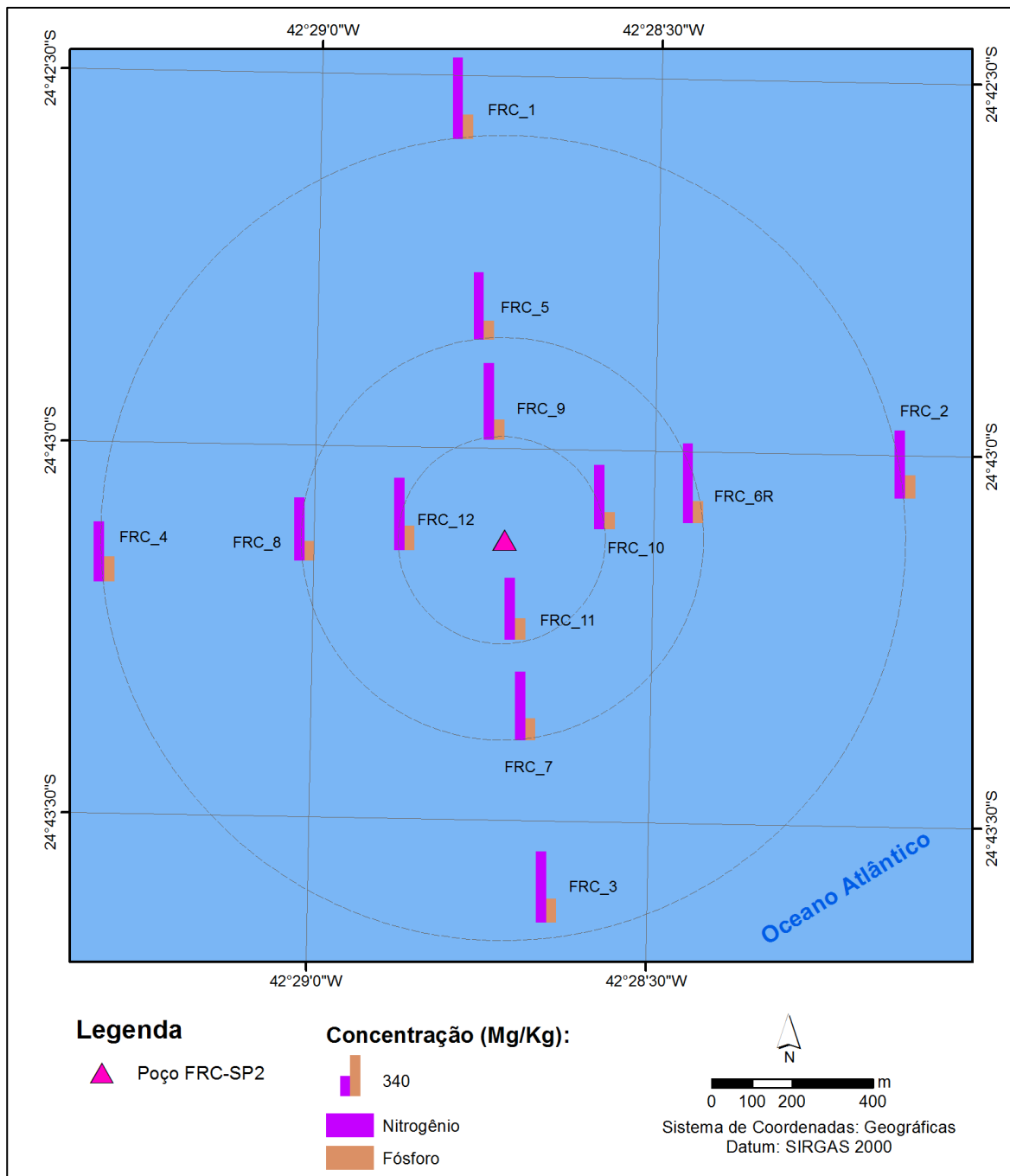


Figura V.1-14 – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos

Na Figura V.1-15 são apresentadas as faixas das concentrações de nitrogênio total obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. 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*, $p < 0,05$). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*, $p < 0,05$).

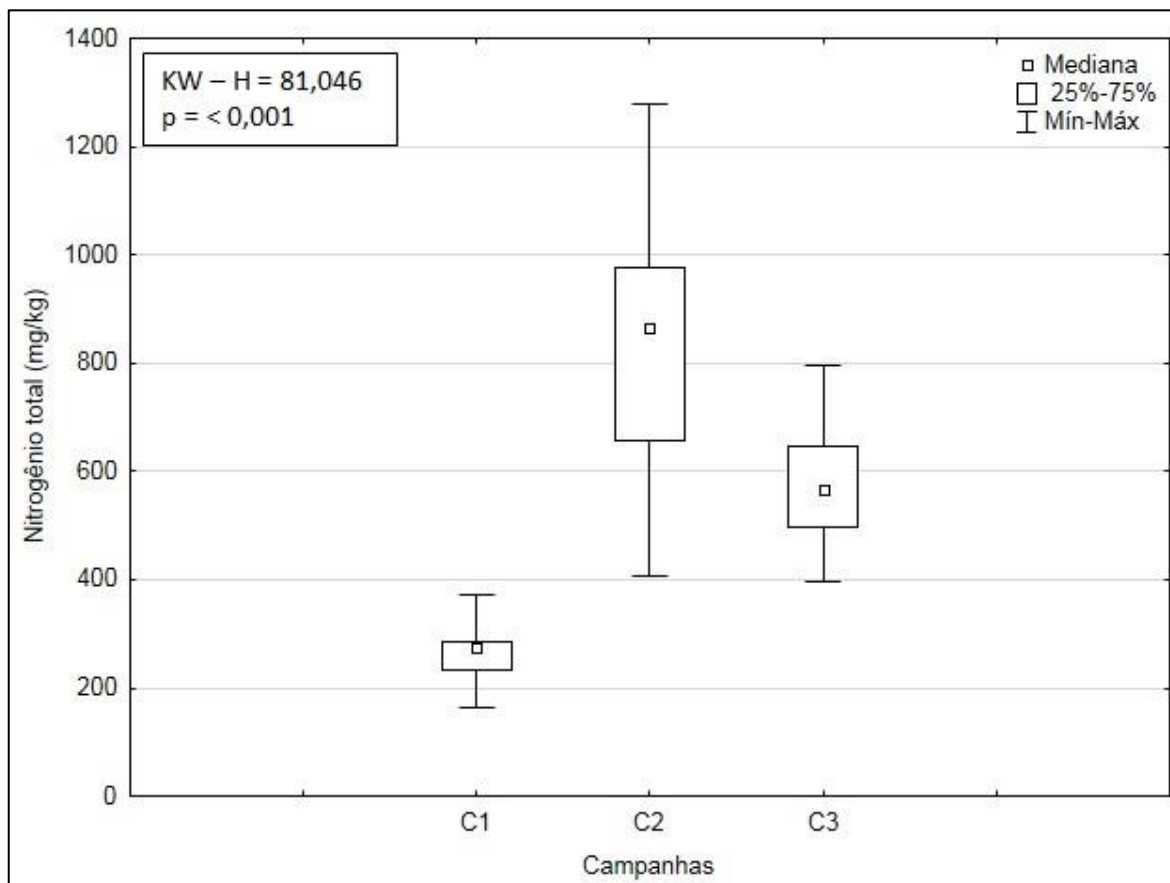


Figura V.1-15 – Concentrações de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-16 são apresentadas as faixas de concentração de fósforo total obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. 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*, $p < 0,05$).

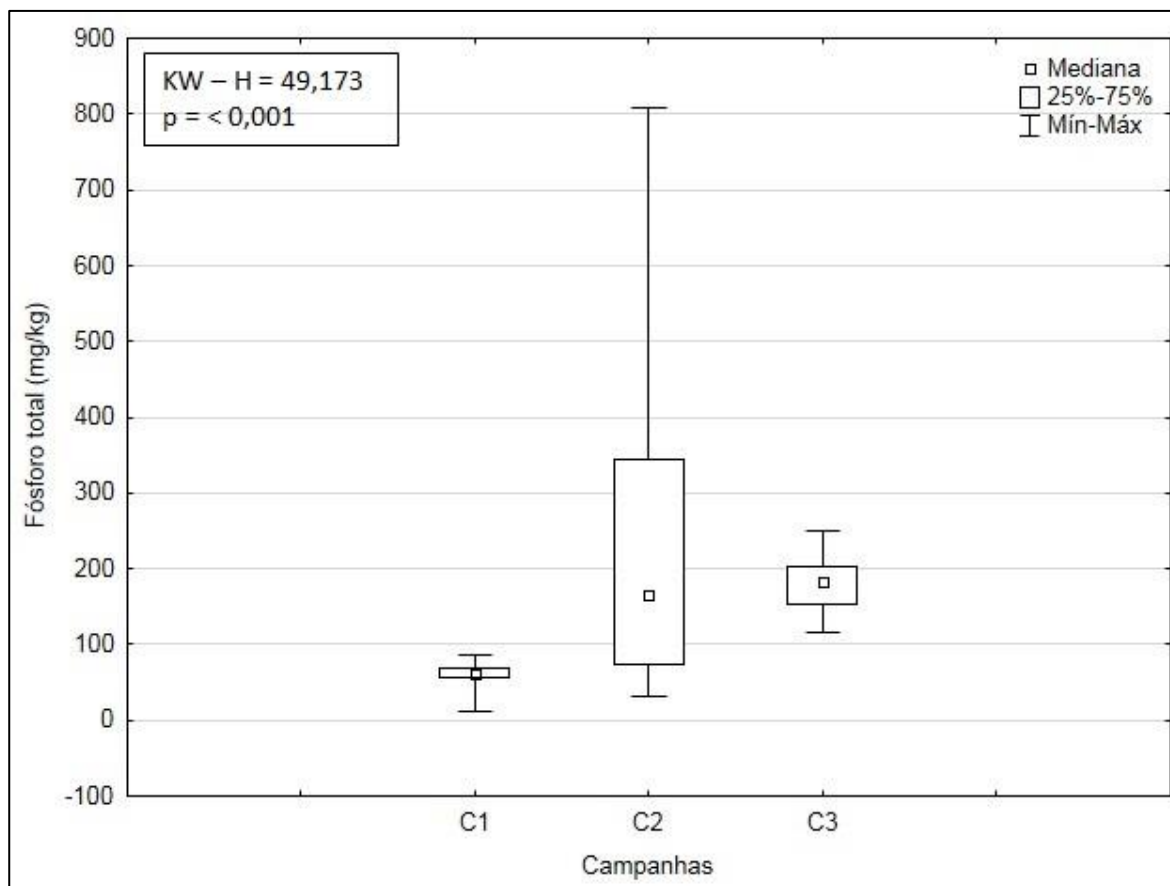


Figura V.1-16 – Concentrações de fósforo total (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3= campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

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 conseqüentes 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 seqüência de concentrações obtida na presente campanha foi a seguinte: Al > Fe > Ba > Mn > Zn > V > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd > Hg. Esta seqüência segue o padrão encontrado nos estudos anteriores na região, exceto o alumínio e o bário, que apresentaram maiores concentrações na atual campanha (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016), além de ser a distribuição esperada para ambientes naturais (LACERDA & MARINS, 2006).

A concentração média de ferro nas estações amostradas foi de $14.213,61 \pm 1.149,38$ mg/kg, com mínimo de $12.200,00 \pm 1.014,89$ mg/kg em FRC_7 e máximo de $17.033,33 \pm 2.948,45$ mg/kg em FRC_11 (Tabela V.1-7; Figura V.1-17). O baixo valor do desvio padrão indica que possivelmente 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 (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$).

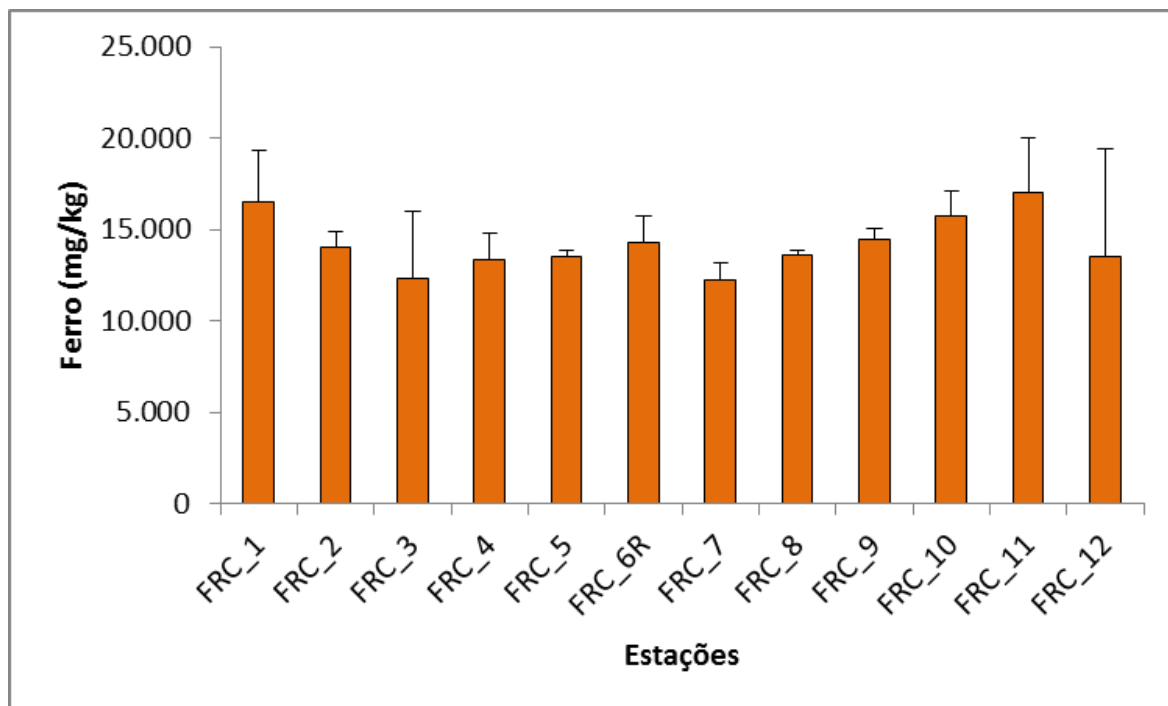


Figura V.1-17 – Concentrações médias (mg/kg) de ferro encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de alumínio variaram entre $12.063,33 \pm 3.513,83$ mg/kg, na estação FRC_7, e $23.033,33 \pm 1.800,93$ mg/kg, na estação FRC_10 (Tabela V.1-7; Figura V.1-18). A média entre as estações foi de $18.360,56 \pm 3.027,34$ mg/kg e não foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p > 0,05$).

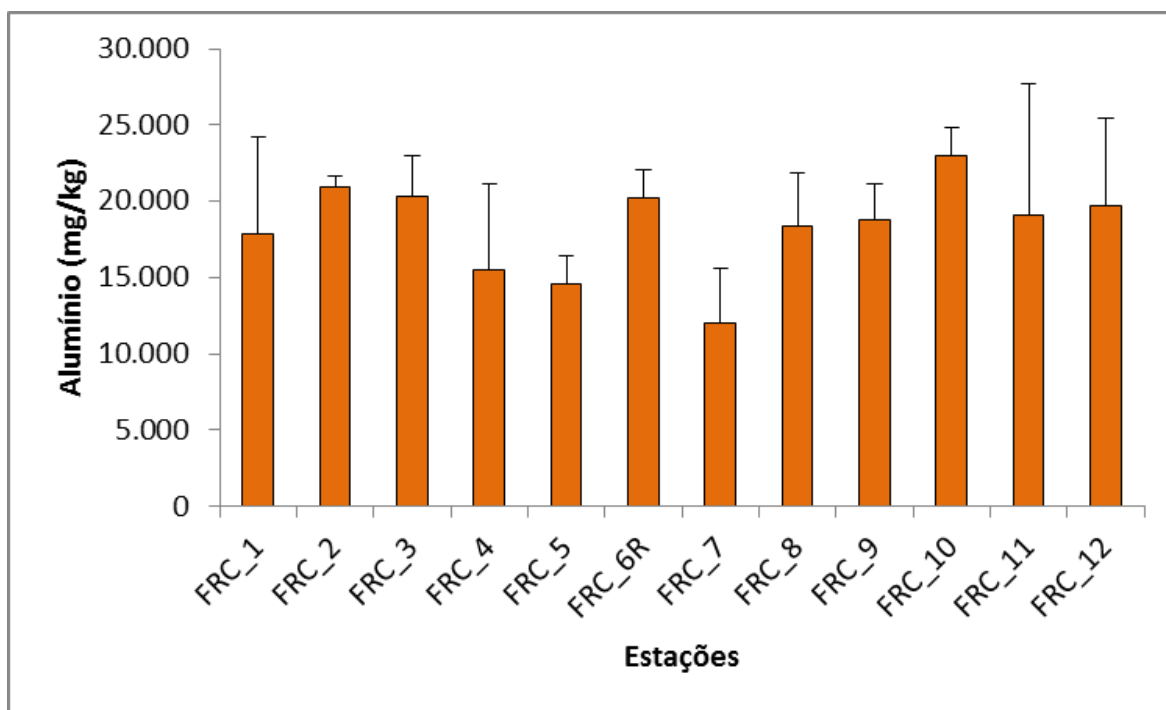


Figura V.1-18 – Concentrações médias (mg/kg) de alumínio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações médias de ferro e alumínio obtidas neste estudo foram bem superiores em relação às concentrações encontradas em estudos anteriores na região, exceto as concentrações de alumínio na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, que foram superiores, e as concentrações de ferro, que foram maiores no estudo de caracterização da Bacia de Santos e na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016), apresentados na Tabela V.1-8.

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.

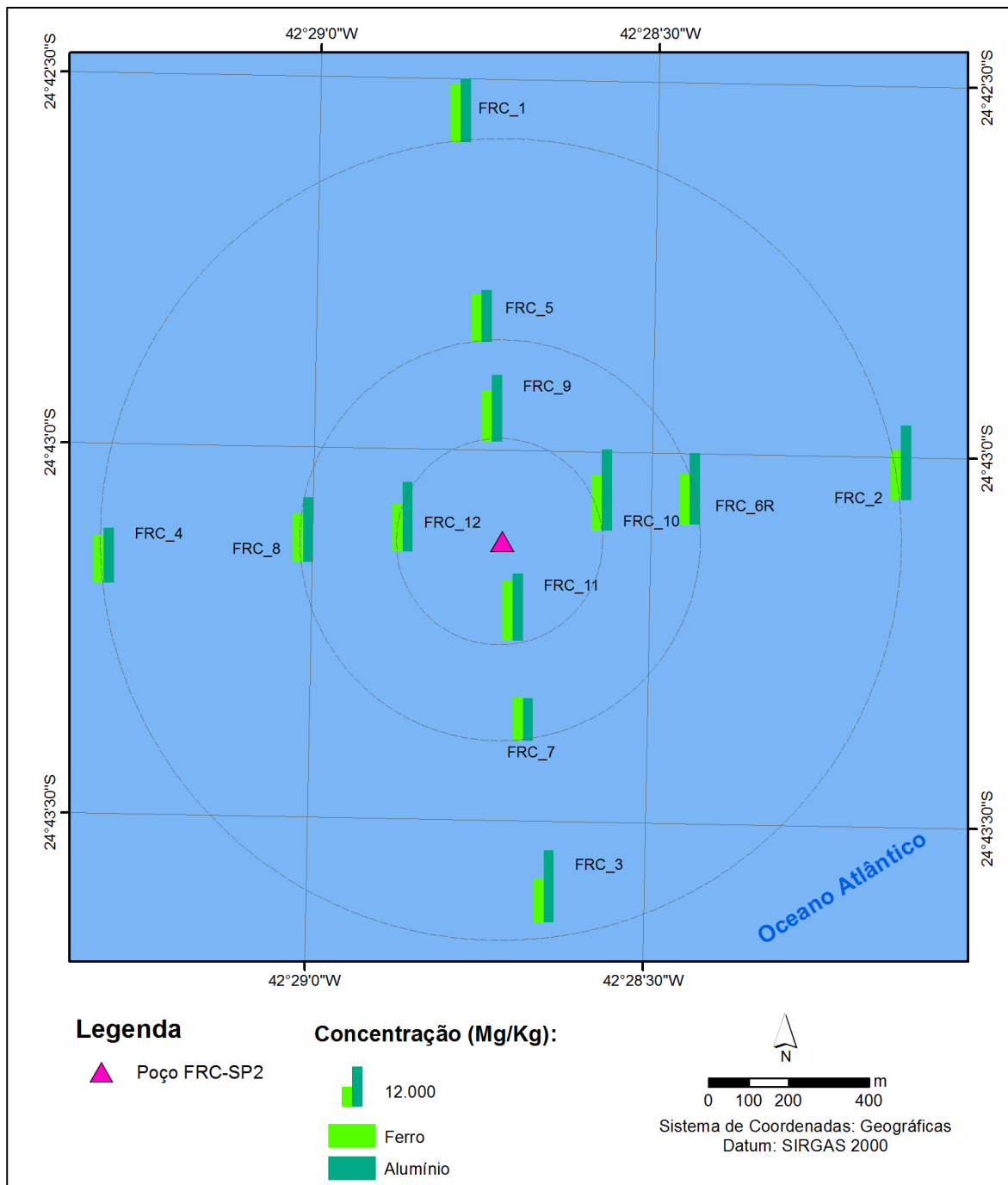


Figura V.1-19 – Distribuição espacial das concentrações de alumínio e ferro (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-20 são apresentadas as faixas das concentrações de ferro obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. 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*, $p < 0,05$). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*, $p < 0,05$).

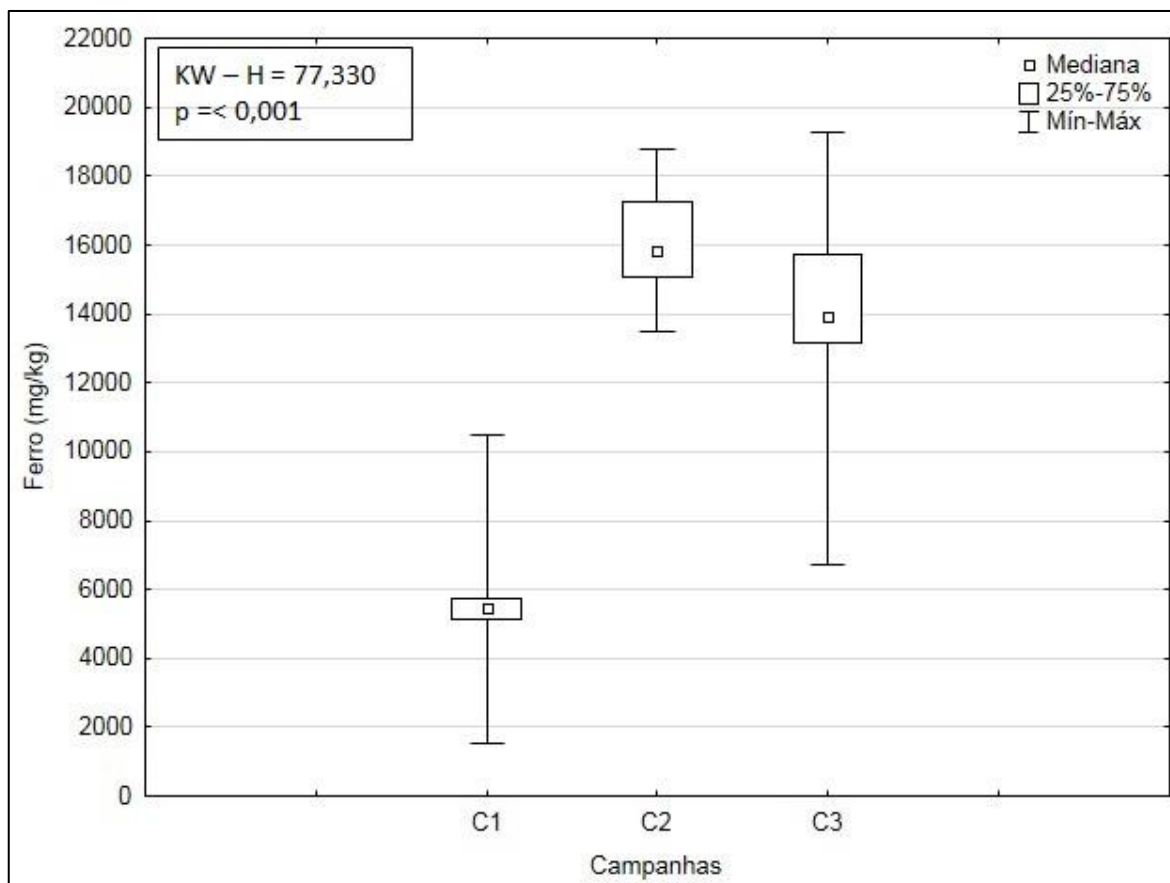


Figura V.1-20 – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-21 são apresentadas as faixas de concentração de alumínio obtidas nas três campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 2ª 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 (*Tukey*, $p < 0,05$).

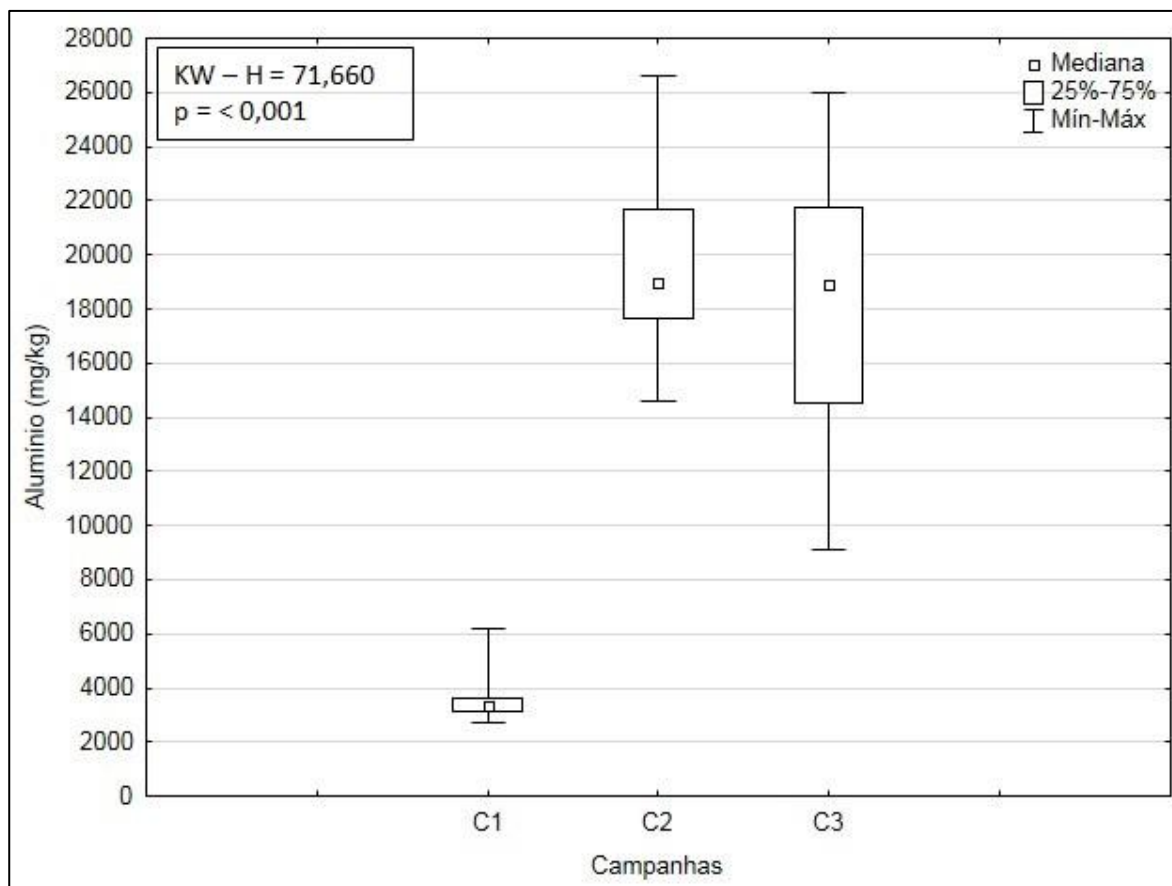


Figura V.1-21 – Concentrações de alumínio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

A concentração média de manganês foi de $329,72 \pm 33,62$ mg/kg, cujo valor mínimo observado foi de $294,00 \pm 7,94$ mg/kg, na estação FRC_7, e máximo de $395,33 \pm 70,47$ mg/kg, na estação FRC_12 (Tabela V.1-7; Figura V.1-22). Foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.

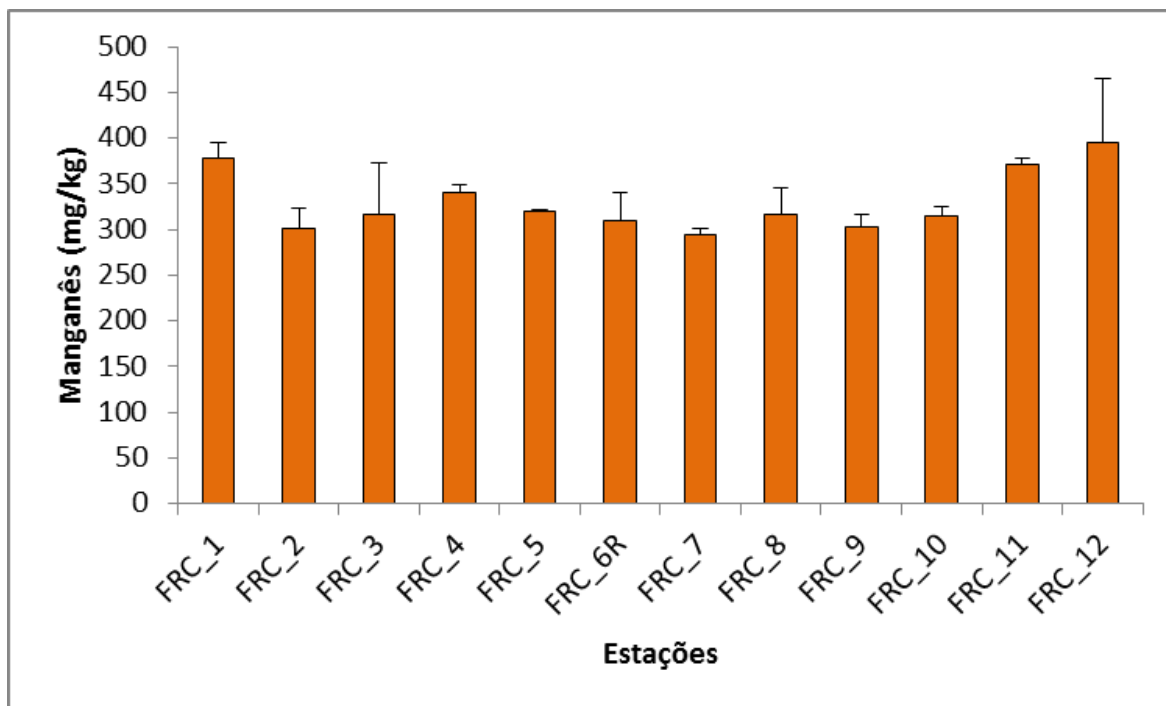


Figura V.1-22 – Concentrações médias (mg/kg) de manganês encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações médias de manganês obtidas neste estudo foram inferiores em relação aos estudos anteriores na região, exceto em relação a primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, que encontrou valores inferiores em relação a atual campanha (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016). Os resultados são apresentados na Tabela V.1-8.

As concentrações de bário variaram de $100,23 \pm 6,19$ mg/kg, na estação FRC_8, até $1.628,67 \pm 1.350,77$ mg/kg, na estação FRC_5, sendo que a média entre as estações foi de $379,59 \pm 432,04$ mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-23). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$).

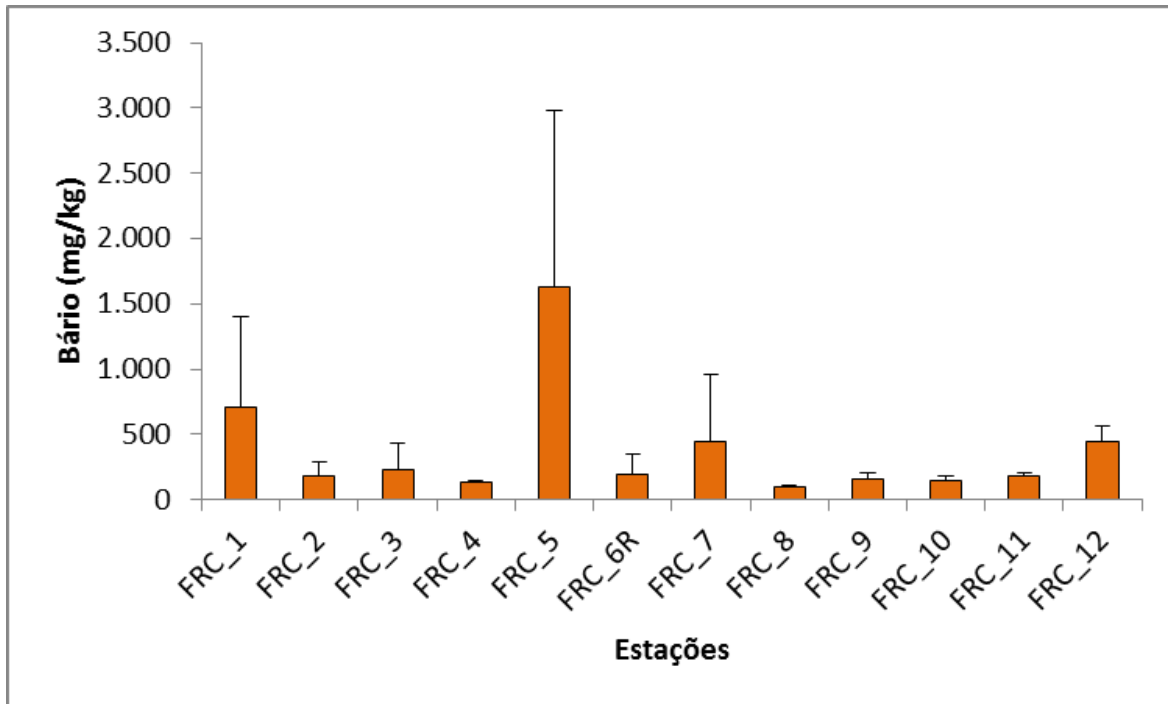


Figura V.1-23 – Concentrações médias (mg/kg) de bário encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações médias de bário verificadas na atual campanha são maiores do que as encontradas em estudos anteriores na região (Tabela V.1-8).

A análise da distribuição espacial das concentrações de manganês e de bário não permitiu a visualização de um padrão de distribuição, mas de maneira geral foram observadas maiores concentrações no eixo norte sul do poço perfurado e maiores concentrações de bário na estação FRC_5 (Figura V.1-24).

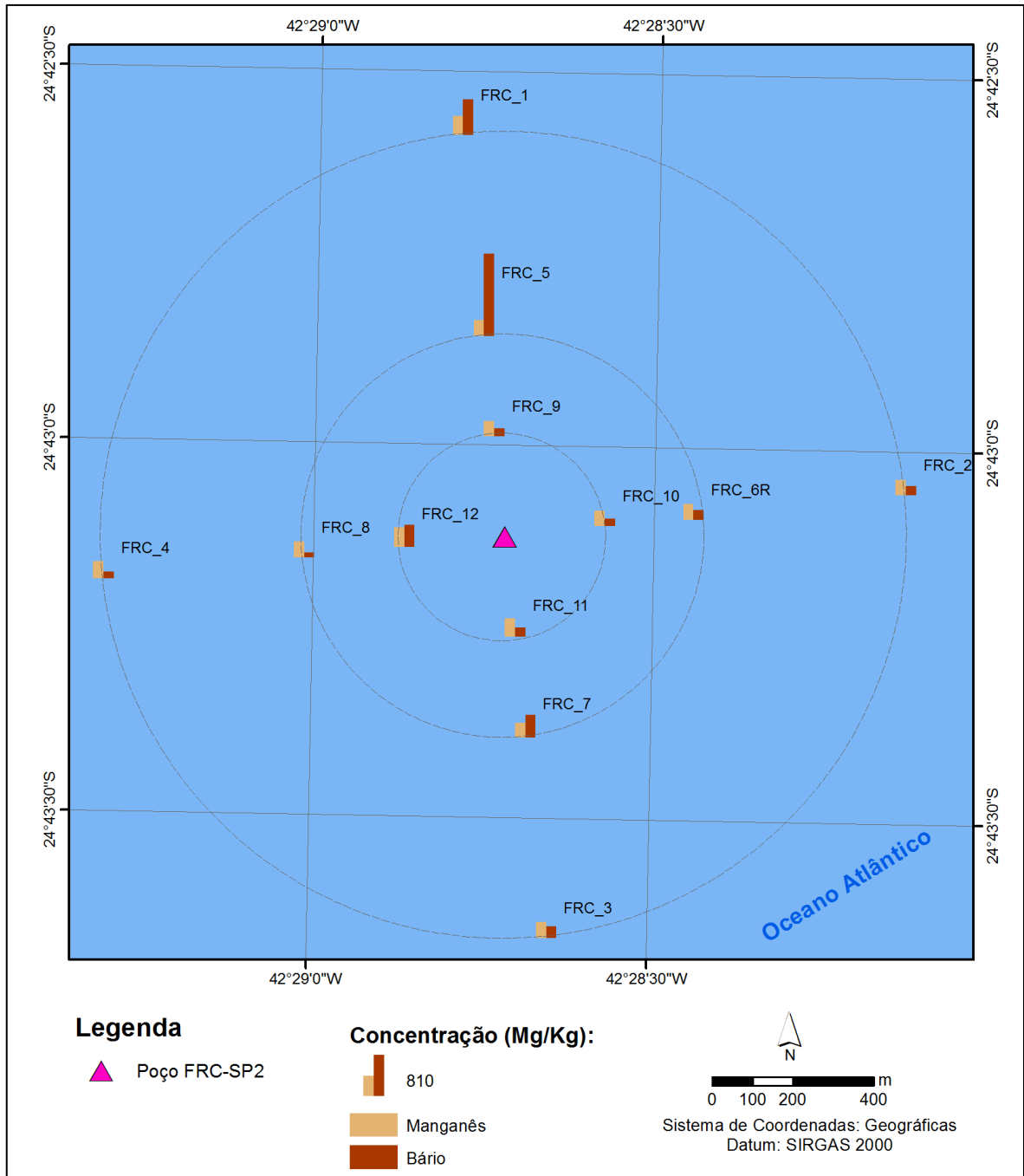


Figura V.1-24 – Distribuição espacial das concentrações de manganês e bário (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos

Na Figura V.1-25 são apresentadas as faixas das concentrações de manganês obtidas nas amostras das três campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 1ª campanha mostrou maior intervalo de valores de concentração, enquanto que a 2ª campanha mostrou maiores

concentrações de manganês. Na comparação dos resultados de concentração de manganês 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*, $p < 0,05$).

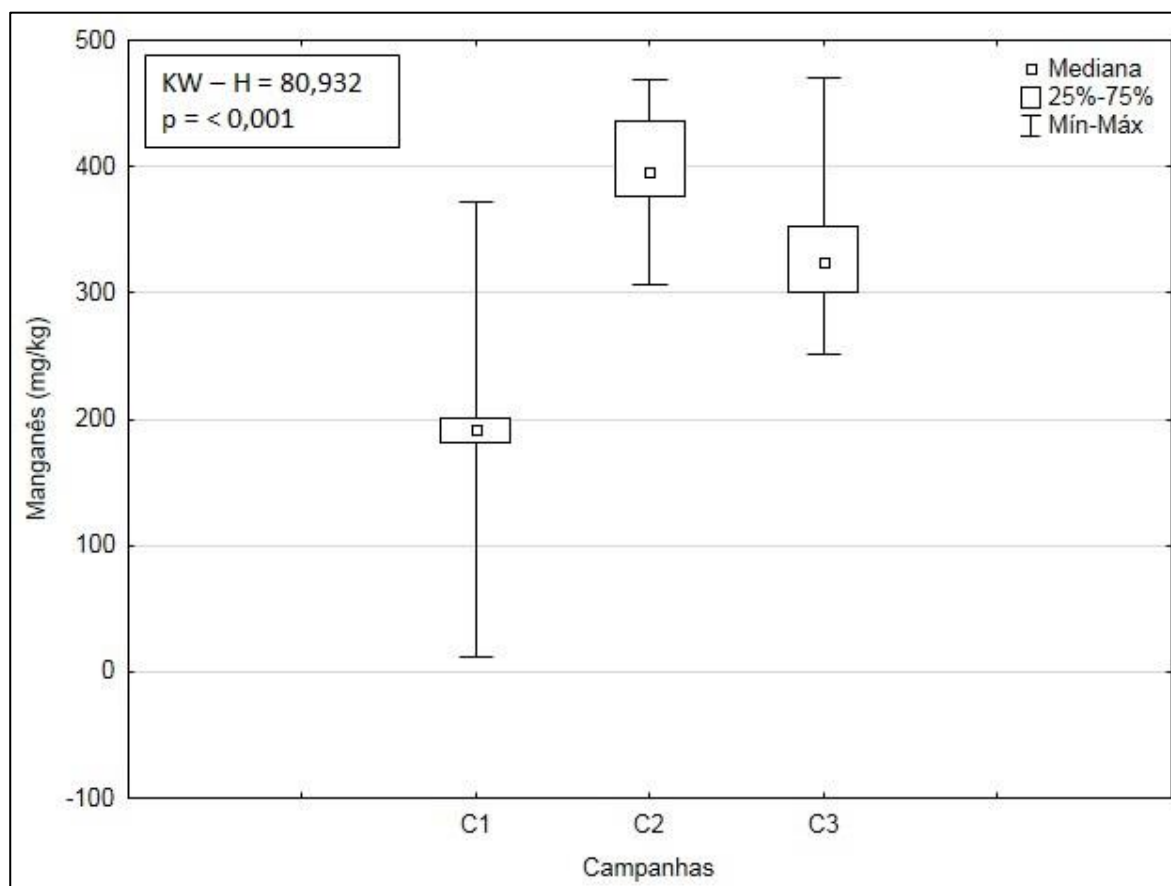


Figura V.1-25 – Concentrações de manganês (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-26 são apresentadas as faixas das concentrações de bário obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 3ª campanha mostrou maiores valores de bário. Na comparação dos resultados de concentração de bário nas campanhas foram detectadas diferenças significativas entre elas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). No teste a posteriori, todas as campanhas diferiram umas das outras (*Tukey*, $p < 0,05$).

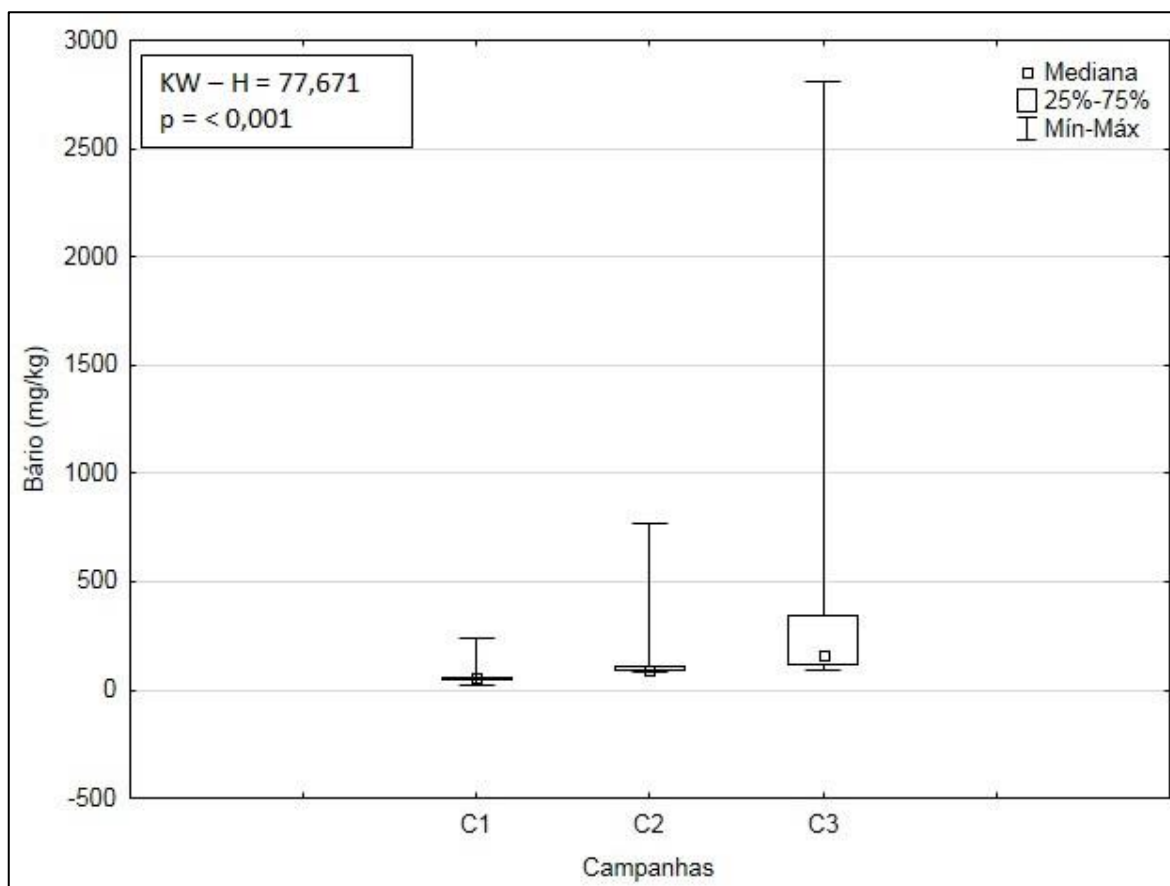


Figura V.1-26 – Concentrações de bário (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

A concentração média de zinco foi de $40,19 \pm 4,81$ mg/kg, com mínimo de $32,40 \pm 1,35$ mg/kg na estação FRC_7, e $47,50 \pm 11,01$ mg/kg, na estação FRC_1 (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. Assim como as concentrações de bário, as concentrações de zinco não apresentaram diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p > 0,05$).

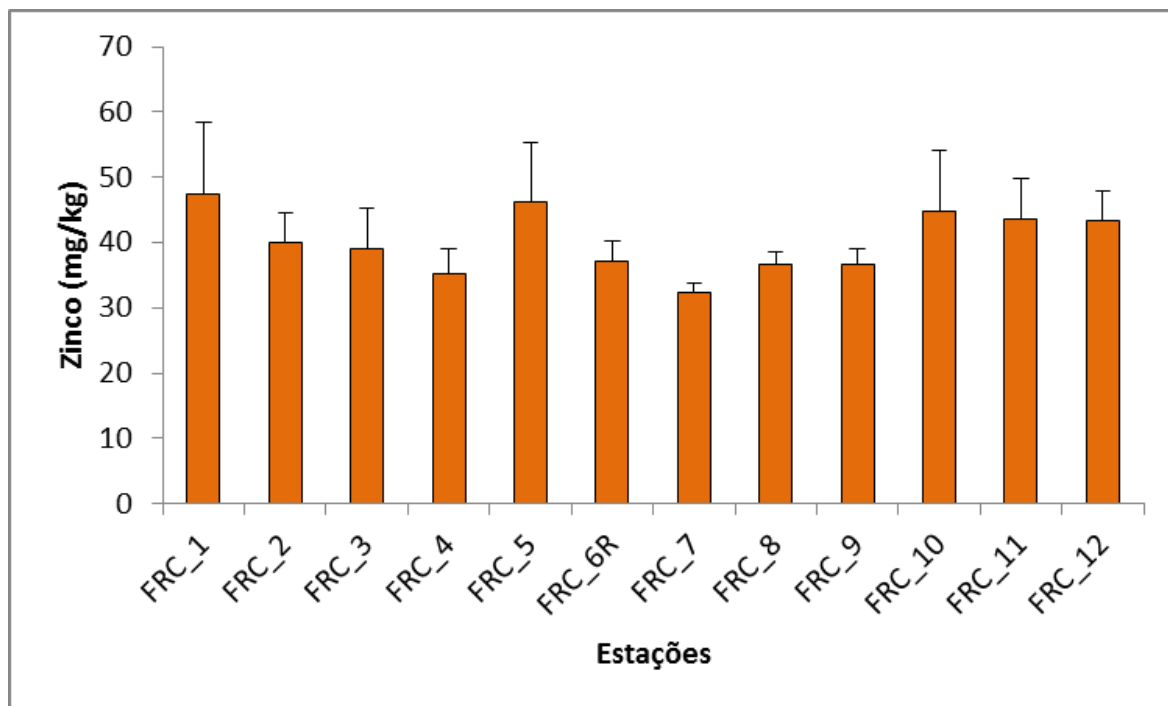


Figura V.1-27 – Concentrações médias (mg/kg) de zinco encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de zinco são maiores do que as concentrações encontradas em estudos anteriores (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015), porém são menores em relação aos dados da região ultraprofunda da Bacia (PETROBRAS/HABTEC, 2003) e semelhantes as concentrações encontradas na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016) (Tabela V.1-8).

As concentrações de vanádio variaram entre $26,53 \pm 16,63$ mg/kg na estação FRC_3, e $41,40 \pm 6,67$ mg/kg na estação FRC_11, sendo que a média das estações foi de $34,63 \pm 5,21$ mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-28). Não foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$).

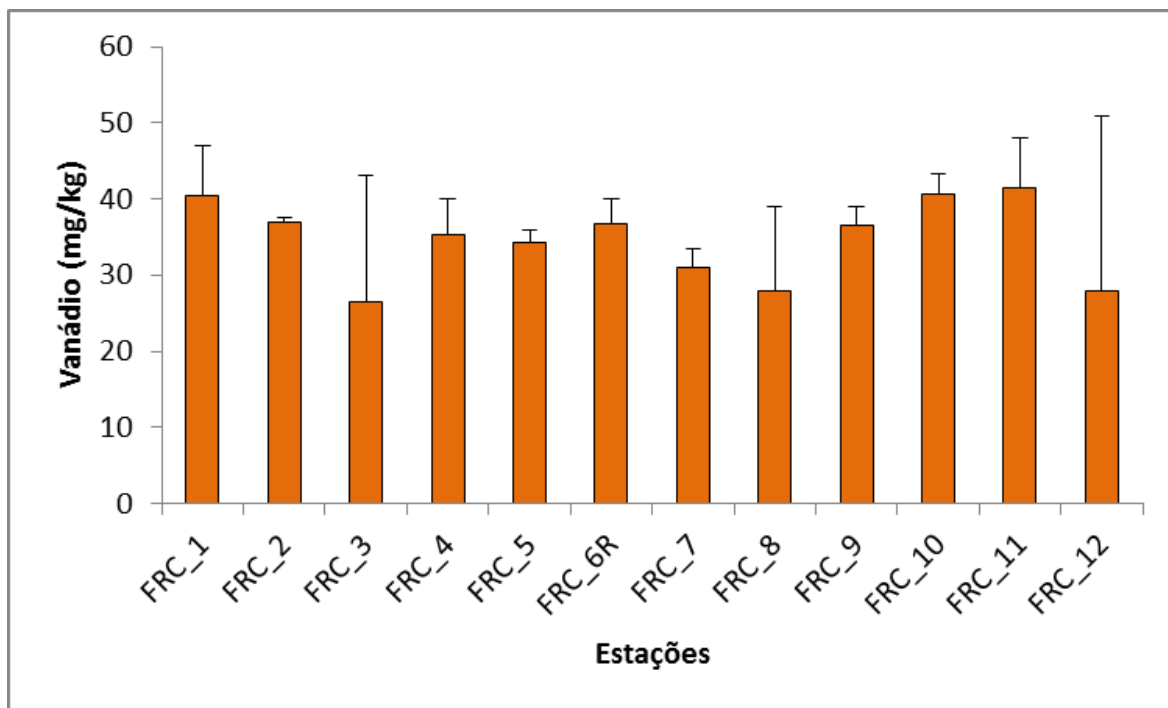


Figura V.1-28 – Concentrações médias (mg/kg) de vanádio encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de vanádio encontradas no atual monitoramento foram superiores em relação às concentrações encontradas nos estudos de monitoramento realizados por Petrobras/Analytical Solutions (2002) e Petrobras/Bourscheid (2014, 2015) e inferiores aos resultados apresentados por Petrobras/Habtec (2003) e Petrobras/Bourscheid (2016), apresentados na Tabela V.1-8.

Não foi verificado um padrão na distribuição espacial destes dois parâmetros, porém, de maneira geral, maiores concentrações de ambos os metais foram observadas no eixo norte sul (Figura V.1-29).

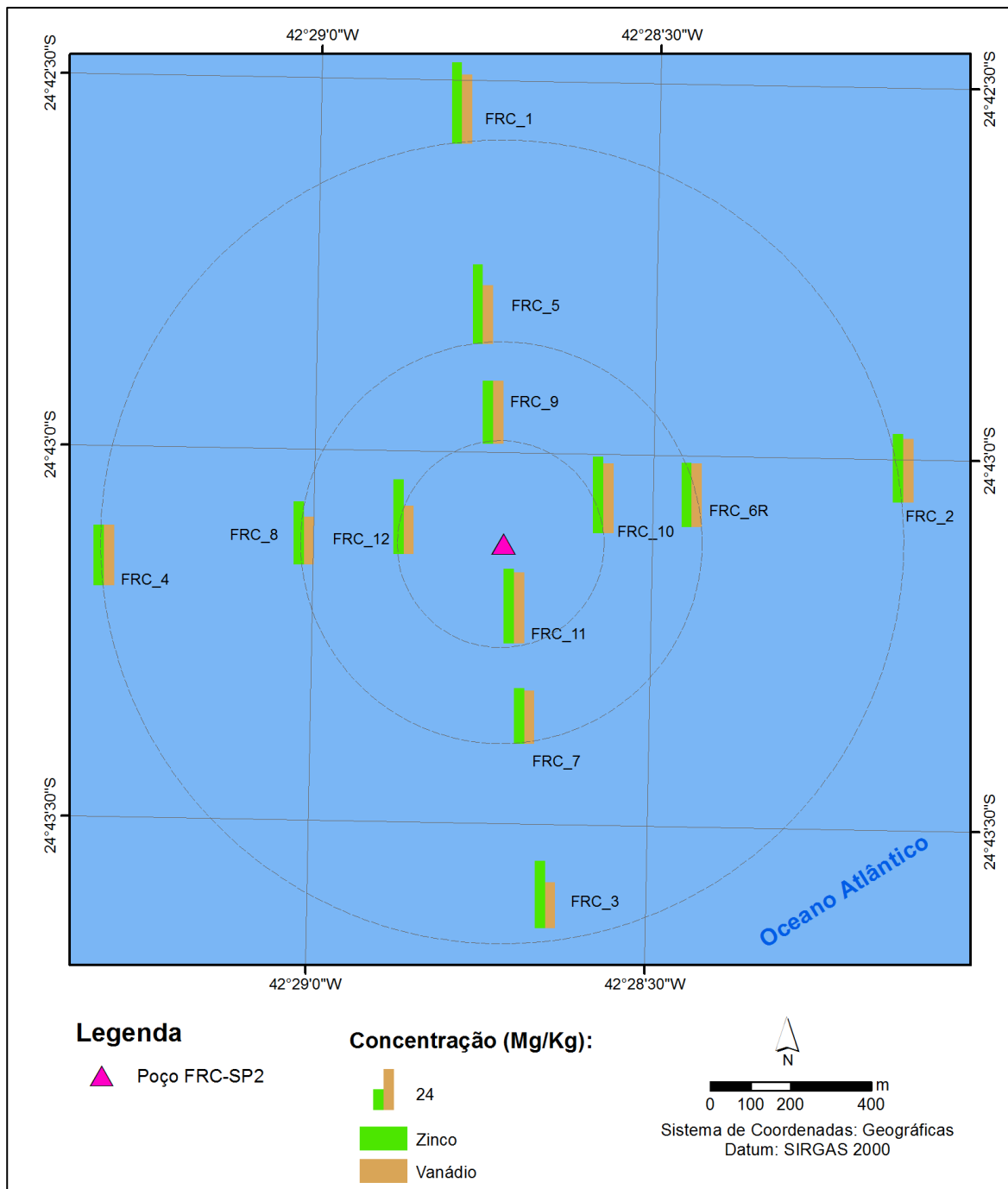


Figura V.1-29 – Distribuição espacial das concentrações de zinco e vanádio (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-30 são apresentadas as faixas de concentração de zinco obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. 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*, $p < 0,05$).

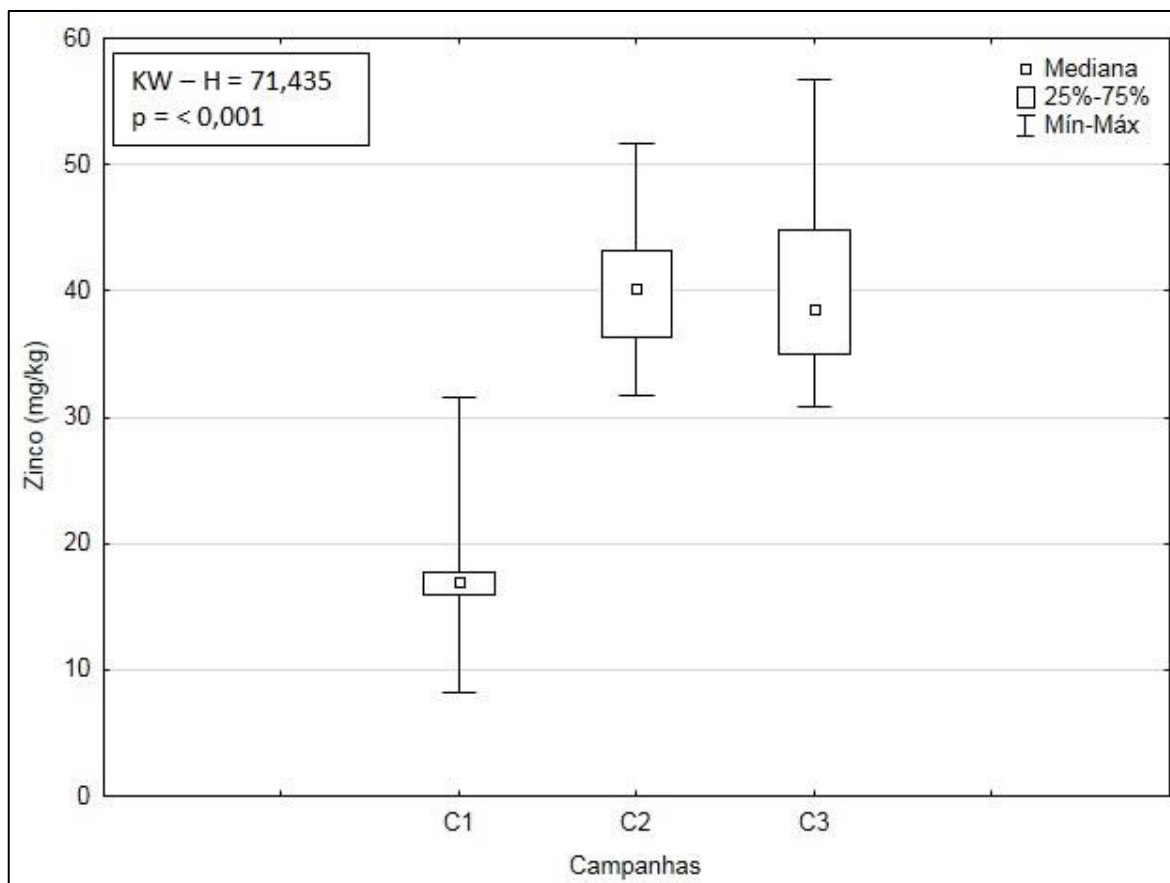


Figura V.1-30 – Concentrações de zinco (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-31 são apresentadas as faixas das concentrações de vanádio obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 3ª campanha apresentou maiores 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*, $p < 0,05$).

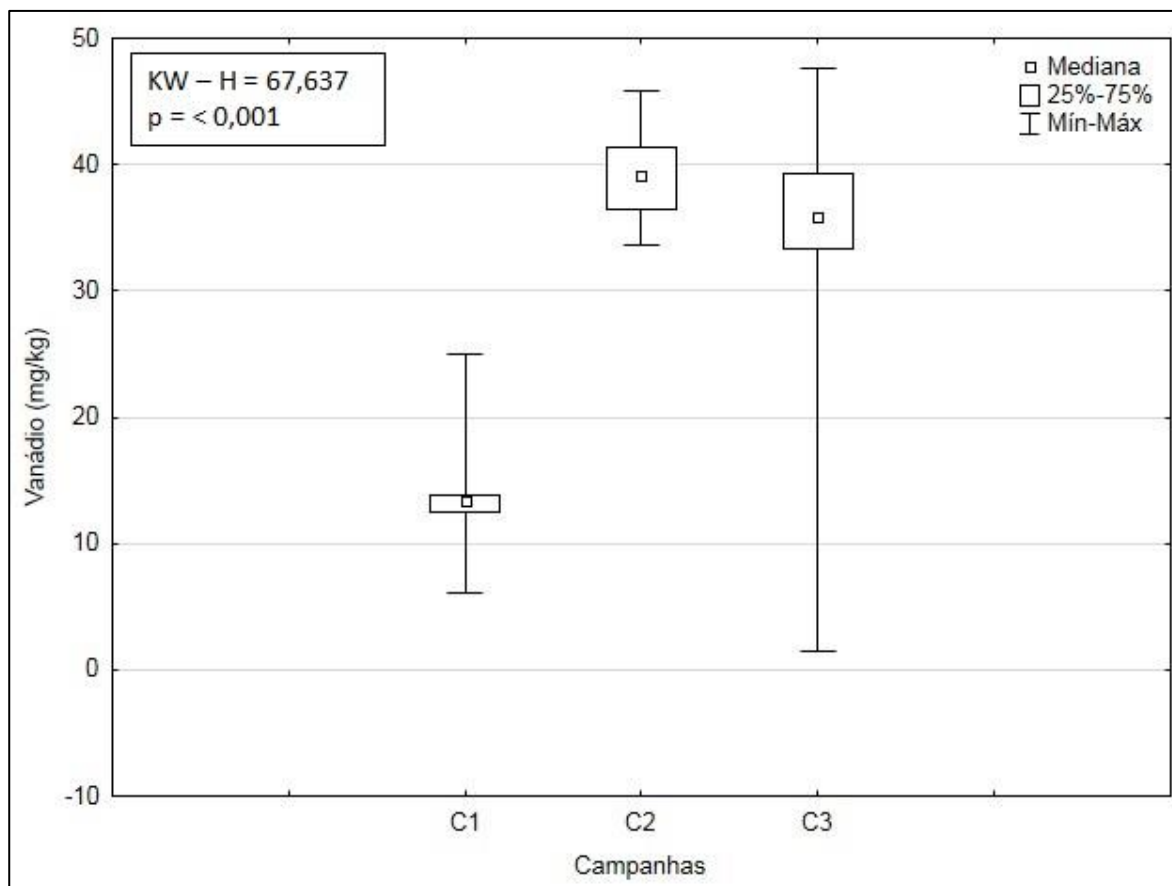


Figura V.1-31 – Concentrações de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

As concentrações de cromo observadas resultaram em uma concentração média de $23,61 \pm 2,20$ mg/kg, com mínimo de $19,67 \pm 1,75$ mg/kg na estação FRC_7 e máximo de $27,17 \pm 4,96$ mg/kg, na estação FRC_11 (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,

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

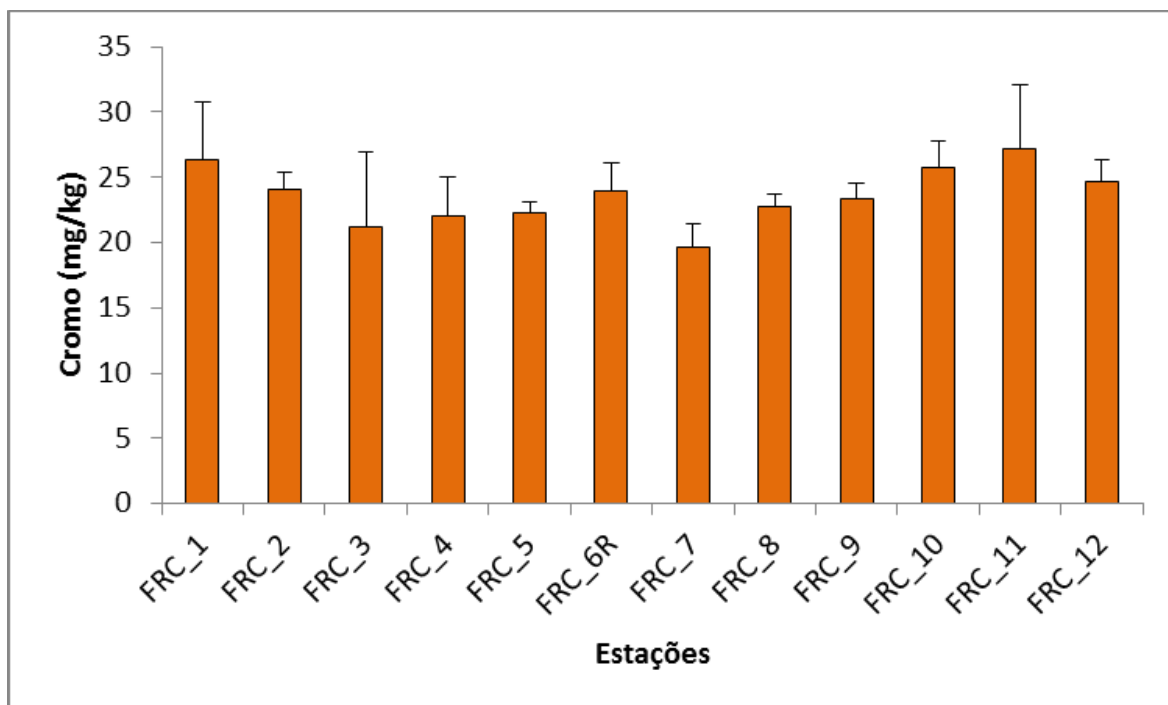


Figura V.1-32 – Concentrações médias (mg/kg) de cromo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de níquel variaram entre $10,47 \pm 0,21$ mg/kg, na estação FRC_7 e $14,03 \pm 1,40$ mg/kg, na estação FRC_12. A média entre as estações foi de $12,24 \pm 1,13$ mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-33). Foram encontradas diferenças significativas entre as estações amostradas (ANOVA, $p < 0,05$). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais estações foi observada tal diferença.

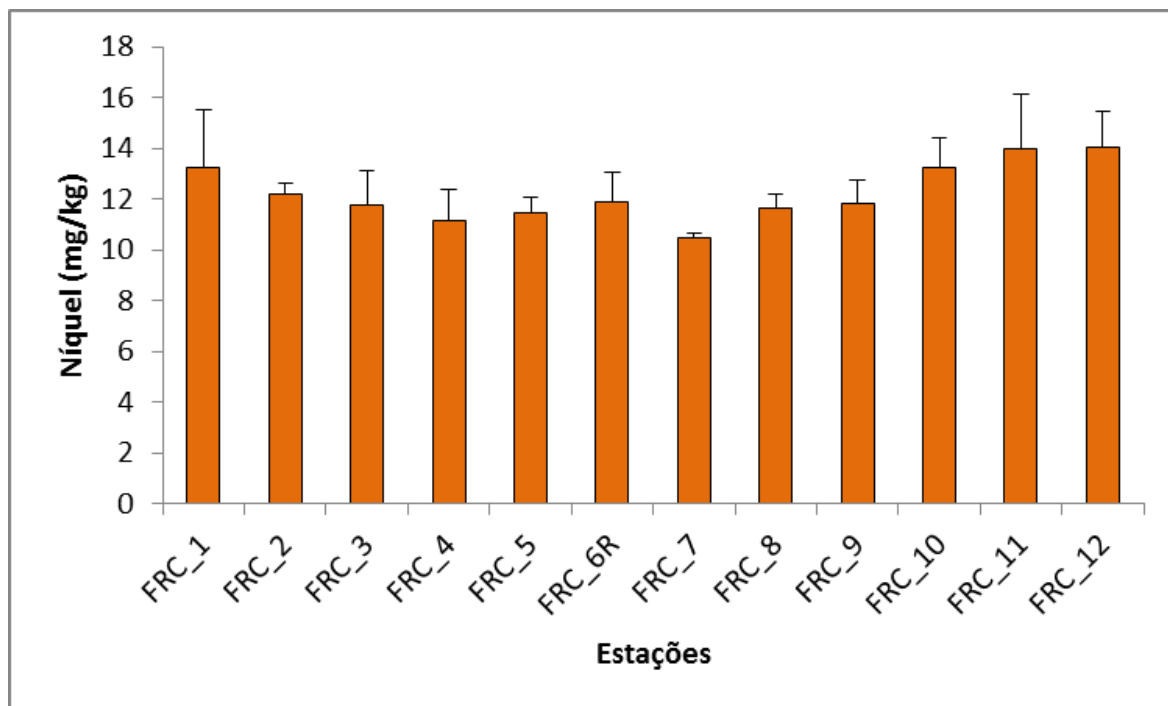


Figura V.1-33 – Concentrações médias (mg/kg) de níquel encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cobre apresentaram mínimo de $13,63 \pm 0,67$ mg/kg na estação FRC_7, e máximo de $17,40 \pm 1,97$ mg/kg, na estação FRC_12, respectivamente, com média de $15,11 \pm 1,26$ mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-34). Foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). A estação FRC_7 diferiu significativamente da estação FRC_12 (Tukey, $p < 0,05$).

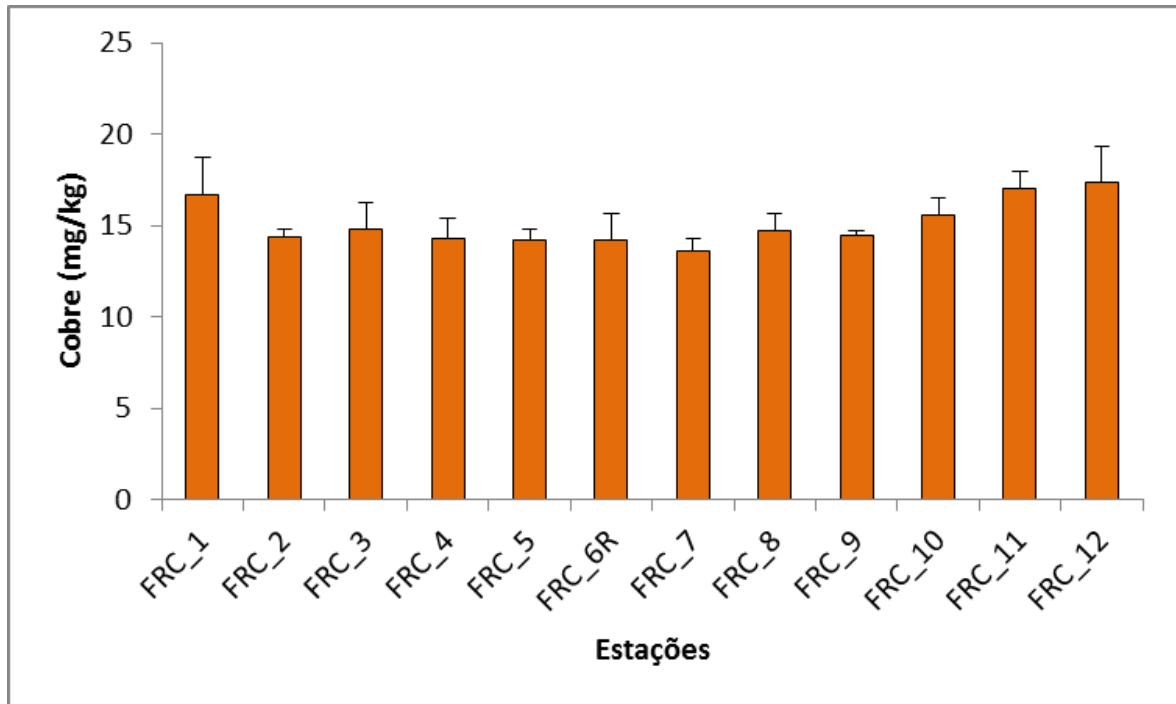


Figura V.1-34 – Concentrações médias (mg/kg) de cobre encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

As concentrações de cromo e cobre encontradas no atual monitoramento foram superiores em relação às concentrações encontradas nos estudos realizados por Petrobras/Analytical Solutions (2002) e Petrobras/Bourscheid (2014, 2015), inferiores em relação às concentrações encontradas por Petrobras/Habtec (2003) e semelhantes as concentrações encontradas por Petrobras/Bourscheid (2016), apresentados na Tabela V.1-8.

Já o níquel apresentou concentrações superiores em relação às concentrações encontradas por Petrobras/Bourscheid (2014, 2015), inferiores em relação às concentrações encontradas por Petrobras/Analytical Solutions (2002) e Petrobras/Habtec (2003) e semelhantes as encontradas por Petrobras/Bourscheid (2016). 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 leve tendência de maiores concentrações dos três metais nas estações mais próximas do poço Franco-SP2.

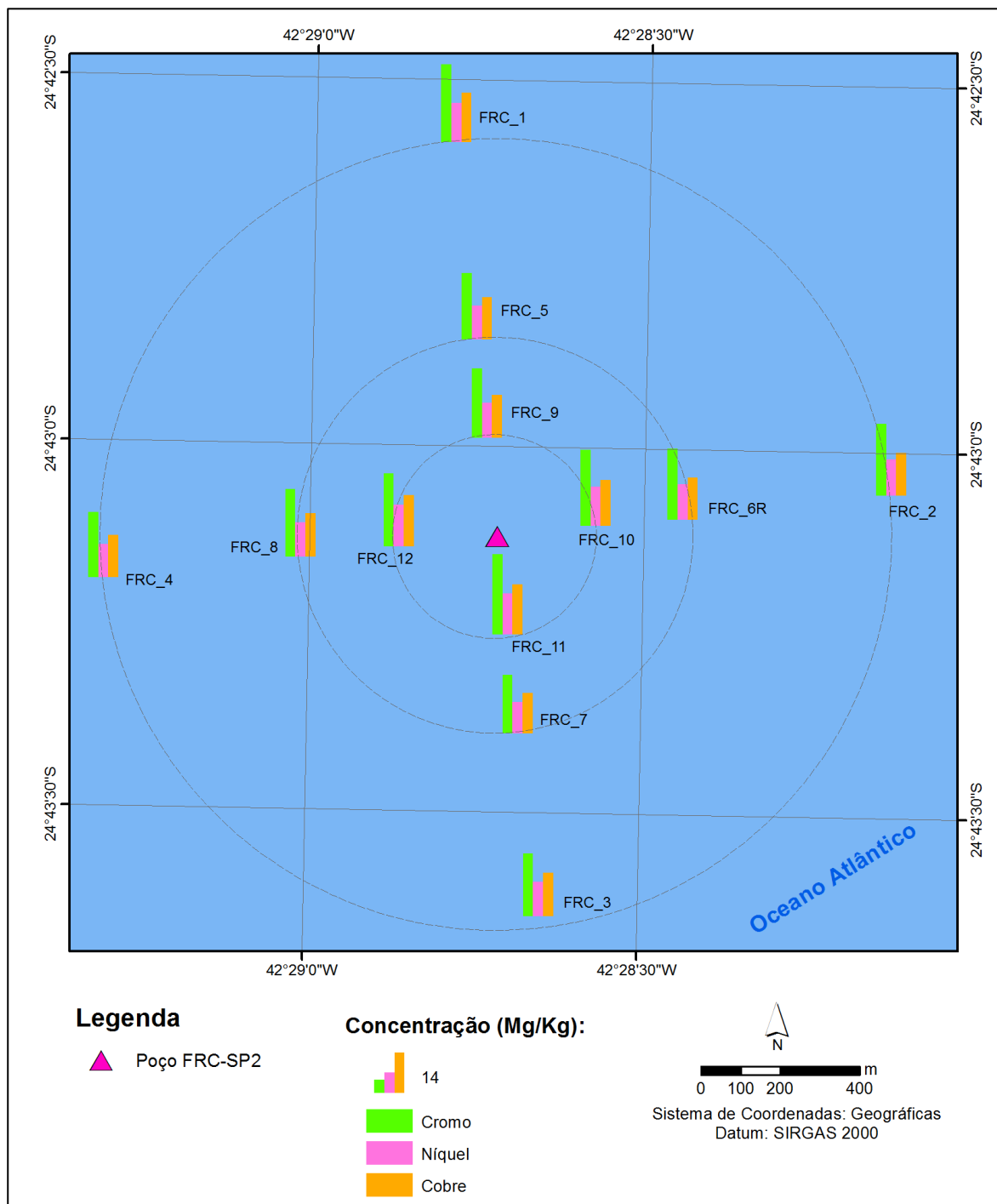


Figura V.1-35 – Distribuição espacial das concentrações de cromo, níquel e cobre (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos

Na Figura V.1-36 são apresentadas as faixas de concentração de cromo obtidas nas campanhas de monitoramento poço Franco-SP2. O maior intervalo de valores foi encontrado na 3ª 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 (*Tukey*, $p < 0,05$).

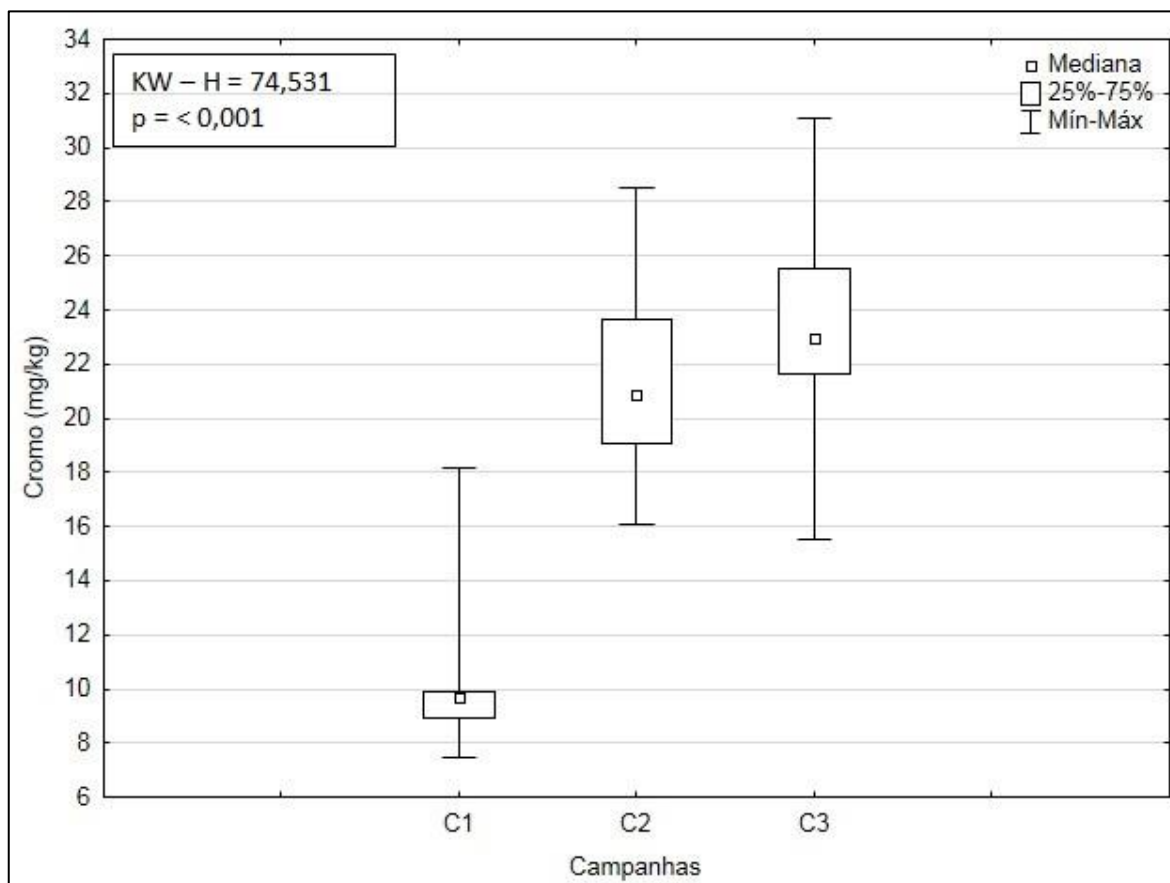


Figura V.1-36 – Concentrações de cromo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-37 são apresentadas as faixas das concentrações de níquel obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a atual campanha apresentou maiores concentrações de níquel. 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*, $p < 0,05$).

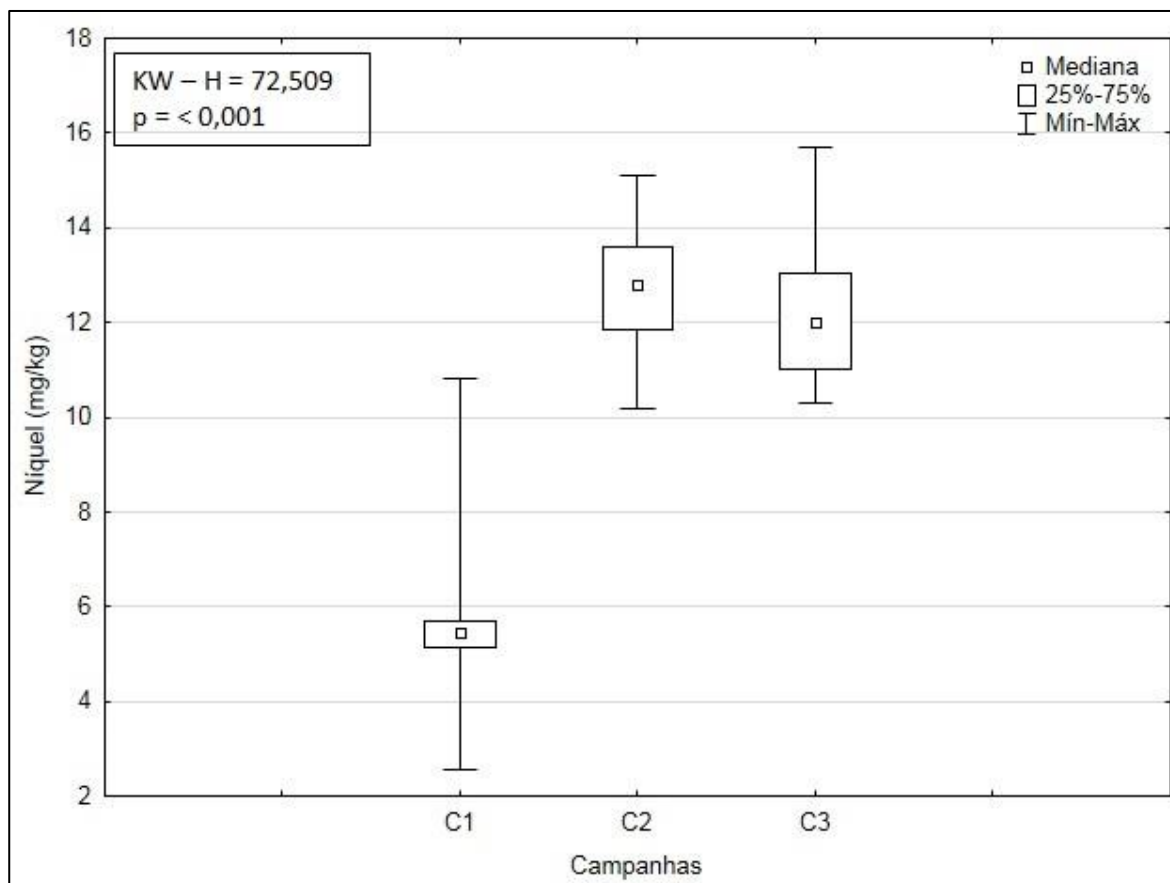


Figura V.1-37 – Concentrações de níquel (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-38 são apresentadas as faixas das concentrações de cobre obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a 2ª campanha apresentou maiores concentrações de cobre. Na comparação dos resultados de concentração de cobre 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*, $p < 0,05$).

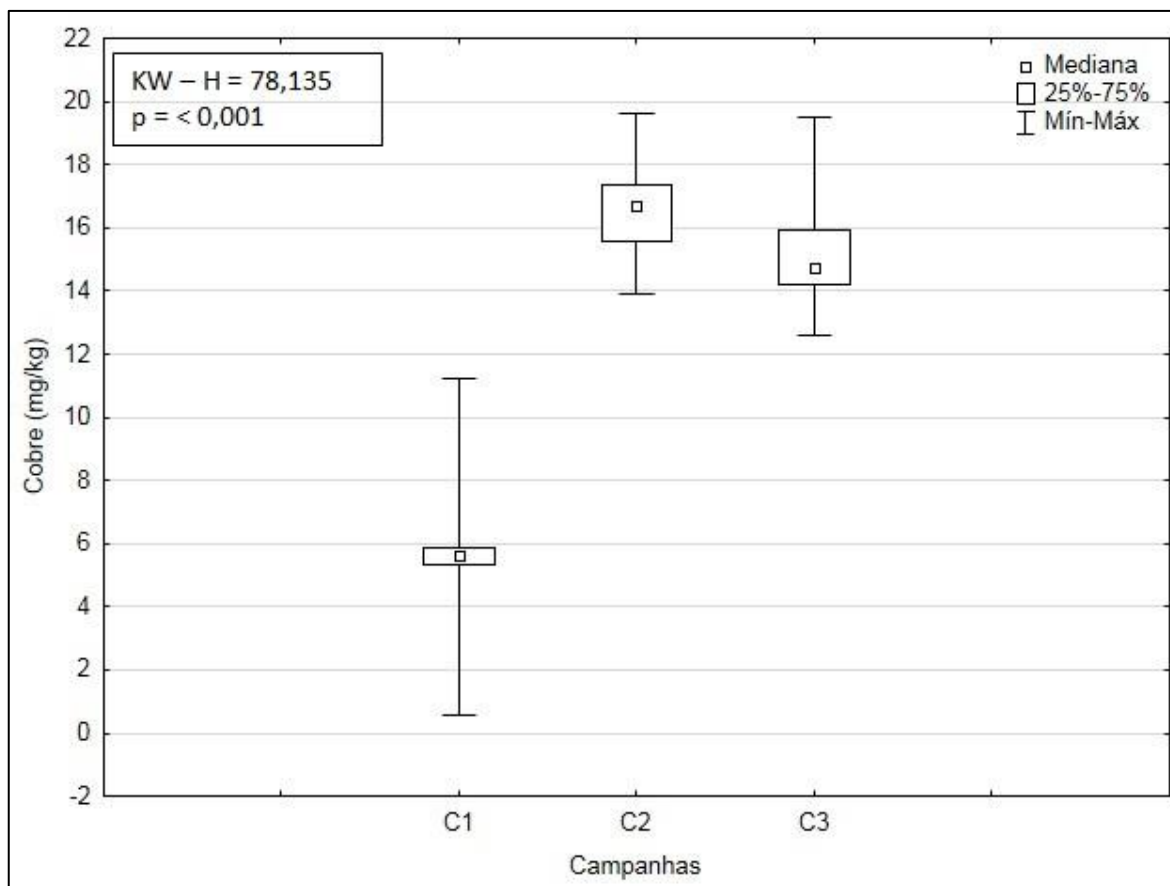


Figura V.1-38 – Concentrações de cobre (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

As concentrações de chumbo apresentaram mínimo de $2,79 \pm 1,34$ mg/kg na estação FRC_3, e máximo de $4,92 \pm 0,26$ mg/kg, na estação FRC_1, com média de $3,90 \pm 0,61$ mg/kg (Tabela V.1-7; Figura V.1-39). Foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). A estação FRC_3 diferiu significativamente da estação FRC_1 e FRC_12 (Tukey, $p < 0,05$).

Conforme apresentado na Tabela V.1-8, concentrações de chumbo registradas para a região de estudo apresentam concentrações médias entre não detectado e 19 ± 6 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016), sendo portanto maiores do que as encontradas na presente campanha, exceto em relação ao monitoramento do gasoduto de Cabiúnas, que não encontrou concentrações detectáveis.

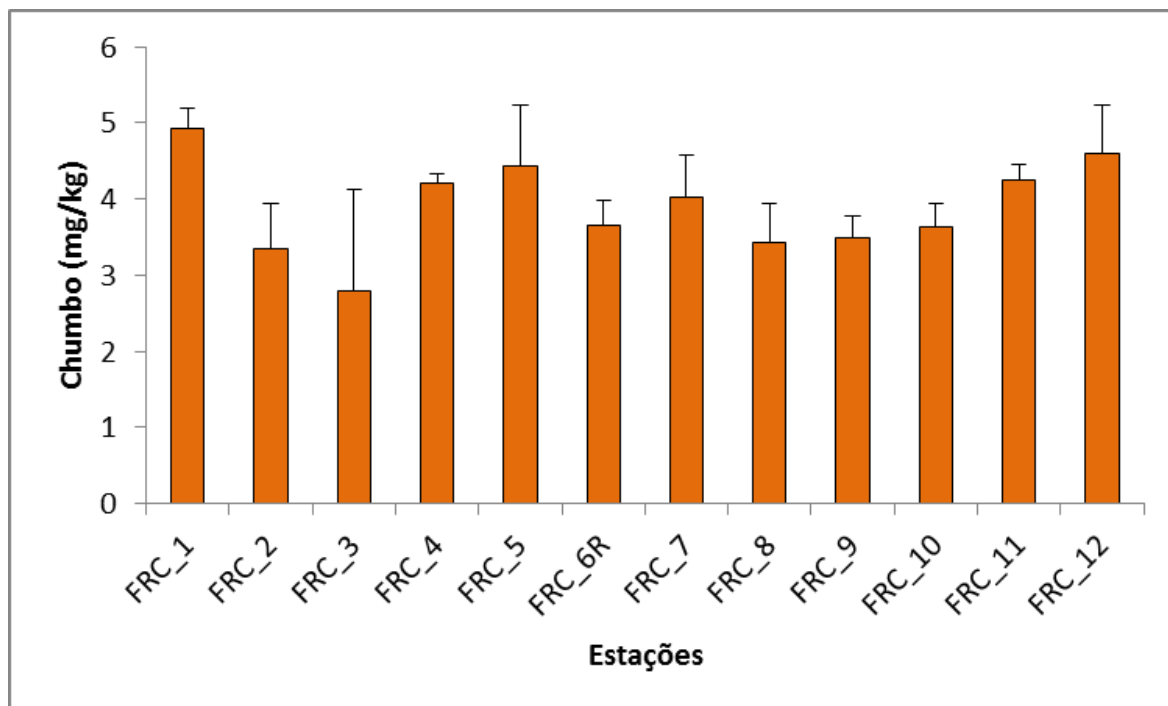


Figura V.1-39 – Concentrações médias (mg/kg) de chumbo encontradas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. As linhas verticais indicam o desvio padrão.

A análise da distribuição espacial das concentrações de chumbo (Figura V.1-40) não permitiu a definição de um padrão de distribuição evidente, mas de maneira geral, maiores concentrações foram observadas a norte do poço Franco-SP2.

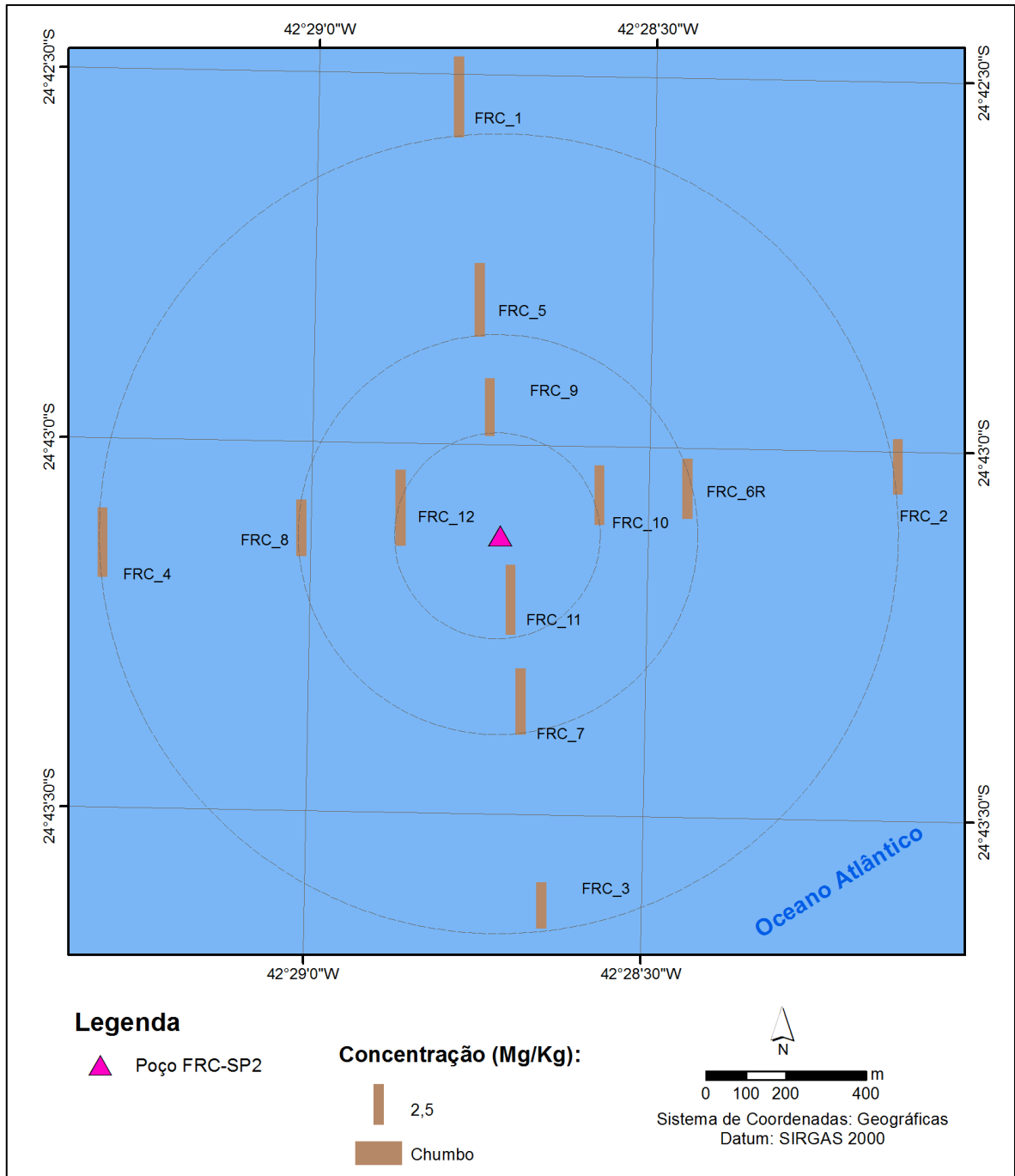


Figura V.1-40 – Distribuição espacial das concentrações de chumbo (mg/kg) nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.1-41 são apresentadas as faixas das concentrações de chumbo obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a primeira 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*, $p < 0,05$).

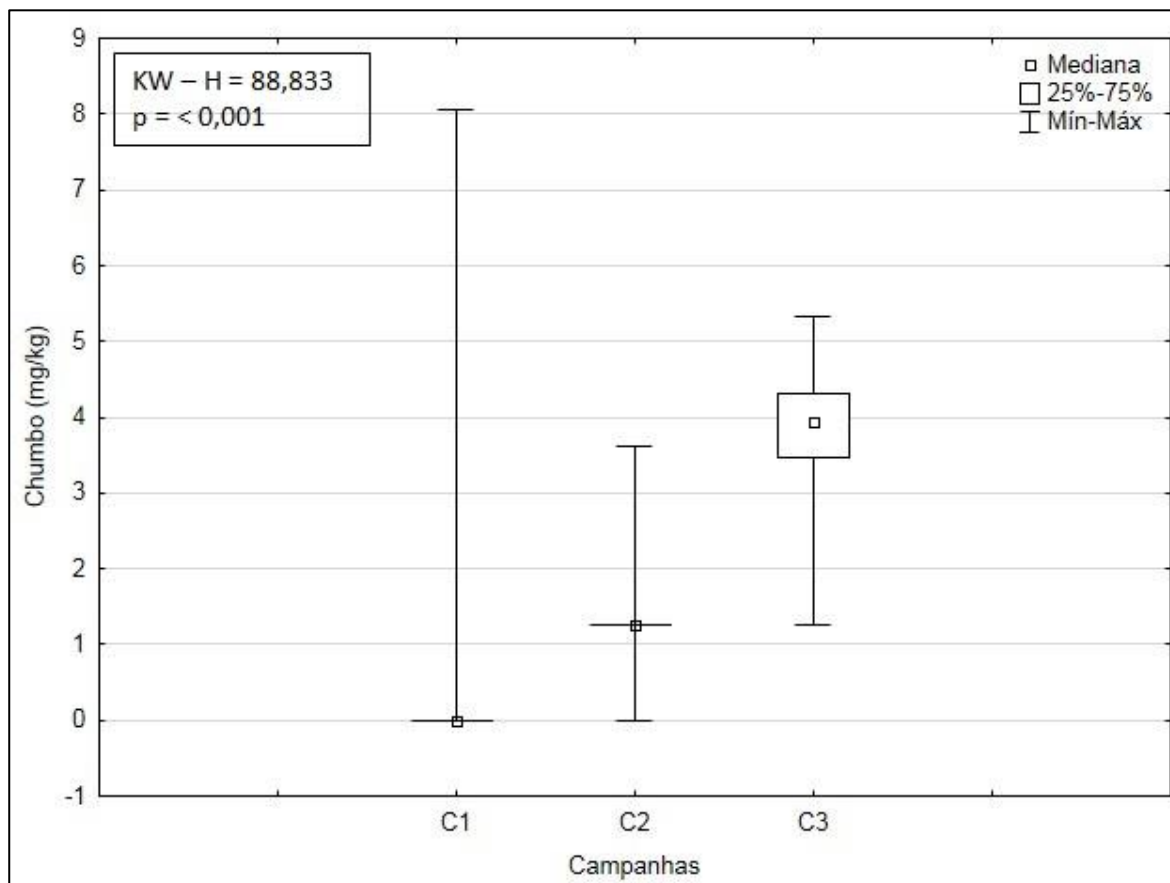


Figura V.1-41 – Concentrações de chumbo (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Não foram detectadas concentrações de cádmio em nenhuma das estações (LD = 0,1 mg/kg). Resultado semelhante foi observado em quase todos os estudos anteriores na região, em que não foram detectadas concentrações (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015), exceto na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, em que foram encontradas concentrações médias de $0,01 \pm 0,04$ mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

Na Figura V.1-42 são apresentadas as faixas das concentrações de cádmio obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. As concentrações foram maiores na segunda campanha e nulas na primeira e na terceira campanha. Na comparação dos resultados de concentração de cádmio nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$).

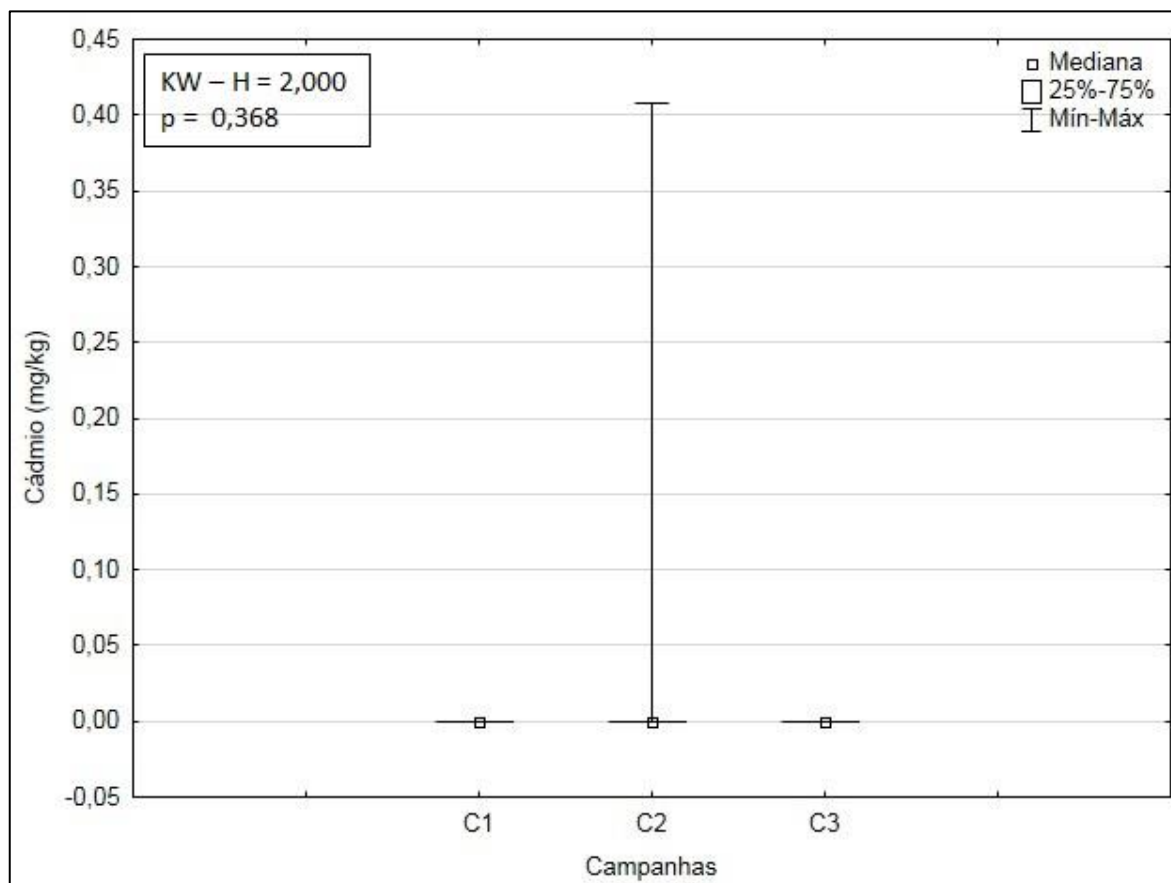


Figura V.1-42 – Concentrações de cádmio (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Enfatiza-se que o metal mercúrio esteve abaixo do limite de detecção em todas as estações. Em estudos anteriores na região também não foram detectadas concentrações desse metal (Tabela V.1-8).

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, de maneira geral, as concentrações médias dos metais no sedimento da área de monitoramento do poço Franco-SP2 são superiores em relação aos valores médios encontrados anteriormente na região, exceto em relação ao estudo na região ultraprofunda da Bacia de Santos, que encontrou valores maiores em relação aos resultados da atual campanha (Tabela V.1-8). Por outro lado, os valores encontrados na atual campanha estão de acordo 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 valor máximo próximo ao limite estabelecido por 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 a maioria dos metais em todas as estações, exceto para o bário e o chumbo. Nas estações FRC_1, FRC_7 e FRC_12 o enriquecimento de bário foi classificado como pequeno, enquanto que na estação FRC_5, o enriquecimento de bário foi classificado como moderado a severo. Para o chumbo, o enriquecimento foi classificado como pequeno na maioria das estações, exceto na estação FRC_6R, em que $FE < 1$ e na estação FRC_7, em que o enriquecimento foi classificado como moderado (Tabela V.1-8).

Ao analisar os resultados acima apresentados, é possível concluir que a concentração dos metais no sedimento na área onde foi perfurado o poço Franco-SP2 não apresenta evidências de contaminação destes parâmetros devido aos baixos valores do fator de enriquecimento, exceto o bário e o chumbo em algumas estações, embora os valores não tenham ultrapassado os valores de referências de TEL e PEL (Tabela V.1-8). Porém, é preciso cautela ao analisar os maiores valores de bário encontrados na atual campanha, que podem estar associados à atividade de perfuração.

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
FRC_1	17.833,33	6.388,53	710,67	696,85	16,70	2,00	26,40	4,36	16.500,00	2.861,82	377,33	18,50	13,23	2,30	4,92	0,26	40,47	6,49	47,50	11,01
FRC_2	20.933,33	763,76	183,33	109,34	14,37	0,42	24,07	1,31	14.066,67	808,29	300,33	23,18	12,20	0,44	3,34	0,60	36,90	0,61	39,90	4,59
FRC_3	20.300,00	2.688,87	230,00	199,20	14,83	1,42	21,20	5,75	12.290,00	3.674,82	315,67	57,01	11,77	1,32	2,79	1,34	26,53	16,63	39,10	6,06
FRC_4	15.466,67	5.635,90	133,00	17,09	14,30	1,11	22,03	2,95	13.366,67	1.457,17	339,67	10,07	11,13	1,27	4,20	0,12	35,33	4,70	35,10	3,97
FRC_5	14.566,67	1.817,51	1.628,67	1.350,77	14,23	0,55	22,30	0,78	13.500,00	346,41	320,00	1,73	11,43	0,67	4,44	0,81	34,20	1,65	46,23	9,18
FRC_6R	20.200,00	1.835,76	193,00	150,70	14,20	1,44	23,97	2,12	14.266,67	1.501,11	309,33	30,86	11,90	1,15	3,65	0,34	36,77	3,36	37,17	3,19
FRC_7	12.063,33	3.513,83	441,17	512,22	13,63	0,67	19,67	1,75	12.200,00	1.014,89	294,00	7,94	10,47	0,21	4,01	0,56	30,97	2,50	32,40	1,35
FRC_8	18.333,33	3.550,12	100,23	6,19	14,70	0,95	22,77	0,99	13.633,33	230,94	316,67	28,73	11,67	0,55	3,43	0,52	27,90	11,09	36,60	2,05
FRC_9	18.833,33	2.300,72	158,67	47,50	14,43	0,32	23,33	1,27	14.433,33	611,01	302,33	13,80	11,80	0,92	3,50	0,28	36,53	2,37	36,57	2,39
FRC_10	23.033,33	1.800,93	145,67	30,62	15,53	0,98	25,80	1,99	15.766,67	1.301,28	314,33	10,60	13,27	1,12	3,64	0,30	40,63	2,67	44,67	9,56
FRC_11	19.063,33	8.678,88	186,33	22,50	17,03	0,95	27,17	4,96	17.033,33	2.948,45	371,67	5,51	13,97	2,19	4,25	0,20	41,40	6,67	43,67	6,04
FRC_12	19.700,00	5.793,96	444,33	121,92	17,40	1,97	24,67	1,64	13.506,67	5.880,83	395,33	70,47	14,03	1,40	4,61	0,63	27,98	22,90	43,33	4,61
Máximo	23.033,33		1.628,67		17,40		27,17		17.033,33		395,33		14,03		4,92		41,40		47,50	
Mínimo	12.063,33		100,23		13,63		19,67		12.200,00		294,00		10,47		2,79		26,53		32,40	
Média	18.360,56		379,59		15,11		23,61		14.213,61		329,72		12,24		3,90		34,63		40,19	
Desvio																				
Padrão	3.027,34		432,04		1,26		2,20		1.521,99		33,62		1,13		0,61		5,21		4,81	
TEL	-		-		18,70		52,30		-		-		-		30,20		-		124,00	
PEL	-		-		108,00		160,00		-		-		-		112,00		-		271,00	

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

Estações	Bário	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
FRC_1	2,59	0,55	0,52	0,57	0,37	0,45	2,26	0,58	0,53
FRC_2	0,67	0,41	0,41	0,42	0,26	0,36	1,77	0,46	0,39
FRC_3	0,90	0,60	0,37	0,45	0,37	0,40	1,08	0,38	0,44
FRC_4	0,49	0,52	0,47	0,51	0,34	0,42	2,14	0,54	0,43
FRC_5	5,87	0,60	0,54	0,56	0,40	0,49	2,69	0,60	0,65
FRC_6R	0,27	0,42	0,41	0,42	0,27	0,36	0,22	0,46	0,36
FRC_7	2,25	0,60	0,55	0,60	0,38	0,49	3,17	0,61	0,48
FRC_8	0,35	0,50	0,45	0,47	0,31	0,42	1,72	0,39	0,42
FRC_9	0,49	0,46	0,43	0,46	0,28	0,39	1,49	0,48	0,39
FRC_10	0,48	0,42	0,42	0,44	0,28	0,37	1,40	0,48	0,42
FRC_11	0,60	0,51	0,49	0,54	0,31	0,44	1,82	0,53	0,43
FRC_12	1,19	0,52	0,42	0,41	0,34	0,42	1,77	0,34	0,39

Tabela V.1-9 - Concentrações 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 ¹	Média	-	88,87	n.d.	15,41	5,70	16427,02	n.d.	540,75	13,30	14,26	26,00	19,13
	Desvio	-	59,11	n.d.	6,84	6,90	25902,77	n.d.	-	8,32	21,90	-	-
Região ultraprofunda ²	Média	-	124,00	n.d.	28,00	21,00	-	n.d.	602,00	19,00	19,00	38,00	59,00
	Desvio	-	18,00	n.d.	3,00	1,00	-	n.d.	30,00	2,00	6,0	4,00	4,00
CAB C1 ³	Média	9487,78	105,32	n.d.	16,53	11,59	13111,11	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
Franco-SP2 C1 ⁴	Média	3451,11	59,92	n.d.	9,88	5,71	5577,50	n.d.	195,58	5,61	0,22	13,62	17,41
	Desvio	394,85	19,33	n.d.	1,03	0,92	727,91	n.d.	31,02	0,73	0,78	1,66	2,16
Franco-SP2 C2 ⁵	Média	19.669,44	127,15	0,01	21,51	16,58	16.055,56	n.d.	402,03	12,81	1,34	39,08	40,21
	Desvio	1.571,94	65,59	0,04	2,36	1,17	1.149,38	n.d.	28,01	0,71	0,19	2,28	3,15

Fonte: 1. Petrobras/Analytical Solutions, 2002/ 2. Petrobras/Habtec, 2003 / 3. Petrobras/Bourscheid, 2014 / 4. Petrobras/Bourscheid, 2015. / 5. Petrobras/Bourscheid (2016).

V.1.4 - Hidrocarbonetos

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

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

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

Não foram verificadas concentrações detectáveis de HPA's em nenhuma das estações deste monitoramento. As concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA's) observadas na caracterização da Bacia de Santos apresentaram valores entre 0,0002 e 0,13 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Já nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas e na segunda campanha de monitoramento do poço Francos-SP2 não foram

detectadas concentrações de HPA's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2016). Na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram detectadas concentrações de HPA's em apenas uma estação, com valor de $0,05 \pm 0,08$ mg/kg. As razões calculadas para esses compostos indicaram origem petrogênica, sendo que a principal fonte para o ambiente é a combustão de petróleo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015).

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 não foram detectadas concentrações de HTP's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram detectadas concentrações variando de não detectado a $11,18 \pm 19,37$ mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Já na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, as concentrações de HTP variaram entre não detectado e 5,30 mg/kg (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos não apresentaram concentrações detectáveis de MCNR (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015), exceto em uma réplica da estação FRC_6, em que foram encontradas concentrações de $8,11 \pm 14,05$ mg/kg, durante a primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, e na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, em que foram encontradas concentrações de MCNR variando entre não detectado e 5,06 mg/kg e os resultados da razão MCNR/HRP indicaram resíduos relacionados ao petróleo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). 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 Figura V.1-43 são apresentadas as faixas das concentrações de HTP's obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a primeira campanha apresentou maior intervalo de valores e maiores valores. Porém, na comparação dos resultados de concentração de HTP's nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$).

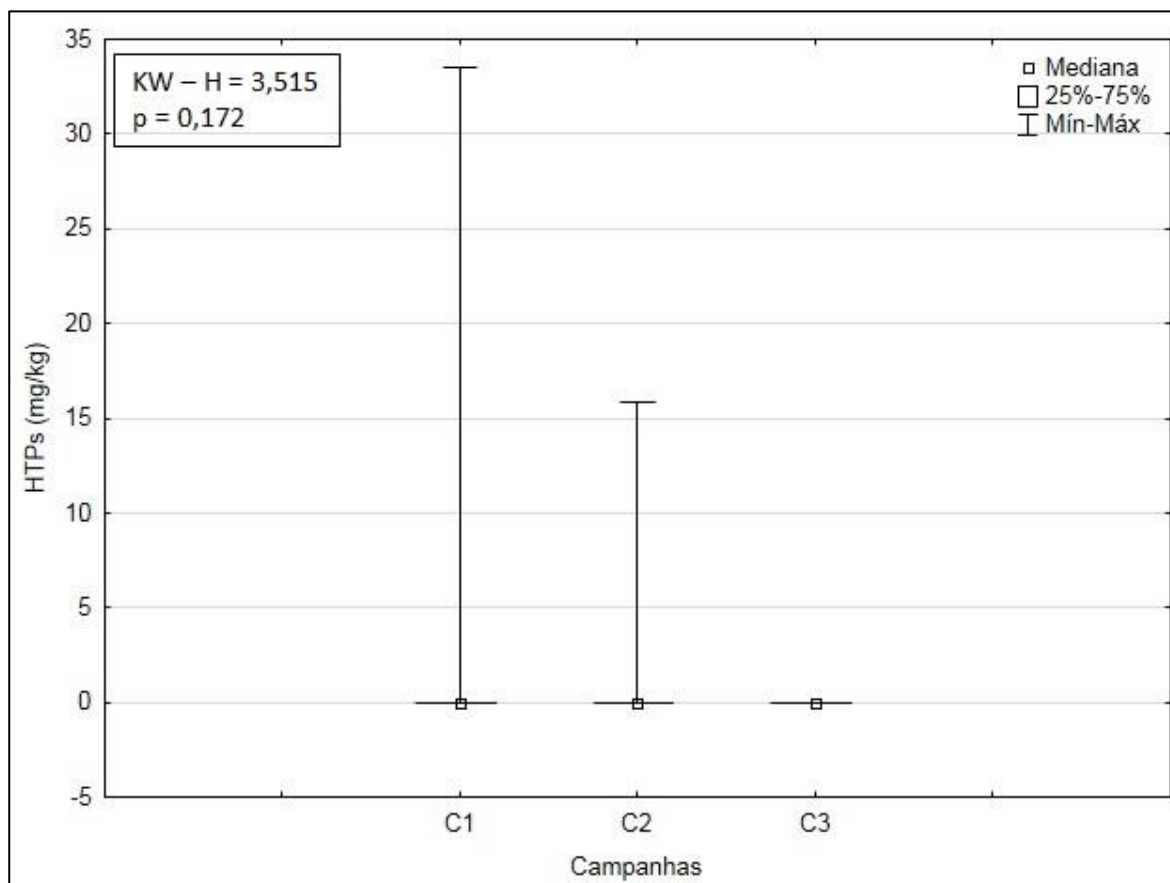


Figura V.1-43 – Concentrações de HTP's (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Na Figura V.1-44 são apresentadas as faixas das concentrações de MCNR obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a primeira campanha apresentou maior intervalo de valores e maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de MCNR nas

campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (Kruskal-Wallis, $p > 0,05$).

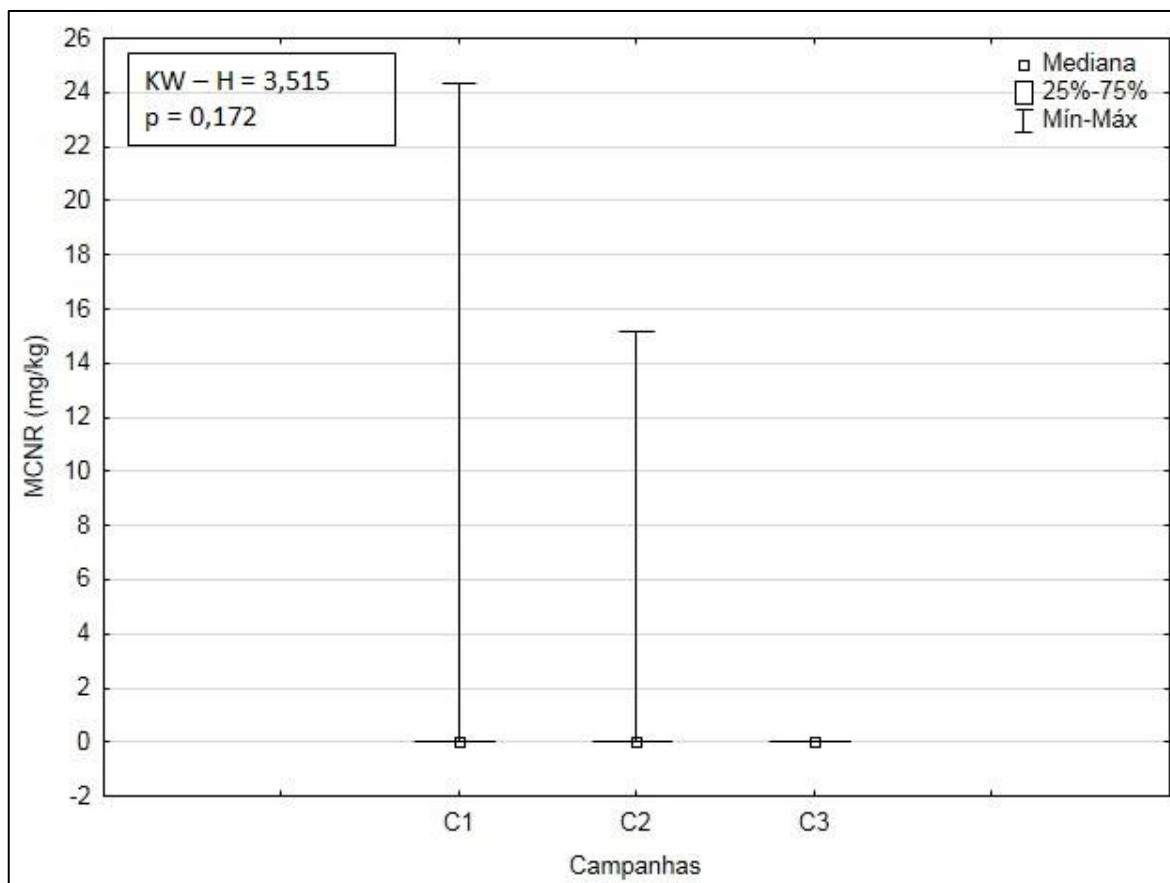


Figura V.1-44 – Concentrações de MCNR (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

Os n-alcenos estiveram abaixo do limite de detecção do método nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014) e foram detectados somente em uma réplica da estação FRC_6, com concentrações de $3,07 \pm 5,32$ mg/kg, na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram encontradas concentrações de n-alcenos variando entre não detectado e 1,15 mg/kg, sendo que o Índice Preferencial de Carbono indicou resíduos relacionados ao petróleo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016).

Na Figura V.1-45 são apresentadas as faixas das concentrações de n-alcenos obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. É possível verificar que a primeira campanha apresentou maior intervalo de valores e maiores valores. Na comparação dos resultados de concentração de n-alcenos nas campanhas não foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$).

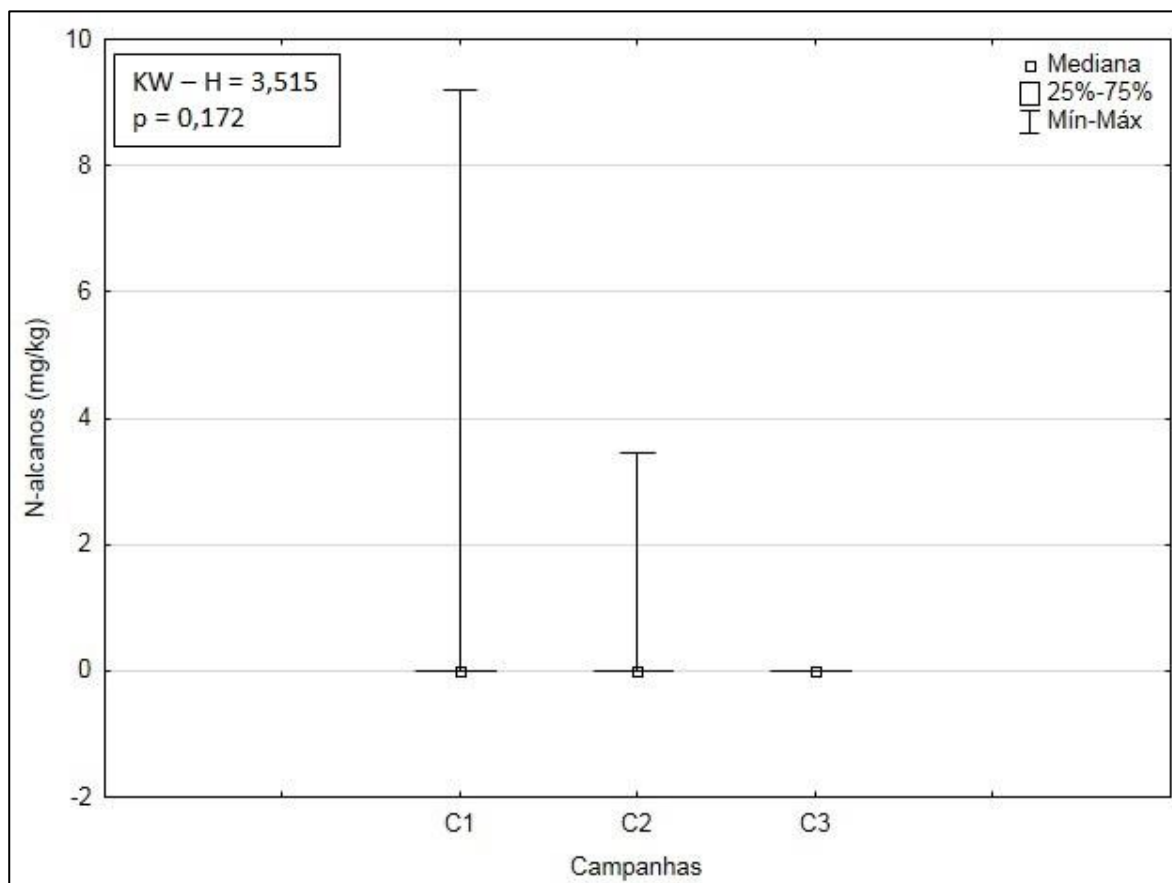


Figura V.1-45 – Concentrações de n-alcenos (mg/kg) observadas ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2.

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 cm² (30 x 30 cm) cada, o que equivale a um total de 9,72 m² amostrados.

A curva formada pelo número cumulativo de táxons coletados evidencia um incremento maior de taxa entre a 1^a e 24^a réplica (26 taxa), ou seja, mais da metade dos táxons foi coletado nas primeiras réplicas da campanha (Figura V.2-1). Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de táxons esperado, a distribuição real esteve bem acima da distribuição esperada nas réplicas das duas primeiras campanhas, e esteve bem próxima da curva de Jackknife 1 nas réplicas da terceira campanha, pois todos os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva. Esse resultado evidencia a importância do esforço amostral realizado no poço Franco-SP2, pois a distribuição real dos dados se aproxima muito da distribuição esperada para a área, principalmente durante a última campanha.

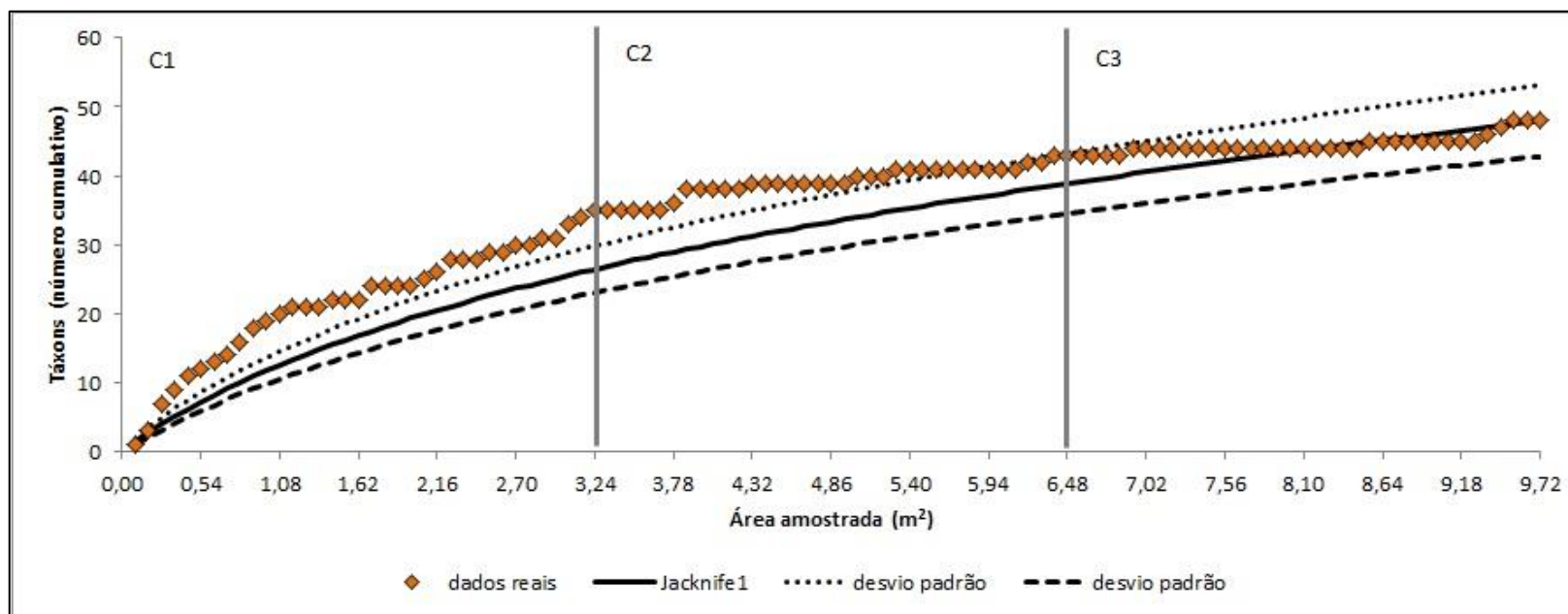


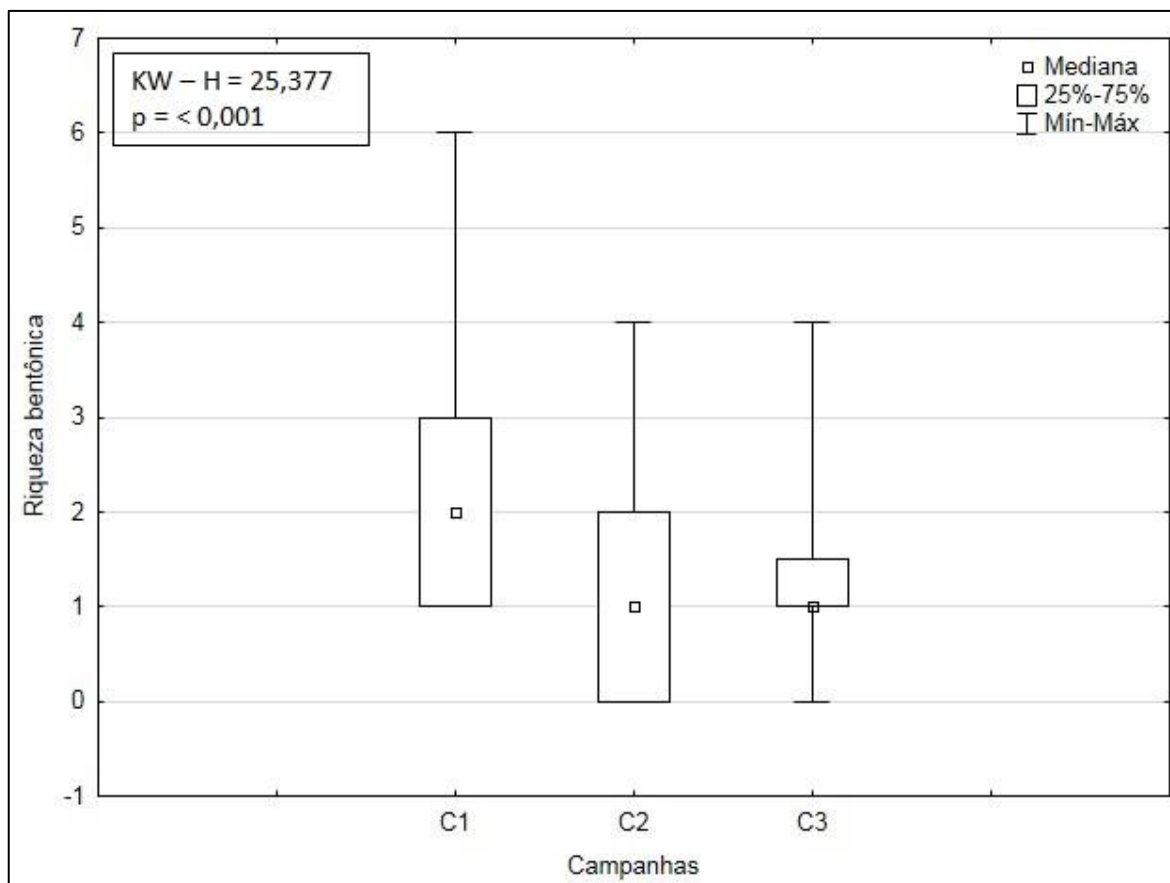
Figura V.2-1 – Número cumulativo de táxons por área amostrada encontrado ao longo das campanhas (C1 = campanha de pré-perfuração e C2 e C3 = campanhas de pós-perfuração) do Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de táxons esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.2.2 - Análise Qualitativa

A amostragem da comunidade bentônica nas doze estações de coleta registrou um total de 19 taxa, dentre os quais, 1 foi identificado a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 1 a nível de classe, 1 a nível de ordem, 12 a nível de família, 3 a nível de gênero e nenhum foi identificado em nível de espécie. À vista disso, as comunidades foram descritas qualitativamente pelo número de taxa e não pelo número de espécies. A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo IX-3.

No inventário realizado pelo Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), a comunidade foi composta por 1.035 taxa. Já na caracterização da Bacia de Santos, a comunidade foi composta por 259 taxa (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002). Esses valores de riqueza foram superiores aos encontrados na atual campanha, mas é importante ressaltar que os estudos anteriores contemplam áreas mais abrangentes e com um intervalo grande de profundidade. Na região ultraprofunda da Bacia de Santos foram registradas 22 espécies e na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram encontrados 35 taxa, valores superiores aos encontrados na atual campanha (PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015). Na segunda campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 foram encontrados 19 taxa, mesmo número encontrado na atual campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016). Já no monitoramento das estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas foram encontradas 8 taxa, valor inferior ao encontrado na atual campanha (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014).

Na Figura V.2-2 são apresentadas as riquezas de taxa obtidas nas campanhas de monitoramento do poço Franco-SP2. Os maiores valores e a maior amplitude de valores foram encontrados na primeira campanha. Foram observadas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as três campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*, $p < 0,05$).



* 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° 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 Franco-SP2.

A atual campanha encontrou organismos pertencentes a quatro filos bentônicos (Mollusca, Arthropoda, Nemertea e Annelida). A maioria dos filos (Mollusca, Annelida e Arthropoda) foram registrados nos estudos de monitoramento citados anteriormente. De maneira geral, o filo com maior número de taxa foi Annelida, com riqueza total de 14 taxa (Figura V.2-3). Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram riqueza máxima de 2 taxa (Arthropoda e Mollusca) e 1 táxon (Nemertea).

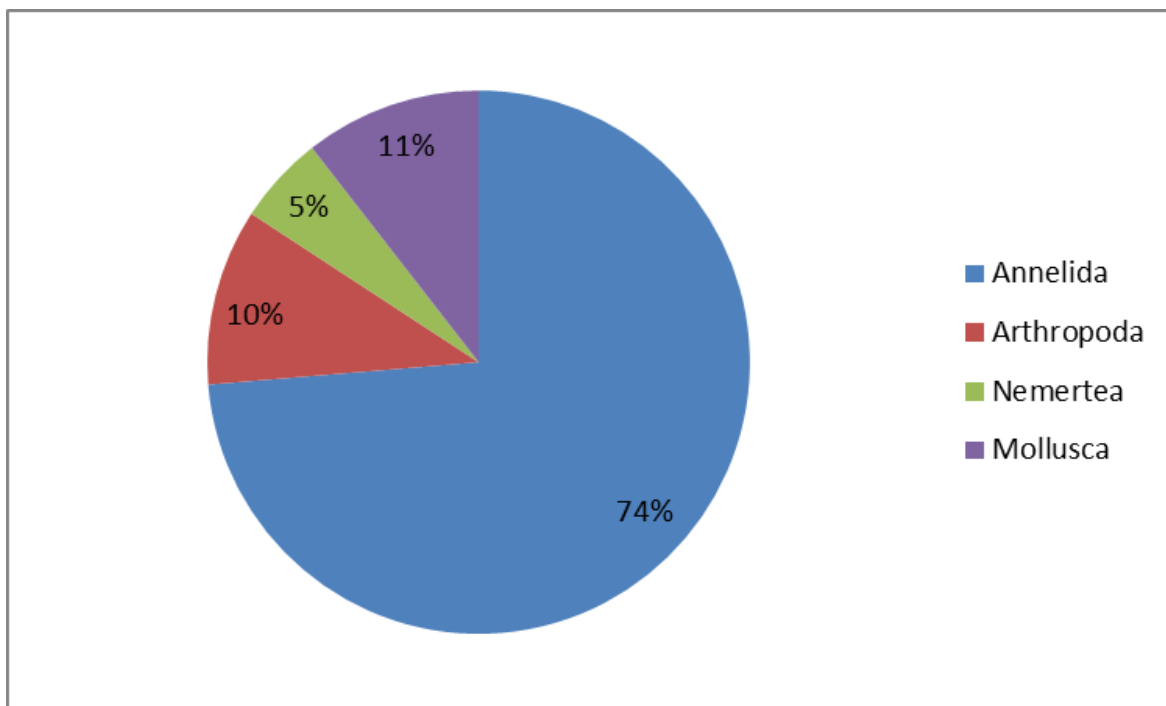


Figura V.2-3 – Porcentagem de riqueza de taxa dos filos bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

A dominância de anelídeos na comunidade bentônica de substrato inconsolidado corrobora os dados da literatura. Em campanha de monitoramento realizada nas proximidades, esses organismos, com destaque para os poliquetas, foram descritos como o grupo dominante nessas comunidades (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014).

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).

No presente estudo, os moluscos encontrados pertenciam à classe Bivalvia. Mollusca é um dos maiores filos de invertebrados em número de espécies (DIAZ; PUYANA, 1994; RUPPERT *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2007). Na Bacia de Santos, os gastrópodes e bivalves são grupos muito representativos nas comunidades bentônicas.

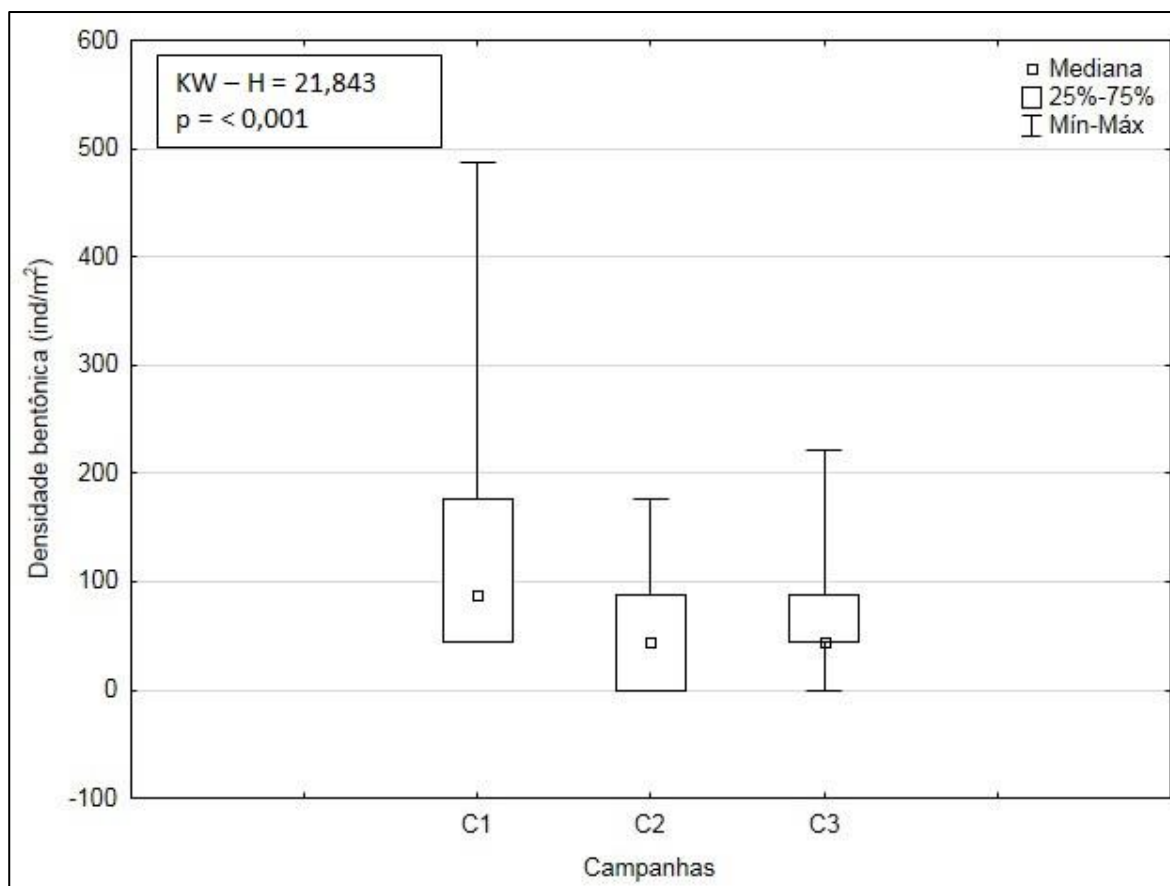
A macrofauna de substratos inconsolidados da plataforma brasileira é composta majoritariamente pelos filos Mollusca, Annelida (poliquetas) e Arthropoda (crustáceos) (BRASIL *et al.*, 2007; LANA *et al.*, 1996; SOARES-GOMES *et al.*, 2009), conforme observado nos dados da atual campanha. Os estudos realizados no local (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002; PETROBRAS/HABTEC, 2003; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016) também encontraram dominância de anelídeos e moluscos.

V.2.3 - Análise Quantitativa

A densidade média de organismos bentônicos obtida na presente campanha foi de $161,67 \pm 68,88$ ind/m², variando de 44 ind/m² em FRC_10 até 309 ind/m² na estação FRC_5 (Figura V.2-8). A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo IX-3.

O estudo em regiões ultraprofundas da Bacia de Santos encontrou densidades variando entre 1 a 4 indivíduos por 0,08m², com média de 18,8 ind/m² (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Já o monitoramento das estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas encontrou densidades variando entre 44 e 176,5 ind/m² (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). A primeira campanha de monitoramento do poço FRC-PS2 encontrou densidades variando entre 73,33 e 236 ind/m², enquanto que a segunda encontrou densidades variando entre 0 e 103 ind/m² (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016). Todas as campanhas encontraram densidades menores do que as encontradas na presente campanha.

Na Figura V.2-4 é apresentada a densidade de macrofauna obtida nas três campanhas do poço Franco-SP2. A segunda campanha apresentou os menores valores de densidade. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*, $p < 0,05$).



* 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^2) 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 Franco-SP2.

Além de apresentar maior número de taxa (ver Figura V.2-3), o filo dos anelídeos também apresentou a maior densidade de organismos nas comunidades bentônicas do local, registrando média de $143,33 \pm 70,91 \text{ ind}/\text{m}^2$. Os outros grupos tiveram valores muito inferiores, dos quais foram encontrados valores 20 vezes menores ou inferiores. Mollusca e Arthropoda foram o segundo

grupo com maior densidade ($7,33 \pm 25,40$ ind/m² e $7,33 \pm 17,13$ ind/m², respectivamente), seguido por Nemertea ($3,67 \pm 12,70$ ind/m²) (Figura V.2-5).

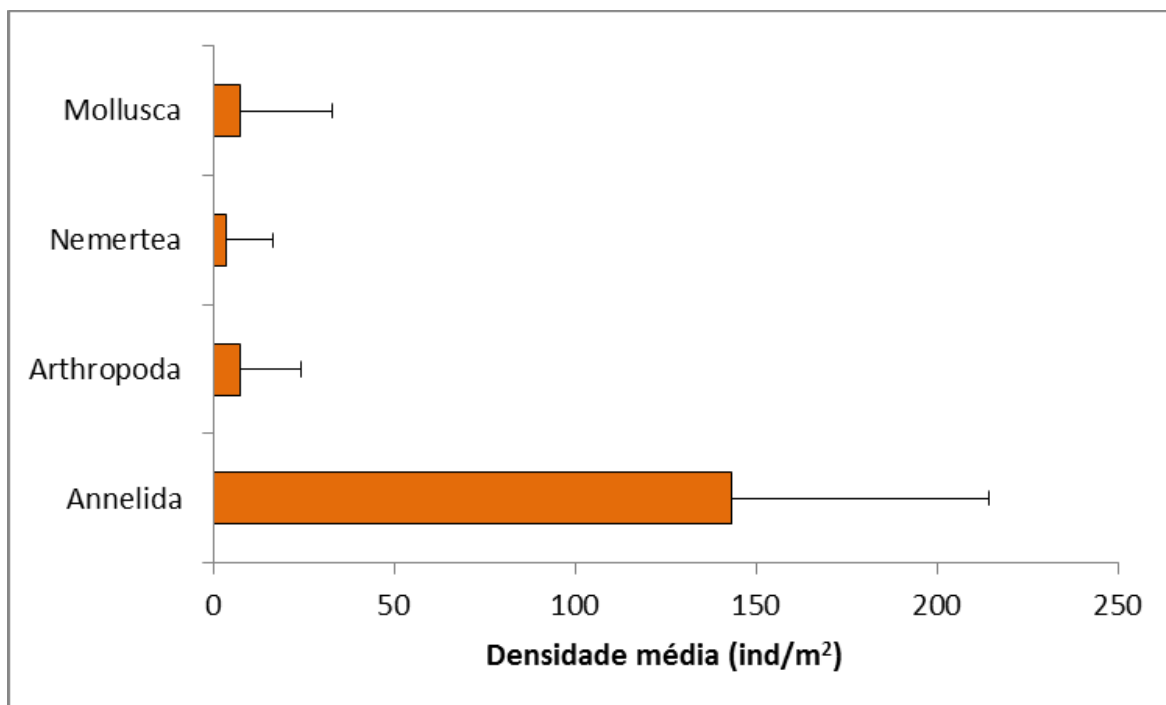


Figura V.2-5 – Densidade média de organismos (ind/m²) dos filos bentônicos na atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. A barra representa a média das 12 estações \pm desvio-padrão.

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 1 (FRC_10) a 6 taxa (FRC_5). A riqueza

média das estações foi de $2,92 \pm 1,38$ 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 distinta entre as estações. Os anelídeos foram o grupo dominante e ocorreram em todas as estações. O filo Arthropoda ocorreu somente nas estações FRC_1 e FRC_7, enquanto que o filo Mollusca ocorreu na estação FRC_11. O filo Nemertea ocorreu apenas na estação FRC_2 (Figura V.2-6).

A grande ocorrência de espécies e indivíduos de Polychaeta (Annelida) é uma característica encontrada em algumas áreas da região Sudeste-Sul da plataforma brasileira (AMARAL; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 2004), sendo característica do local de estudo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016).

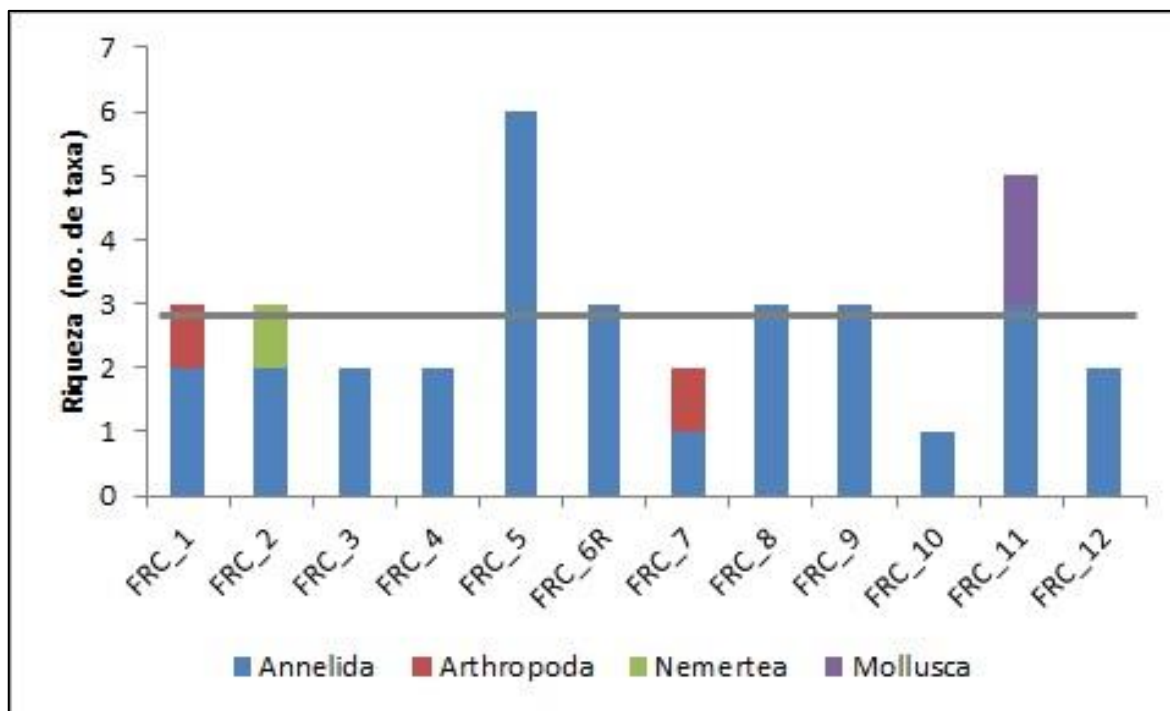


Figura V.2-6 – Número de taxa dos filos bentônicos nas doze estações da terceira campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase de pós-perfuração). A linha cinza representa a média das estações.

Foi observado um padrão claro de distribuição espacial da riqueza no entorno do poço Franco-SP2, com maiores valores de riqueza no eixo norte sul do poço (Figura V.2-7).

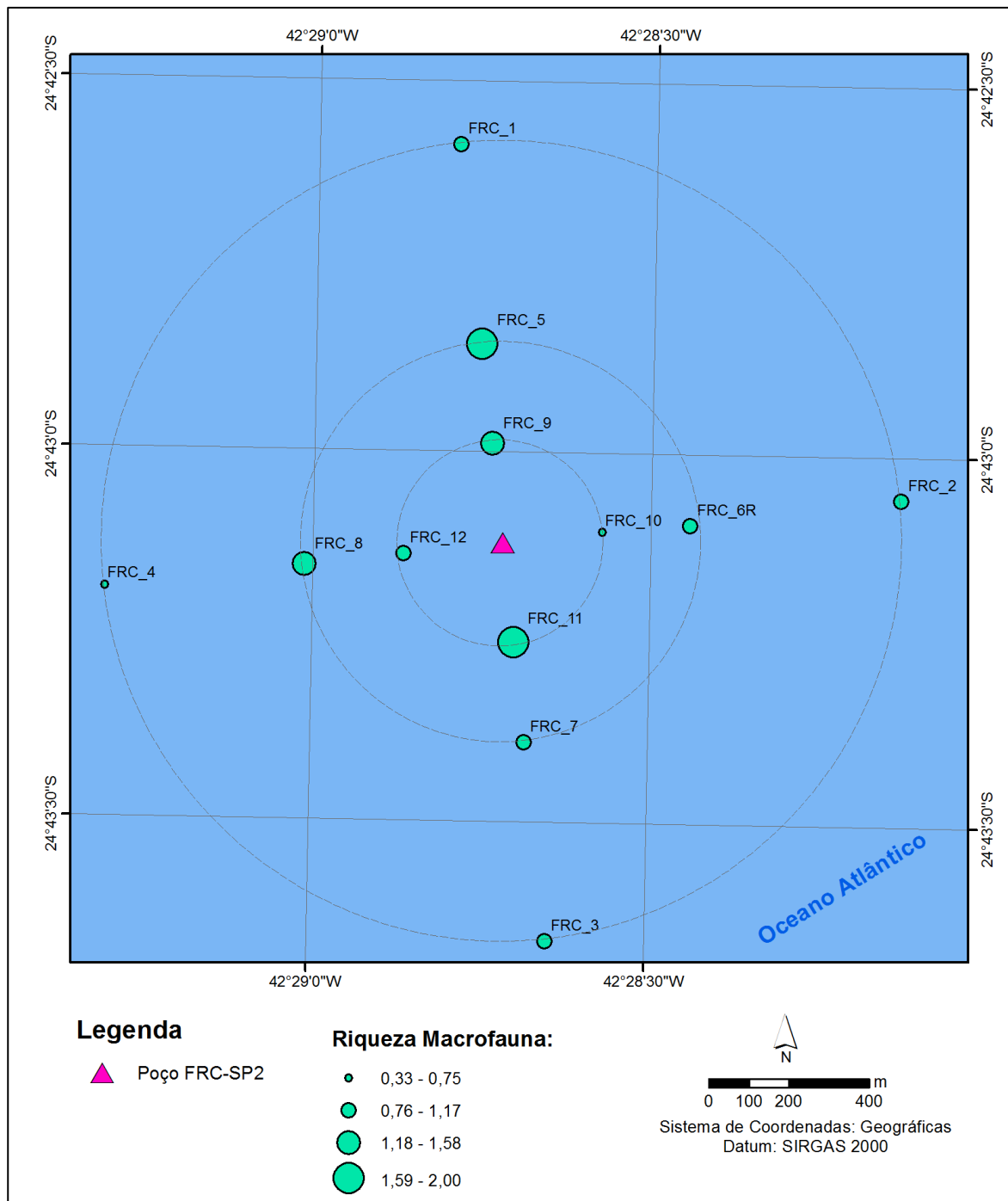


Figura V.2-7 – Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na terceira campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase de pós-perfuração).

Comparando a densidade total das estações de coleta foi possível observar pequena dispersão dos dados em torno da média ($161,67 \pm 68,88 \text{ ind/m}^2$), resultado que pode ser confirmado visualmente no gráfico. Esse resultado sugere

certa similaridade entre as estações de coleta do monitoramento (Figura V.2-8), e é comprovado pela análise estatística, pois 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. 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).

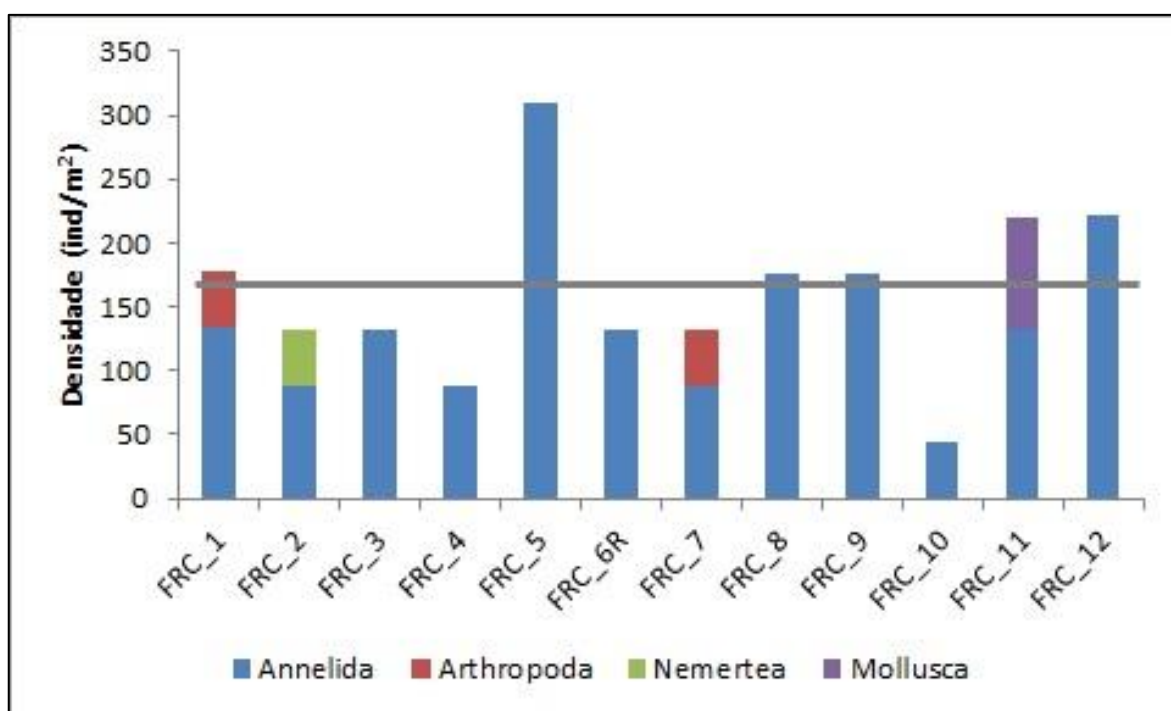


Figura V.2-8 – Densidade total de organismos (ind/m^2) dos filos bentônicos nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. A linha cinza representa a média das estações.

Não foi observado um padrão de distribuição espacial para a densidade da macrofauna, mas de maneira geral, maiores densidades foram encontradas no eixo norte sul do poço (Figura V.2-9).

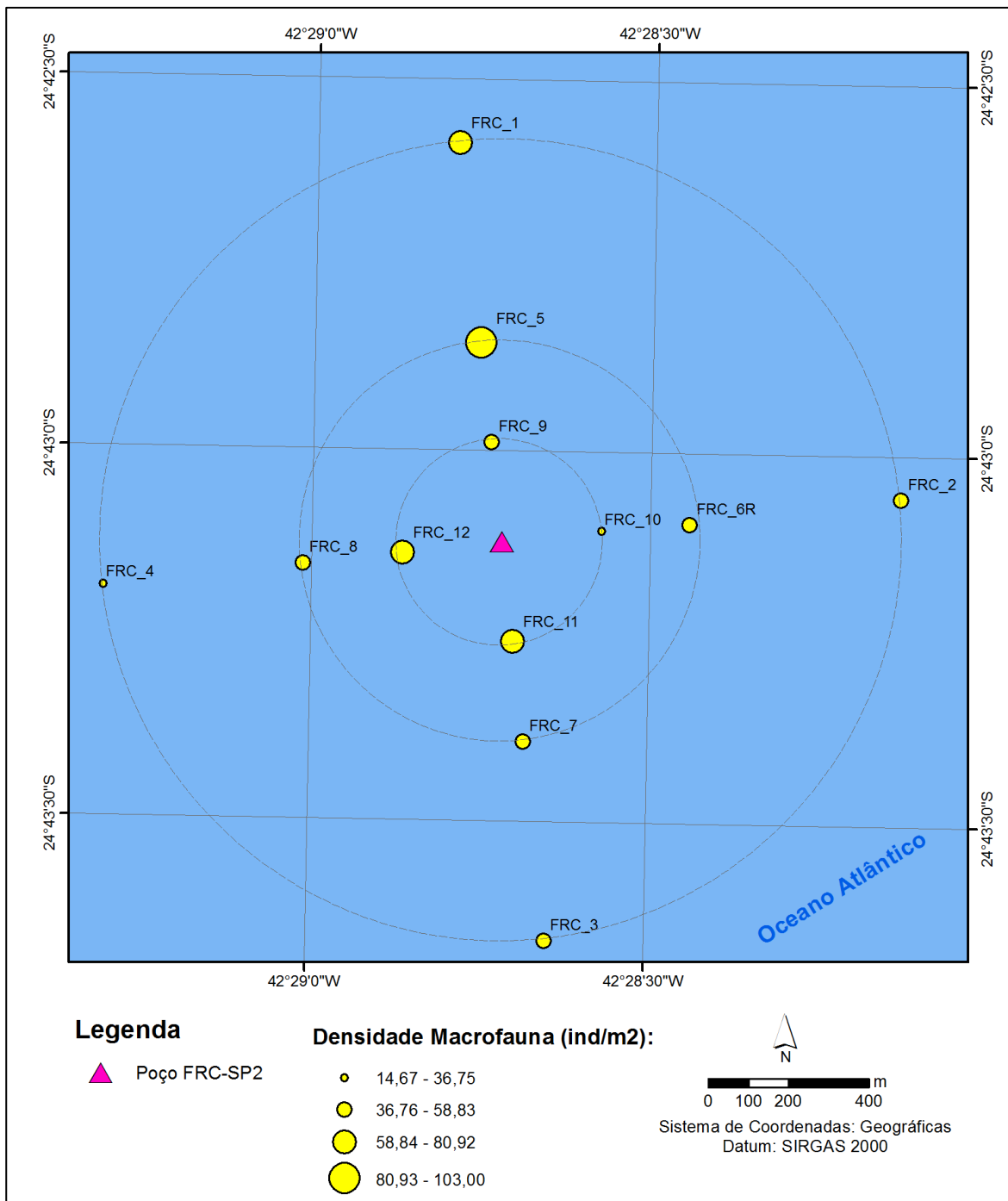


Figura V.2-9 – Distribuição espacial da densidade total (ind/m²) da macrofauna bentônica na atual campanha de monitoramento ambiental específico da atividade de perfuração na área geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2 (fase de pós-perfuração).

O índice de Shannon (H'), o qual mensura a diversidade de espécies, teve valor médio de $0,20 \pm 0,17$ nas estações de coleta. As estações de coleta não foram similares para este parâmetro, com certa variação em torno da média. 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 FRC_2, FRC_3, FRC_10 e FRC_12, foi igual a zero e o máximo foi de 0,46, na estação FRC_11. Esse resultado está diretamente relacionado com o fato de essas estações terem sido aquelas 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).

As comunidades bentônicas nas diferentes estações amostrais registraram uma equitabilidade média de $0,25 \pm 0,21$. Bem como os valores da diversidade, os valores de equitabilidade também não foram similares entre as 12 estações de coleta do monitoramento. 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 FRC_2, FRC_3, FRC_10 e FRC_12 registaram o menor valor (0) e a estação FRC_11, o maior (0,67) (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 equitativa entre as abundâncias das espécies dessa comunidade na maioria das estações.

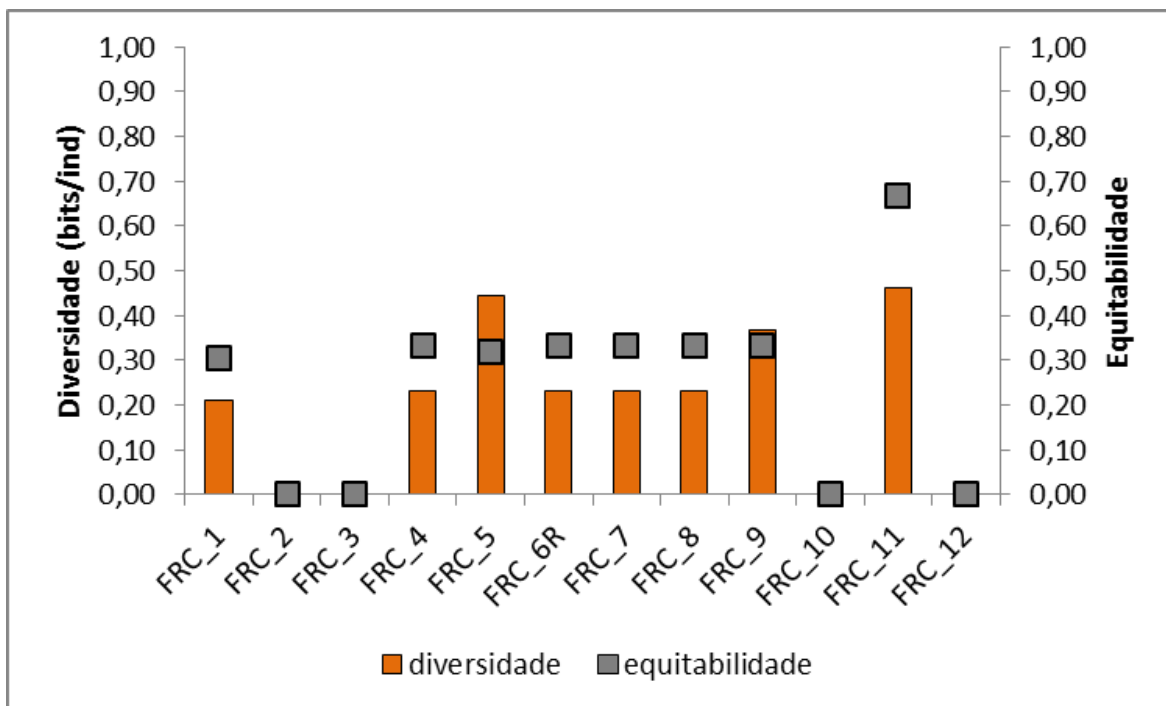


Figura V.2-10 – Índices ecológicos da comunidade bentônica nas 12 estações da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

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 norte sul do poço Franco-SP2.

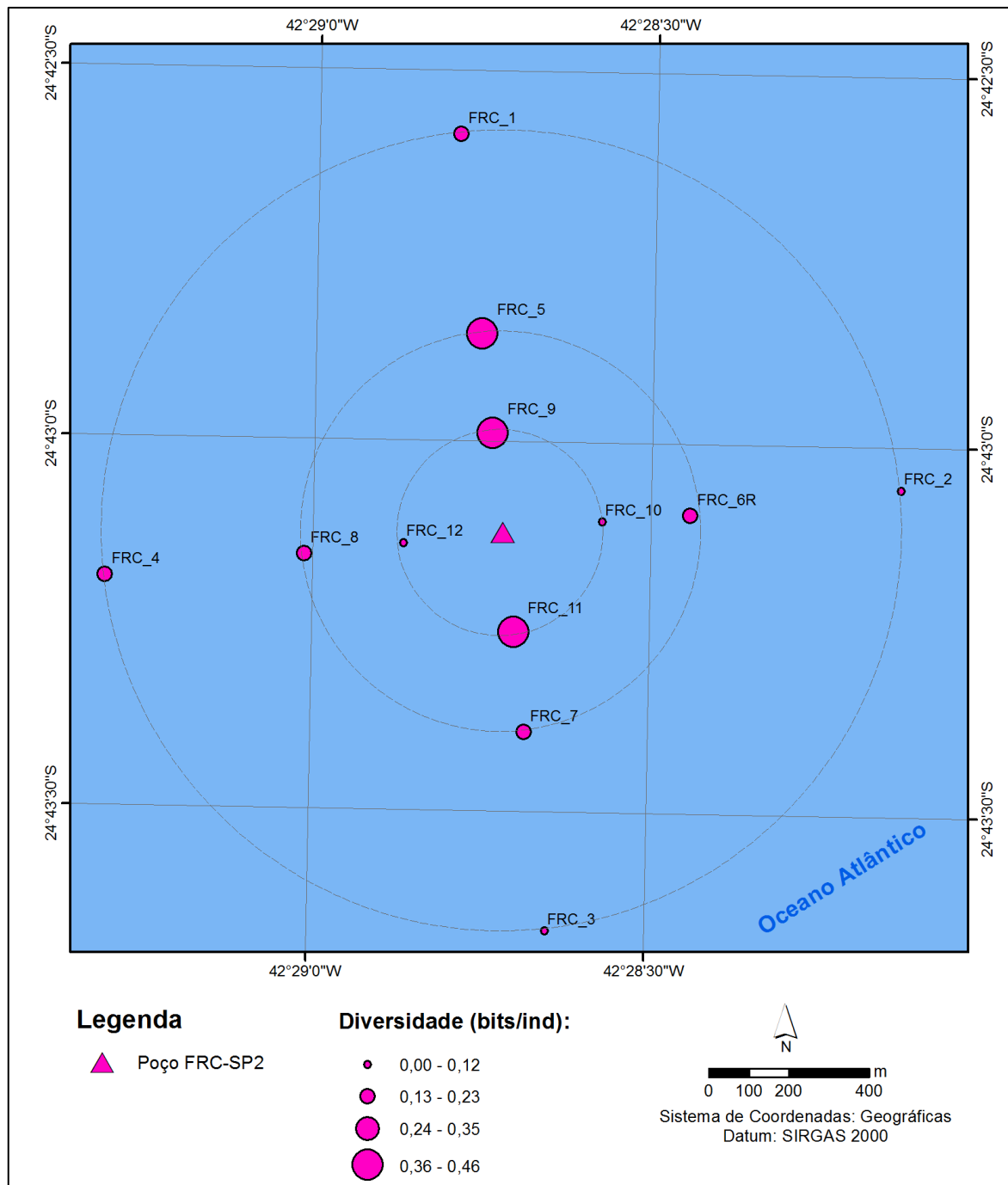


Figura V.2-11 – Distribuição espacial da diversidade (bits/ind) da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos

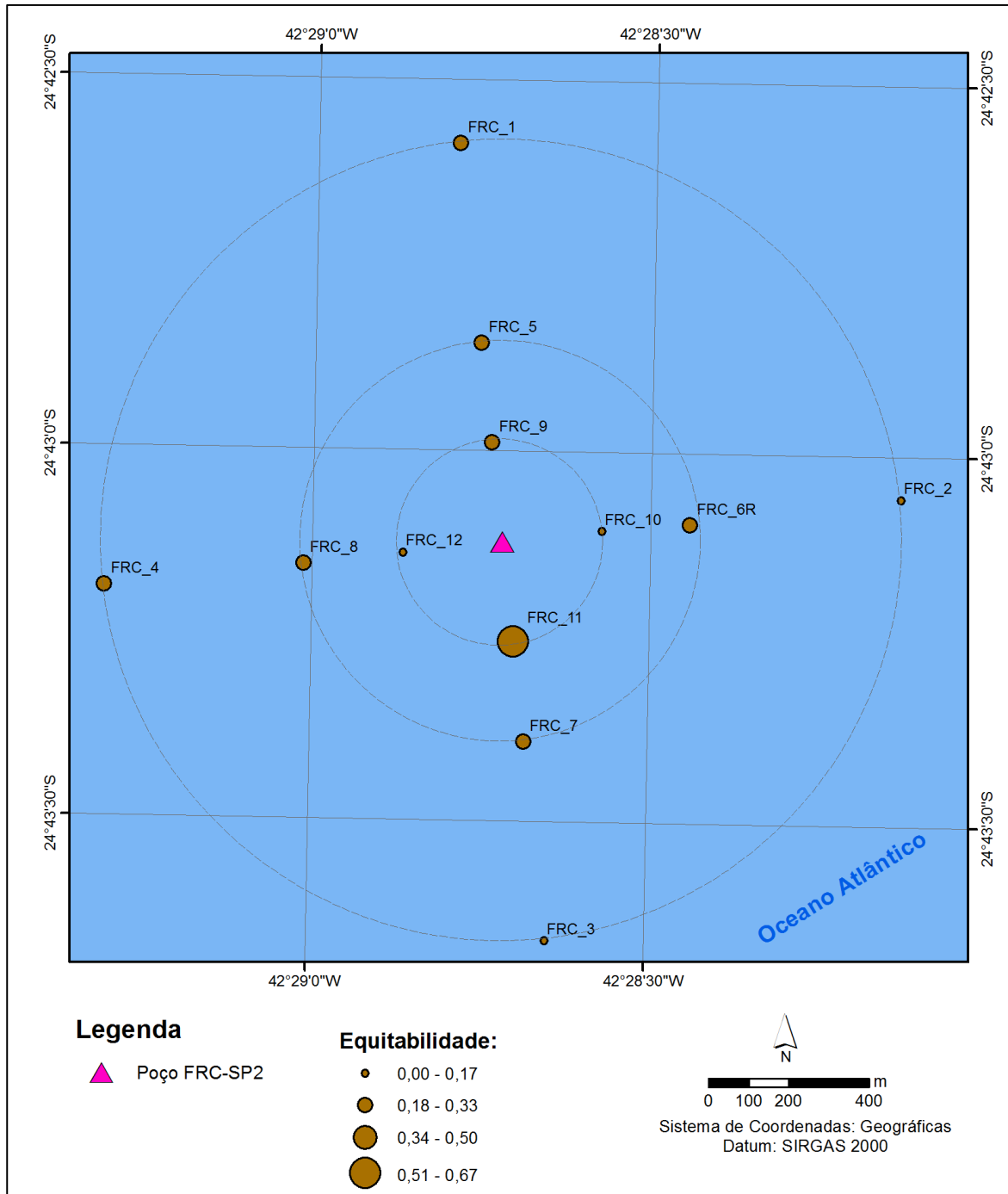
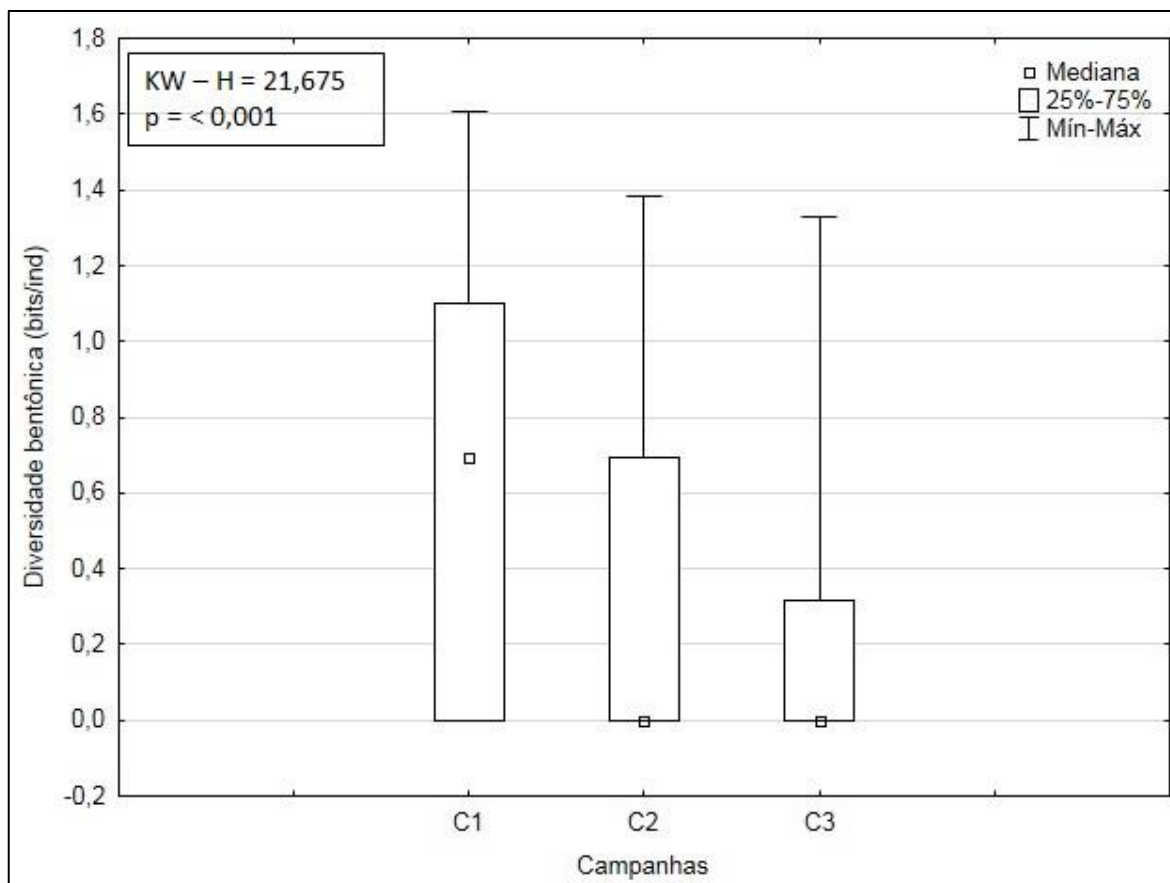


Figura V.2-12 – Distribuição espacial da equitabilidade da macrofauna bentônica nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

Na Figura V.2-13 é apresentada a diversidade da macrofauna obtida nas três campanhas do poço Franco-SP2. A atual campanha apresentou menor amplitude de valores de diversidade. Foram encontradas diferenças significativas entre as

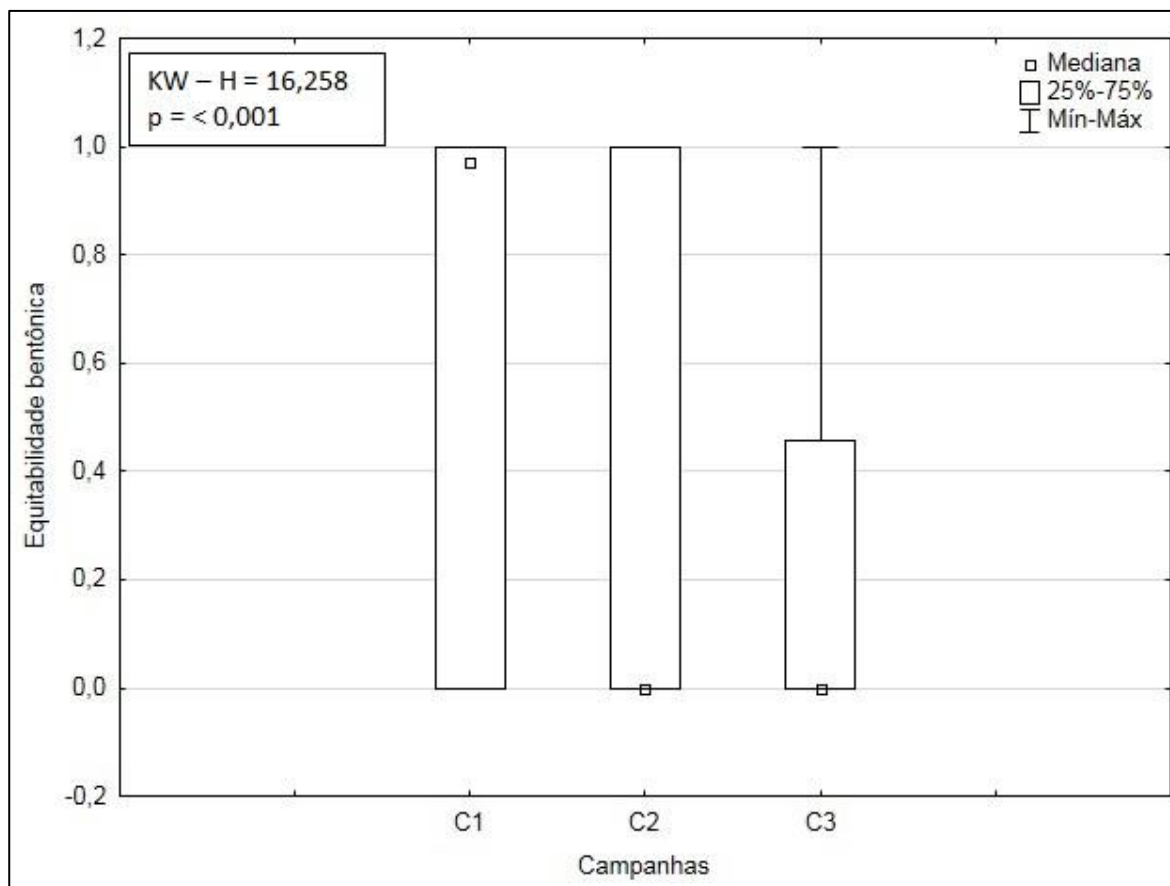
campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*, $p < 0,05$).



* 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 Franco-SP2.

Na Figura V.2-14 é apresentada a equitabilidade de macrofauna obtida nas três campanhas do poço Franco-SP2. As três campanhas apresentaram valores semelhantes de equitabilidade, mas diferentes valores de mediana, exceto a segunda e terceira campanha, que apresentaram medianas semelhantes. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira campanha diferiu significativamente das demais (*Tukey*, $p < 0,05$).



* 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 Franco-SP2.

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. As estações FRC_10 e FRC_11 estiveram mais distantes das demais, enquanto as demais estações formaram um grupo distinto.

O valor de *stress* do MDS foi de 0,06, 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).

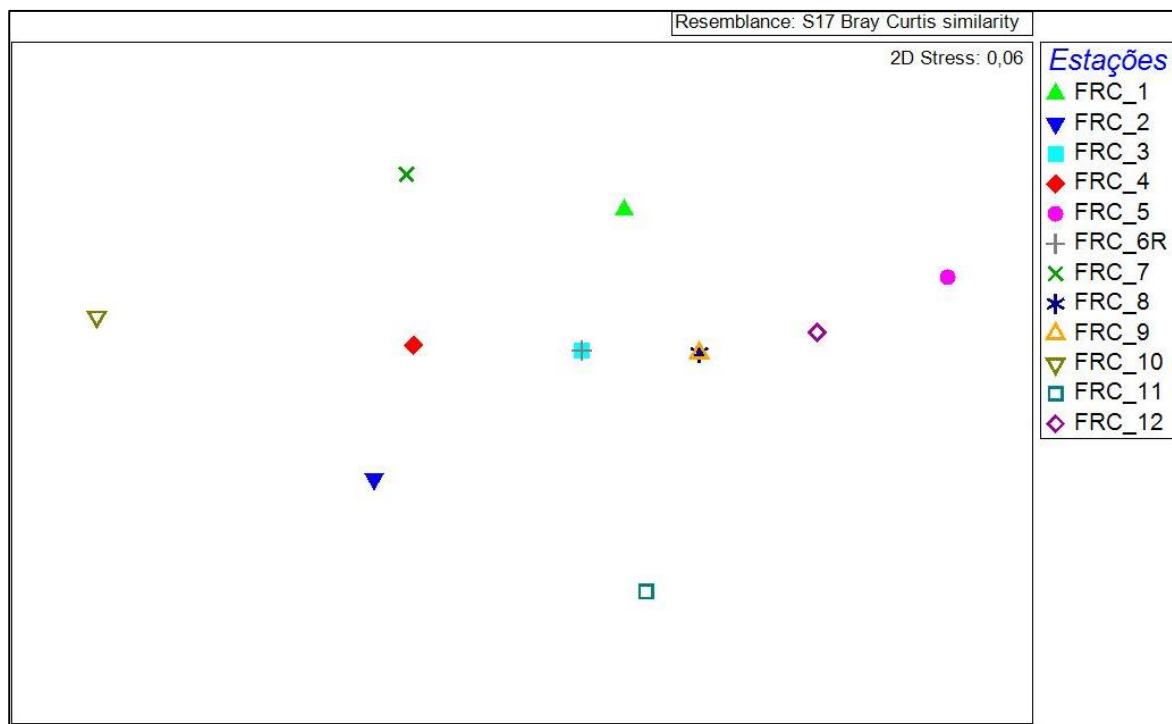


Figura V.2-15 – Distâncias obtidas através da matriz de semelhança entre as densidades das 12 estações amostrais geradas pela análise de ordenamento multidimensional para a comunidade bentônica amostrada durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

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 68 % (distância de Bray-Curtis). Essa análise reflete diferenças mais sensíveis observadas entre essas comunidades, e indica que ocorre maior similaridade entre determinados grupos de estações. Com aproximadamente 80% de similaridade há a formação de cinco grupos distintos: i) FRC_10; ii) FRC_11; iii) FRC_1, FRC_3, FRC_5, FRC_6R, FRC_7, FRC_8, FRC_9 e FRC_12; iv) FRC_2 e v) FRC_4 (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.

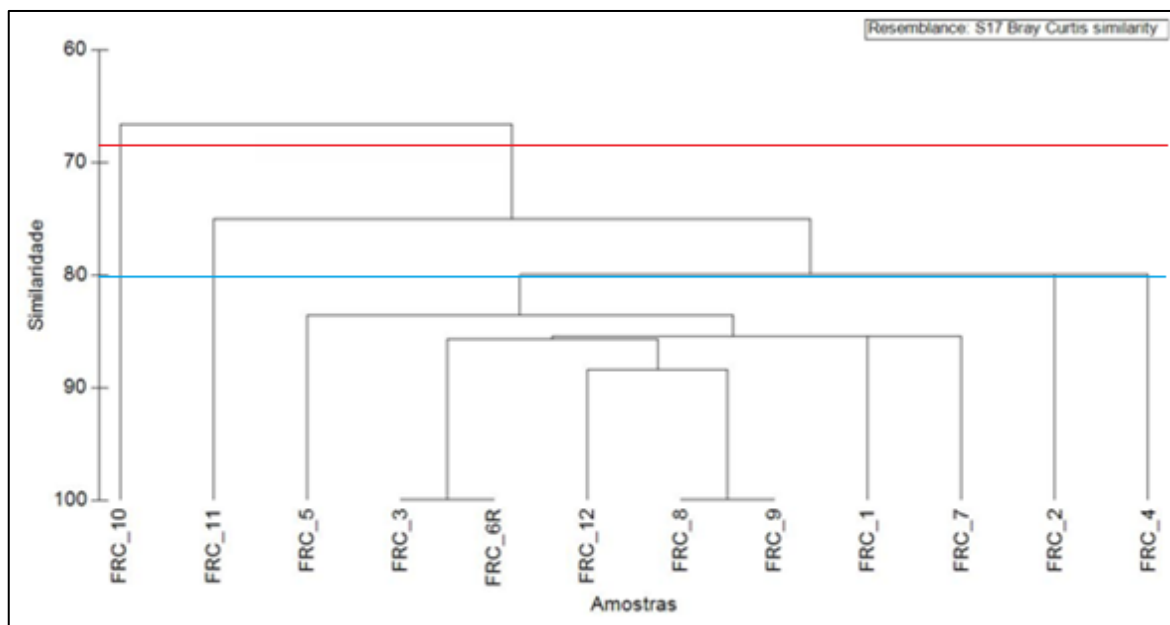


Figura V.2-16 – Dendrograma da matriz de distâncias comparando as densidades de organismos da comunidade bentônica, observadas nas 12 estações amostrais da atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

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, não foram detectadas diferenças marcantes entre as mesmas. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando alta similaridade entre os pontos. Por outro lado, os dados da presente campanha são inferiores aos dados da literatura.

VI - ANÁLISE INTEGRADA

Nesse item é apresentada a análise integrada dos dados biológicos e ambientais coletados durante a terceira campanha de monitoramento ambiental no poço Franco-SP2, Bacia de Santos. A seguir são indicadas as relações encontradas, entre os indicadores biológicos de macrozoobentos e os parâmetros físico-químicos e de contaminantes das amostras de sedimento do poço.

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

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

Na correlação de Spearman, realizada entre os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes e os dados de macrozoobentos não ocorreram correlações significativas, pois não apresentaram $p \leq 0,05$ (Tabela VI.1-1).

Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes e os dados de diversidade, equitabilidade, riqueza e densidade total de macrozoobentos. Correlações não foram significativa, pois não apresentaram $p < 0,05$.

	Densidade	Riqueza Total	Diversidade	Equitatividade
MOT	0,01	0,13	-0,37	-0,24
COT	0,28	0,11	0,06	-0,12
Carbonato	-0,28	-0,01	-0,03	-0,20
NT	0,20	0,02	-0,26	-0,28
PT	-0,04	-0,26	-0,33	-0,14
Cascalho	-0,16	-0,22	-0,26	-0,10
AMG	0,07	0,30	0,16	0,34
AG	-0,16	0,06	-0,09	0,21
AM	-0,08	0,04	-0,06	0,17
AF	-0,20	-0,01	-0,24	-0,08
AMF	-0,32	-0,19	-0,32	-0,11
Silte	0,37	0,28	0,47	0,28
Argila	-0,34	-0,04	-0,26	-0,38
Mediana	0,17	-0,18	0,17	-0,03

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

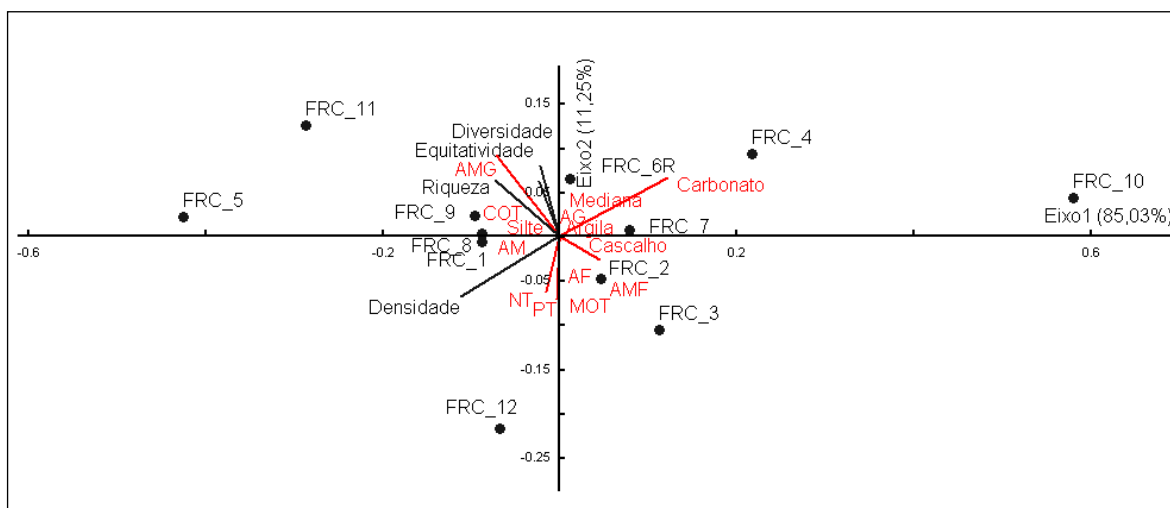
A partir da análise de componentes principais (ACP), verificou-se a distribuição espacial das estações na área de estudo, considerando-se as respostas biológicas – verificadas pelos dados de diversidade, riqueza, equitabilidade e densidade de macrozoobentos (variáveis ativas) – em relação às variações ambientais (variáveis suplementares). Na ACP apresentada, Figura VI.1-1, os dois primeiros eixos explicaram 96,28% da variação, sendo que o primeiro eixo explicou 85,03% e o segundo explicou 11,25%.

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.

Verifica-se que a distribuição das estações amostrais ocorreu significativamente ($p = 0,001$) ao longo do primeiro eixo. As estações FRC_2, FRC_3, FRC_4, FRC_6R, FRC_7 e FRC_10 se distribuíram na porção positiva do eixo 1, correlacionando-se negativamente e significativamente com os indicadores

biológicos da comunidade bentônica: densidade ($r = -0,97$) e riqueza total ($r = -0,93$). Na porção negativa do eixo 1, correlacionando-se positivamente com riqueza total e densidade bentônica, ocorreram as estações: FRC_1, FRC_5, FRC_8, FRC_9, FRC_11 e FRC_12.

Nessa ACP, assim como na correlação de Spearman, também não foi possível verificar correlações significativas entre granulometria, matéria orgânica e nutrientes com os indicadores biológicos, pois tais relações com as variáveis ambientais, apresentaram a distância das variáveis ambientais ao centro do inferior a 0,71.



Legenda: FRC, estações de coleta do poço Franco-SP2, 12 estações; AG, areia grossa; AMG, areia muito grossa; AM, areia média; AMF, areia muito fina; AF, areia fina; COT, carbono orgânico total; MOT, matéria orgânica total; NT, nitrogênio total; PT, fósforo total.

Figura VI.1-1 – Análise de componentes principais entre os indicadores biológicos de macrozoobentos e as variáveis ambientais das estações de coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

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

Na correlação de Spearman realizada entre os metais e os indicadores biológicos da comunidade bentônica (Tabela VI.1-2), observou-se apenas uma correlação negativa significativa entre alumínio e diversidade bentônica.

Ressalta-se que as variáveis não detectadas em nenhuma estação amostral deste estudo (mercúrio, cádmio, HPA, HTP, n-alcanos e MCNR) foram desconsideradas das análises dos dados.

Tabela VI.1-2 - Correlação de Spearman (ρ) entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos coletados durante a 3ª campanha monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos. Valores em vermelho indicam correlações significativas ($p \leq 0,05$).

	Densidade	Riqueza Total	Diversidade	Equitatividade
Alumínio	-0,35	-0,27	-0,61	-0,54
Bário	0,58	0,23	0,00	-0,27
Chumbo	0,55	0,20	0,28	0,15
Cobre	0,34	-0,10	-0,30	-0,31
Cromo	0,27	0,23	-0,08	-0,10
Ferro	0,17	0,37	0,15	0,14
Manganês	0,55	0,13	0,04	-0,04
Níquel	0,25	0,01	-0,32	-0,33
Zinco	0,45	0,31	-0,15	-0,45
Vanádio	-0,10	0,24	0,16	0,15

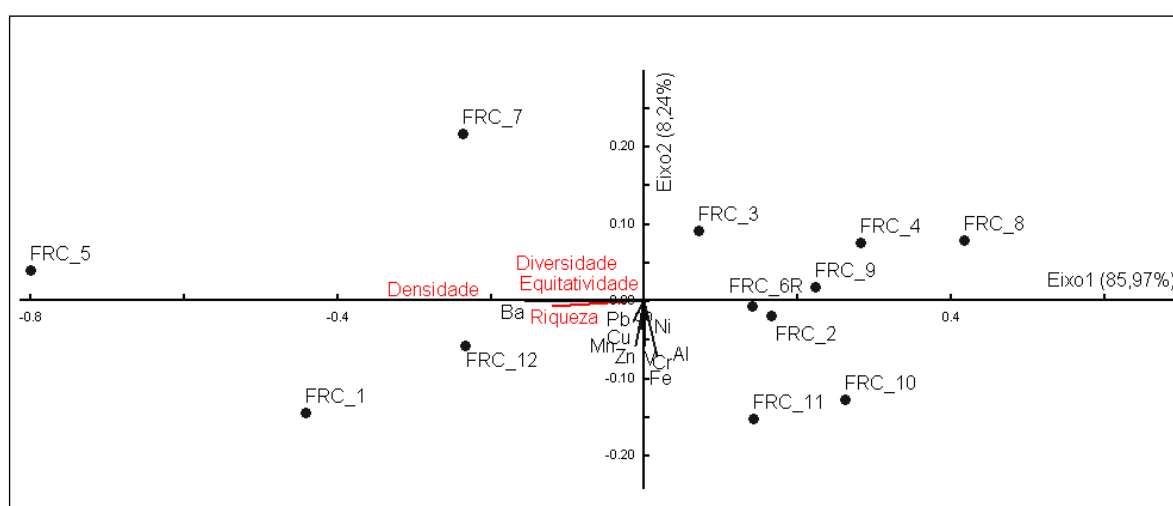
Para complementar a análise de correlação de Spearman, uma ACP foi realizada, objetivando a visualização da distribuição das estações de coleta em função da concentração dos metais (os quais foram considerados como variáveis ativas na ACP) e dos indicadores biológicos (inseridos como variáveis suplementares na ACP). Essa análise explicou 94,21% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo que o primeiro eixo explicou 85,97% e o segundo 8,24% (Figura VI.1-2).

Para avaliar as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP, a distância d ao centro do plano (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983) foi determinada. Dessa forma, foram consideradas, para fins de interpretação, apenas as variáveis com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,45.

De maneira geral, a distribuição das amostras ocorreu significativamente ($p = 0,002$) ao longo do eixo 2. As estações FRC_3, FRC_4, FRC_5, FRC_7, FRC_8 e FRC_9 ocorreram na porção positiva do eixo 2, correlacionando-se negativamente e significativamente com alumínio ($r = -0,65$), cobre ($r = -0,78$),

cromo ($r = -0,98$), ferro ($r = -0,91$), manganês ($r = -0,61$), níquel ($r = -0,91$), zinco ($r = -0,80$) e vanádio ($r = -0,65$). Na porção negativa do eixo 2 ocorreram as estações FRC_1, FRC_2, FRC_6R, FRC_10, FRC_11 e FRC_12 correlacionando-se positivamente com os metais supracitados, o que indica que nessas estações houve maior concentração desses metais, em comparação às demais estações. A distribuição das estações ao longo do eixo 1 não foi significativa.

Não foram verificadas correlações da distribuição das estações amostrais com relação aos demais metais, tampouco com os indicadores biológicos, pois essas variáveis não apresentaram distância ao centro do plano $\geq 0,45$.



Legenda: Al, alumínio / Ba, bário / Cd, cádmio / Cr total, cromo total / Cu, cobre / Fe, ferro / Mn, manganês / Ni, níquel / Pb, chumbo / V, vanádio / Zn, zinco / FRC, estações de coleta do poço Franco, 12 estações.

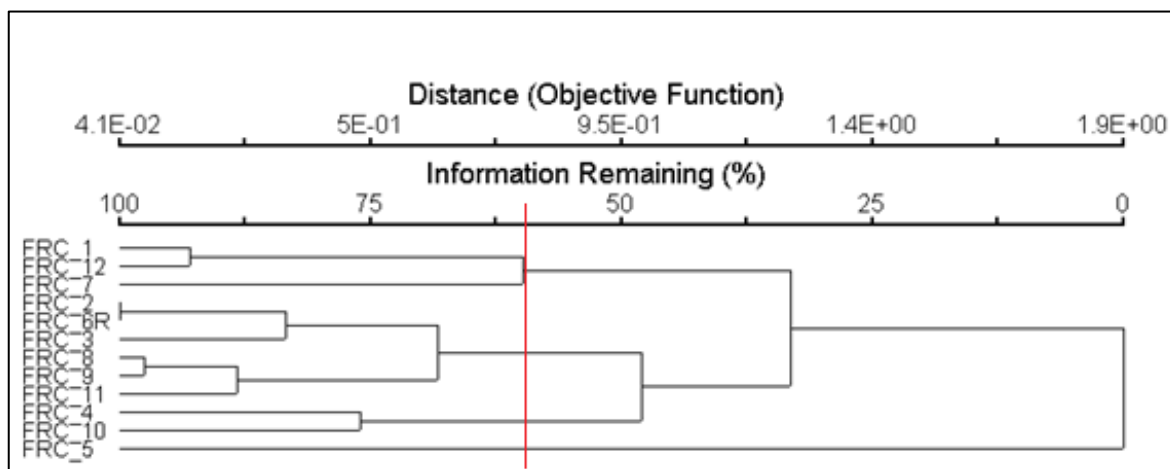
Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais entre os contaminantes (metais) e os indicadores biológicos de macrozoobentos das estações de coleta de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

VI.1.3 - Distribuição 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 outra de escalonamento multidimensional.

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

Na Figura VI.1-3 é apresentado o gráfico resultante da análise de agrupamento. Com cerca de 60% de similaridade são observados 4 grupos principais: i) FRC_1, FRC_12, FRC_7; ii) FRC_2, FRC_6R, FRC_3, FRC_8, FRC_9 e FRC_11 iii) FRC_4, FRC_10; iv) FRC_5. Os grupos formados nessa análise indicam semelhanças à distribuição observada na ACP, utilizando-se os contaminantes como variáveis ativas (Figura VI.1-2), principalmente em relação às estações FRC_2, FRC_3, FRC_6R, FRC_8 e FRC_9. Isso demonstra que a variação das estações amostrais seja devido a maior influência dos contaminantes (Figura VI.1-2) que dos organismos bentônicos (Figura VI.1-3), quando todas as variáveis são testadas em conjunto.



Legenda: FRC-SP2, estações de coleta do poço Franco-SP2, 12 estações.

Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento, das 12 estações de amostragem de sedimento da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, relacionando dados ambientais e bióticos.

Com relação à análise de escalonamento multidimensional, nessa análise o valor de *stress* foi 0,08. Segundo Kruskal & Wish (1978) e Clarke & Ainsworth (1993), quanto menor o valor de *stress* e mais próximo de zero, melhor a representação dos dados na MDS.

O gráfico resultante dessa análise (Figura VI.1-4), faz semelhantes indicações de grupos, dos verificados no *cluster*. Além disso, destaca a maior diferenciação da estação FRC_5, em relação às demais. Essa diferenciação deve-se principalmente aos maiores valores observados para densidade e riqueza total bentônica, assim como maior concentração de bário.

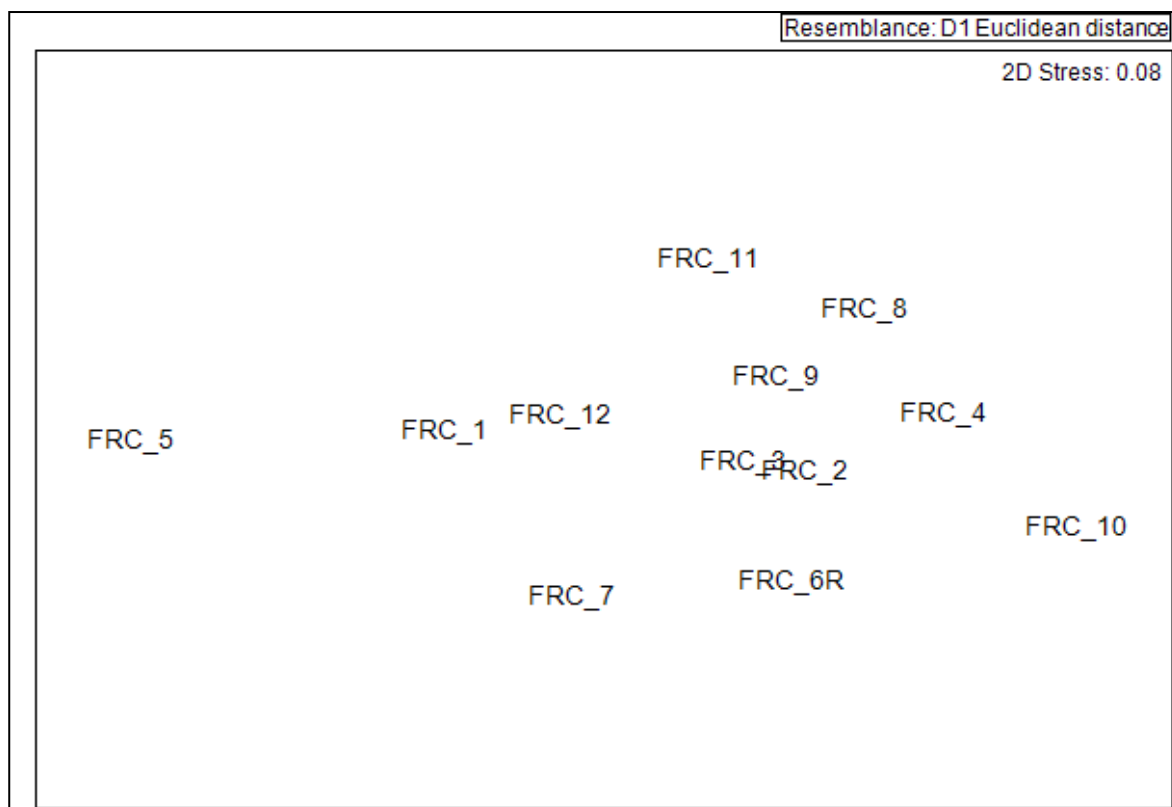


Figura VI.1-4 - Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas para os sedimentos coletados nas estações da 3ª campanha de monitoramento do poço Franco-SP2, Bacia de Santos.

A estrutura da comunidade bentônica marinha nos ecossistemas está diretamente relacionada a diversos fatores ambientais, sejam eles abióticos e bióticos. Diferentes tipos de substratos são capazes de hospedar comunidades de invertebrados que diferem em biomassa, densidade total, riqueza e diversidade (VITOUSEK, 1990). Substratos mais diversificados oferecem maior disponibilidade de habitats e microhabitats, alimentos e proteção (CARVALHO & UIEDA, 2004). De maneira geral, esses organismos apresentam estreita relação com a composição granulométrica, com o processamento de matéria orgânica e o consumo de nutrientes (ESTEVES, 2011). Tais fatores condicionam o

estabelecimento de diferentes comunidades de macroinvertebrados bentônicos e, portanto são importantes componentes, responsáveis pela distribuição e estruturação dessas comunidades em ecossistemas aquáticos (GONÇALVES *et al.*, 1998). Embora a estrutura da comunidade bentônica tenha importante relação com a composição granulométrica e os nutrientes presentes no sedimento, não foram verificadas relações significativas desses fatores com os indicadores biológicos.

Com relação aos contaminantes, é importante destacar que concentrações de metais em sedimentos podem ser tóxicas à fauna bentônica, pois são potencialmente bioacumuláveis e biomagnificáveis (TUNDISI *et al.*, 2011). Por esse motivo, a utilização dessas variáveis como indicadores da qualidade da água e sedimento se baseia no fato de que são geralmente mais persistentes no ambiente. Portanto, seu monitoramento agrega uma informação importante e, muitas vezes, mais eficiente que o monitoramento baseado tão somente na mensuração de parâmetros físicos e químicos (LENAT & BARBOUT, 1994; ALBATERCEDOR, 1996).

Sabe-se que os contaminantes presentes no sedimento marinho podem representar perigo à fauna aquática marinha em geral, e especialmente à bentônica. Os poluentes, em geral, podem apresentar comportamento heterogêneo, podendo ser tóxicos, apenas por sua presença no sistema, ou devido a processos de degradação, os quais liberam compostos que, assimilados pelos organismos, poderão interferir em seus processos fisiológicos, influenciando os aspectos reprodutivos, de sobrevivência, e, conseqüentemente alterando a estrutura da população (BOUDOU E RIBEYRE, 1989).

Dentre os metais analisados nesta campanha (alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro total, manganês, mercúrio, níquel, vanádio e zinco), ferro e alumínio apresentaram as mais elevadas concentrações nas amostras. As menores concentrações foram de chumbo, enquanto que cádmio e mercúrio não foram detectados. Nesse contexto, a sequência de concentrações obtida na presente campanha foi: Al > Fe > Ba > Mn > Zn > V > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd > Hg. Embora tenham sido observadas algumas variações de concentração de metais entre as estações, apenas a concentração de alumínio, apresentou correlação negativa significativa com a diversidade bentônica, principalmente nas estações

FRC_10, FRC_12 e FRC_2, onde a diversidade foi nula e o alumínio variou entre maiores concentrações de 19.700 mg/kg a 23.033,33 mg/kg nessas estações. Em um estudo limnológico, Tundisi *et al.* (2011) verificaram a presença de altas concentrações de ferro, manganês e alumínio em macroinvertebrados bentônicos, porém afirmam que tais metais - naturalmente abundantes na região - não representaram alta toxicidade para a biota.

Finalmente, quando todas as variáveis foram avaliadas em conjunto por meio de cluster e MDS, as estações amostrais apresentaram uma resposta maior em relação aos contaminantes, que em relação à distribuição dos organismos bentônicos ou à composição granulométrica e concentração de nutrientes e matéria orgânica (Figura VI.1-3 e Figura VI.1-4).

VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 3ª campanha de monitoramento ambiental (fase pós-perfuração, 2º retorno) da atividade de perfuração marítima na área denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco-SP2. Os resultados referem-se à qualidade do sedimento e caracterização da macrofauna bentônica local, com o objetivo de estabelecer um diagnóstico ambiental, considerando um período de médio a longo prazo após o início da atividade, de forma a subsidiar a avaliação de possíveis alterações que possam ter ocorrido em função da atividade.

Ao analisar a granulometria dos sedimentos no entorno do local onde foi perfurado o poço Franco-SP2 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 $0,80 \pm 0,11\%$ e $1,98 \pm 0,43\%$, respectivamente, nas amostras coletadas no entorno do poço Franco-SP2.

As concentrações de nitrogênio total e fósforo total foram inferiores em relação aos valores encontrados na região ultraprofunda da Bacia de Santos e na segunda campanha de monitoramento do poço FRC-SP2 e superiores aos encontrados nas estações mais profundas do gasoduto de Cabiúnas e na primeira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2. Estas diferenças estão provavelmente relacionadas à variabilidade natural. De maneira geral, maiores concentrações destes compostos foram encontradas no eixo norte sul.

Quanto aos metais, foram registradas concentrações superiores às observadas em estudos pretéritos, exceto para o níquel e chumbo, que encontraram concentrações inferiores, e o cádmio e o mercúrio, que não detectaram concentrações na maioria das estações, assim como em estudos anteriores. Não foi possível definir um padrão de distribuição evidente para a maioria dos metais, o que indica uma distribuição uniforme na concentração dos metais analisados entre as estações. De maneira geral, o bário, o manganês, o

zinco e o vanádio apresentaram concentrações um pouco maiores no eixo norte sul, o níquel, o cromo e o cobre apresentaram concentrações um pouco maiores nas estações mais próximas do poço Franco-SP2, e o chumbo apresentou concentrações maiores a norte do poço.

A concentração dos metais no sedimento da área de monitoramento do poço Franco-SP2 está 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 valor máximo próximo ao limite estabelecido por 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 a maioria dos metais em todas as estações, exceto para o bário e o chumbo. Nas estações FRC_1, FRC_7 e FRC_12 o enriquecimento de bário foi classificado como pequeno, enquanto que na estação FRC_5, o enriquecimento de bário foi classificado como moderado a severo. Para o chumbo, o enriquecimento foi classificado como pequeno na maioria das estações, exceto na estação FRC_6R, em que $FE < 1$ e na estação FRC_7, em que o enriquecimento foi classificado como moderado.

Não foram verificadas concentrações detectáveis de HPA's nas amostras analisadas. Também não foram verificadas concentrações detectáveis de HTP's, n-alcanos e MCNR. De forma geral, a ausência de concentrações detectáveis de hidrocarbonetos permite inferir que a região não apresenta indicativos de contaminação por estes compostos, e conclui-se que os sedimentos na região do entorno da poço Franco-SP2 não apresentam indícios de resíduos relacionados ao petróleo no momento da campanha de pós-perfuração.

O filo Annelida, representado pela classe Polychaeta, ocorreu em todas as estações, além de ter sido o grupo taxonômico mais abundante e com maior riqueza específica. A estação FRC_5 se destacou por apresentar o maior número de taxa (6), enquanto a estação FRC_10 obteve o valor mínimo, que foi igual a 1, nas proximidades do poço Franco-SP2. As maiores densidades foram observadas nas estações FRC_5, FRC_11 e FRC_12.

As estações de amostragem apresentaram baixa diversidade de espécies ($0,00 < H' < 0,46$). A estação FRC_11 foi a que apresentou a maior diversidade específica ($H' = 0,46$). As doze estações não foram similares em relação à

equitabilidade, com valores baixos na maioria das estações (Δ : 0,00 – 0,67), indicando que as espécies aparecem em abundâncias consideradas pouco uniformes.

Segundo a análise de agrupamento pelo método de *Cluster*, as estações possuem similaridade superior a 68%. Com aproximadamente 80% de similaridade há a formação de cinco grupos distintos: i) FRC_10; ii) FRC_11; iii) FRC_1, FRC_3, FRC_5, FRC_6R, FRC_7, FRC_8, FRC_9 e FRC_12; iv) FRC_2 e v) FRC_4 .

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, não foram detectadas diferenças marcantes entre as mesmas. As análises multivariadas confirmaram esse resultado demonstrando alta similaridade entre os pontos. Por outro lado, os dados da presente campanha são inferiores aos dados da literatura.

A análise integrada dos dados ambientais e biológicos do sedimento da terceira campanha de monitoramento do poço Franco-SP2 permitiu verificar as relações do ambiente com os indicadores biológicos da comunidade bentônica. Neste estudo, observaram-se ausência de correlações significativas entre os indicadores biológicos da comunidade bentônica e as características ambientais de granulometria, nutrientes e matéria orgânica do sedimento. Contudo, houve correlação negativa significativa entre diversidade bentônica e a concentração de alumínio, principalmente nas estações FRC_10, FRC_12 e FRC_2, onde a diversidade foi nula nessas estações e o alumínio variou entre maiores concentrações de 19.700 mg/kg a 23.033,33 mg/kg.

Finalmente, verifica-se que a distribuição espacial das estações amostrais apresentou maior resposta em relação à concentração dos metais nas amostras, quando todas as variáveis (contaminantes, biológicas e ambientais) foram avaliadas em conjunto.

Os dados apresentados referentes à qualidade dos sedimentos e à macrofauna bentônica permitiram caracterizar satisfatoriamente a qualidade ambiental da região do entorno do poço Franco-SP2, no momento da campanha de pós-perfuração, 2º retorno, e permitiram a comparação com os dados das campanhas anteriores, não indicando impactos referentes à atividade de

perfuração do poço, exceto em relação ao bário, que apresentou maiores concentrações, e o bário e o chumbo, que apresentaram o 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.

ALBA-TERCEDOR, J. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In: IV SIMPOSIO DEL AGUA EN ANDALUZIA (SIAGA), Almería, v. 2, p. 203-13. ISBN: 84-784, 1996.

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.

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. Let.**, 26(21):3329-3332, 1999.

BOUDOU, A. & RIBEYRE, F. Fundamental concepts in aquatic ecotoxicology. In: A. BOUDOU & F. RIBEYRE (eds), **Aquatic ecotoxicology, fundamental concepts and methodologies**, 1:35-75. 1989.

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

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

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

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.

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

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

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

CETESB. **Sistema Estuarino Santos e São Vicente**. 2001. Disponível em:
<<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/61-publicacoes-e-relatorios---relatorios-de-qualidade>>. Acesso em: 16 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 & AINSWORTH, M. **A method of linking multivariate community structure to environmental variables**. v. 92: 205-219. Marine Ecology Progress Series. 1993.

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

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.

DIAZ, J. M. M. & PUYANA, M. H. **Moluscos del Caribe Colombiano. Santafé de Bogotá**: Colciencias. Fundación Natura, 1994, p. 291.

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 Terebellidae (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.

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.

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

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

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

LANA, P. C. 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.

LENAT, D. R. & BARBOUT, M. T. Using benthic macroinvertebrate communities structure for rapid, cost – effective, water quality monitoring: rapid bioassessment. In: Coeb, S. L. & Spacie, A. (eds) Biological Monitoring of aquatic systems. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida; p. 187-215, 1994.

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

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

MACKENZIE, F. T.; VER, L. M.; SABINE, C.; LANE, M. & LERMAN, A. C, N, P, S global biogeochemical cycles and modeling of global change. In: R. WOLLAST, F. MACKENZIE, & L. CHOU (Eds.) **Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change**, v. 4, p. 2-61. Berlin Heidelberg: Springer – Verlag, 1993.

MARINS, R. V.; FREIRE, G. S. S.; MAIA, L. P.; LIMA, J. P. R. & LACERDA, L. D. 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 Mcmurdo 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. Hyperiidea. In: YOUNG, P. S. (ed.). **Catalogue of Crustacea of Brazil**. Rio de Janeiro, Museu Nacional, p. 595-603. (Série livros n. 6), 1998.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 1ª Campanha do 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 do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco – SP2, 2015.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 2ª Campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Perfuração Marítima na Área Denominada Área Geográfica da Bacia de Santos – Poço Franco – SP2, 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/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)**. Projeto TLD de FRANCO 1 - Cessão Onerosa – Pré-Sal, Bacia de Santos. 2011.

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.

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

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

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

RIOS, E. **Compendium of Brazilian sea shells**. Rio Grande, 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.

RUPPERT, E.; FOX, R. S. & BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados – Uma abordagem funcional-evolutiva**. 7 ed., São Paulo: Roca, 2005, 1145 p.

SANTOS, F. N.; CAETANO, C. H. S.; ABSALÃO, R. S. & PAULA, T. S. **Mollusca de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência, 2007 p. 207-236.

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

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Physical and Chemical Properties Models.** Pollution Prevention Framework, 2005. Disponível em: <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 3630C.** Silica gel Cleanup.

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

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

_____ **Method 8015D.** Nonhalogenated organics using GC/FID.

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

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

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

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 Detetizadora

- 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:

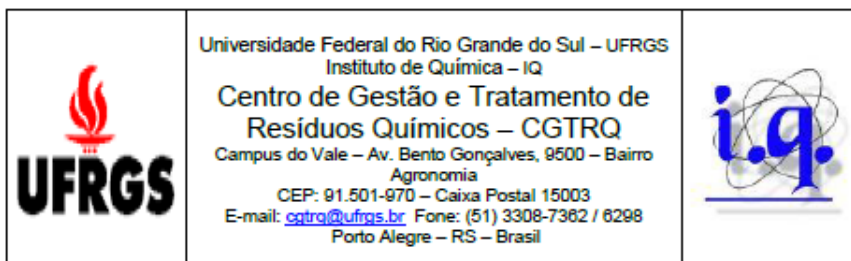
* Locação de caminhão para transportar resíduo classe I, tratamento do resíduo que estava
contaminado com formol.

* 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.

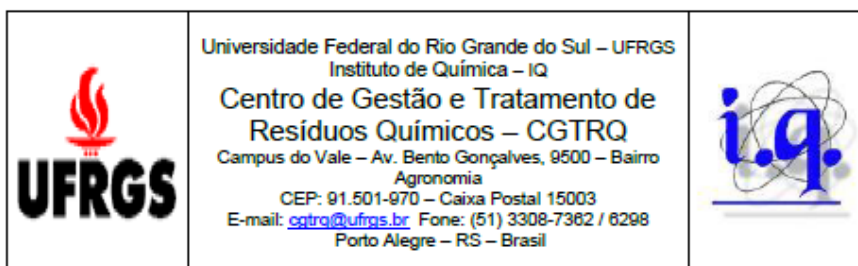
Informamos que este órgão está fazendo o apoio técnico para retirada dos resíduos químicos gerados na empresa **Lógica Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ambiental S/S** por tempo indeterminado.

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 – Cartas de Recusa e Aceite de Tombamento



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;
- 6ª 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 Bociências – 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 – bociencias@ufrgs.br.

Anexo IX-3 – Inventário taxonômico dos organismos do macrozoobentos coletados durante a atual campanha de pós-perfuração do poço Franco-SP2, Bacia de Santos

Táxon	Resultado (Ind./m²)
Filo Annelida	
Subfilo Polychaeta	
Polychaeta N.Det.	619
Classe Errantia	
Subclasse Aciculata	
Ordem Eunicida	
Família Onuphidae	
Gênero Paradiopatra	
<i>Paradiopatra</i> sp.	44
Ordem Phyllodocida	
Família Glyceridae	
Glyceridae N.Det.	88
Família Goniadidae	

Táxon	Resultado (Ind./m ²)
	Goniadidae N.Det. 132
Classe Sedentaria	
Subclasse Palpata	
Ordem Canalipalpata	
Família Flabelligeridae	
Flabelligeridae N.Det	221
Família Longosomatidae	
Longosomatidae N.Det.	44
Família Magelonidae	
Gênero Magelona	
<i>Magelona</i> sp.	44
Família Spionidae	
Spionidae N.Det.	264

Táxon	Resultado (Ind./m ²)
Ordem Scolecida	
Família Capitellidae	
Capitellidae N.Det.	44
Família Cossuridae	
Cossuridae N.Det.	44
Família Maldanidae	
Maldanidae N.Det.	44
Família Opheliidae	
Opheliidae N.Det.	44
Família Orbiniidae	
Orbiniidae N.Det.	44
Família Paraonidae	
Paraonidae N.Det.	44

Táxon	Resultado (Ind./m²)
Filo Arthropoda	
Subfilo Crustacea	
Classe Malacostraca	
Subclasse Eumalacostraca	
Ordem Amphipoda	
Subordem Gammaridea	
Família Ampeliscidae	
Ampeliscidae N.Det.	44
Ordem Cumacea	
Cumacea N.Det.	44
Filo Mollusca	
Classe Bivalvia	
Bivalvia N.Det.	44

Táxon	Resultado (Ind./m ²)
Ordem Pholadomyoidea	
Família Cuspidariidae	
Gênero Cuspidaria	
<i>Cuspidaria</i> sp.	44
Filo Nemertea	
Nemertea N.Det.	44

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

X - EQUIPE TÉCNICA

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

Profissional	Ana Carolina dos Passos
Empresa	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
Formação Profissional	Oceanógrafa
Registro no Conselho de Classe	AOceano 2149
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	5517676
Assinatura	

Profissional	Viviane Kruger
Empresa	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
Formação Profissional	Gestão Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CREA/RS 195090
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	5564682
Assinatura	

Profissional	Diego Nunes Engelke
Empresa	Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A.
Formação Profissional	Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária
Registro no Conselho de Classe	-
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6128839
Assinatura	

Profissional	Marla Sonaira Lima
Empresa	-
Formação Profissional	Bióloga
Registro no Conselho de Classe	CRBio 58878-03
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	3307746
Assinatura	