

Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, Bacia de Santos

**RTAA - Relatório Técnico de Avaliação Ambiental
14ª Campanha da Fase de Operação**

Volume Único

RTAA_MLZ_C14_BCA_20052024-02

Outubro/2024



E&P

INDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO	41/667
II - OBJETIVO	43/667
II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	43/667
III - ÁREA DE ESTUDO	44/667
III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPOS DE MERLUZA E LAGOSTA	44/667
III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE	46/667
IV - MATERIAL E MÉTODOS	52/667
IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO	52/667
IV.1.1 - Qualidade da Água	58/667
IV.1.2 - Fitoplâncton	64/667
IV.1.4 - Zooplâncton e Ictioplâncton	65/667
IV.1.5 - Qualidade do Sedimento e Macrofauna Bentônica	68/667
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	72/667
IV.2.1 - Qualidade da Água	72/667
IV.2.2 - Fitoplâncton	77/667
IV.2.3 - Zooplâncton	77/667
IV.2.4 - Ictioplâncton	78/667
IV.2.5 - Qualidade do Sedimento	79/667
IV.2.6 - Macrofauna Bentônica	84/667
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS	86/667
IV.3.1 - Qualidade da Água	86/667
IV.3.2 - Qualidade do Sedimento	92/667
IV.3.3 - Plâncton	100/667
IV.3.4 - Macrofauna Bentônica	103/667
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	107/667
IV.4.1 - Qualidade da Água e do Sedimento	107/667

IV.4.2 - Biota Aquática	108/667
IV.5 - METODOLOGIA ANÁLISE INTEGRADA.....	109/667
V - RESULTADOS E DISCUSSÃO	112/667
V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA	112/667
V.1.1 - Temperatura e Salinidade	112/667
V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)	126/667
V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico.....	132/667
V.1.4 - Clorofila-a	140/667
V.1.5 - Nutrientes	147/667
V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)	160/667
V.1.7 - Sulfetos	170/667
V.1.8 - Fenóis.....	173/667
V.1.9 - Hidrocarbonetos	173/667
V.2 - PLÂNCTON.....	182/667
V.2.1 - Fitoplâncton.....	183/667
V.2.1 - Zooplâncton.....	211/667
V.2.3 - Ictioplâncton	231/667
V.3 - QUALIDADE DE SEDIMENTO	248/667
V.3.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos.....	248/667
V.3.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Enxofre Total	299/667
V.3.3 - Metais.....	365/667
V.3.4 - Hidrocarbonetos	511/667
V.5 - MACROFAUNA BENTÔNICA.....	513/667
V.5.1 - Macrozoobentos.....	513/667
VI - ANÁLISE INTEGRADA.....	575/667
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO.....	575/667
VI.1.1 - Variáveis Ambientais	575/667
VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico	577/667

VI.1.3 -Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico-Químico	583/667
VI.2 - AMBIENTE BENTÔNICO	594/667
VI.2.1 -Relações dos Indicadores Biológicos de Macrozoobentos com o Ambiente	595/667
VI.2.2 -Distribuição das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas	600/667
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS	606/667
VIII - BIBLIOGRAFIA	613/667
IX - EQUIPE TÉCNICA	646/667
X - ANEXOS	649/667

TABELAS E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ com seus períodos de realização durante a fase de Operação do empreendimento.....	42/667
Tabela III-1 – Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE na PMLZ-1 para o 1º trimestre de 2023.	51/667
Tabela IV-1 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°W) originais e executadas das estações de coleta para o compartimento sedimento e bentos da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	55/667
Tabela IV-2 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	58/667
Quadro IV-1 – Parâmetros, volumes, acondicionamento e preservação das amostras de água e plâncton coletadas durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	63/667
Tabela IV-4 - Volumes de água do mar filtrados durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	66/667
Tabela IV-5 – Profundidades das diferentes estações de coleta de sedimento e macrofauna bentônica na atual campanha.	69/667
Quadro IV-2 – Parâmetros coletados para análises no sedimento e bentos, frações coletadas e formas de acondicionamento e preservação das amostras.	72/667
Tabela IV-6 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, e os respectivos limites de quantificação e detecção dos métodos, conforme os parâmetros analisados nas amostras de água do mar.	73/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela IV-7 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, os respectivos limites de quantificação e detecção do método, conforme os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.	80/667
Tabela IV-8 - Classes granulométricas e respectivos tamanhos de grão (em mm), em que ϕ significa diâmetro.	84/667
Tabela IV-9 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial da qualidade da água.	88/667
Tabela IV-10 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	92/667
Tabela IV-11 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial do sedimento.	94/667
Tabela IV-12 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial da biota (água e sedimento).	106/667
Tabela V-1 – Valores de temperatura (°C) medidos, média e desvio padrão (DP) nos quatro estratos amostrados na atual campanha de monitoramento.	113/667
Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos nos quatro estratos amostrados na atual campanha de monitoramento.	117/667
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade da água encontrados nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ.	120/667
Quadro V-1 – Distribuição das massas d'água nos diferentes estratos do PMPR_MLZ.	125/667
Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) da atual campanha de monitoramento.	127/667
Tabela V-5 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) encontradas na água nas campanhas anteriores de monitoramento do PMAEpro_PMPR_MLZ.	130/667
Tabela V-6 – Valores de pH medidos na atual campanha de monitoramento.	134/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-7 – Valores de pH encontrados na água nas campanhas anteriores de monitoramento do PMAEpro_PMPR_MLZ.	138/667
Tabela V-8 – Concentração de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) na atual campanha de monitoramento.	142/667
Tabela V-9 - Valores de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) encontrados na água e nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ. nd = não detectado e nq = não quantificado.	145/667
Tabela V-10 – Concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, silicato e fósforo total encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos, incluindo as campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ (n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado).	158/667
Tabela V-11 – Concentração de MPS (mg/L) na atual campanha de monitoramento.	161/667
Tabela V-12 – Concentrações de MPS (mg/L) encontradas na água nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	163/667
Tabela V-13 – Concentração de COT (mg/L C) da atual campanha de monitoramento.	166/667
Tabela V-14 – Concentrações de COT (mg/L) encontradas na água no PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	171/667
Tabela V-15 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento.	192/667
Tabela V-16 - Resultados (mínimo e máximo) dos indicadores ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR-MLZ.	193/667
Tabela V-17 - Valores de riqueza (n° de taxa) de taxa, densidade (ind/m^3), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.	219/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-18 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplancônica nas campanhas anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ.	221/667
Tabela V-19 - Valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind), e equitabilidade, encontrados para a comunidade ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	237/667
Tabela V-20 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplanctônica nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ	238/667
Tabela V-21 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	251/667
Tabela V-22 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	253/667
Tabela V-23 – Análise de variância das frações granulométricas das estações de sedimento durante a campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. P < 0,05. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste.	260/667
Tabela V-24 – Análise de variância dos valores de areia fina e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. P < 0,05. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam p < 0,05, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	262/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-25 – Análise de variância dos valores de areia muito fina e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	275/667
Tabela V-26 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas do sedimento nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	282/667
Tabela V-27 – Concentrações médias de carbonato no sedimento e desvio padrão (%) nas estações da campanha PMAEpro-BS_MLZ_C14.	284/667
Tabela V-28 – Concentrações de carbonatos (%) encontradas no sedimento no PMAEpro_PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	287/667
Tabela V-29 - Análise de variância dos valores de carbonatos e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada	290/667
Tabela V-30 – Concentrações médias e desvio padrão de carbono orgânico total (%) e matéria orgânica total (%) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	300/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-31 – Concentrações de COT (%), MOT (%), N total (mg/kg), P total (mg/kg) e S total (mg/kg) no sedimento amostrado nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	302/667
Tabela V-32 - Análise de variância dos valores de COT e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	308/667
Tabela V-33 - Análise de variância dos valores de MOT e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	320/667
Tabela V-34 – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14.....	329/667
Tabela V-35 - Análise de variância dos valores de nitrogênio total e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	336/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-36 - Análise de variância dos valores de fósforo total e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	347/667
Tabela V-37 - Análise de variância dos valores de enxofre total e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas.. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	359/667
Tabela V-38 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) no sedimento do PMAEpro-BS_PMPR_PMLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	371/667
Tabela V-39 – Análise de variância dos valores de ferro e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	374/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-40 – Análise de variância dos valores de alumínio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	386/667
Tabela V-41 - Análise de variância dos valores de manganês e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	398/667
Tabela V-42 - Análise de variância dos valores de bário e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	413/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-43 - Análise de variância dos valores de vanádio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	424/667
Tabela V-44 - Análise de variância dos valores de zinco e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	436/667
Tabela V-45 - Análise de variância dos valores de cromo e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	451/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-46 - Análise de variância dos valores de chumbo e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	461/667
Tabela V-47 - Análise de variância dos valores de níquel e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	473/667
Tabela V-48 - Análise de variância dos valores de cobre e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	485/667
Tabela V-49 – Análise de variância dos valores de arsênio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	497/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-50 - Análise de variância dos valores de cádmio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	503/667
Tabela V-52 – Concentração média de metais (mg/kg) da campanha de monitoramento ambiental PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14, valores de referência TEL e PEL, segundo tabela canadense (CAN) e tabela americana (EUA) e índice de qualidade do sedimento por área e por ponto. Em vermelho, são destacados os resultados que ultrapassaram os limites TEL.....	507/667
Tabela V-53 - 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 ($3 < FE < 5$), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ($5 < FE < 10$), valores em roxo indicam enriquecimento severo ($10 < FE < 25$), valores em azul indicam enriquecimento muito severo ($25 < FE < 50$) e valores em vermelho indicam enriquecimento extremamente severo ($FE > 50$).	510/667
Tabela V-55 - Valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/m²), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade macrobentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	522/667
Tabela V-56 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade macrobentônica nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	523/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-57 - Análise de variância e resultados do Teste de Tukey dos valores de riqueza da macrofauna bentônica, estação a estação, encontrados durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	526/667
Tabela V-58 – Análise de variância e resultados do Teste de Tukey dos valores de densidade da macrofauna bentônica, estação a estação, encontrados durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	538/667
Tabela V-59 Análise de variância e resultados do Teste de Tukey dos valores de diversidade da macrofauna bentônica, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	546/667
Tabela V-60 – Análise de variância dos valores de equitabilidade da macrofauna bentônica, estação a estação, obtidos durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.	558/667

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela VI.1-1 – Correlação de rank de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica (densidade, riqueza, diversidade e equitabilidade) e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Correlações significativas estão destacadas em vermelho $p < 0,05$	578/667
Tabela VI.1-2 – Indicadores biológicos das comunidade zooplanctônicas e ictioplanctônicas e das variáveis ambientais da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	584/667
Tabela VI.2-1 – Correlação de Spearman entre dados de granulometria e matéria orgânica e nutrientes e dados de diversidade, equitabilidade, riqueza e densidade de macrozoobentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Correlações significativas estão destacadas em vermelho $p < 0,05$	596/667
Tabela VI.2-2 – Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Valores em vermelho indicam correlações significativas ($p < 0,05$).	598/667

FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
Figura III-1 – Mapa localização da cidade de Santos, da plataforma MLZ-1 na área de produção BR, e limites da Bacia de Santos.	45/667
Figura III-2 - Bloco de Produção BS-1 e as localizações da Plataforma e do Gasoduto de Merluza e dos poços interferentes na região.	47/667
Figura III-3 – Volume de Água produzida descartada pela PMLZ-1.	48/667
Figura III-4 – Volume de efluente sanitário descartado pela PMLZ-1.	49/667
Figura III-5 – Volume de efluente oleoso descartado pela PMLZ-1.	50/667
Figura IV-1 – Embarcação RV Ocean Stalwart.	52/667
Figura IV-2 – Mapa da malha amostral de sedimento e bentos ao longo do gasoduto e no entorno da plataforma PMLZ-1 durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	54/667
Figura IV-3 – Dados de ADCP para determinação da direção preferencial da corrente utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton.	56/667
Figura IV-4 – Mapa da malha amostral para coleta de água e plâncton durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	57/667
Figura IV-5 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.	61/667
Figura IV-6 – Em vermelho, disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	62/667
Figura IV-7 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 µm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMAEpro_PMPR_MLZ_C14.	65/667

FIGURAS	PÁG.
Figura IV-8 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 µm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	67/667
Figura IV-9 – A) Mini Box Corer (30 x 30 x 50 cm) e B) Van Veen, utilizados para a coleta de amostras de sedimento e bentos, durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	68/667
Figura IV-10 – Esquema de distribuição dos corers no Mini Box Corer para sub-amostragem dos parâmetros analisados.	71/667
Figura V-1 – Temperatura da água (°C) da atual campanha de monitoramento.....	114/667
Figura V-2 – Perfis de temperatura (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento.	115/667
Figura V-3 – Valores de salinidade obtidos na atual campanha de monitoramento.	118/667
Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.	119/667
Figura V-5 – Diagrama T-S da atual campanha de monitoramento.	121/667
Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'água na atual campanha de monitoramento.....	123/667
Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.	128/667
Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.....	129/667
Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	132/667
Figura V-10 – Perfis de pH obtidos na atual campanha de monitoramento.	135/667
Figura V-11 – Perfis de pH (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.	137/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-12 – Concentrações de pH observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.....	139/667
Figura V-13 – Perfis das concentrações de clorofila-a (µg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.	143/667
Figura V-14 - Mosaico de clorofila-a na superfície do mar do período de 01 a 08/02/2023 para a Bacia de Santos. O círculo cinza indica a localização de PMLZ.....	144/667
Figura V-15 – Concentrações de clorofila-a observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	147/667
Figura V-16 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	149/667
Figura V-17 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	151/667
Figura V-18 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	154/667
Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	155/667
Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	157/667
Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS (mg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.	162/667
Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	164/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-23 – Perfis das concentrações de COT obtidos na atual campanha de monitoramento.	167/667
Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.....	169/667
Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.....	171/667
Figura V-26 – Concentrações de HTP (µg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.....	177/667
Figura V-27 – Concentrações médias de n-alcanos (µg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	179/667
Figura V-28 – Concentrações de MCNR (µg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.....	181/667
Figura V-29 – Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) Skeletonema; (B) Chaetoceros; (C) Pleurosigma. Dinoflagelados: (D) Noctiluca; (E) Ceratium. Primnesiófita: (F) Coccolithus.	183/667
Figura V-30 – Taxa fitoplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMPR_MLZ . A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	186/667
Figura V-31 – Riqueza (número de taxa) das divisões e filos fitoplanctônicos ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	189/667
Figura V-32 – Box plots representativos dos valores de riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) encontradas no PMAEpro-BS_PMPR-MLZ.	194/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-33 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/L) das comunidades fitoplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	195/667
Figura V-34 – Densidade de organismos (ind/L) das divisões e filos fitoplanctônicos na PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das divisões $\pm$ desvio-padrão.....	197/667
Figura V-35 – Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (nits/ind) encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	198/667
Figura V-36 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades fitoplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	199/667
Figura V-37 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades)...	200/667
Figura V-38 – Riqueza (número de taxa) fitoplanctônicos nos quatro estratos (SUP, ACTC, TC e ABTC) da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).	201/667
Figura V-39 – Número de taxa fitoplanctônicos do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões e filos fitoplanctônicos. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	202/667
Figura V-40 – Densidade média de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das estações $\pm$ desvio-padrão.....	203/667
Figura V-41 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nos quatro estratos (SUP, ACTC, TC e ABTC) da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.....	204/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-42 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas estações e estratos (SUP, ACTC, TC e ABTC) da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade das divisões e filos fitoplanctônicos. A linha cinza representa a média de todas as amostras.....	205/667
Figura V-43 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica nas estações e estratos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	207/667
Figura V-44 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	210/667
Figura V-45 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. ..	211/667
Figura V-46 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplanctônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).....	212/667
Figura V-47 – Taxa de zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	215/667
Figura V-48 – Riqueza zooplanctônica (nº de taxa) ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	217/667
Figura V-49 – Box plots representativos dos valores de riqueza de taxa (número de taxa) das comunidades zooplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	222/667
Figura V-50 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/m³) das comunidades zooplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	224/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-51 – Densidade de organismos (ind/m ³) dos filos zooplancônicos na atual campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A barra verde representa a densidade média dos filos $\pm$ desvio-padrão.	225/667
Figura V-52 -Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades zooplancônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	226/667
Figura V-53 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades zooplancônicas encontradas nas 14 campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	227/667
Figura V-54 – Riqueza (Número de taxa) dos filos zooplancônicos nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.....	228/667
Figura V-55 – Densidade de organismos dos filos zooplancônicos (ind/m ³) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.....	229/667
Figura V-56 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade zooplancônica nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	230/667
Figura V-57 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de Trachurus symmetricus. Adaptado de Moser (1984).....	232/667
Figura V-58 – Taxa ictioplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo doPMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.....	233/667
Figura V-59 – Riqueza (nº de taxa) das classes e ordens ictioplancônicas ao longo das campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	235/667
Figura V-60 – Box plots representativos de riqueza ictioplancônica (nº de taxa) encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	239/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-61 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/100 m ³) das comunidades ictioplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	240/667
Figura V-62 – Densidade de organismos (ind/100 m ³) das ordens ictioplanctônicas da campanha PMAEpro-BSPMPR_MLZ_C14.. A barra verde representa a densidade média das ordens ± desvio-padrão.	242/667
Figura V-63 -Box plots representativos dos valores de diversidade médias (bits/ind) das comunidades ictioplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	243/667
Figura V-64 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade médias das comunidades ictioplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	244/667
Figura V-65 – Riqueza (número de taxa) das ordens e classes ictioplanctônicas nas estações e redes da campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.....	246/667
Figura V-66 – Densidade de organismos das ordens e classes ictioplanctônicas (ind/100m ³) nas estações e redes da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.....	247/667
Figura V-67 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade ictioplanctônica nas estações e redes da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	248/667
Figura V-68 – Contribuição percentual dos grãos do sedimento na atual campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	249/667
Figura V-69 – Diagramas de Shepard para as amostras de sedimento obtidas na atual campanha de monitoramento.....	257/667
Figura V-70 – Distribuição espacial das frações finas e grosseiras do sedimento na campanha PMAEpro-BS_MLZ_C14.....	259/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-71 – Concentrações médias de carbonato e desvio padrão (%) obtidas no sedimento da atual campanha de monitoramento ambiental. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	284/667
Figura V-72 – Distribuição espacial de concentração de carbonato no sedimento da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	286/667
Figura V-73 – Teores médios de carbonato (%) observados no entorno da plataforma do PMPR_MLZ.	288/667
Figura V-74 – Teores médios de carbonato (%) observados ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	289/667
Figura V-75 – Concentração média e desvio padrão de carbono orgânico total nas estações de sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	300/667
Figura V-76 – Concentração média e desvio padrão de matéria orgânica total no sedimento da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	301/667
Figura V-77 – Distribuições espaciais das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	304/667
Figura V-78 – Concentrações médias de COT (%) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	305/667
Figura V-79 – Concentrações médias de COT (%) observadas ao longo do gasoduto de Merluza nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	306/667
Figura V-80 – Concentrações médias de MOT (%) observadas ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	317/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-81 – Concentrações médias de MOT (%) observadas ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	318/667
Figura V-82 – Concentração média e desvio padrão de nitrogênio total do sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	330/667
Figura V-83 – Concentração média e desvio padrão de fósforo total no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	331/667
Figura V-84 – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14.....	332/667
Figura V-85 – Concentrações médias de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	333/667
Figura V-86 – Concentrações médias de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	334/667
Figura V-87 – Concentrações médias de fósforo total (mg/kg) ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	344/667
Figura V-88 – Concentrações médias de fósforo total (mg/kg) ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	345/667
Figura V-89 – Concentrações médias de enxofre total (mg/kg) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	356/667
Figura V-90 – Concentrações médias de enxofre total (mg/kg) ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	357/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-91 – Concentrações médias e desvio padrão (mg/kg) de ferro no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	367/667
Figura V-92 – Concentrações médias e desvio padrão (mg/kg) de alumínio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	368/667
Figura V-93 – Distribuição espacial dos metais ferro e alumínio (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. O valor de concentração apresentado refere-se a barra maior. A barra menor representa exatamente a metade da barra maior. A cor das barras refere-se a distribuição espacial dos metais: ferro (mg/kg) em verde claro e em verde escuro o alumínio (mg/kg).	369/667
Figura V-94 – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	372/667
Figura V-95 – Concentrações médias de ferro (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	373/667
Figura V-96 – Concentrações médias de alumínio (mg/kg) das amostras da plataforma, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	383/667
Figura V-97 – Concentrações médias de alumínio (mg/kg) das amostras do gasoduto, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	384/667
Figura V-98 – Concentrações médias e desvio padrão (mg/kg) de manganês no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	393/667
Figura V-99 – Distribuição espacial de manganês (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	394/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-100 – Concentrações médias de manganês (mg/kg) observadas na plataforma PMPR_MLZ.	395/667
Figura V-101 – Concentrações médias de manganês (mg/kg) observadas na amostras do gasoduto do PMPR_MLZ.	396/667
Figura V-102 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de bário no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	405/667
Figura V-103 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de vanádio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A verde laranja representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	406/667
Figura V-104 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	407/667
Figura V-105 – Distribuição espacial dos metais bário, vanádio e zinco (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	409/667
Figura V-106 – Concentrações médias de bário (mg/kg) observadas na plataforma PMPR_MLZ.	410/667
Figura V-107 – Concentrações médias de bário (mg/kg) observadas no gasoduto do PMPR_MLZ.	411/667
Figura V-108 – Concentrações médias de vanádio (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	422/667
Figura V-109 – Concentrações médias de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	423/667
Figura V-110 – Concentrações médias de zinco (mg/kg) nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	433/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-111 – Concentrações médias de zinco (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	434/667
Figura V-112 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de cromo no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	444/667
Figura V-113 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de chumbo no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	445/667
Figura V-114 – Distribuição espacial de cromo e chumbo (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	447/667
Figura V-115 – Concentrações médias de cromo (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	448/667
Figura V-116 – Concentrações médias de cromo (mg/kg) observadas nas amostras ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	449/667
Figura V-117 – Concentrações médias de chumbo (mg/kg) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	459/667
Figura V-118 – Concentrações médias de chumbo (mg/kg) observadas ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	460/667
Figura V-119 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de níquel no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	467/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-120 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de cobre no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	468/667
Figura V-121 – Distribuição espacial dos metais níquel e cobre (mg/kg) nos sedimentos da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	470/667
Figura V-122 – Concentrações médias de níquel (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	471/667
Figura V-123 – Concentrações médias de níquel (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	472/667
Figura V-124 – Concentrações médias de cobre (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	482/667
Figura V-125 – Concentrações médias de cobre (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	483/667
Figura V-126 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de arsênio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.	493/667
Figura V-127 – Distribuição espacial de arsênio (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	494/667
Figura V-128 – Concentrações média de arsênio (mg/kg) nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	495/667
Figura V-129 – Concentrações médias de arsênio (mg/kg) das amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	496/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-130 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de cádmio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.....	498/667
Figura V-131 – Distribuição espacial de cádmio (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	499/667
Figura V-132 – Concentrações média de cádmio (mg/kg) nas amostras ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	500/667
Figura V-133 – Concentrações médias de cádmio (mg/kg) das amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	501/667
Figura V-134 – Taxa (número cumulativo) de organismos macrobentônicos encontrados ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A linha preta representa a curva de Jackknife ¹ , ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	517/667
Figura V-135 – Riqueza (nº de taxa) de taxa dos filos macrobentônicos ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	519/667
Figura V-136 – Riqueza macrozoobentônica média (nº de taxa) das amostras de sedimento ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	524/667
Figura V-137 – Riqueza macrozoobentônica média (nº de taxa) encontrada nas amostras de sedimento ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	525/667
Figura V-138 – Densidades médias (ind/m ²) macrozoobentônicas encontradas ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	536/667
Figura V-139 – Densidades médias (ind/m ²) macrozoobentônicas encontrados ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	537/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-140 – Densidade média macrozoobentônica (ind/m ²) da atual campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A barra verde representa a densidade média dos filis ± desvio-padrão.	542/667
Figura V-141 - Diversidades (bits/ind) macrozoobentônica encontradas ao redor da plataforma do PMPR_MLZ.....	544/667
Figura V-142 - Diversidades (bits/ind) macrozoobentônicas encontradas ao longo do gasoduto do PMPR_MLZ.....	545/667
Figura V-143 - Equitabilidades macrozoobentônicas encontradas ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.....	555/667
Figura V-144 – Equitabilidades médias macrozoobentônicas encontradas ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.	556/667
Figura V-145 – Riqueza macrobentônica total (número de taxa) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média das estações.....	563/667
Figura V-146– Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	565/667
Figura V-147 – Densidade média macrozoobentônica (ind/m ²) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média das estações.....	566/667
Figura V-148 – Distribuição espacial da densidade média (ind/m ²) da macrofauna bentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	567/667
Figura V-149 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade macrozoobentônica nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	568/667
Figura V-150 – Distribuição espacial da diversidade macrozoobentônica (bits/ind) na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	569/667

FIGURAS	PÁG.
Figura V-151 – Distribuição espacial da equitabilidade da macrozoobentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	570/667
Figura V-152 - Dendrograma de agrupamento (Cluster) do macrozoobentos nas estações de sedimento na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	573/667
Figura V-153 - Escalonamento multidimensional (MDS) do macrozoobentos das estações na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	574/667
Figura VI.1-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	576/667
Figura VI.1-2 – Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP, para os dados da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	579/667
Figura VI.1-3 – Análise de agrupamento das diferentes amostras de fitoplâncton da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	580/667
Figura VI.1-4 – Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	581/667
Figura VI.1-5 – Relação da temperatura com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	585/667
Figura VI.1-6 – Relação da salinidade com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	585/667
Figura VI.1-7 – Relação de MPS, OD e COT com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	586/667

FIGURAS	PÁG.
Figura VI.1-8 – Relação de pH com a densidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14....	586/667
Figura VI.1-9 – Relação da temperatura com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	587/667
Figura VI.10- – Relação da salinidade com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	587/667
Figura VI.1-11 – Relação de MPS, OD e COT com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	588/667
Figura VI.1-12 – Relação de pH com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14....	588/667
Figura VI.1-13 – Relação da temperatura com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	589/667
Figura VI.1-14 – Relação de salinidade com a densidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	589/667
Figura VI.1-15 – Relação do MPS, OD e COT com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	590/667
Figura VI.1-16 – Relação de silicato com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	590/667
Figura VI.1-17 – Relação da temperatura com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_C14.	591/667
Figura VI.1-18 – Relação da salinidade com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	591/667

FIGURAS	PÁG.
Figura VI.1-19 – Relação do MPS, OD e COT com a equitabilidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	592/667
Figura VI.1-20 – Relação de pH com a equitabilidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	592/667
Figura VI.2-2 – Análise de componentes principais entre as variáveis ambientais (granulometria, matéria orgânica e nutrientes) e os indicadores biológicos de macrozoobentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	597/667
Figura VI.2-3 – Análise de componentes principais entre os metais e os indicadores biológicos de macrozoobentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.	600/667
Figura VI.2-4 – Análise de agrupamento, relacionando dados ambientais e bióticos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	601/667
Figura VI.2-5 – Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.....	602/667

ANEXOS

Anexo X-1 – Carta de Aceite de Material Biológico
Anexo X-2 – Laudos analíticos das amostras físico-químicas
Anexo X-3 – Laudos analíticos das amostras biológicas
Anexo X-4 – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica
Anexo X-5 – Ressalva Zooplâncton
Anexo X-6 – Análise de enxofre

I - INTRODUÇÃO

Conforme o Relatório de Avaliação Ambiental (RAA), que subsidiou o licenciamento ambiental da atividade de Merluza (processo IBAMA/MMA nº 02022.010930/2002), elaborado em 2007, há impactos previstos decorrentes do descarte de água de produção em mar aberto e da presença das estruturas necessárias à produção pelo empreendimento de Merluza. Tais aspectos podem afetar os compartimentos água, sedimento e biotas associadas (PETROBRAS/FUGRO, 2007). Assim, visando o atendimento da Licença de Operação 1004/2011, de 25 de fevereiro de 2011, e com o intuito de verificar e monitorar a qualidade ambiental na área de influência direta das atividades e de se identificar a ocorrência de possíveis impactos na região, deu-se início a execução do Projeto de Monitoramento Ambiental (PMA) da atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, Bacia de Santos (PMAEpro-BS_PMPR_MLZ).

A primeira campanha do projeto foi realizada em janeiro de 2010 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), e todas as demais campanhas ocorreram com periodicidade anual tendo como referência a primeira campanha. Todas as campanhas se referem à fase de operação do empreendimento, estão detalhadas abaixo, no Quadro I-1.

Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ com seus períodos de realização durante a fase de Operação do empreendimento.

Campanha	Data	Fase
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C1	janeiro de 2010	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C2	dezembro de 2010	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C3	dezembro de 2011	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C4	janeiro de 2013	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C5	janeiro de 2014	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C6	janeiro e fevereiro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C7	novembro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C8	novembro de 2016	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C9	dezembro de 2017	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C10	novembro de 2018	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C11	janeiro de 2020	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C12	dezembro de 2020	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C13	novembro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14	fevereiro de 2023	operação

O presente relatório descreve os procedimentos técnicos realizados em campo, as metodologias de análise e os resultados obtidos durante a 14ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza (PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14). A campanha foi realizada no período de 02 a 09 de fevereiro de 2023, a bordo do navio de pesquisa RV *Ocean Stalwart*, e envolveu a coleta de amostras e análise de parâmetros físicos e químicos da água e sedimento, e parâmetros biológicos do plâncton e da macrofauna bentônica. Os resultados obtidos foram tratados com o intuito de investigar os possíveis impactos decorrentes, principalmente, do descarte de água de produção em mar aberto e da presença das estruturas necessárias à atividade de produção pelo empreendimento de Merluza.

II - OBJETIVO

O objetivo principal do PMA da atividade de Merluza é monitorar e avaliar a qualidade ambiental na área de influência direta do empreendimento, permitindo a identificação de possíveis impactos decorrentes da atividade de operação da unidade de produção.

A campanha relatada neste documento teve por objetivo acompanhar as possíveis alterações ocorridas nos aspectos da qualidade da água e do sedimento e na comunidade biológica da área de influência direta do empreendimento.

II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente campanha apresenta como objetivos específicos:

- Monitorar as características físicas e químicas da água do mar e do sedimento marinho na área de influência do empreendimento;
- Caracterizar quali-quantitativamente as comunidades planctônicas e bentônicas da região; e
- Comparar os resultados obtidos com a legislação aplicável, bem como os dados de campanhas anteriores e com a bibliografia disponível, quando pertinente.

III - ÁREA DE ESTUDO

III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPOS DE MERLUZA E LAGOSTA

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km², entre os paralelos 23º e 28º Sul. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos, no Alto de Cabo Frio, e ao sul com a Bacia de Pelotas, no Alto de Florianópolis. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca, enquanto 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). O limite batimétrico da bacia de Santos é considerado, atualmente, em cerca de 2.000 m de lâmina d'água (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006) (Figura III-1).

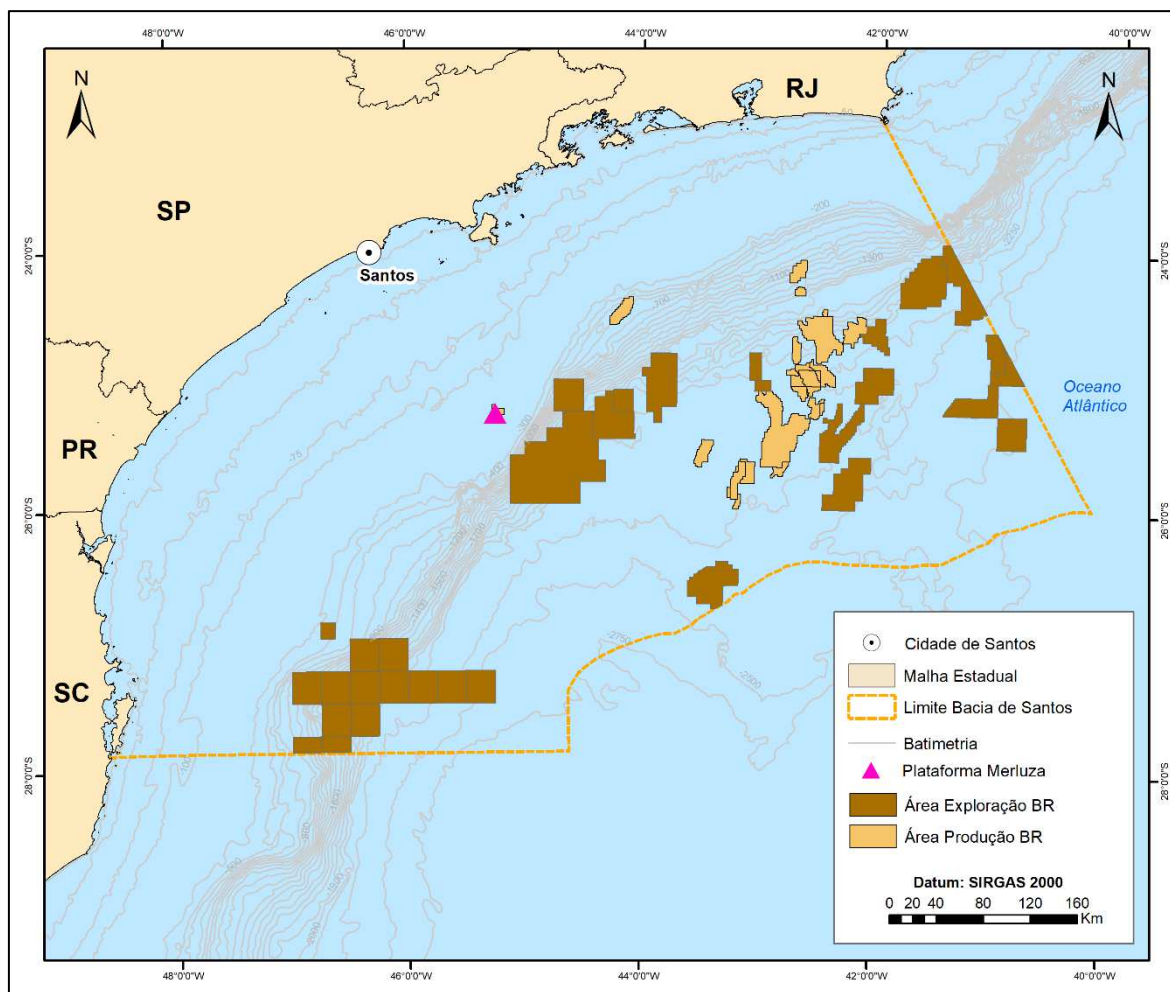


Figura III-1 – Mapa localização da cidade de Santos, da plataforma MLZ-1 na área de produção BR, e limites da Bacia de Santos.

O Campo de Merluza e Lagosta está localizado na porção central do Bloco de Exploração BS-1, pertencente à Bacia de Santos, no litoral do Estado de São Paulo, a cerca de 180 km da costa, na direção da cidade de Santos. O Campo ocupa uma área de aproximadamente 29 km², em lâmina d'água em torno de 130 m (Figura III-2).

Para fins de comparação, no presente Relatório Técnico, foram considerados os resultados obtidos pelo Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos (PCR-BS), estudo desenvolvido com o objetivo de caracterizar ambientalmente a Bacia de Santos, em escala regional, de forma a auxiliar o entendimento da dinâmica desse ecossistema (Petrobras, 2022a, 2022b).

III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

Em 1979, houve a primeira descoberta nos reservatórios da sequência pós-salífera na Bacia de Santos, em arenitos turbidíticos da formação Itajaí-Açu, no Campo de Merluza, com a perfuração do poço pioneiro 1-SPS-11 pela PECTEN, subsidiária da Shell. A plataforma de Merluza PMLZ-1, do tipo fixa, foi instalada em 1989, e a perfuração e a finalização dos poços de desenvolvimento foram feitas em 1991 (PETROBRAS/ICF, 2010).

A época da execução da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14, a PMLZ-1 encontrava-se interligada a sete poços produtores, todos fechados (7-MLZ-1D-SPS, 7-MLZ-2D-SPS, 7-MLZ-3D-SPS, 7-MLZ-4D-SPS, 7-MLZ-5D-SPS, 7-MLZ-6D-SPS e 7-LAG-1HA-SPS) (Figura III-2), tendo em conta a interrupção da produção em março de 2020. O escoamento da produção se dava por um gasoduto de 16 polegadas de diâmetro e 215 km, sendo 186 km no mar, e 29 km em terra, interligando a plataforma ao município de Praia Grande, de onde a produção segue até a Unidade de Gás Natural (UGN) existente na Refinaria Presidente Bernardes (RPBC), em Cubatão.

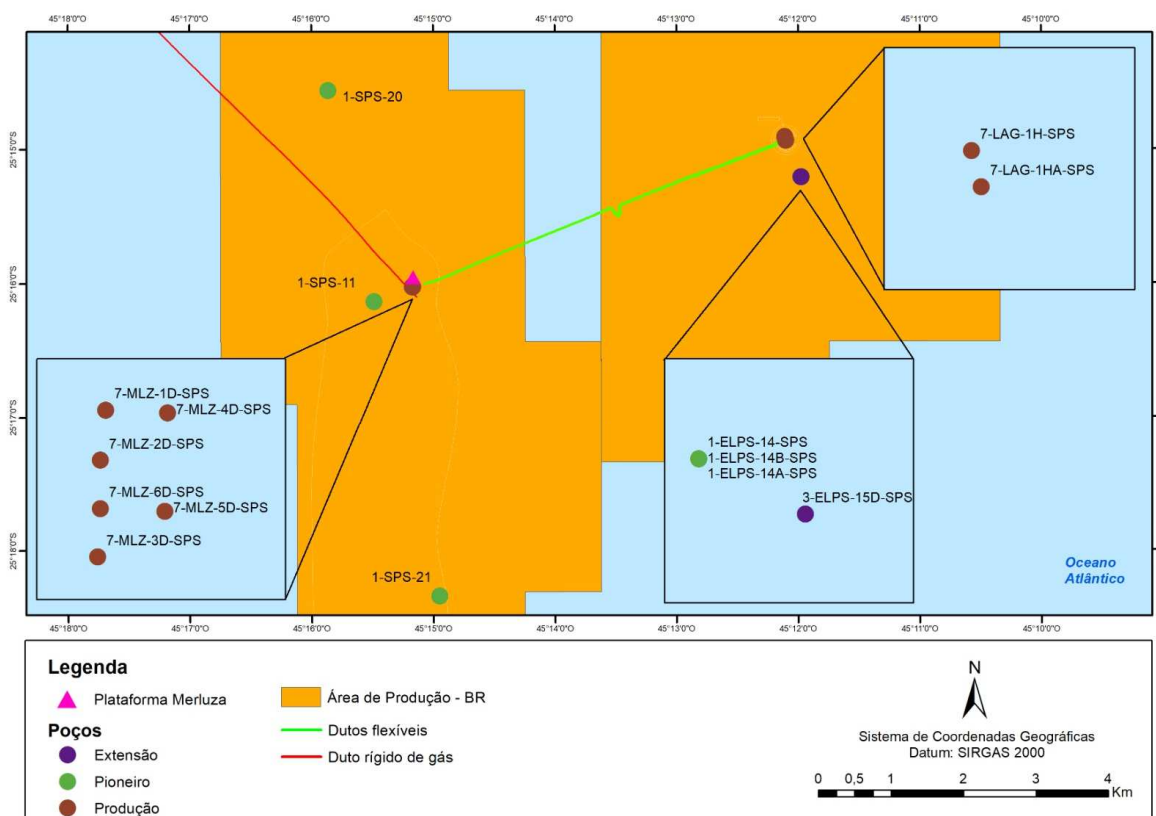
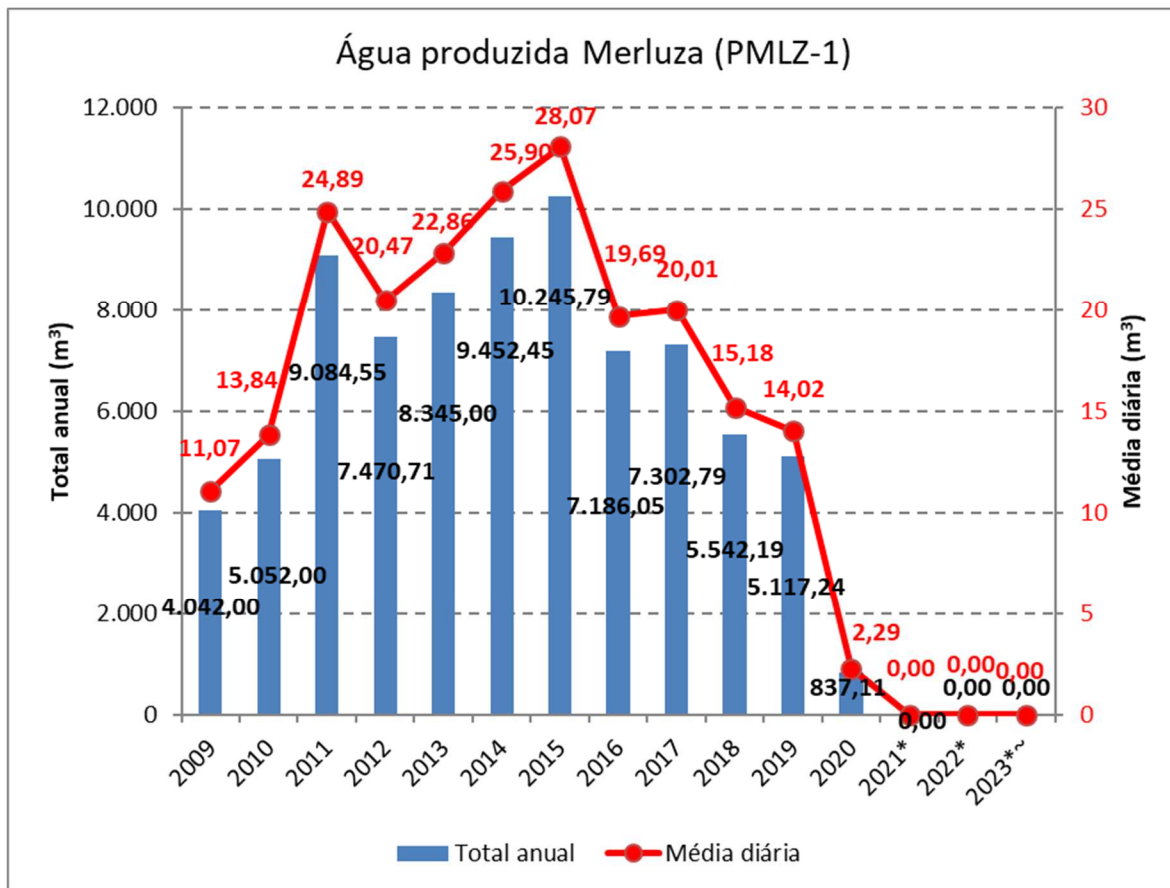


Figura III-2 - Bloco de Produção BS-1 e as localizações da Plataforma e do Gasoduto de Merluza e dos poços interferentes na região.

Em atendimento a Resolução CONAMA nº 393/2007 e a NT IBAMA 01/2011, a Petrobras realiza o monitoramento da água produzida e demais efluentes descartados pela plataforma, através do controle dos volumes descartados e da realização de ensaios físico-químicos e ecotoxicológicos, conforme periodicidade estipulada pelos instrumentos legais supracitados.

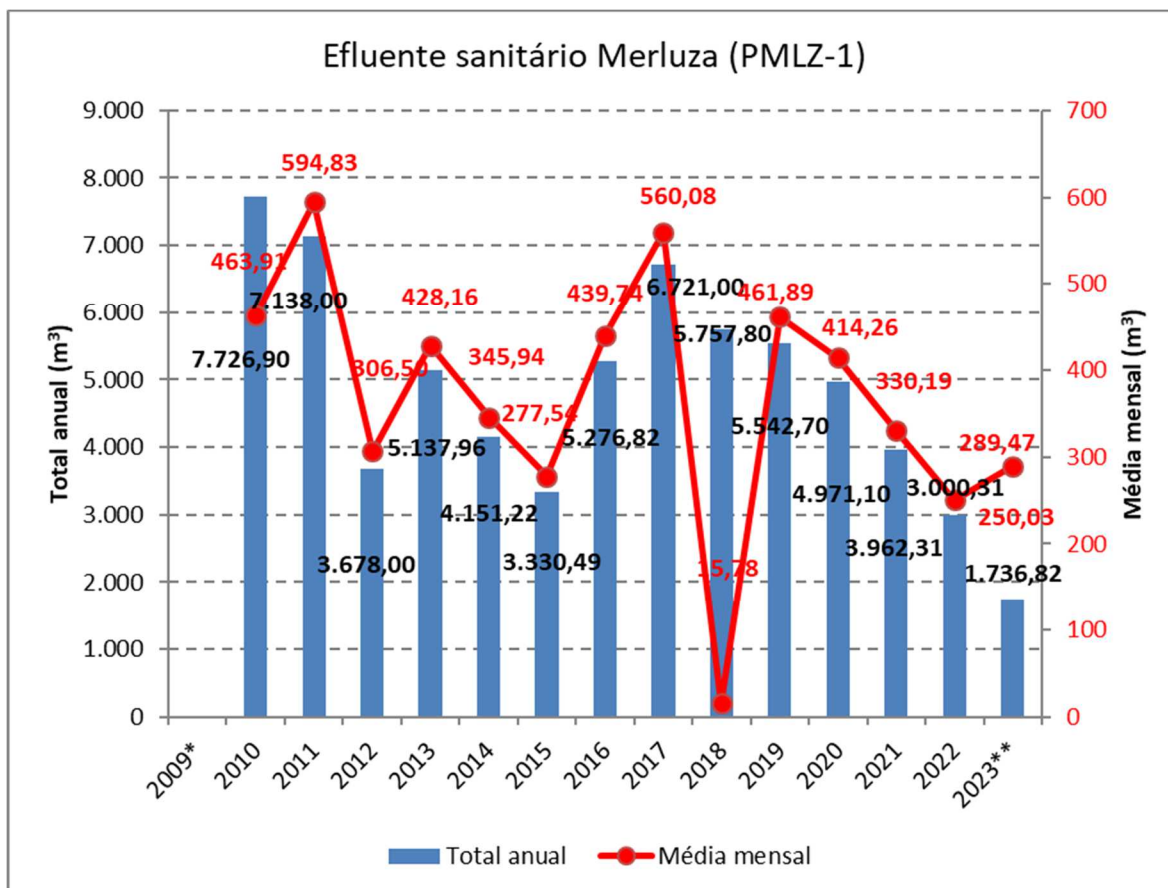
Os volumes descartados pela PMLZ-1 no período de 2009 a 2023 são apresentados a seguir, na Figura III-3, Figura III-4 e Figura III-5. Importante ressaltar que não houve descarte de água produzida durante o período de realização das coletas de água da presente campanha, sendo que o descarte se encontra fechado desde março de 2020, em virtude da interrupção da produção.



* Não houve descarte de água produzida.

~Período de janeiro a junho de 2023

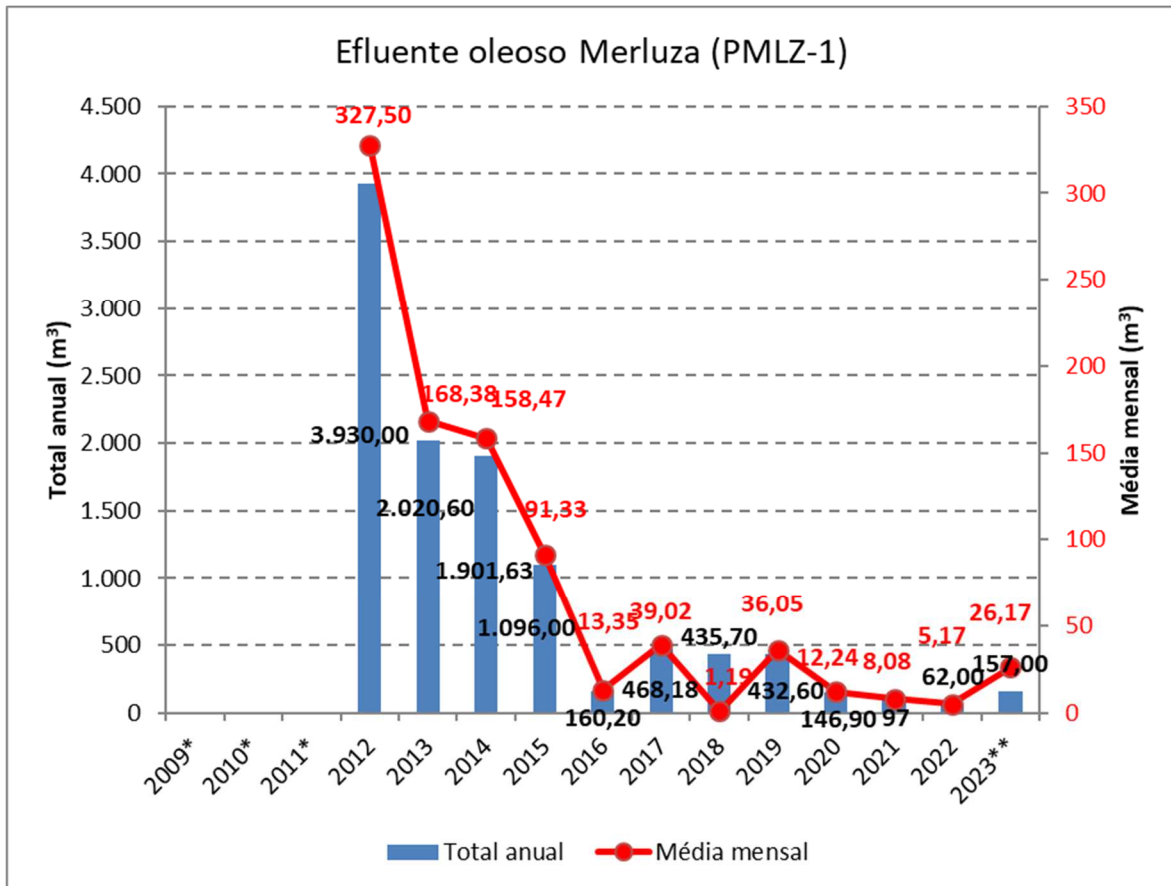
Figura III-3 – Volume de Água produzida descartada pela PMLZ-1.



* Não houve medição

** Período de janeiro a junho de 2023

Figura III-4 – Volume de efluente sanitário descartado pela PMLZ-1.



* Não houve medição

** Período de janeiro a junho de 2023

Figura III-5 – Volume de efluente oleoso descartado pela PMLZ-1.

Como não houve descarte de água produzida durante a realização desta campanha, consequentemente, não foram realizadas análises físico-químicas e ecotoxicológicas da água de produção.

Já os resultados das análises dos efluentes sanitários da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) existente na plataforma PMLZ-1 referentes ao 1º trimestre de 2023 são apresentados na Tabela III-1.

Tabela III-1 – Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE na PMLZ-1 para o 1º trimestre de 2023.

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE	DBO Entrada	770,00	mg O ₂ /L
ETE	DQO Entrada	1.750,00	mg O ₂ /L
ETE	DBO Saída	431,00	mg O ₂ /L
ETE	DQO Saída	855,00	mg O ₂ /L
ETE	TOG Total	31	mg/L
ETE	TOG Mineral	-	mg/L
ETE	TOG Vegetal	-	mg/L
ETE	pH	7,00	-
ETE	Cloro Residual	2,00	mg/L
ETE	Coliformes Totais	1.000,00	NMP/100mL
ETE	Clorobenzenos	< 6,2	µg/L
ETE	Dicloroetano	< 0,3	µg/L
ETE	Tricloroetano	< 0,3	µg/L
ETE	Clorofórmio	28,70	µg/L
ETE	Tetracloroeto de Carbono	< 0,5	µg/L
ETE	PCBs totais	< 0,011	µg/L

IV - MATERIAL E MÉTODOS

IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO

A 14ª campanha de monitoramento ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, Bacia de Santos (campanha da fase de operação), foi realizada entre os dias 02 e 09 de fevereiro de 2023 a bordo do navio de pesquisa RV *Ocean Stalwart* (Figura IV-1).



Fonte: Petrobras/Oceanpact, 2023

Figura IV-1 – Embarcação RV *Ocean Stalwart*.

As amostragens da campanha foram iniciadas no dia 03/02/2022 às 03h07min, com a coleta de sedimento e biota bentônica, na estação MLZ_D_3R, e encerradas no dia 08/02/2023 às 09h47min, com a realização de coleta de sedimento e biotas

bentônica na estação MLZ_1. As operações de coleta ocorreram em regime de trabalho de 24 horas.

O desembarque das amostras coletadas ocorreu entre às 14h30min e 17h40min no dia 09/02/2023, no Porto Mac Laren, em Niterói/RJ, com o envio das remessas de amostras aos laboratórios de análise.

A malha amostral de sedimento e macrofauna bentônica foi composta de 8 estações ao longo do gasoduto de Merluza e 10 estações distribuídas ao redor da plataforma PMLZ-1 (8 estações posicionadas em dois círculos concêntricos com raios de 500 e 1.000 m, respectivamente, dispostas ortogonalmente entre si, e 2 estações a 2.000 m de distância da plataforma, no eixo paralelo às cotas batimétricas) (Figura IV-2). Na Tabela IV-1 encontram-se as coordenadas originais e executadas de coleta para o compartimento sedimento.

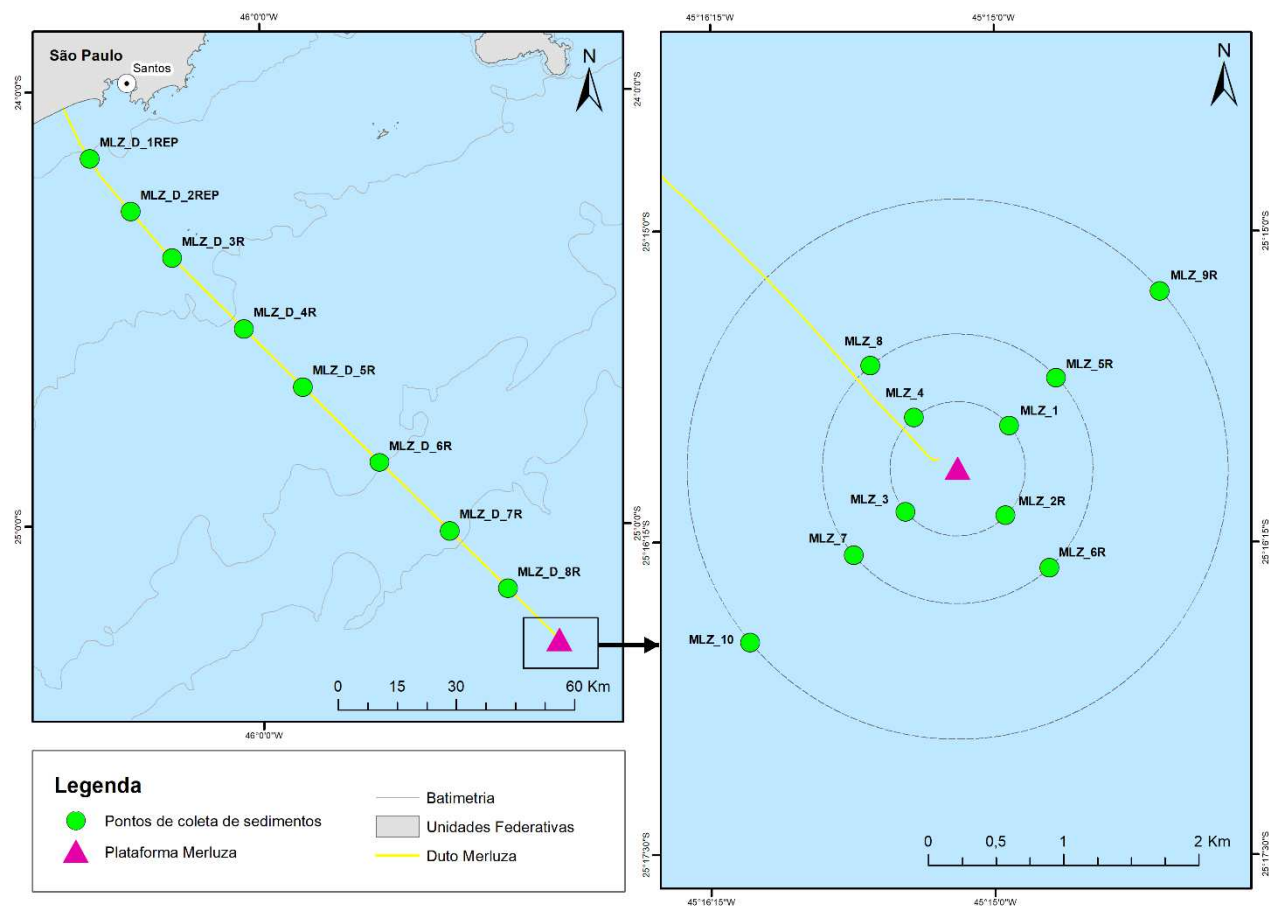


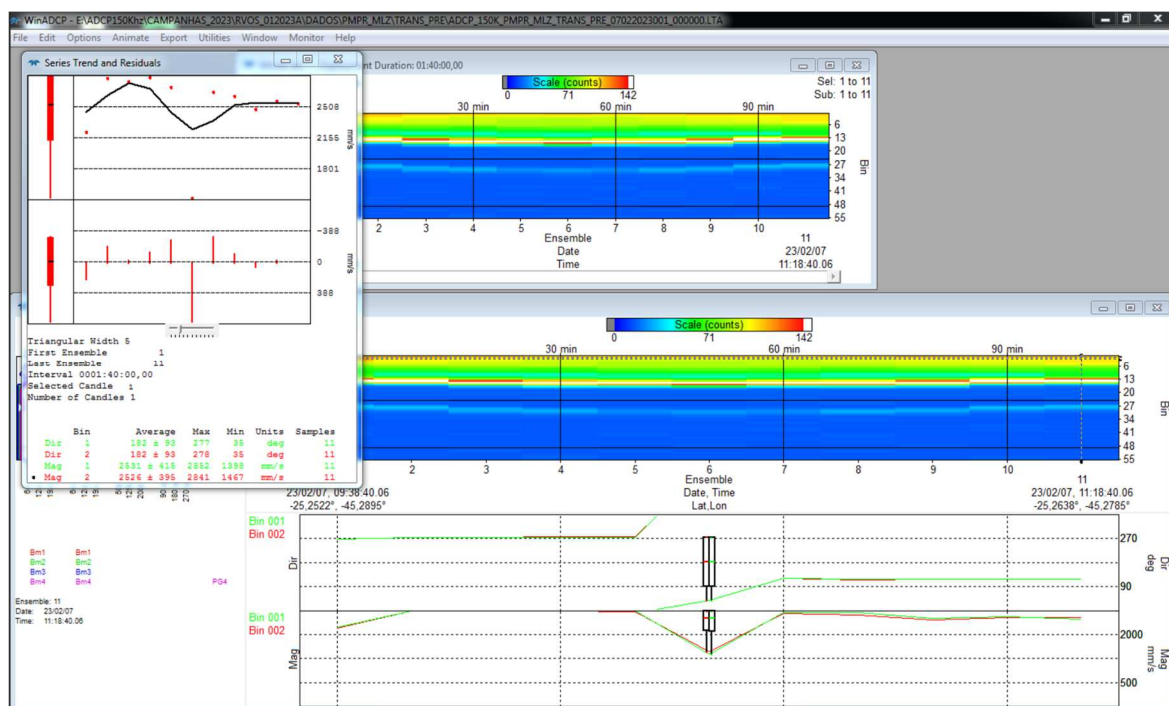
Figura IV-2 – Mapa da malha amostral de sedimento e bentos ao longo do gasoduto e no entorno da plataforma PMLZ-1 durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Tabela IV-1 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°W) originais e executadas das estações de coleta para o compartimento sedimento e bentos da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Estação	Coordenadas Originais		Coordenadas Executadas					
			Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	Este
MLZ_1	7205904,33	474936,54	7205895,87	474929,14	7205885,11	474952,49	7205907,52	474940,96
MLZ_2R	7205235,37	474910,29	7205225,59	474914,20	7205233,11	474903,55	7205234,70	474911,56
MLZ_3	7205261,63	474170,60	7205247,23	474149,75	7205252,91	474164,34	7205253,89	474145,39
MLZ_4	7205965,95	474232,22	7205966,39	474235,32	7205964,20	474225,53	7205963,85	474224,84
MLZ_5R	7206261,45	475283,85	7206241,93	475292,77	7206255,62	475279,26	7206254,76	475294,00
MLZ_6R	7204849,42	475234,33	7204838,31	475214,78	7204836,51	475225,96	7204836,22	475218,76
MLZ_7	7204940,22	473787,56	7204931,94	473774,64	7204933,02	473781,14	7204938,80	473770,64
MLZ_8	7206349,00	473910,80	7206338,03	473895,09	7206354,81	473905,69	7206342,53	473890,96
MLZ_9R	7206903,71	476050,48	7206900,70	476045,30	7206894,72	476043,59	7206895,39	476042,09
MLZ_10	7204297,43	473021,51	7204281,67	473020,86	7204284,98	473013,40	7204285,95	473015,11
MLZ_D_1REP	7328026,96	355107,73	7328030,96	355121,16	7328036,20	355113,30	7328036,57	355092,48
MLZ_D_2REP	7314582,41	365494,40	7314578,85	365504,49	7314574,73	365497,80	7314574,22	365496,60
MLZ_D_3R	7302777,03	375999,11	7302776,41	376008,50	7302762,18	376012,26	7302769,80	376003,42
MLZ_D_4R	7284708,16	394294,81	7284709,97	394294,01	7284701,99	394296,16	7284703,73	394299,38
MLZ_D_5R	7269920,33	409275,97	7269933,08	409270,42	7269936,89	409264,07	7269928,03	409262,85
MLZ_D_6R	7250652,40	428792,20	7250644,16	428790,97	7250641,81	428793,87	7250649,38	428797,89
MLZ_D_7R	7233130,37	446645,17	7233122,42	446651,22	7233123,16	446652,45	7233128,45	446653,31
MLZ_D_8R	7218536,36	461429,28	7218536,84	461429,28	7218536,06	461431,01	7218537,05	461425,10

Todas as estações ao longo do gasoduto (MLZ_D_1 a MLZ_D_8) e as estações MLZ_2, MLZ_5, MLZ_6 e MLZ_9, ao redor da plataforma, foram realocadas anteriormente e as posições realocadas foram mantidas na presente campanha.

Para a malha de amostragem de água, inicialmente, foi realizada uma medição da corrente no local, através de perfilagem com o ADCP de casco do navio através de dois transectos de 8 km de comprimento, um localizado 500 m à montante da plataforma e o outro, 500 m a jusante (Figura IV-3).



Fonte: Petrobras/Oceanpact, 2023b (RL-3A16 00-5521-996-OC8-002=C.pdf).

Figura IV-3 – Dados de ADCP para determinação da direção preferencial da corrente utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton.

Após a determinação da direção e intensidade da corrente na área, as coletas de água foram realizadas em nove estações com posição definida em campo. As estações foram dispostas da seguinte maneira: uma estação a montante a 1.000 m de distância da plataforma e 8 estações a jusante distantes 100, 250, 500 e 1.000 m sendo que, nas distâncias de 500 e 1.000 m foram posicionadas três estações dispostas em ângulo de 15° entre si.

A Figura IV-4 apresenta o mapa com a malha amostral para a coleta das amostras de água e plâncton, orientada conforme a corrente verificada a 182°, em profundidade de aproximadamente 21 m.

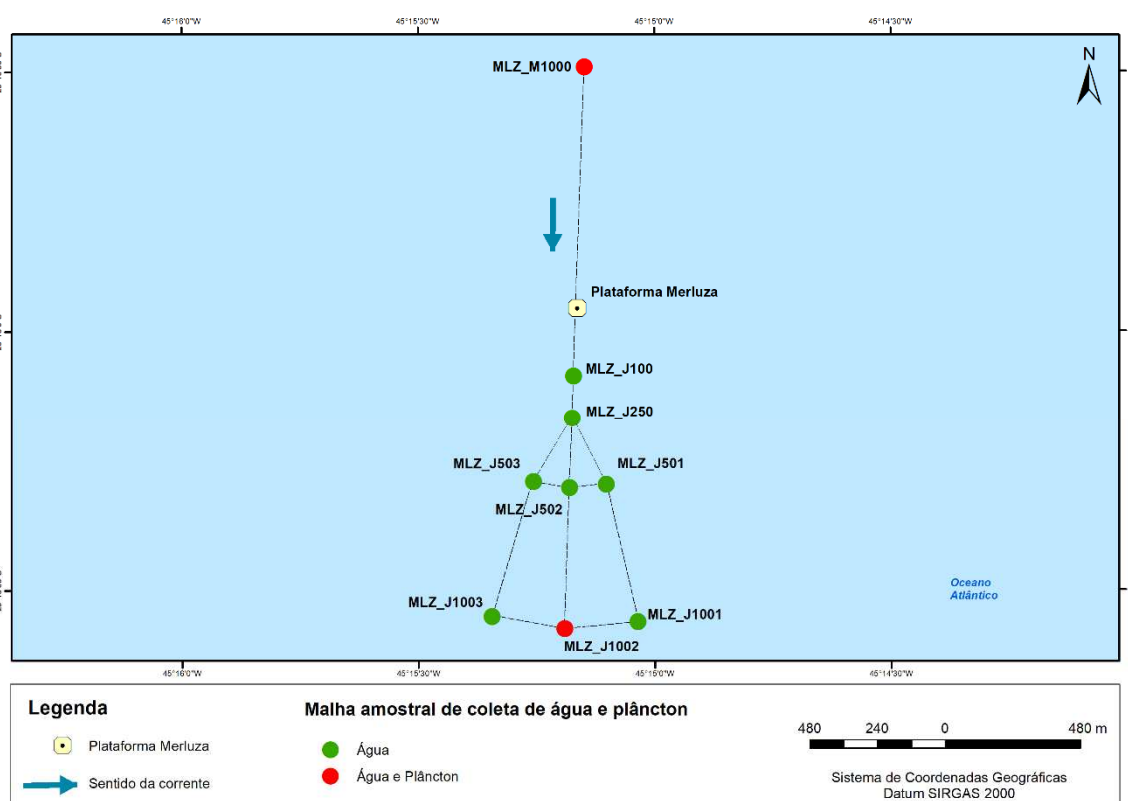


Figura IV-4 – Mapa da malha amostral para coleta de água e plâncton durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

As coordenadas das estações de coleta de água e plâncton realizadas durante a campanha podem ser observadas no Tabela IV-2.

Tabela IV-2 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Estações	N	E	Compartimento
MLZ_M1000	7206439,88	474579,52	Água e plâncton
MLZ_J100	7205340,55	474541,14	Água
MLZ_J250	7205190,64	474535,90	Água
MLZ_J501	7204953,30	474657,10	Água
MLZ_J502	7204940,79	474527,18	Água
MLZ_J503	7204962,33	474398,44	Água
MLZ_J1001	7204466,11	474769,58	Água
MLZ_J1002	7204441,09	474509,73	Água e plâncton
MLZ_J1003	7204484,18	474252,25	Água

Cabe destacar que, ao término das amostragens, foi realizada nova medição da corrente no local através de perfilagem com o ADCP de casco do navio, nos mesmos transectos previamente perfilados, quando os dados mostraram a corrente com direção de 194º, também a aproximadamente 21 m de profundidade.

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento das amostras de água, plâncton, sedimento e bentos empregados durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14, foram realizados em conformidade com o escopo da campanha, informações obtidas na reunião de pré-campanha e com o protocolo de coleta elaborado pelo CENPES (PDEDS/AMA, 2019).

IV.1.1 - Qualidade da Água

Em cada estação de coleta de água do mar, foram realizadas amostragens em quatro níveis, definidas de acordo com a profundidade da termoclina verificada através de perfilagens com CTD no momento das amostragens, da seguinte maneira:

- superfície (SUP) – até 10 m da lâmina d'água;
- acima da termoclina (ACTC) – em meia profundidade entre superfície e termoclina;
- termoclina (TC) – na profundidade onde foi identificada a termoclina;
- abaixo da termoclina (ABTC) – profundidade da termoclina acrescida do valor da meia profundidade entre superfície e termoclina.

As profundidades dos estratos de cada estação são apresentadas na Tabela IV-3.

Tabela IV-3 – Profundidades das diferentes camadas amostradas nas coletas de água e fitoplâncton na atual campanha.

Estações	Níveis	Profundidade (m)
MLZ_M1000	SUP	5,00
	ACTC	7,00
	TC	13,00
	ABTC	20,00
MLZ_J100	SUP	5,00
	ACTC	8,00
	TC	16,00
	ABTC	24,00
MLZ_J250	SUP	5,00
	ACTC	7,00
	TC	13,00
	ABTC	20,00
MLZ_J501	SUP	5,00
	ACTC	8,00
	TC	15,00
	ABTC	23,00
MLZ_J502	SUP	5,00
	ACTC	11,00
	TC	22,00
	ABTC	33,00
MLZ_J503	SUP	5,00
	ACTC	11,00
	TC	21,00
	ABTC	32,00
MLZ_J1001	SUP	5,00
	ACTC	12,00
	TC	23,00
	ABTC	35,00
MLZ_J1002	SUP	5,00
	ACTC	10,00
	TC	20,00
	ABTC	30,00
MLZ_J1003	SUP	5,00
	ACTC	12,00
	TC	23,00
	ABTC	35,00

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

As amostragens foram realizadas com a utilização de um conjunto composto por uma rosette para 24 garrafas de coleta, um CTD SBE 911 plus e garrafas oceanográficas de 10 litros do tipo Niskin e do tipo Go-flo (Figura IV-5). Um disco de Secchi (Figura IV-6) também foi acoplado a Rosette para determinação da transparência da coluna d'água nas estações cujas coletas das amostras de água foram realizadas durante o período do dia. As amostras de água foram coletadas entre 09:43 do dia 07/02/2023 e 04:08 do dia 08/02/2023, sendo ocasionalmente interrompidas para coleta do plâncton durante o final da tarde e início da noite do dia 07/02/2023.

Os critérios utilizados para a validação das amostras de água foram os seguintes:

- fechamento das garrafas oceanográficas;
- funcionamento das garrafas oceanográficas; e
- ausência de bolhas nas amostras de BTEX e OD.



Figura IV-5 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.



Fonte: Petrobras/Oceanpact, 2023 (RL-3A16.00-5521-996-OC8-002=C.pdf)

Figura IV-6 – Em vermelho, disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Foi realizada coleta de um branco de frascaria para o compartimento água. O branco de frascaria consistiu em três garrafas de vidro âmbar de 1 L (devido aos diferentes preservantes para hidrocarbonetos, COT e fenóis), dois frascos de polipropileno (devido aos diferentes preservantes para sulfetos e nutrientes) e um frasco VIAL selecionados aleatoriamente para avaliar os recipientes utilizados no acondicionamento das amostras. Os parâmetros analisados no branco de frascaria foram os hidrocarbonetos, fenóis, COT, BTEX, sulfetos e nutrientes.

As garrafas e frascaria utilizada, o volume coletado e os métodos de preservação e acondicionamento para cada parâmetro amostrado na água são apresentados no Quadro IV-1.

Quadro IV-1 – Parâmetros, volumes, acondicionamento e preservação das amostras de água e plâncton coletadas durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

PARÂMETROS	EQUIPAMENTO	VOLUME	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	ACONDICIONAMENTO
n-alcanos, MCNR, HTP	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
HPA	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
Fenóis	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	H ₂ SO ₄	Refrigeração entre 0-6°C
Sulfetos	Garrafa go-flo	100 mL	Frasco polietileno de alta densidade	Acetato de zinco	Refrigeração entre 0-6°C
COT	Garrafa go-flo	250 mL	Frasco de vidro âmbar	H ₃ PO ₄	Refrigeração entre 0-6°C
BTEX	Garrafa go-flo	2 x 40 mL	Frasco VIAL de vidro	HCl	Refrigeração entre 0-6°C
Nutrientes	Garrafa go-flo	2 x 500 mL	Frasco polietileno de alta densidade	-	Congelamento a ≤ -20°C
MPS	Garrafa Niskin	2 L (volume filtrado)	membrana de acetato de celulose (47 mm, 0,45 µm)	-	Congelamento a ≤ -20°C
Clorofila-a	Garrafa Niskin	2 L (volume filtrado)	Filtro de fibra de vidro (tipo GF/F1)	-	Congelamento a ≤ -80°C
Fitoplâncton	Garrafa go-flo	1 L	Frasco polietileno escuros	Formaldeído 2%	Temperatura ambiente
Zooplâncton	Rede cilindro-cônica	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente
Ictioplâncton	Rede bongô	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente

Ressalta-se que as primeiras amostras a serem drenadas das garrafas foram destinadas às análises de BTEX e OD. As amostras para análise de COT foram coletadas diretamente da garrafa oceanográfica, sem nenhum tipo de filtração. Os filtros para determinação de MPS foram pesados antes e após a filtração em laboratório especializado em terra.

Dois parâmetros foram medidos *in situ*: OD e pH. Para a análise de OD, foi utilizado um frasco de DBO, que foi preenchido três vezes até o transbordamento de sua capacidade, sendo mantido o volume do terceiro enchimento. O enchimento do frasco foi realizado de forma cuidadosa, colocando-se o tubo plástico de drenagem da garrafa no fundo do frasco de modo a se evitar a formação de bolhas. Foi utilizada uma bureta digital eletrônica Vitlab que consiste em uma adaptação automatizada do método de Winkler para titulação de oxigênio dissolvido. As análises foram realizadas em triplicata. A segunda amostra drenada foi utilizada para a determinação do pH. Os cuidados para a coleta deste parâmetro foram os mesmos realizados para a coleta de OD. As medições foram realizadas através de um pHmetro, cujo eletrodo era inserido nas alíquotas até que se houvesse a estabilização e definição dos valores. As amostras de MPS e clorofila-a foram filtradas a bordo, e somente os filtros com o material de interesse foram armazenados.

IV.1.2 - Fitoplâncton

As coletas de fitoplâncton foram realizadas concomitantemente às coletas das amostras de água, através de garrafas go-flo, nas quatro profundidades de cada estação definidas para coleta do plâncton (MLZ_M1000 e MLZ_J1002). As garrafas e frascaria utilizada, o volume coletado e os métodos de preservação e acondicionamento das amostras de fitoplâncton são apresentados no Quadro IV-1.

IV.1.4 - Zooplâncton e Ictioplâncton

As amostras de zooplâncton foram coletadas em arrastos verticais no sentido termoclina-superfície, com uma rede cilindro-cônica de malha 200 μ m, com 2 m de comprimento total e com diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-7).



Figura IV-7 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 μ m para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMAEpro_PMPR_MLZ_C14.

As amostras de ictioplâncton foram coletadas em arrastos oblíquos, no sentido termoclina-superfície, com rede bongô de malhas de 300 e 500 μm , com comprimento de 2 m e diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-8).

Os arrastos foram realizados entre 17:08 e 18:49 do dia 07/02/2023. A fim de calcular os volumes de água filtrados (apresentados na Tabela IV-4), um fluxômetro foi acoplado à boca das redes.

Tabela IV-4 - Volumes de água do mar filtrados durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Grupo	Estação	Tipo de arrasto	Malha (μm)	Volume filtrado (m^3)
Ictioplâncton	MLZ_J1002	oblíquo	300	83,37
Ictioplâncton	MLZ_J1002	oblíquo	500	78,75
Zooplâncton	MLZ_J1002	vertical	200	23,05
Ictioplâncton	MLZ_M1000	oblíquo	300	46,92
Ictioplâncton	MLZ_M1000	oblíquo	500	41,54
Zooplâncton	MLZ_M1000	vertical	200	23,38

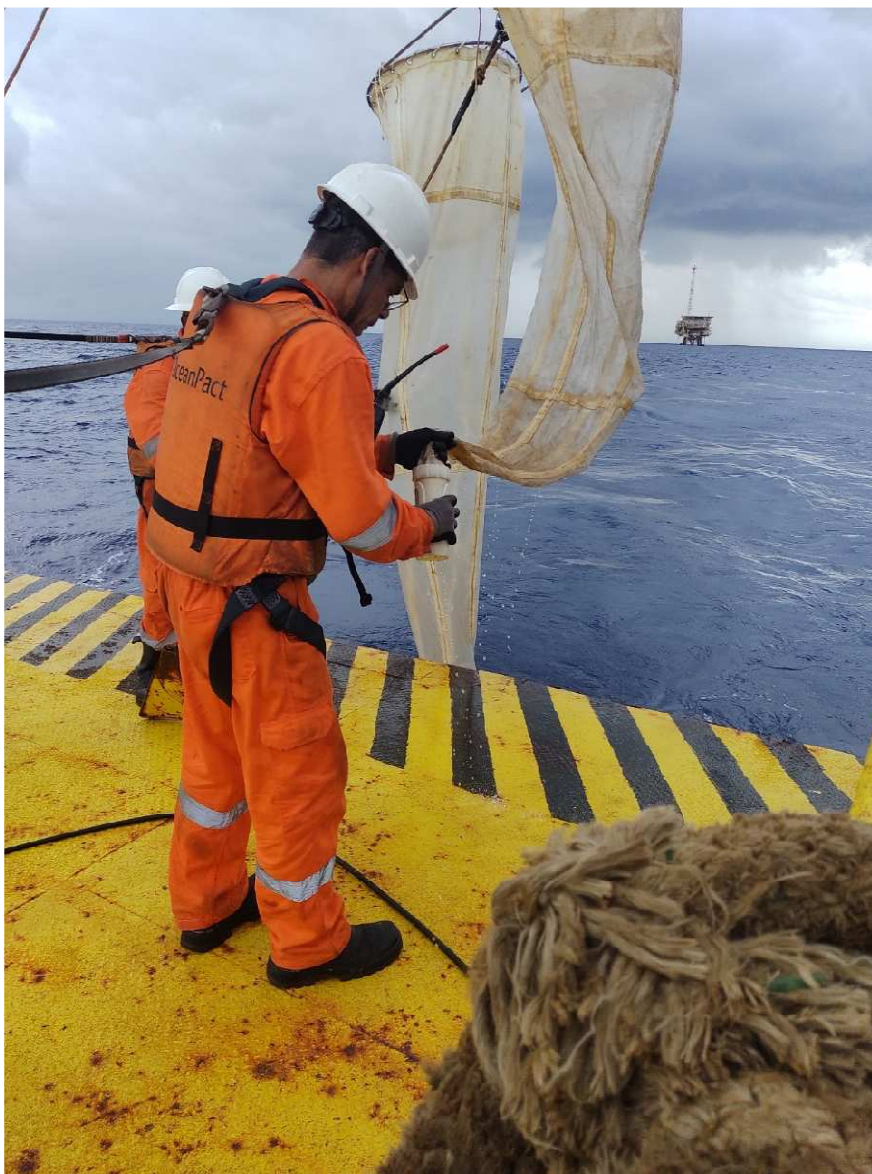


Figura IV-8 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 μm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Para a validação das amostras de plâncton foram considerados os seguintes critérios:

- Redes e copos sem danos;
- Ângulo correto;
- Profundidade de arrasto correta; e
- Perfeito funcionamento do fluxômetro.

Os equipamentos e frascaria utilizada, o volume coletado e os métodos de preservação e acondicionamento das amostras de zoo e ictioplâncton são apresentados no Quadro IV-1.

IV.1.5 - Qualidade do Sedimento e Macrofauna Bentônica

As amostragens de sedimento e macrofauna bentônica foram realizadas em triplicata (R1, R2 e R3) para cada estação utilizando o equipamento Box Corer, de 30 x 30 x 50 cm, exceto nas estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R, onde foi utilizado Van Veen de 231L, ambos equipados com Beacon, para localização do ponto da amostragem (Figura IV-9). A utilização do Van Veen nas estações acima citadas foi necessária devido a baixa eficiência de amostragem do Box Corer nestas estações. A profundidade da lâmina d'água nas estações de amostragens de sedimento e bentos variou de 26 m (MLZ_D_1REP) a 130 m (MLZ_1, MLZ_2R, MLZ_3R, MLZ_6R, MLZ_7 e MLZ_9R) (Tabela IV-5). Todas as amostras foram coletadas entre 03:55 do dia 03/02/2023 e 01:52 do dia 07/02/2023.



Figura IV-9 – A) Mini Box Corer (30 x 30 x 50 cm) e B) Van Veen, utilizados para a coleta de amostras de sedimento e bentos, durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Tabela IV-5 – Profundidades das diferentes estações de coleta de sedimento e macrofauna bentônica na atual campanha.

Estações	Profundidade (m)
MLZ_D_1_REP	26
MLZ_D_2REP	34
MLZ_D_3R	41
MLZ_D_4R	58
MLZ_D_5R	67
MLZ_D_6R	81
MLZ_D_7R	100
MLZ_D_8R	110
MLZ_1	130
MLZ_2R	130
MLZ_3R	130
MLZ_4	127
MLZ_5R	129
MLZ_6R	130
MLZ_7	130
MLZ_8	124
MLZ_9R	130
MLZ_10	127

No convés, o amostrador utilizado contendo a amostra do sedimento foi aberto e iniciado os procedimentos de amostragem, conforme descrito a seguir:

- Primeiro registro fotográfico, com água, caso presente;
- Nos casos em que havia água sobrenadante no interior do amostrador, esta era drenada através de sifonamento e filtrada com rede de malha de 300 µm. Esse material retido na malha era transferido para um recipiente plástico destinado ao armazenamento de amostras para análise da macrofauna, devidamente identificado;
- Medida da profundidade, temperatura do sedimento e avaliação da validade da amostra;
- Segunda fotografia com a superfície do sedimento drenada;
- Colocação dos gabaritos sobre o sedimento;
- Terceiro registro fotográfico com os corers, e;
- Coleta da subamostra de contaminantes (hidrocarbonetos e metais) e, posteriormente, dos demais parâmetros.

A validação das amostras foi realizada pelos validadores de bordo, levando-se em consideração os seguintes critérios de aceitação:

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

A temperatura da amostra foi medida através de um termômetro de mercúrio inserido nos primeiros 5 cm do sedimento. Também foi realizado o registro das características físicas do sedimento (coloração, aspecto e presença de organismos na superfície).

Para retirada das amostras destinadas à análise de hidrocarbonetos, foram utilizados gabaritos de aço inoxidável e colheres metálicas previamente lavados com Extran e água ultra-pura, e descontaminados com acetona e n-hexano antes de cada coleta, assim como os gabaritos de PVC utilizados para a sub-amostragem de metais foram lavados com Extran e água ultra-pura, sendo utilizadas colheres plásticas novas e descartáveis em cada nova réplica.

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;
- Enxofre total;
- Metais (Fe, Al, As, Ba, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn, Ni, V, Hg e Mn);
- Hidrocarbonetos (HPA's, n-alcanos, MCNR e HTP's), e;
- Macrofauna bentônica.

As amostragens de bentos foram realizadas concomitantemente com as amostragens de sedimento. A distribuição esquemática dos corers no amostrador utilizado pode ser observada na Figura IV-10



Fonte: Petrobras/Oceanpact, 2023

Figura IV-10 – Esquema de distribuição dos corers no Mini Box Corer para sub-amostragem dos parâmetros analisados.

O Quadro IV-2 apresenta os parâmetros coletados para análises no sedimento e bentos, fração coletada e formas de acondicionamento e preservação das amostras.

Quadro IV-3 – Parâmetros coletados para análises no sedimento e bentos, frações coletadas e formas de acondicionamento e preservação das amostras.

PARÂMETROS	FRAÇÃO	FRASCARIA	PRESERVAÇÃO
HPA, n-alcenos, MCNR, HTP	0-2 cm (1 corer de 10x10x2 cm)	Recipiente de alumínio	Congelamento a $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Metais, Arsênio e Enxofre total	0-2 cm (2/3 corer de 10x2 cm)	Frasco de polipropileno	Congelamento a $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Mercúrio	0-2 cm (1/3 corer de 10x2 cm)	Frasco de polipropileno ensacado	Refrigerar a $0-6^{\circ}\text{C}$
Carbonatos / MOT	0-10 cm (1/2 corer 10x10x10 cm)	Frasco de polietileno de alta densidade	Congelamento a $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Granulometria	0-10 cm (1/2 corer 10x10x10 cm)	Frasco de polietileno de alta densidade	Congelamento a $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Nitrogênio / COT	0-10 cm (1/2 corer 10x10x10 cm)	Frasco de vidro Borosilicato	Congelamento a $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Fósforo total	0-10 cm (1/2 corer 10x10x10 cm)	Frasco de polietileno de alta densidade	Congelamento a $\leq -20^{\circ}\text{C}$
Macrofauna	0-10 cm (4 corers de 10x10x10 cm)	Potes plásticos (8 para cada réplica)	Formol 4% tamponado com bórax

IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As amostras destinadas às análises físico-químicas de água e sedimento foram encaminhadas à empresa SGS do Brasil, e as amostras destinadas às análises biológicas (macrofauna bentônica e plâncton), clorofila-a e granulometria, à empresa Bioconsult Ambiental.

IV.2.1 - Qualidade da Água

Neste item é apresentado um resumo dos parâmetros analisados para a qualidade da água, as referências oficiais dos métodos de extração, digestão e análise, os procedimentos de pré-tratamento utilizados e os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) dos métodos analíticos empregados (Tabela IV-6).

Tabela IV-6 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, e os respectivos limites de quantificação e detecção dos métodos, conforme os parâmetros analisados nas amostras de água do mar.

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
	Clorofila a	Fluorimetria	-	0,00153µg/L	0,00078µg/L
	Carbono Orgânico Total	SMEWW 5310 B (2005)	-	0,500 mg/L	0,100 mg/L
	MPS	SMEWW 2540 B (2005)	Pesagem dos filtros em estufa a 180°C e filtração da amostra	0,100 mg/L	0,005 mg/L
	Sulfetos	SMEWW 4500 S2 D (2005)	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L
	Nitrogênio Amoniacal	EPA 350.1	-	0,010 mg/L	0,003 mg/L
	Nitrato	SMEWW 4500 NO ₃ F (2005)	-	0,200 mg/L	0,050 mg/L
	Nitrito	SMEWW 4500 NO ₂ B (2005)	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L
	Silicato	SMEWW 4500 SiO ₂ C (2005)	-	0,050 mg/L	0,020 mg/L
	Fósforo Total	SMEWW 4500 P E (2005)	-	0,005 mg/L	0,002 mg/L
HPA' s	Acenafeno	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Acenaftileno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[a]antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[b]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[g,h,i]perileno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[k]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[a]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Criseno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Dibenzo[a,h]antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fenantreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Indeno[1,2,3,c,d]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Naftaleno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L

(Continua)

Tabela IV-7 (Continuação)

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
n-alcenos	n-C8	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	0,050 ug/L	0,014 ug/L
	n-C9			0,050 ug/L	0,014 ug/L
	n-C10			0,050 ug/L	0,014 ug/L
	n-C11			0,050 ug/L	0,016 ug/L
	n-C12			0,050 ug/L	0,014 ug/L
	n-C13			0,050 ug/L	0,016 ug/L
	n-C14			0,050 ug/L	0,019 ug/L
	n-C15			0,050 ug/L	0,015 ug/L
	n-C16			0,050 ug/L	0,015 ug/L
	n-C17			0,050 ug/L	0,012 ug/L
	n-C18			0,050 ug/L	0,005 ug/L
	n-C19			0,050 ug/L	0,011 ug/L
	n-C20			0,050 ug/L	0,013 ug/L
	n-C21			0,050 ug/L	0,007 ug/L
	n-C22			0,050 ug/L	0,011 ug/L
	n-C23			0,050 ug/L	0,013 ug/L
	n-C24			0,050 ug/L	0,013 ug/L
	n-C25			0,050 ug/L	0,009 ug/L
	n-C26			0,050 ug/L	0,015 ug/L
	n-C27			0,050 ug/L	0,013 ug/L
	n-C28			0,050 ug/L	0,012 ug/L
	n-C29			0,050 ug/L	0,014 ug/L
	n-C30			0,050 ug/L	0,010 ug/L
	n-C31			0,050 ug/L	0,008 ug/L
	n-C32			0,050 ug/L	0,010 ug/L
	n-C33			0,050 ug/L	0,016 ug/L
	n-C34			0,050 ug/L	0,011 ug/L

(Continua)

Tabela IV-8 (Continuação)

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
n-alcenos	n-C35	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	0,050 ug/L	0,010 ug/L
	n-C36			0,050 ug/L	0,017 ug/L
	n-C37			0,050 ug/L	0,017 ug/L
	n-C38			0,050 ug/L	0,017 ug/L
	n-C39			0,050 ug/L	0,017 ug/L
	n-C40			0,050 ug/L	0,017 ug/L
	Fitano			0,050 ug/L	0,015 ug/L
	Pristano			0,050 ug/L	0,015 ug/L
	HRP - Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo			0,050 ug/L	0,050 ug/L
	UCM - Mistura Complexa Não Resolvida			1 ug/L	0,120 ug/L
	HTP - Hidrocarbonetos totais de Petróleo			0,050 ug/L	0,050 ug/L
Fenóis	Fenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	o-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	m-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	p-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Clorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,5-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,6-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L

(Continua)

Tabela IV-9 (Continuação)

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
Fenóis	3,5-Dimetilfenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Etilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	4-Etilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Isopropilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3,5-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	4-Cloro-3-Metilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,6-Diclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4-Diclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Nitrofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	4-Nitrofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4,5-Triclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4,6-Triclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3,4,6-Tetraclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Pentaclorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3,6-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4,6-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4,5-Trimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
BTEX	Tribromofenol	USEPA 5030C / USEPA 8260C	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Benzeno			1 µg/L	0,100 µg/L
	Tolueno			1 µg/L	0,100 µg/L
	Etilbenzeno			1 µg/L	0,100 µg/L
	m,p-xileno			1 µg/L	0,100 µg/L
	o-xileno			1 µg/L	0,100 µg/L

IV.2.2 - Fitoplâncton

As amostras de fitoplâncton (Variando de 1805 a 1980mL) foram submetidas a filtração reversa com malha de 20 μm (DODSON & THOMAS, 1978). Para o processo de sedimentação, foram utilizadas cubetas de sedimentação de 100 mL de acordo com o método de Utermöhl (1958) durante 72 h para amostras oceânicas (Sournia, 1972).

Para a análise quali-quantitativa do microfitoplâncton (organismos > 20 μm), a identificação e contagem dos organismos foi realizada em microscópio invertido (Figura IV.3-1) equipado com objetivas com campo claro e contraste de fase, com aumento de até 200 x (microscópio invertido Coleman®) ou aumento maior (400 x) para visualização de detalhes específicos de morfologia sempre que possível. Foi contada uma câmara inteira por amostra.

A identificação ocorreu até ao menor nível taxonômico possível. Para fitoplâncton, 18,75% da abundância total foi identificada até o nível de gênero e 77,08% foi identificado até o nível de espécie, utilizando chaves taxonômicas revisadas e atualizadas e bibliografia adequada (CUPP, 1943; TENENBAUM *et al.*, 2004; TOMAS, 1997). A identificação seguiu a nomenclatura definida na base WorMS – World Register of Marine Species (<http://www.marinespecies.org/>) e, quando não disponível nessa base, foi utilizada a base ITIS – Integrated Taxonomic Information System (<http://www.itis.gov/>).

IV.2.3 - Zooplâncton

O processo de triagem das amostras foi feito com o auxílio de um microscópio estereoscópico binocular. As amostras foram fracionadas com utilização de um sub-amostrador do tipo “FolsomPlankton Sample Splitter” (MCEWEN *et al.*, 1954). As amostras foram avolumadas com água com o auxílio de um Becker calibrado e subsequentemente fracionadas em alíquotas menores com um amostrador Folsom, sendo considerado o fator de fracionamento para a contagem (1/2; 1/4; 1/8; 1/16; 1/32; 1/64 e etc.). Os organismos foram triados até um mínimo de 100 indivíduos por grupo. O fracionamento de cada amostra e o volume de amostra triada foram

registrados. No Anexo 5 consta uma ressalva sobre a triagem de Copepoda apresentada nos relatórios do PMRP dos ciclos de campanhas de 2020/2021 e 2021/2022.

Foi realizado o controle de qualidade das amostras triadas com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram retirados e contabilizados nas amostras. Para tal, a cada lote com no máximo dez amostras por cada triador, uma das amostras triadas foi sorteada para conferência. A amostra verificada dos lotes foi MLZ_C14_J1002_VERT_200. Caso o número de organismos contabilizados no reexame da amostra fosse maior que 20% do total de organismos contabilizados na primeira triagem, a amostra seria reprovada e então uma nova amostra do mesmo colaborador seria sorteada. Em caso de uma nova rejeição, todo o lote deveria ser reanalisado. Os organismos a mais encontrados na validação são inseridos na amostra antes da análise taxonômica.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação dos organismos ocorreu ao menor nível taxonômico possível (BOLTOVSKOY, 1981). Para zooplâncton, 17,5% da abundância total foi identificada até o nível de classe e ordem e 42,5% foi identificada até o nível de espécie.

IV.2.4 - Ictioplâncton

As amostras foram triadas sob microscópio estereoscópico binocular, separando-se os ovos e larvas de peixes dos demais organismos zooplânctônicos. A identificação foi baseada nas características morfológicas (formato do corpo e da cabeça, presença de vesícula gasosa, formato das nadadeiras, posição do ânus e das nadadeiras anal e dorsal) e merísticas (número de raios das nadadeiras dorsal, anal, caudal, peitoral e ventral e padrão de pigmentação).

Foi realizado o controle de qualidade das amostras com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram retirados e contabilizados. Para tal, a cada lote com dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador para conferência. Neste caso, a amostra validada para cada lote foi MLZ_C14_J1002_OBL_500. A validação das amostras apresentou resultados

inferiores a 20%, validando todo o lote triado. Todos os indivíduos encontrados na validação foram inseridos em suas respectivas amostras.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. Para o ictioplâncton, 30,43% do total de organismos contabilizados foi identificado até o nível de família e 47,82% foi identificado até o nível de espécie, seguindo a bibliografia adequada (BONECKER & CASTRO, 2006; BONECKER *et al.*, 2012; 2014; FAHAY, 2007). Cabe ressaltar que ovos e larvas não identificados não foram incluídos nas análises.

IV.2.5 - Qualidade do Sedimento

Neste item é apresentado um resumo dos parâmetros analisados para a qualidade do sedimento, as referências oficiais dos métodos de extração, digestão e análise, os procedimentos de pré-tratamento utilizados e os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) dos métodos analíticos (Tabela VI.7).

Tabela IV-7 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, os respectivos limites de quantificação e detecção do método, conforme os parâmetros analisados nas amostras de sedimento.

Parâmetros	Método analítico	Procedimentos pré-tratamento	LQ do Método	LD do Método
Carbonatos	Descarbonatação e gravimetria	Pesagem de 10 g, homogeneização, divisão em 4 frações e secagem em estufa a 100 °C, adição de ácido clorídrico	0,3 %	0,1 %
Nitrogênio Kjeldahl Total (N-TKN)	SMEWW 4500 N	Pesagem de 2g de sedimento para 10 mL de água ultrapura e solução tampão em balão de kjeldahl	12,5 mg/kg	1,25 mg/kg
Granulometria	Granulômetro a laser Malvern, modelo Hydro 2000 UM	Secagem em estufa a 100°C, maceração, pesagem, adição de até 800 mL de água deionizada	-	-
COT	ISO10.694	Homogeneização, pesagem de 5 g e	0,3 %	0,1 %

Parâmetros		Método analítico			Procedimentos pré-tratamento	LQ do Método	LD do Método
					secagem em estufa a 105 °C, maceração, adição de ácido clorídrico, estufa entre 60 e 70 °C por 16 hs		
MOT		NBR13.600			Homogeneização, quarteamento, pesagem de 25 g e secagem em estufa a 105 °C por 24 hs, pesagem, incineração a 440 °C por 12 hs	0,1 %	0,1 %
Fósforo total			2,00 mg/kg	0,300 mg/kg			
Metais	Alumínio (Al)	EPA 3051A / EPA 6020B			Digestão das amostras, pesagem de 0,5g, 12 ml desolução de ácido nítrico e ácido clorídrico 3:1	0,275 mg/kg	0,004 mg/kg
	Arsênio (As)					0,010 mg/kg	0,008 mg/kg
	Bário (Ba)					0,020 mg/kg	0,003 mg/kg
	Cádmio (Cd)					0,001 mg/kg	0,0003 mg/kg

Parâmetros		Método analítico	Procedimentos pré-tratamento	LQ do Método	LD do Método
Metais	Chumbo (Pb)	EPA 3051A / EPA 6020B	Digestão das amostras, pesagem de 0,5g, 12 ml desolução de ácido nítrico e ácido clorídrico 3:1	0,0207 mg/kg	0,001 mg/kg
	Cobre (Cu)			0,053 mg/kg	0,0016 mg/kg
	Cromo (Cr)			0,006 mg/kg	0,0005 mg/kg
	Ferro (Fe)			0,355 mg/kg	0,0278 mg/kg
	Manganês (Mn)			0,099 mg/kg	0,001 mg/kg
	Níquel (Ni)			0,232 mg/kg	0,0006 mg/kg
	Vanádio (V)			0,001 mg/kg	0,00007 mg/kg
	Zinco (Zn)			0,549 mg/kg	0,125 mg/kg
	Mercúrio (Hg)	EPA 7474 / EPA 6020B	Câmara nebulizador, processos de dessolvatação, atomização e ionização. Altas temperaturas.	0,038 mg/kg	0,012 mg/kg
HPA's	Acenafteno	EPA 3540C / EPA 8270 E	-	0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Acenaftileno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Antraceno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Benzo (a) antraceno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg

Parâmetros		Método analítico	Procedimentos pré-tratamento	LQ do Método	LD do Método
	Benzo (a) pireno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Benzo (b) fluoranteno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Benzo (g,h,i) perileno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Benzo (k) fluoranteno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Criseno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Dibenzo(a,h)antraceno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Fenantreno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Fluoranteno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Fluoreno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Indeno (1,2,3-cd) pireno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Naftaleno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
	Pireno			0,5 µg/kg	0,2 µg/kg
HTP's, n-alcanos (C8 a C40), MCR e MCNR		EPA 3540C / EPA 8015D	-	100 µg/kg	20 µg/kg

Tabela IV.7- (conclusão)

Para as análises granulométricas, os sedimentos analisados receberam classificação textural, os dados estatísticos de granulometria (tamanho médio do grão, mediana, seleção, assimetria, curtose e curtose normalizada) em função dos valores da média do tamanho do grão e classificação do tipo de sedimento segundo Folk (FOLK & WARD, 1957), Shepard e Larssonneur (modificado por DIAS, 2004) e Shepard (1954). Essa análise foi realizada através dos softwares GRADSTAT V8 (BLOTT & PYE, 2001) e SAG (Sistema de Análise Granulométrica, DIAS & FERRAZ, 2004). A classificação textural segue a escala de Wentworth, conforme Tabela IV-8

Tabela IV-8 - Classes granulométricas e respectivos tamanhos de grão (em mm), em que ϕ significa diâmetro.

Diâmetro do grão (ϕ)	Tamanho do grão (mm)	Classes granulométricas
$\phi < -8$	> 256	Matacão
$-8 < \phi < -6$	$256 - 64$	Bloco
$-6 < \phi < -2$	$64 - 4$	Seixo
$-2 < \phi < -1$	$4 - 2$	Grânulo
$-1 < \phi < 0$	$2 - 1$	Areia muito grossa
$0 < \phi < 1$	$1 - 0,500$	Areia grossa
$1 < \phi < 2$	$0,500 - 0,250$	Areia média
$2 < \phi < 3$	$0,250 - 0,125$	Areia fina
$3 < \phi < 4$	$0,125 - 0,062$	Areia muito fina
$4 < \phi < 5$	$0,062 - 0,031$	Silte grosso
$5 < \phi < 6$	$0,031 - 0,016$	Silte médio
$6 < \phi < 7$	$0,016 - 0,008$	Silte fino
$7 < \phi < 8$	$0,008 - 0,004$	Silte muito fino
$8 < \phi$	$0,004 - 0,00195$	Argila

IV.2.6 - Macrofauna Bentônica

Para a lavagem do material, os oito potes destinados às amostras de macrofauna bentônica foram abertos e reunidos em um único frasco. Cada amostra foi aberta e o formol contido em cada pote foi despejado em recipientes adequados para posterior descarte. Os sedimentos mais finos foram eliminados com auxílio de peneiras de 0,5 mm. A água utilizada foi filtrada em malha de 0,00044 mm para

evitar qualquer tipo de contaminação da amostra. O material retido foi armazenado em pote plástico com solução alcoólica 70% para posterior triagem.

Após a lavagem, iniciou-se o processo de pré-triagem com a elutriação, onde o sedimento foi colocado em uma bandeja em pequenas porções e adicionada água até cobrir a superfície. A bandeja foi agitada manualmente (movimento circular) e os organismos sobrenadantes transferidos para um frasco com etanol a 70%. Este procedimento foi repetido por 5 (cinco) vezes, sempre com igual volume de água sobre o sedimento.

Em laboratório, cada amostra foi triada com o auxílio de um microscópio estereoscópico em aumento mínimo de 20 x. Os organismos encontrados na amostra foram triados, desconsiderando-se os organismos que não pertencem a macrofauna "*stricto sensu*", como: Nematoda, Foraminifera, Copepoda Harpacticoida, Ostracoda, Gnathostomulida, Gastrotricha, Kinorhyncha, Tardigrada, assim como, organismos planctônicos como Pteropoda e Foraminifera. Todos estes grupos não foram triados, nem contabilizados na amostra.

Posteriormente foram identificados ao menor nível taxonômico possível com auxílio de bibliografia adequada. Para os poliquetas, foram contabilizados apenas os organismos que apresentavam cabeça; para os moluscos, apenas as conchas que continham partes moles ou que não estivessem danificadas ou perfuradas; os briozoários foram triados apenas colônias com tecidos íntegros e os dados constaram apenas como dados qualitativos no inventário faunístico.

O material resultante da triagem (vidros contendo os animais triados e os respectivos registros acondicionados em frascos rotulados, preenchidos com solução de etanol 70%) foi conferido no que diz respeito às etiquetas, aos totais de organismos por grandes grupos e ao número de frascos. Posteriormente, os frascos foram separados por grupo taxonômico e agrupados por estação e área, sendo então remetidos aos especialistas.

Foi realizado o controle de qualidade com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram retirados e contabilizados. Para tal, a cada lote de dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador. As amostras validadas foram: MLZ_6_R1, MLZ_4_R3, MLZ_D_2REP_R1, MLZ_D_1REP_R2, MLZ_D_1REP_R2 e MLZ_D_6R_R1. Caso o número de organismos contabilizados no reexame da amostra seja maior que 10% do total de organismos

contabilizados na primeira triagem, a amostra é reprovada e então é sorteada uma nova amostra do mesmo colaborador para o lote em questão. Em caso de uma nova rejeição, todo o lote deve ser reanalisado. Os organismos a mais encontrados na validação são inseridos na amostra antes da análise taxonômica.

Uma planilha de abundância (número de indivíduos) foi elaborada utilizando-se a contagem individual de cada organismo encontrado. Para macrofauna bentônica 60,46% da abundância foi identificada até o nível de família e 9,3% foi identificada até o nível de espécie, com o auxílio da bibliografia adequada (ABBOTT, 1974.; AMARAL *et al.*, 1996, 2006-2012; YOUNG, 1998). Todos os taxos identificados tiveram seu nome checado prioritariamente na base do WoRMS – World Register of Marine Species (<http://marinespecies.org>) e, caso não estivessem disponíveis, foi utilizada a base do ITIS – *Integrated Taxonomic Information System* (<http://www.itis.gov/>) para verificação da validade do nome e da correta grafia.

IV.3 - **TRATAMENTO DOS DADOS**

IV.3.1 - **Qualidade da Água**

Os dados referentes às concentrações dos parâmetros de qualidade da água obtidos através das análises laboratoriais foram compilados em matriz de dados em razão da estação e profundidade de coleta correspondentes.

A primeira etapa no tratamento dos dados consistiu na avaliação de sua qualidade, para verificação de erros de medição, contaminações amostrais e/ou analíticas evidentes, qualidade analítica, valores espúrios e outliers. A avaliação dos valores espúrios e outliers foi feita graficamente a partir dos *box-plots* para cada um dos parâmetros no *software* STATISTICA 10.0. Os valores indicados pelo *software* foram avaliados individualmente, considerando desvios amostrais e analíticos, e foram retirados das análises somente nos casos comprovados de erros de medição e erros analíticos, cuja correção é inviável. Os demais dados foram mantidos, pois a variabilidade é inerente dentro de um conjunto de dados e pode conter informações relevantes sobre características e alterações do local.

A Tabela IV.9, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais. Todos os parâmetros analisados na água tiveram 100% dos resultados aprovados nos critérios de qualidade analíticos empregados, de modo que a totalidade dos resultados obtidos poderá ser utilizada sem ressalvas para a avaliação das condições da área de influência direta do empreendimento.

Tabela IV-9 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial da qualidade da água.

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO
QUALIDADE DA ÁGUA	Clorofila a	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
		Material de referência certificado	Dentro de 0,9 a 1,1 µg/L	36	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 10%	36	0	-	-
	COT	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
		Branco de frascaria	BF < LD	1	0	-	-
		Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 2 mg/L)	36+1	0	-	-
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R² > 0,99	36+1	0	-	-
		Amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Diferença percentual relativa	DRP < 20%	36+1	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 25%	36+1	0	-	-
		Verificação contínua da curva	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Incerteza do método	IM < 25% incerteza máx. aceitável	36+1	0	-	-
	MPS	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-8 (Continuação)

QUALIDADE DA ÁGUA	PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO
QUALIDADE DA ÁGUA	Nitrato/ Nitrito / Fósforo Total/ Silicato	144+4 (36 amostras +1 branco por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	144+4	0	-	-
			Branco de frascaria	BF < LD	4	0	-	-
			Branco de equipamento	BE < LD	144+4	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	144+4	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	144+4	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	144+4	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com $R^2 > 0,99$	144+4	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 1,016 mg/L para nitrato; 0,152 mg/L para nitrito; 0,2 mg/L para fósforo total e 0,342 mg/L para silicato)	144+4	0	-	-
				Análises em triplicata RSD < 10%	144+4	0	-	-
				Verificação contínua da curva Recuperação de 80 - 120%	144+4	0	-	-
				Incerteza do método -	144+4	0	-	-
	Nitrogênio Amoniacal	36+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
			Branco de frascaria	BF < LD	1	0	-	-
			Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	36+1	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 90 - 110%	36+1	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,7 mg/L)	36+1	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com $R^2 > 0,99$	36+1	0	-	-
			Análises em triplicata	RSD < 10%	36+1	0	-	-
			Incerteza do método	IM < 10% incerteza máxima aceitável	36+1	0	-	-
			Verificação contínua da curva	Recuperação de 90 - 110%	36+1	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-8 (Conclusão)

Tabela IV-6 (Conclusão)								
PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO	
QUALIDADE DA ÁGUA	Sulfetos	36+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
			Branco de frascaria	BF < LD	1	0	-	-
			Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	36+1	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R² > 0,99	36+1	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,5 mg/L)	36+1	0	-	-
			Análises em triplicata	RSD < 10%	36+1	0	-	-
			Incerteza do método	-	36+1	0	-	-
	Fenóis/ HPAs/ HTP/ BTEX	125+4 (36 amostras + 1 branco por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	125+4	0	-	-
			Branco de frascaria	BF < LD	4	0	-	-
			Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	125+4	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	125+4	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	125+4	0	-	-
			Solução padrão intermediária	Recuperação de 80 - 120%	125+4	0	-	-
			Amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	125+4	0	-	-
			Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	125+4	0	-	-
			Diferença percentual relativa	DRP < 30%	125+4	0	-	-
			Surrogates		125+4			
			HPA e fenóis: para-terfenil d-14 e 2-flúor-bifenila					
			HTP: triacontano d-62	Recuperação de 60 a 120%		0	-	-
			BTEX: p-Bromofluorbenzeno, dibromofluorometano e tolueno-d8					
			Incerteza do método	-	125+4	0	-	-

Sempre que pertinente, os resultados foram comparados à literatura e à Resolução CONAMA nº 357/05, que trata da classificação dos corpos de água e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Conforme especificado nos art. 3º e art. 4º da Resolução CONAMA nº 393/07, águas salinas, na área em que se localizam as plataformas, enquanto não houver enquadramento específico, serão consideradas águas salinas de classe 1, que, segundo definição constante da Resolução CONAMA nº 357/05, são águas destinadas à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas e à aquicultura e atividade de pesca. A Resolução CONAMA nº 393/07 também delimita um raio de 500 m do ponto de descarte das plataformas como área de zona de mistura dos efluentes.

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha foram o Relatório de Avaliação Ambiental (RAA) da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos (PETROBRAS/FUGRO, 2007), o Relatório Ambiental da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002) e os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das doze primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023), realizadas conforme períodos descritos no Quadro I-1. Nestas comparações, sempre que possível, foram consideradas e avaliadas as diferenças nas metodologias analíticas, nos limites de detecção e quantificação dos métodos e nos tratamentos prévios dados as amostras, pontuando as devidas ressalvas para uma correta interpretação das análises comparativas.

Para fins de cálculos e apresentações gráficas, valores não detectados e valores não quantificados, isto é, valores abaixo do limite de detecção do método de análise ($< LD$) e valores abaixo do limite de quantificação ($< LQ$), foram substituídos pela metade dos respectivos limites ($LD/2$ e $LQ/2$).

Com os dados de temperatura e salinidade obtidos durante a descida do CTD, foram confeccionados perfis verticais destes parâmetros para todas as estações amostradas. A partir destes, foi possível avaliar o comportamento vertical da

temperatura e salinidade nas diferentes estações, bem como associá-lo às características geográficas e oceanográficas dos pontos de coleta.

Além disso, um diagrama TS também foi confeccionado através dos dados de temperatura e salinidade, utilizando-se o programa Microsoft Excel 2013. Este diagrama foi útil na identificação das massas d'água presentes na região de monitoramento. As classificações sugeridas por Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) foram utilizadas para classificar as massas d'água observadas, uma vez que fornecem maior detalhamento dos valores de salinidade e temperatura (Tabela IV-10).

Tabela IV-10 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000).

Massa d'água	Salinidade (S)	Temperatura (T)
Água Costeira (AC)	$S < 36$	$T \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Água Tropical (AT)	$S > 36,4$	$T \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Água Central do Atlântico Sul (ACAS)	$S < 36$	$T \leq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura das Água Costeira e Água Tropical (AC/AT)	$36 \leq S \leq 36,4$	$T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura das Água Costeira e Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS)	$S < 36$	$18 < T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura das Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul (AT/ACAS)	$36 \leq S \leq 36,4$	$18 < T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Água Intermediária Antártica (AIA)	$34,42 < S < 34,66$	$3,46 < T < 8,72$
Água Circumpolar Superior (ACS)	$34,42 < S < 34,59$	$3,31 < T < 3,46$
Água Profunda do Atlântico Norte (APAN)	$34,59 < S < 34,87$	$2,04 < T < 3,31$

Por fim, os dados foram ainda interpretados em relação às condições meteoceanográficas vigentes durante as coletas, também monitoradas pela Petrobras e fornecidas para a elaboração do presente relatório.

IV.3.2 - Qualidade do Sedimento

Os dados referentes às concentrações dos parâmetros de qualidade do sedimento obtidos através das análises laboratoriais foram compilados em matriz de dados em razão da estação de coleta.

A primeira etapa no tratamento dos dados consistiu na avaliação de sua qualidade, para verificação de erros de medição, contaminações amostrais e/ou

analíticas evidentes, valores espúrios e *outliers*. A avaliação dos valores espúrios e outliers foi feita conforme metodologia previamente descrita no item IV.3.1 – Qualidade da Água.

A Tabela IV-11, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais. Para o compartimento sedimento, 100% das amostras analisadas tiveram resultados com qualidade satisfatória na avaliação dos controles de qualidade empregados nas análises laboratoriais, de modo que a totalidade dos resultados obtidos poderá ser utilizada sem ressalvas para a avaliação das condições da área de influência direta do empreendimento

Tabela IV-12 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial do sedimento.

QUALIDADE DO SEDIMENTO	PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO
	MOT / Carbonatos	108 (54 amostras por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	108	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	108	0	-	-
			Duplicata da amostra	DRP < 20%	108	0	-	-
	COT / N-TKN	108 (54 amostras por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	108	0	-	-
			Branco de cápsula	BCap < LD	108	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	108	0	-	-
			Branco de água	BA < LD	108	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125%	108	0	-	-
			Duplicata da amostra	DRP < 20%	108	0	-	-
			Incerteza do método	-	108	0	-	-
	HPAs / HTPs	108+2 (54 amostras + 1 branco por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	108+2	0	-	-
			Branco de frascaria	BF < LD	108+2	0	-	-
			Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	108+2	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	108+2	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 70 a 130%	108+2	0	-	-
			Solução padrão intermediária	Recuperação de 80 - 120%	108+2	0	-	-
			Amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	108+2	0	-	-
			Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	108+2	0	-	-
			Diferença percentual relativa	DRP < 30%	108+2	0	-	-
			Surrogate:		108+2			
			HPAS: bifenila e p-Terfenil-D14	Recuperação de 60 - 120%		0	-	-
			HTP: triacontano d-62					
			Incerteza do método	-	108+2	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-10 (Continuação)

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO
QUALIDADE DO SEDIMENTO		Validade da amostra	Validade > Data de análise	162+2	0	-	-
		Brando de frascaria	BF < LD	2	0	-	Não houve coleta de branco de frascaria para análises de P total.
		Branco de equipamento	BE < LD	162+2	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	162+2	0	-	-
	Metais (As, Fe, Al, Ba, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn, Ni, V e Mn)	Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	54	0	-	Controle não estipulado para metais biod. e Hg biod.
	Biodisponíveis	Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125%	108+2	0	-	Controle não estipulado para fósforo total
	Mercúrio Biodisponível	Verificação contínua da curva	Recuperação de 80 - 120%	108+2	0	-	Controle não estipulado para fósforo total
	Fósforo total	Amostra fortificada	Recuperação de 70 - 130%	162+2	0	-	-
		Análises em triplicata (digestão e medição)	RSD < 25%	162+2	0	-	-
		Diluição em triplicata (por extrato digerido)	RSD < 25%	162+2	0	-	Não houve diluição para as análises
		Incerteza do método	IM < 15% incerteza máxima aceitável	162+2	0	-	-
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com $R^2 > 0,99$	162+2	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-10 (Conclusão)

PARÂMETROS		Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO
QUALIDADE DO SEDIMENTO	Granulometria	54	Validade da amostra	Validade > Data de análise	54	0	-	-
			Porcentagem descrita das amostras	Descrição de 95 a 105% do peso inicial	54	0	-	Teste garante descrição de 100% das alíquotas analisadas
			Duplicata da amostra	DRP < 20%	54	0	-	-

A concentração média e o desvio padrão dos parâmetros analisados para cada estação foram obtidos através das concentrações das três réplicas coletadas, sendo sempre apresentados juntos, para indicar a variação dos dados encontrados (VIEIRA, 2008). Para fins de cálculo e de representações gráficas, valores não detectados e valores não quantificados, isto é, valores abaixo do limite de detecção do método de análise ($< LD$) e valores abaixo do limite de quantificação ($< LQ$), foram substituídos pela metade dos respectivos limites ($LD/2$ e $LQ/2$).

A análise da granulometria do sedimento foi realizada através do software Sysgran 3, onde foram obtidos os diagramas de Sheppard. A partir da concentração de carbonatos, realizou-se a classificação do sedimento conforme Larssonneur (1977) nas seguintes categorias: litoclásticos ($CaCO_3 < 30\%$), litobioclásticos ($CaCO_3$ de 30 a 50%), bio-litoclásticos ($CaCO_3$ de 50 a 70%) e bioclásticos ($CaCO_3 > 70\%$).

O enriquecimento ou depleção dos metais no sedimento foi feito a partir do cálculo do fator de enriquecimento (FE), definido por Gresens (1967), que é um índice usado como ferramenta para avaliar a extensão da poluição por metais (AUDRY *et al.*, 2004). Os metais Fe, Al e Sc são os mais usados como elementos de referência, pois são conservativos (GOMES *et al.*, 2009). Neste relatório utilizou-se o Al como elemento de referência. Os valores de referência utilizados para sedimento no presente estudo foram os valores da primeira campanha de monitoramento da atividade de Merluza para as estações do entorno da plataforma e da terceira campanha de monitoramento para as estações do entorno do duto. Apesar destas campanhas não serem representativas de uma área prístina, já que as campanhas foram realizadas muito depois da instalação e operação da plataforma de Merluza, os resultados do Fator de Enriquecimento (FE) em relação a esta campanha evidenciarão as mudanças que estão ocorrendo na área. O fator de enriquecimento (FE) foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$FE = \frac{[metal_x]/[Al_x]}{[metal\ C1_x]/[Al\ C1_x]}$$

onde,

[metal_x] = concentração do elemento no sedimento em uma dada estação x;

[metal C1_x] = concentração do elemento na primeira campanha de monitoramento para as estações do entorno da plataforma e na terceira campanha de monitoramento para as estações do entorno do gasoduto 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 para as estações do entorno da plataforma e na terceira campanha de monitoramento para as estações do entorno do gasoduto na mesma estação x.

No caso de concentrações não detectadas na primeira e na terceira campanha de monitoramento foi utilizada a metade do LD. Valores de FE inferiores a 1 indicam que não houve enriquecimento, enquanto 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 (APRILE & BOUVY, 2008 apud TAYLOR, 1964).

Atualmente, o único instrumento legal que aborda a caracterização da qualidade de amostras de 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 sobre o escopo do presente projeto, uma vez que há interface no tema abordado por ambos e na falta de um instrumento propício, optou-se por utilizá-la, com as devidas ressalvas, para comparação das concentrações de alguns dos parâmetros analisados a fim de subsidiar a caracterização da qualidade dos sedimentos. Para tal, as concentrações observadas nesta campanha foram comparadas aos limites estabelecidos pela CONAMA para sedimentos nível 1, cuja definição é o *“limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota”*.

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha foram os mesmos utilizados para a qualidade da água, conforme listado no item anterior. Nestas comparações, sempre que possível,

foram consideradas as diferenças nas metodologias analíticas, nos limites de detecção e quantificação dos métodos e nos tratamentos prévios dados as amostras, pontuando as devidas ressalvas para uma correta interpretação das análises comparativas.

Para avaliar a qualidade dos sedimentos foi utilizado um critério interpretativo, estabelecido pela legislação canadense (MACDONALD *et al.*, 1996) e adotado pela CETESB (2001), uma vez que não há normatização específica no Brasil. O critério define dois limites de concentração 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 de concentração entre esses níveis representa uma possível ocorrência de efeito adverso à biota. Os valores de referência de TEL e PEL adotados pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dos Estados Unidos da América SQUIRTs (BUCHMANN, 2008) também foram utilizados no presente estudo.

Além disso, 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 da legislação canadense (Canadian Environmental Quality Guidelines). 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.3.3 - Plâncton

Inicialmente, foi feita uma avaliação do esforço amostral aplicado ao plâncton, através do gráfico do número cumulativo de *taxa* por amostra por campanha. A análise foi realizada ao longo das treze campanhas de monitoramento da atividade de Merluza. 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 biota aquática foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição 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 até este nível taxonômico. Esse impedimento ocorre devido à fragilidade desses exemplares em conjunto com a utilização de soluções com formol, que ajudam na conservação das amostras, mas também podem degradar estruturas dos organismos.

Os *taxa* foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos/classes), bem como quanto a distribuição quali e quantitativa dentro desses grupos. Os grandes grupos considerados para fitoplâncton foram: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Haptophyta

e Myzozoa. Os grupos Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platelminhos foram considerados para as análises de zooplâncton. Já para o ictioplâncton, foram considerados os seguintes grandes grupos: Myctophiformes, Perciformes, Anguilliformes, Clupeiformes, Ophidiiformes, Pleuronectiformes e Stomiiformes.

Assim, as comunidades planctônicas amostradas tiveram sua riqueza por *taxa* contabilizada através do número de espécies ou grupo taxonômico contido nas estações de amostragem. Para cada comunidade biológica foi produzida uma listagem taxonômica, com a identificação dos organismos até o grupo taxonômico mais específico possível.

Além da análise qualitativa, também foi feita avaliação quantitativa dos dados, utilizando para tanto, o parâmetro densidade de organismos, 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 (PIELOU, 1977; SHANNON, 1948; SIMPSON, 1949).

A densidade dos organismos foi estimada por grupos taxonômicos e por estações de amostragem. Para o fitoplâncton, a densidade foi calculada conforme fórmula abaixo e expressa em indivíduos por litro (ind/L).

$$\text{densidade fitoplanctônica} = \frac{\text{abundância}}{\text{volume de amostra triada (em L)}}$$

Para o zooplâncton, a densidade foi calculada conforme fórmula abaixo e expressa em indivíduos por metro cúbico (ind/m³).

$$\text{densidade zooplanctônica} = \frac{\text{abundância} \times \text{fator de diluição} \times \text{fator de extrapolação}}{\text{volume de água filtrada (em m}^3\text{)}}$$

onde fator de extrapolação = volume total da amostra (L) dividido pelo volume da amostra triada.

No Anexo 5 consta uma ressalva sobre a fórmula de cálculo apresentada nos relatórios do PMRP dos ciclos de campanhas de 2020/2021 e 2021/2022.

Para o ictioplâncton, a densidade foi calculada conforme a fórmula abaixo e expressa em indivíduos por 100 m³ (ind/100 m³).

$$\text{densidade ictioplanctônica} = \frac{\text{abundância} \times 100}{\text{volume de água filtrada (em m}^3\text{)}}$$

O índice de diversidade utilizado foi o de diversidade de Shannon-Wiener, apresentado na 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:

$$J' = H/H_{\max}^{-1}$$

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

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. Este índice indica a homogeneidade das comunidades em termos de participação relativa de cada táxon (KREBS, 1999; PIELOU, 1977).

Os dados médios calculados são apresentados junto com seus respectivos desvios-padrão, o qual descreve a dispersão dos dados em torno dessa média, indicando a variação dos valores encontrados (VIEIRA, 2008).

A biota aquática foi avaliada quanto às diferenças em sua distribuição ao longo das estações amostrais do presente trabalho. Para as comunidades fitoplanctônicas, também foram consideradas as quatro profundidades diferentes em que as amostras foram coletadas. Já para o ictioplâncton, foram feitas comparações adicionais em relação às duas malhas utilizadas para coleta: redes de 300 e 500 μm . Assim, os parâmetros biológicos foram comparados através de perfis de distribuição vertical, utilizando-se os dados médios, mínimos e máximos observados.

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha foram os mesmos utilizados para a qualidade da água, conforme listado anteriormente. Nestas comparações, sempre que possível, foram consideradas e avaliadas as diferenças nas metodologias analíticas e nos tratamentos prévios dados as amostras, pontuando as devidas ressalvas para a correta interpretação das análises comparativas. Também foram utilizadas outras bibliografias pertinentes para avaliar as espécies indicadoras de qualidade ambiental, conforme a ocorrência destes organismos na campanha.

IV.3.4 - Macrofauna Bentônica

Inicialmente, foi feita uma avaliação do esforço amostral, através do gráfico do número cumulativo de *taxa* por tréplica por campanha. Também foi utilizado o estimador de riqueza e a curva de Jackknife 1ª ordem, conforme fórmula apresentada no item anterior. Cabe ressaltar que para as demais análises foram utilizadas todas as campanhas já realizadas.

A caracterização da macrofauna bentônica foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição taxonômica.

Além da análise qualitativa, também foi feita a avaliação quantitativa dos dados, a partir da densidade média de organismos de cada estação. A densidade de cada tréplica foi calculada conforme fórmula abaixo e expressa em indivíduos por metro quadrado (ind/m²). Os dados médios da estação foram calculados a partir das densidades das tréplicas:

$$\text{densidade macrofauna bentônica} = \frac{\text{abundância}}{0,04 \text{ m}^2}$$

As comunidades também foram caracterizadas quanto a riqueza de taxa (número de taxa), utilizada em detrimento da riqueza de espécies dada a grande dificuldade na identificação desses indivíduos até este nível taxonômico. 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 evitar perda de dados. As tréplicas foram utilizadas cumulativamente para cada estação amostral, com intuito de aumentar a proximidade com os valores de riqueza reais do local.

Para ambas as análises, foram levados em consideração valores mínimos e máximos dos parâmetros nas estações, bem como valores médios. As médias foram acompanhadas do desvio-padrão, que 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 quanto a distribuição quali e quantitativa dentro desses grupos. Para macrofauna bentônica, os grandes grupos considerados nas análises foram: Annelida, Arthropoda, Echinodermata, Mollusca, Nemertea, Platyhelminthes, Sipuncula, Chordata, Porifera e Cnidaria. Não foram considerados, nas análises, os organismos identificados nas amostras e descritos nos laudos analíticos que não pertencem a macrofauna *stricto sensu*, como: Nematoda, Foraminifera, Copepoda Harpacticoida, Ostracoda, Gnathostomulida, Kinorhyncha, Tardigrada e organismos planctônicos como Pteropoda e Foraminifera.

Para completar a caracterização das comunidades, foram utilizados os índices de diversidade (H') e equitabilidade (J') calculados para as estações, conforme fórmulas apresentadas no item anterior. Também foi aplicada a razão crustáceos/riqueza de poliquetas (crus/poly). Essa razão é um método rápido para avaliar possíveis mudanças no ambiente (PIRES-VANIN *et al.*, 2011). Os crustáceos são mais sensíveis e menos abundantes em ambientes com contaminação, enquanto os poliquetas são mais resistentes e oportunistas nesses ambientes (STARK, 1998).

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha foram os mesmos utilizados para a qualidade do sedimento, listados anteriormente. Nestas comparações, sempre que possível, foram consideradas e avaliadas as diferenças nas metodologias analíticas e nos tratamentos prévios dados as amostras, pontuando as devidas ressalvas para a correta interpretação das análises comparativas. Também foram utilizadas outras bibliografias pertinentes para avaliar as espécies indicadoras de qualidade ambiental, conforme a ocorrência destes organismos na campanha.

A Tabela IV 12 2, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais. Para a biota aquática (plâncton e macrofauna bentônica), 100% das amostras analisadas tiveram resultados com qualidade satisfatória na avaliação dos controles de qualidade empregados nas análises laboratoriais, de modo que a totalidade dos resultados obtidos poderá ser utilizada sem ressalvas para a avaliação das condições da área de influência direta do empreendimento.

Tabela IV-13 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial da biota (água e sedimento).

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBSERVAÇÃO
BIOTA ÁGUA	Fitoplâncton	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
	Zooplâncton	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	4	0	-	-
		Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra MLZ_C14_J1002_VERT_200 µm
	Ictioplâncton	Validade da amostra	Validade > Data de análise	4	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	4	0	-	-
BIOTA SEDIMENTO	Macrofauna	Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra MLZ_C14_J1002_OBL_500
		Validade da amostra	Validade > Data de análise	54	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados,	54	0	-	-
		Retriagem de no mínimo 10% amostras	Organismos esquecidos < 10%	54	0	-	Validação nas amostras MLZ_6_R1, MLZ_4_R3, MLZ_D_2REP_R1, MLZ_D_1REP_R2, MLZ_D_1REP_R2 e MLZ_D_6R_R1

IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

IV.4.1 - Qualidade da Água e do Sedimento

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade da água das quatorze campanhas de monitoramento já realizadas 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. Esses diagramas também foram utilizados para comparar a qualidade do sedimento de todas as estações entre as campanhas, considerando todas as réplicas coletadas.

Para avaliar se houve diferença significativa nos parâmetros da qualidade da água e do sedimento entre as campanhas e entre as estações (neste último caso, somente para as amostras de sedimento) 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. Todas as análises de variância foram realizadas através do *software* Systat SigmaPlot 12.5. Para o sedimento, as comparações entre campanhas consideraram análise das diferenças estação a estação, considerando todas as réplicas coletadas.

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 de variância. Caso os pressupostos sejam atendidos, procede-se a ANOVA - *one way*. Caso contrário, o *software* retorna mensagem alertando o usuário e questionando se deve ser rodada 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 95% ($p < 0,05$).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas/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.

Ressalta-se ainda que as comparações dos dados de qualidade da água entre estações e profundidades desta campanha foram realizadas de maneira descritiva apenas, uma vez que a estratégia amostral adotada não permite comparações estatísticas mais robustas.

IV.4.2 - Biota Aquática

Assim como na análise dos parâmetros de qualidade de água e sedimento, a análise da estatística descritiva dos índices ecológicos do plâncton e da macrofauna bentônica entre as consecutivas campanhas foi realizada através de Diagramas de Caixa (Box-Plot), plotados através do software STATISTICA 10.0.

Para avaliar se houve diferença significativa nos índices biológicos da macrofauna entre as campanhas e 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, conforme explicado no item anterior. Todas as análises de variância foram realizadas através do *software* Systat SigmaPlot 12.5. Para todos os testes aplicados foi considerado um valor de significância de 95% ($p < 0,05$). Para a macrofauna bentônica, as comparações entre as campanhas consideraram análise das diferenças estação a estação. Para o plâncton, a comparação considerou somente a variação entre as campanhas.

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas/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*), 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). Ela 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) e também foi realizado para comparar as estações de amostragem, utilizando matriz de similaridade de *Bray-Curtis* com os dados brutos. Através dessa análise foram gerados dendogramas de agrupamento por similaridade das estações de coleta.

Devido ao pequeno número de amostras do zooplâncton e de ictioplâncton, as análises multivariadas descritas acima não foram utilizadas para essas comunidades, visto que elas exigem um número de dados maior.

IV.5 - **METODOLOGIA ANÁLISE INTEGRADA**

A análise integrada foi realizada para os ambientes pelágico e bentônico das estações de coleta amostradas para PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Essa análise objetiva integrar os dados biológicos e físico-químicos coletados na área de estudo para investigar possíveis respostas da biota às variações ambientais.

Para fins de comparação entre o ambiente abiótico e a porção biótica do ambiente pelágico (plâncton), foram utilizados apenas os dados das estações MLZ_M1000 e MLZ_J1002 para a aplicação de testes estatísticos de correlação e

análises de ordenação e agrupamento, uma vez que a porção biótica foi amostrada apenas nessas estações. No caso da comparação utilizando-se dados de fitoplâncton, os dados de todas as profundidades foram considerados individualmente. Nos casos envolvendo zooplâncton e ictioplâncton foram considerados os dados integrados nas profundidades SUP, ACTC e TC, contemplando os arrastos verticais (VER), para zooplâncton e os arrastos oblíquos (OBL) para ictioplâncton.

Para as comparações dos fatores abióticos e bióticos do ambiente bentônico, utilizou-se todas as estações amostrais.

Todas as variáveis, exceto pH, foram transformadas em $\log(x+1)$, para padronização. Após a transformação dos dados, foram realizadas correlações de Spearman, para avaliar a correlação entre os dados ambientais e biológicos, e as demais análises de ordenação e agrupamento.

Para o compartimento pelágico, foi primeiramente realizada uma análise de componentes principais (ACP) para avaliar a distribuição de todas as estações amostrais da 14ª campanha de monitoramento. Nessa ACP foram considerados os dados dos parâmetros ambientais de todas as amostras como variáveis ativas, com posterior plotagem das estações sobre o plano para identificação da influência dos resultados das amostras na ordenação da ACP. Outra ACP foi realizada utilizando-se apenas as estações com coletas de dados ambientais e biológicos. Nessa segunda ACP, as variáveis abióticas foram consideradas variáveis ativas, enquanto as variáveis biológicas foram utilizadas como variáveis suplementares, sendo sobrepostas sobre o plano da ACP.

Foi realizada ainda uma análise de agrupamento (Cluster), utilizando-se distância euclidiana como medida de similaridade entre as amostras e a média do grupo como medida de ligação dos grupos, para verificar a similaridade entre as estações de amostragem. Também foi realizada uma análise de escalonamento multidimensional (MDS), utilizando-se a distância euclidiana como medida de similaridade entre as amostras. Essa análise rearranja a distribuição das variáveis de estudo, visando detectar as menores dimensões significativas, explicando, assim, as similaridades ou dissimilaridades entre elas. Esta técnica não métrica representa, em um espaço reduzido, o escalonamento dos objetos (amostras), preservando as suas distâncias.

Com relação ao zooplâncton e ictioplâncton, foram realizadas comparações gráficas entre as variáveis abióticas e bióticas, respeitando-se as profundidades de realização dos arrastos, conforme já elucidado anteriormente.

Para o compartimento bentônico, duas ACP foram realizadas: uma considerando os dados ambientais de granulometria, matéria orgânica e nutrientes como variáveis ativas e os dados dos indicadores biológicos como variáveis suplementares, e outra utilizando-se os dados de metais como variáveis ativas e os indicadores biológicos como variáveis suplementares. Além das ACP's, foi realizada uma análise de agrupamento (*cluster*), utilizando a média do grupo como medida de ligação dos grupos para verificar a similaridade entre as estações de amostragem, e uma MDS. Tanto no *cluster* como na MDS, foi calculada a distância euclidiana como medida de similaridade entre as amostras.

Em todas as ACP's realizadas para ambos os compartimentos pelágico e bentônico, as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011), que deve ser maior ou igual a $(2/m)^{0,5}$, onde m = número de variáveis.

As análises estatísticas de correlação de Spearman foram realizadas no software Past, as ACP e *Cluster* no PCord 6.19 (MCCUNE & MEFFORD, 2011) e as MDS no software Primer 6.1.6.

Ressalta-se que, nas análises acima descritas, não foram considerados os parâmetros cujos resultados não foram detectados nas análises laboratoriais em nenhuma amostra, e nem os dados que não apresentaram variação entre as estações amostrais.

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é influenciada por fatores físicos, químicos e bióticos, sendo muito importante avaliar sua qualidade, visto que variações nos seus parâmetros influenciam diretamente a sobrevivência, crescimento e reprodução da biota aquática (BOYD, 1990; GARCIA & BRUNE, 1991).

V.1.1 - Temperatura e Salinidade

A análise da temperatura da água é de extrema importância, pois esse parâmetro influencia diferentes processos físico-químicos, como, por exemplo, a solubilidade de gases e o aumento das trocas gasosas entre o sedimento e a coluna d'água, além de interferir na especiação de metais solúveis na água (BYRNE *et al.*, 1988). A temperatura tem ainda influência direta nos organismos aquáticos, reduzindo a tolerância a outros fatores de estresse, influenciando seu crescimento, a migração, desova, incubação de ovos e a sobrevivência, bem como a ocorrência de espécies (PHILIPPI *et al.*, 2004).

Assim como a temperatura, a salinidade tem forte influência sobre a biota, sendo um fator limitante na distribuição de diferentes espécies marinhas. A análise dos dados de temperatura e salinidade é importante também para o entendimento físico do ambiente e a análise conjunta destes dados permite a identificação das diferentes massas d'água presentes nas regiões (BOLTOVSKOY, 1981; CASTRO FILHO & MIRANDA, 1998; BRAGA & NIENCHESKI, 2006).

Na atual campanha, os maiores valores médios de temperatura entre profundidades foram registrados na SUP ($28,02 \pm 0,11$ °C) e ACTC ($27,89 \pm 0,21$ °C), com valores máximos de $28,16$ °C (SUP da estação MLZ_J503) e de $28,12$ °C (ACTC da estação MLZ_J502). Os valores de temperatura encontrados na termoclina variaram entre $25,20$ °C (MLZ_J502) e $27,20$ °C (MLZ_J250) com média de $26,26 \pm 0,64$ °C. Abaixo da termoclina, os valores variaram entre $23,84$ °C (estação MLZ_J502) e $26,22$ °C (estação MLZ_M1000) com média $24,98 \pm 0,90$ °C (Tabela V-1).

Tabela V-1 – Valores de temperatura (°C) medidos, média e desvio padrão (DP) nos quatro estratos amostrados na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003		
SUP	27,85	27,90	27,97	28,07	28,14	28,16	28,08	27,92	28,10	28,02	0,11
ACTC	27,83	27,62	27,96	28,08	28,12	28,09	27,68	27,59	28,04	27,89	0,21
TC	26,78	26,15	27,20	27,09	25,20	26,03	26,03	25,99	25,86	26,26	0,64
ABTC	26,22	25,61	25,86	25,89	23,84	24,21	24,62	24,31	24,26	24,98	0,90
Máx.	27,85	27,90	27,97	28,08	28,14	28,16	28,08	27,92	28,10		
Mín.	26,22	25,61	25,86	25,89	23,84	24,21	24,62	24,31	24,26		
Média	27,17	26,82	27,25	27,28	26,33	26,62	26,60	26,45	26,57		
DP	0,81	1,11	0,99	1,04	2,16	1,89	1,59	1,66	1,86		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Na Figura V-1 verifica-se o perfil da temperatura nas estações de coleta ao longo da coluna d'água nos quatro estratos amostrados, onde é possível constatar um padrão geral de diminuição da temperatura de SUP para ABTC.

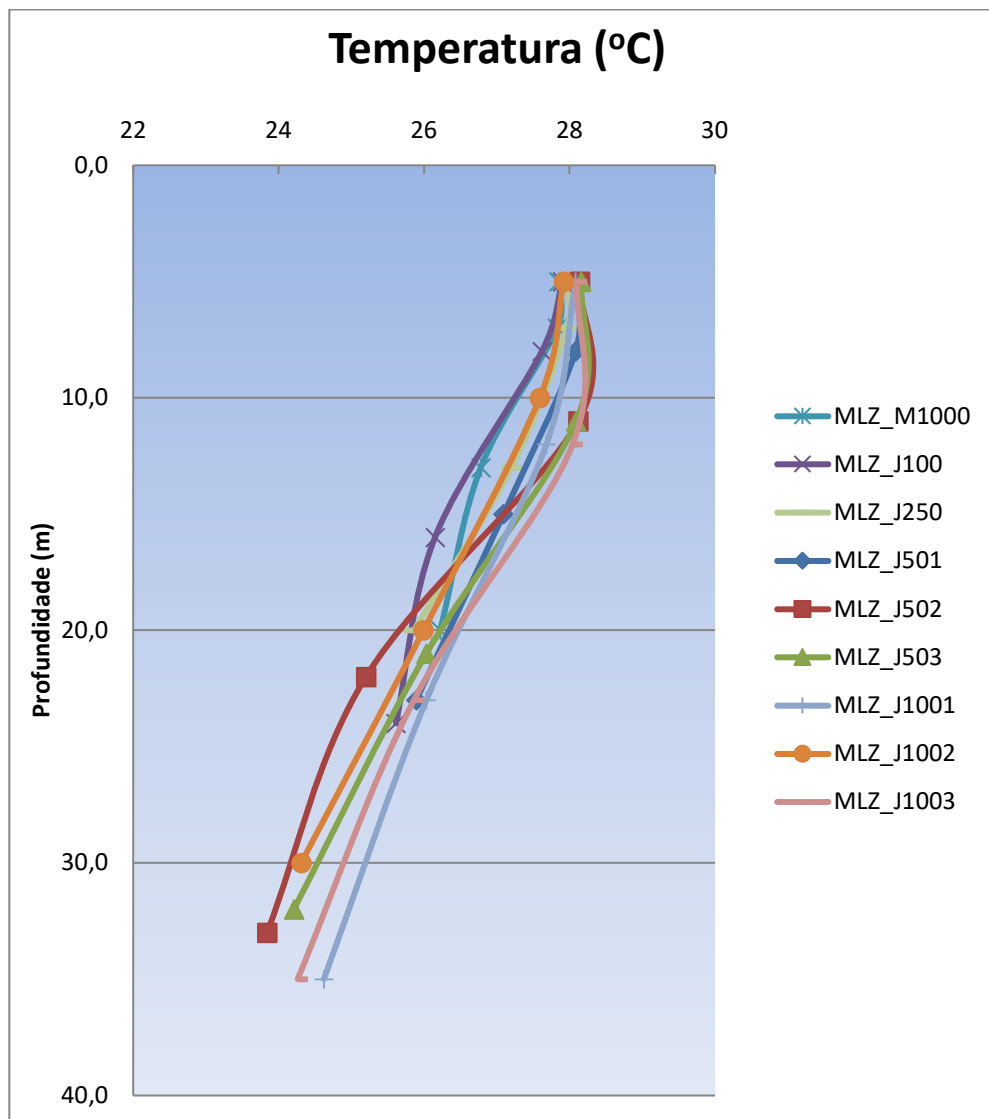


Figura V-1 – Temperatura da água (°C) da atual campanha de monitoramento ambiental.

Na Figura V-2 são apresentados os valores de temperatura da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD, onde é possível verificar a presença de uma termoclina, a partir dos 10 até 100 m em todas as estações.

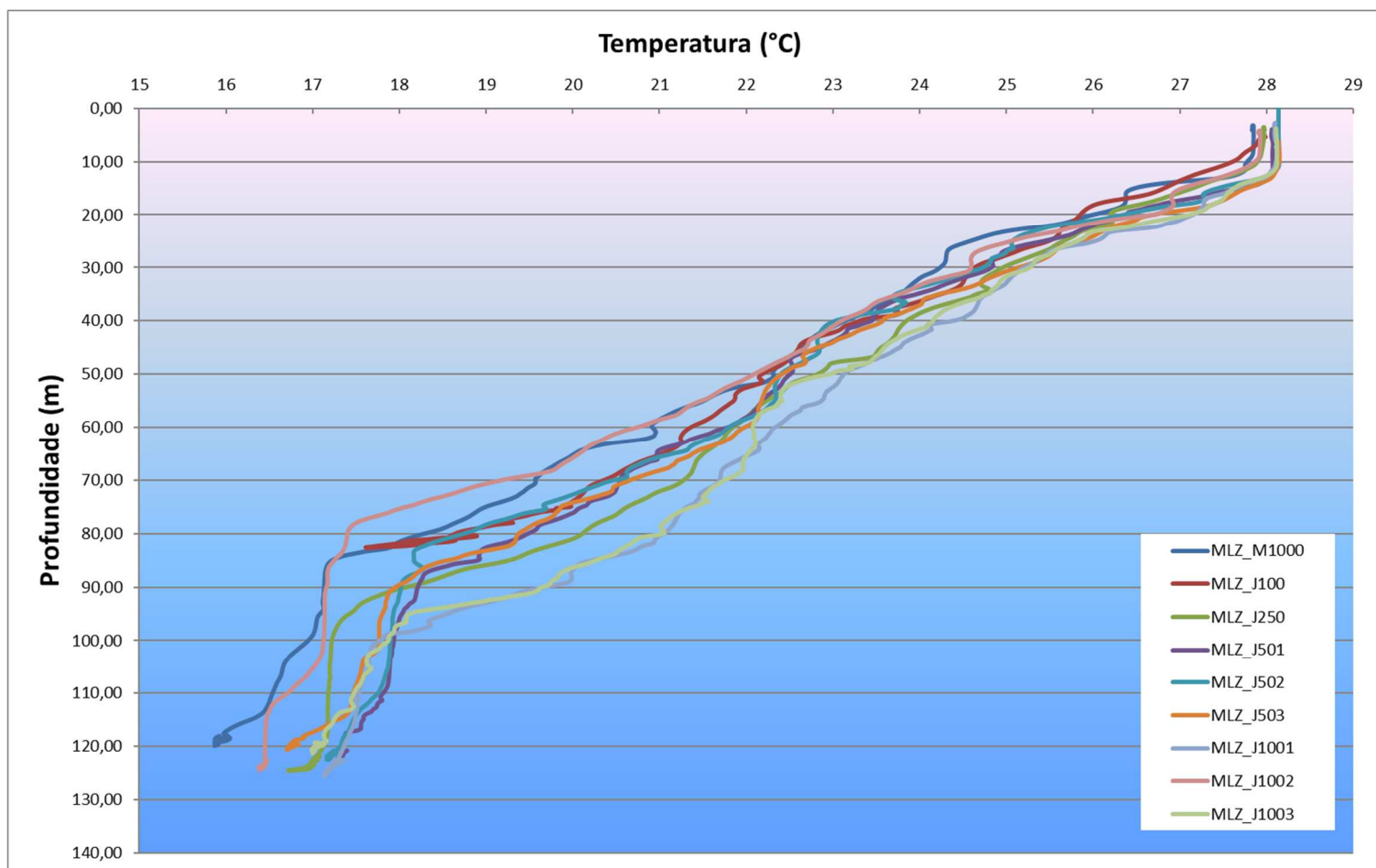


Figura V-2 – Perfis de temperatura (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento.

Em relação à salinidade, o menor valor medido foi de 35,82 na estação MLZ_M1000, na superfície, e o maior, 36,60 na estação MLZ_J100, na camada abaixo da termoclina (Tabela V-2). Considerando todas as estações, a salinidade média variou entre $35,93 \pm 0,06$, na SUP, a $36,47 \pm 0,10$, na ABTC.

Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos nos quatro estratos amostrados na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003	
SUP	35,82	35,97	35,97	35,93	35,91	35,95	35,95	35,85	35,98	35,93
ACTC	35,82	35,95	35,96	35,94	35,98	35,99	35,99	35,90	35,98	35,95
TC	36,14	36,33	36,08	36,13	36,47	36,28	36,25	36,37	36,31	36,26
ABTC	36,46	36,60	36,33	36,28	36,47	36,51	36,48	36,53	36,53	36,47
Máx.	36,46	36,60	36,33	36,28	36,47	36,51	36,48	36,53	36,53	
Mín.	35,82	35,95	35,96	35,93	35,91	35,95	35,95	35,85	35,98	
Média	36,06	36,21	36,09	36,07	36,21	36,18	36,17	36,16	36,20	
DP	0,31	0,31	0,17	0,17	0,30	0,26	0,25	0,34	0,27	

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

De maneira geral, a salinidade aumentou da superfície até a ABTC, na maioria das estações, exceto em MLZ_J502, que a salinidade aumentou da superfície até a termoclina, e depois diminuiu da TC para ABTC (Figura V-3).

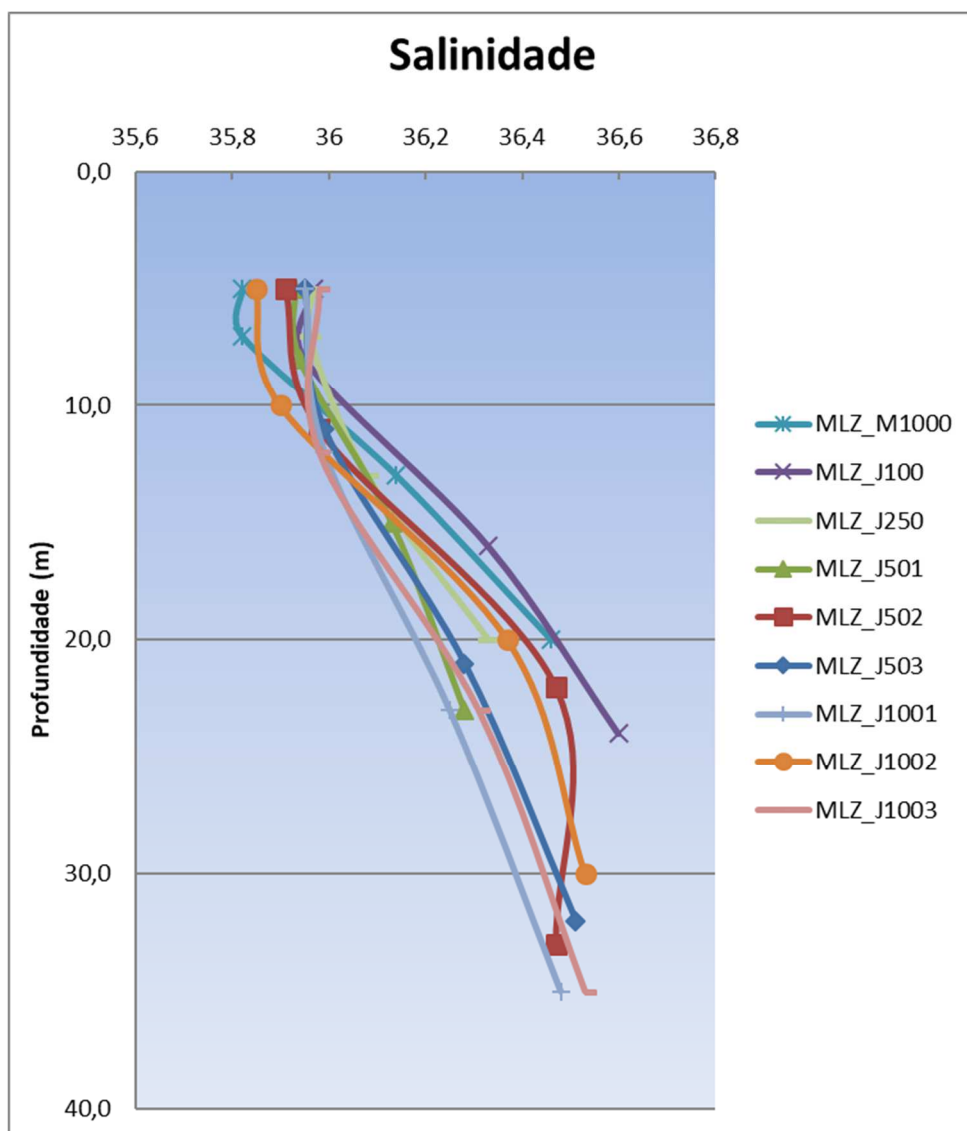


Figura V-3 – Valores de salinidade obtidos na atual campanha de monitoramento.

Na Figura V-4 são apresentados os valores de salinidade da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD, na qual é possível constatar que a presença da haloclina, iniciando por volta dos 10 m de profundidade, com padrão de aumento da salinidade até a faixa de profundidade entre 20 e 35 m, onde ocorre inversão do padrão, com diminuição acentuada dos valores até as profundidades finais de 80 a 120 m.

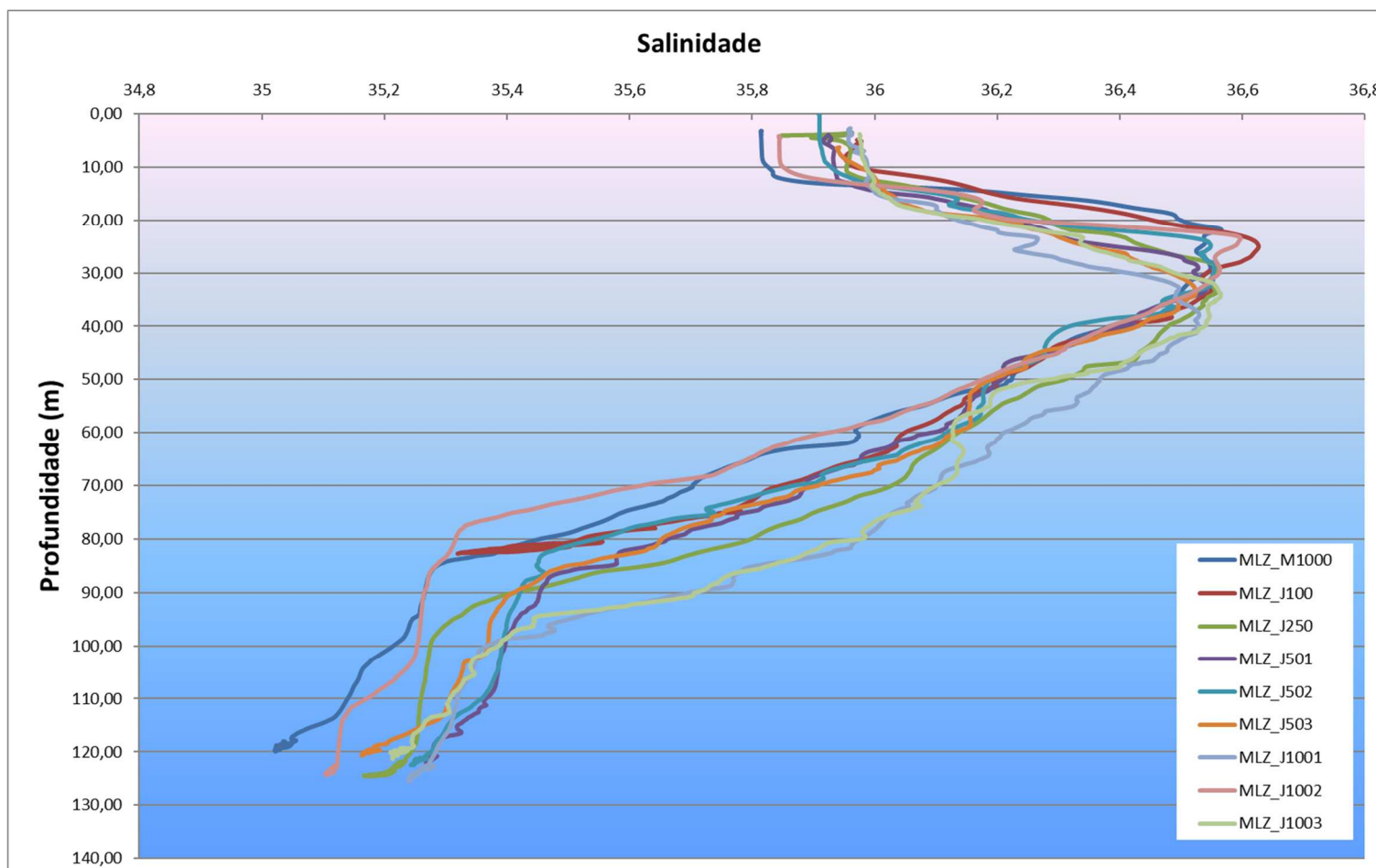


Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.

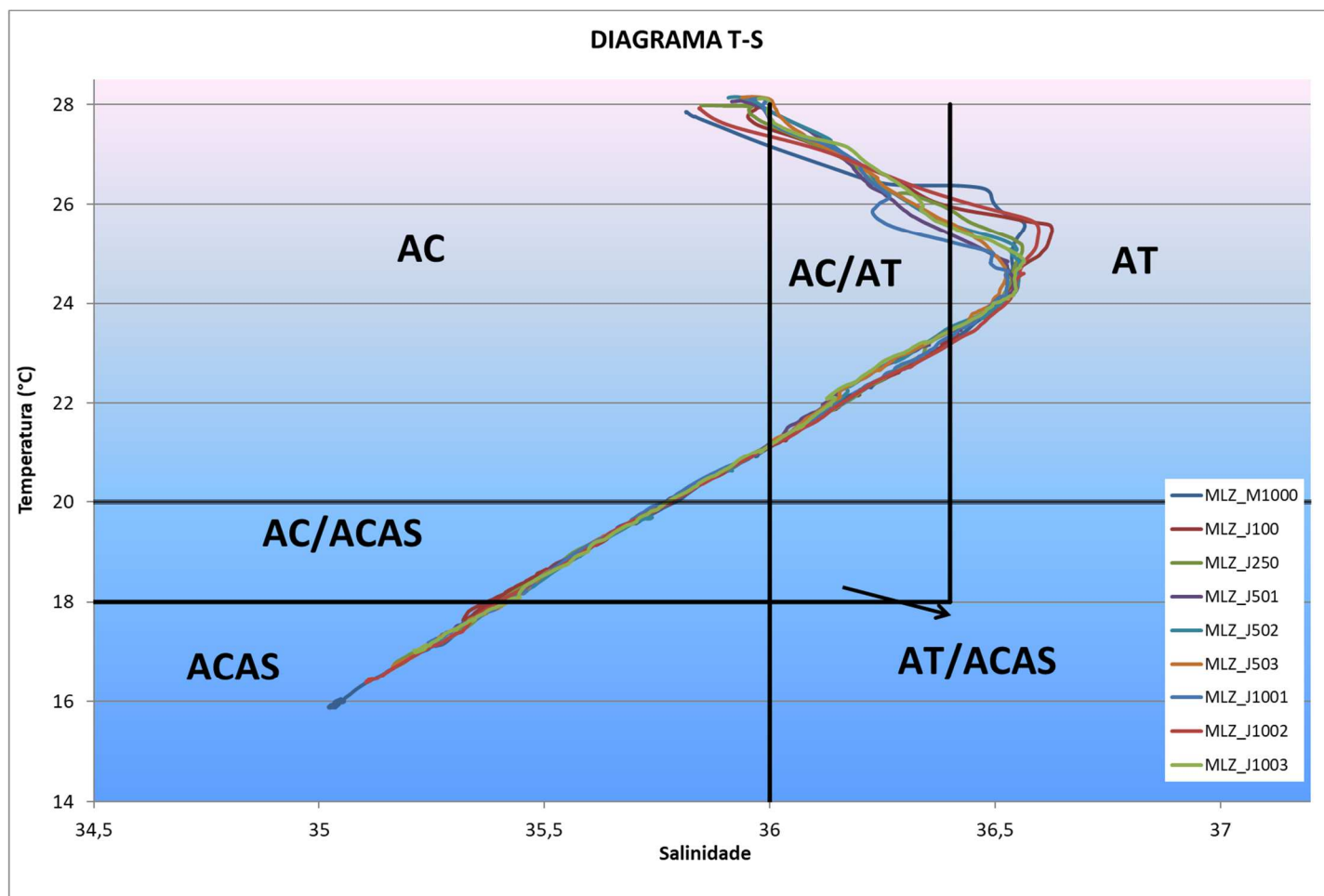
Petrobras/Habtec (2003) encontraram para a região da área de estudo temperaturas variando entre 14,50 e 24,26 °C, e de salinidade oscilando entre 35,52 e 36,56, ambos os parâmetros até 100 m de profundidade. Na Tabela V-3 são apresentados os valores mínimos e máximos de temperatura e salinidade encontrados nas campanhas de monitoramento deste projeto anteriormente realizadas na região. Os valores de temperatura encontrados na atual campanha apresentam-se na faixa superior dos resultados verificados anteriormente, com valor máximo superior em relação a todas as demais campanhas. Já os dados de salinidade foram bastante coerentes com os resultados das demais campanhas.

Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade da água encontrados nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ.

Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
C1 MLZ ¹	16,95 (ABTC)	27,15 (SUP)	35,47 (SUP)	36,29 (35 m)
C2 MLZ ²	15,26 (ABTC)	25,54 (SUP)	35,12 (113 m)	37,37 (31 m)
C3 MLZ ³	14,37 (115 m)	24,46 (SUP)	35,41 (110 m)	36,43 (10 m)
C4 MLZ ⁴	18,50 (ABTC)	25,60 (SUP/ACTC)	35,69 (ABTC)	36,24 (ACTC)
C5 MLZ ⁵	20,21 (ABTC)	24,45 (SUP)	35,60 (TC)	36,63 (ABTC)
C6 MLZ ⁶	21,97 (ABTC)	26,47 (SUP)	35,67 (SUP)	36,73 (ABTC)
C7 MLZ ⁷	20,02 (ABTC)	22,84 (SUP/TC)	36,04 (SUP/ACTC)	36,41 (ABTC)
C8 MLZ ⁸	19,56 (ABTC)	24,17 (SUP)	34,74 (SUP)	36,55 (TC)
C9 MLZ ⁹	20,02 (ABTC)	24,25 (SUP)	35,60 (ABTC)	37,00 (TC)
C10 MLZ ¹⁰	17,14 (ABTC)	23,02 (SUP)	35,20 (SUP)	36,54 (TC)
C11 MLZ ¹¹	20,35 (ABTC)	27,82 (SUP)	36,02 (SUP)	36,85 (TC)
C12 MLZ ¹²	17,27 (ABTC)	26,03 (TC)	35,35 (TC)	36,91 (ABTC)
C13 MLZ ¹³	20,78 (ABTC)	23,43 (SUP)	35,00 (SUP)	36,74 (ACTC)

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023)

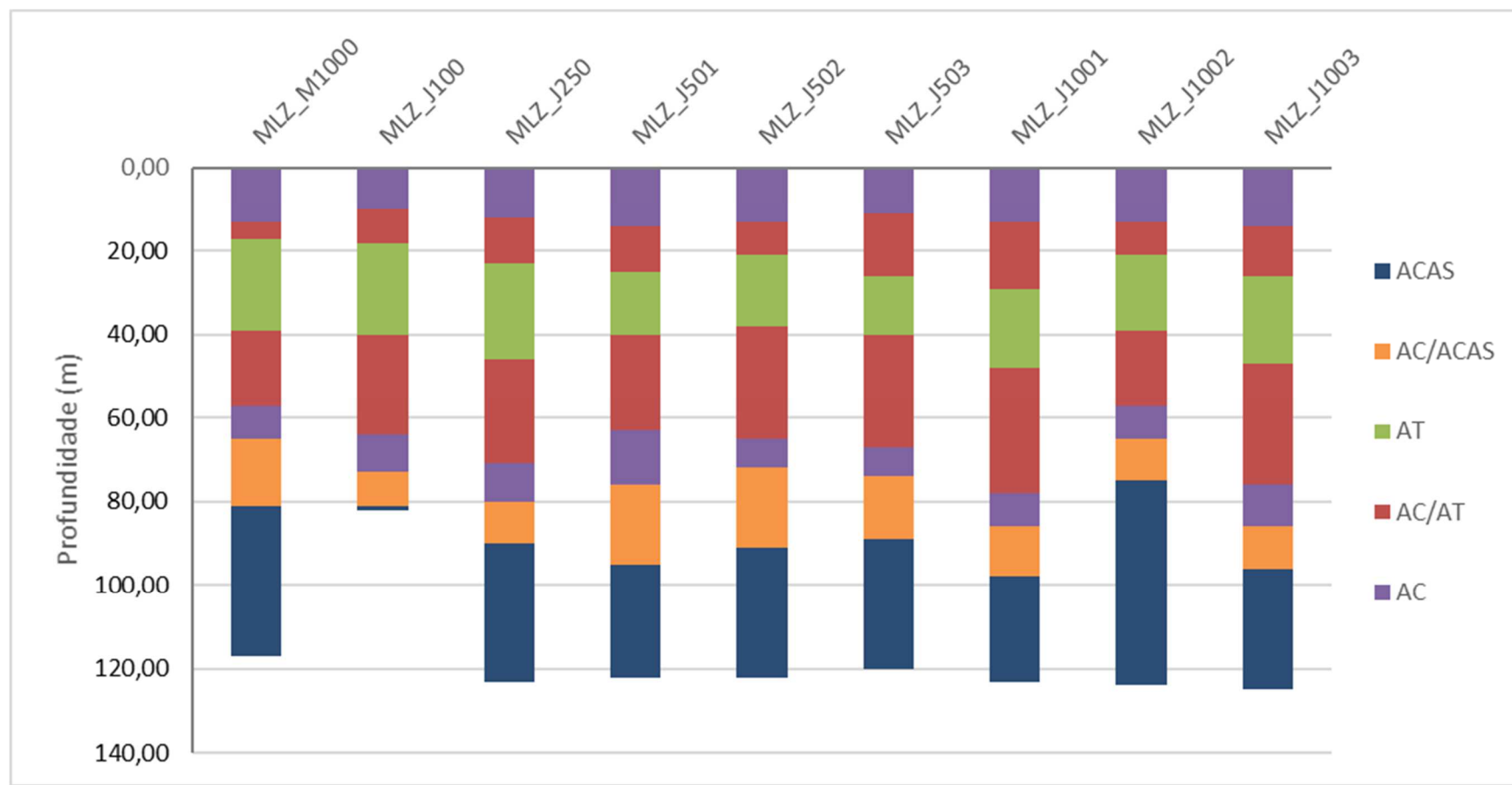
A partir dos dados de temperatura e salinidade coletados pelo CTD (Figura V-2 e Figura V-4), obteve-se o diagrama T-S (Figura V-5), através do qual as massas de água foram classificadas conforme Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000).



Legenda: AC=Água Costeira; AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AC/AT=mistura de AC e AT; AC/ACAS=mistura de AC e ACAS e AT/ACAS=mistura de AT e ACAS.

Figura V-5 – Diagrama T-S da atual campanha de monitoramento.

A análise dos dados mostrou a ocorrência de três massas d'água ao longo da coluna d'água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), e Água Central do Atlântico Sul (ACAS), além de águas de mistura entre elas (Figura V-6).



Legenda: AC=Água Costeira; AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AC/AT=mistura de AC e AT; AC/ACAS=mistura de AC e ACAS.

Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'água na atual campanha de monitoramento.

A AC ocupou a porção mais superficial em todas as estações, atingindo em média, 13 m de profundidade. Na sequência, em todas as estações, ocorreram as seguintes massas d'água: mistura AC/AT, ocupando média de 22 m; AT, ocupando média de 41,89 m, e máxima de 48 m na estação MLZ_J1001, novamente a mistura AC/AT, média de 66 m, com máxima de 78 m, também na estação MLZ_J1001, novamente AC, entre 65 e 86 m, então AC/ACAS, com média de 88 m e máxima de 98 m, em MLZ_J1001 e, por fim ACAS. A ACAS ocupou as porções mais profundas da coluna d'água, a partir de 82 m de profundidade, em MLZ_J100, com média de 117,56 m e máxima de 125m em MLZ_J1003.

A ACAS é formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical e transportada pelas correntes através do giro Subtropical do Atlântico Sul até atingir a costa brasileira, onde sofre bifurcação aproximadamente em 22 °S, na região do Cabo de São Tomé (SILVEIRA *et al.*, 2000).

As massas de água verificadas na atual campanha também ocorreram nas treze campanhas anteriores de monitoramento da atividade de Merluza (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023) (Quadro V-1). Verifica-se que a atual campanha obteve amostras na AC para os dois estratos mais superficiais, com amostragem de AT a partir da termoclina. Este padrão diferencia-se das amostragens das campanhas anteriores, que apresentaram maior heterogeneidade, normalmente com menos representatividade da AC, amostragem de AT já nos estratos mais superficiais e de ACAS a partir do estrato TC.

Quadro V-1 – Distribuição das massas d'água nos diferentes estratos do PMPR_MLZ.

Estratos	Campanhas													
	MLZ_C1	MLZ_C2	MLZ_C3	MLZ_C4	MLZ_C5	MLZ_C6	MLZ_C7	MLZ_C8	MLZ_C9	MLZ_C10	MLZ_C11	MLZ_C12	MLZ_C13	MLZ_C14
SUP	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC/AT	AC	AC/AT	AC	AT*	AC	AC	AC
	AC/AT	AC/AT	AC/AT AT	AC/AT	AC/AT AT	AC/AT		AC/AT AT			AC/AT	AC/AT	AT AC/AT	
ACTC	AC	AC	AC	AC	AC		AC/AT	AC/AT	AC/AT	AC	AT	AC	AC	AC
	AC/AT	AC/AT AT	AC/AT AT	AC/AT AT	AC/AT AT			AT	AT	AC/AT	AC/AT	AC/AT AT	AC/AT AT	
TC	AC	AC	AC	AC/AT	AC	AC	AC/AT	AC/AT	AT	AC/AT	AT	AC	AC	AC
	AC/AT	AC/AT AT	AC/AT AT AT/ACAS	AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AC/AT AT	AC/AT AT	AT	AT	AT/ACAS	AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AC/AT	AC/AT AT AT/ACAS AC/ACAS	AC/AT AT	AC/AT
ABTC	ACAS	AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AC AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AT AC/AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AT AC/AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AC/AT AT AT/ACAS ACAS	AT/ACAS ACAS	AT/ACAS ACAS	ACAS	AT AC/AT AT/ACAS ACAS	AC AC/AT AT AT/ACAS AC/ACAS	AT AT/ACAS ACAS	AC AT AC/AT AC/ACAS ACAS

* AT ocorreu somente na SUP das estações MLZ_M1000 e MLZ_J501.

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é um dos gases mais importantes presentes nos ecossistemas aquáticos. Seus níveis indicam a capacidade que o ambiente tem em manter os organismos vivos, sendo ele um elemento vital para o metabolismo dos organismos aeróbicos (LALLI & PARSONS, 1995).

Suas principais fontes para o ambiente aquático são a atmosfera e a fotossíntese; já as suas perdas estão relacionadas ao consumo, à decomposição da matéria orgânica (oxidação), à liberação para a atmosfera, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias como íons metálicos – ferro (II) e manganês (II), por exemplo (HILL *et al.*, 1993).

A quantidade de oxigênio dissolvido depende da temperatura da água, bem como da pressão atmosférica e da salinidade. Quanto maior a pressão, maior a dissolução, e quanto maior a temperatura, menor a dissolução desse gás (LALLI & PARSONS, 1995). O teor de oxigênio em corpos d'água naturais apresenta concentrações próximas, porém menores, a 10 mg/L em águas não poluídas. Além disso, a concentração de oxigênio dissolvido pode auxiliar na detecção de impactos ambientais (ex. eutrofização e poluição orgânica).

Na presente campanha de monitoramento, os valores de oxigênio dissolvido registrados nas estações variaram entre 6,47 mg/L, na ACTC da estação MLZ_J501, e 7,30 mg/L, na TC da estação MLZ_J502 (Tabela V-4 e Figura V-7).

Conforme observado na Tabela V-4, os menores valores médios de oxigênio dissolvido estão presentes na camada ACTC ($6,87 \pm 0,23$ mg/L) e SUP ($6,96 \pm 0,14$ mg/L). Já os maiores valores médios de OD, de maneira geral, são apresentados na TC ($7,19 \pm 0,10$ mg/L). De acordo com os padrões CONAMA, todos os valores medidos na atual campanha estiveram acima do limite mínimo estabelecido para águas salinas de classe 1, de 6,0 mg/L.

Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003		
SUP	7,12	6,80	6,95	6,79	7,11	7,10	6,78	6,92	7,04	6,96	0,14
ACTC	6,90	7,11	6,90	6,47	7,02	6,57	6,73	7,09	7,03	6,87	0,23
TC	7,23	7,29	7,12	7,15	7,30	7,29	6,99	7,13	7,25	7,19	0,10
ABTC	6,99	7,30	7,24	6,90	6,88	6,88	6,52	7,29	7,17	7,02	0,26
Máx.	7,23	7,30	7,24	7,15	7,30	7,29	6,99	7,29	7,25		
Mín.	6,90	6,80	6,90	6,47	6,88	6,57	6,52	6,92	7,03		
Média	7,06	7,13	7,05	6,83	7,08	6,96	6,76	7,11	7,12		
DP	0,14	0,23	0,16	0,28	0,18	0,31	0,19	0,15	0,11		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

A distribuição vertical das concentrações de OD não mostrou padrão bem definido de variação entre as estações. No entanto, alguma coerência é observada entre MLZ_M1000, MLZ_J501, MLZ_J502, MLZ_J503, MLZ_J1001, MLZ_J1003. com a diminuição das concentrações de SUP para ACTC, aumento até TC e nova diminuição até ABTC. (Figura V-7).

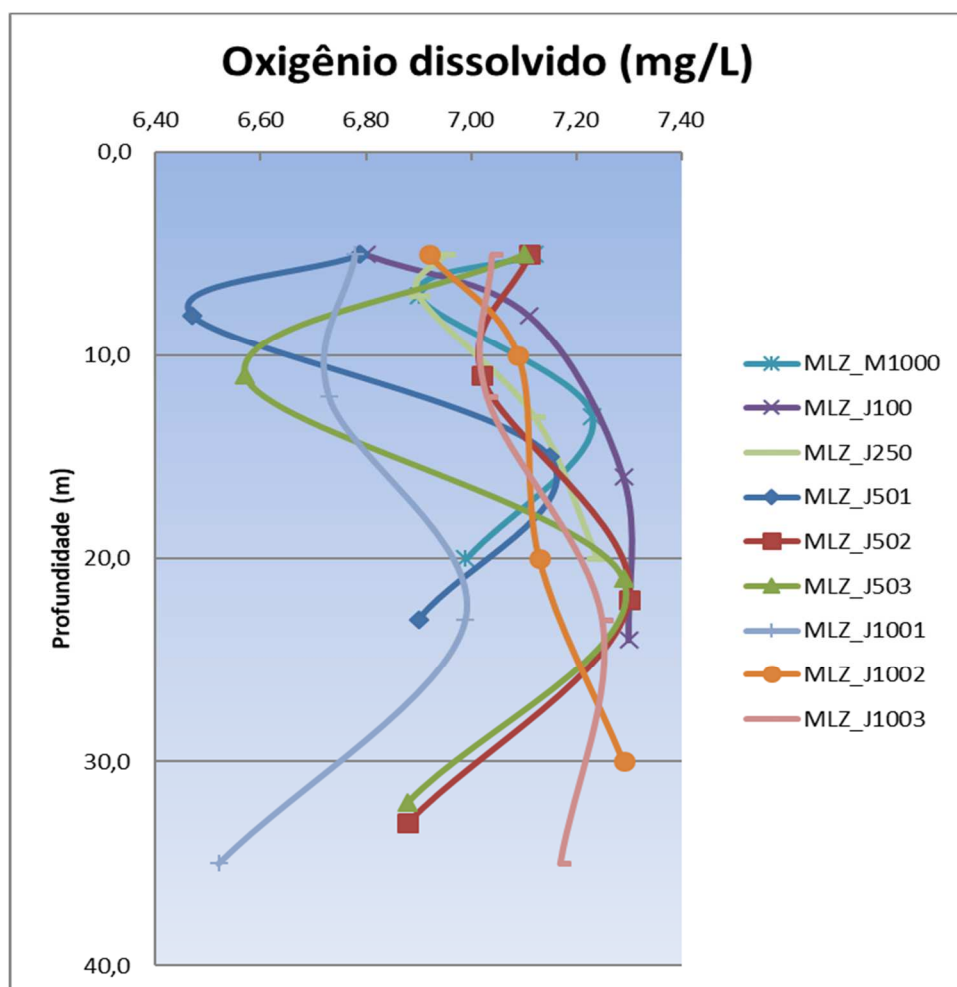


Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.

Os perfis verticais das concentrações de OD na coluna d'água obtidos com CTD revelaram um padrão de bastante oscilação mas sem tendência de aumento ou declínio das concentrações nas profundidades até 12 m, seguido de aumento progressivo dos valores até aproximadamente 35 m de profundidade, uma região de maiores variações e instabilidades até a faixa de 60 m de profundidade e posterior declínio da concentração até o fundo em todas as estações (Figura V-8).

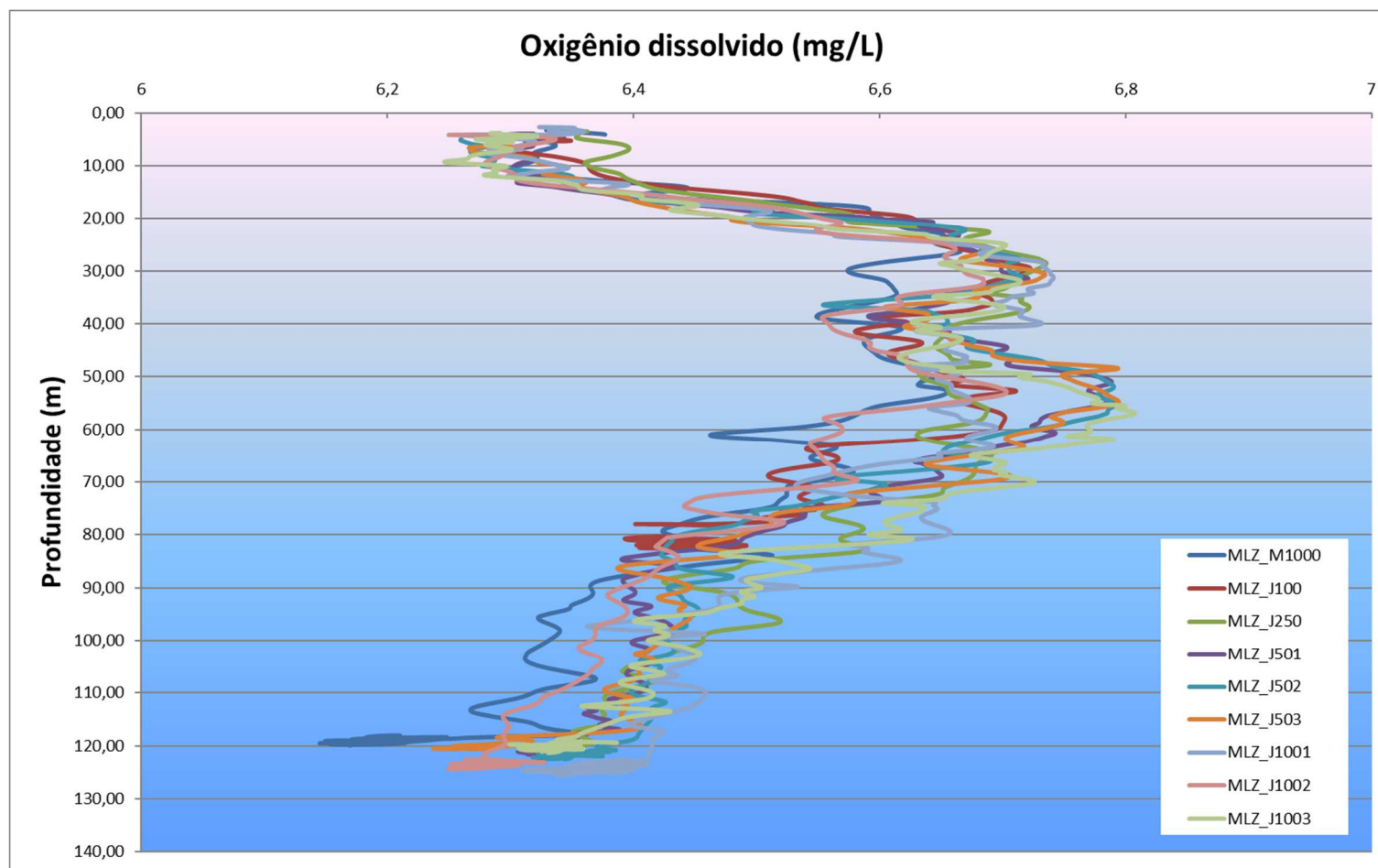


Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.

Segundo Petrobras/Analytical Solutions (2002), na região da Bacia de Santos, foram encontradas médias de oxigênio dissolvido iguais a 6,30 mg/L (10 m de profundidade) e 6,08 mg/L (40 m de profundidade). Segundo Petrobras (2022), foram encontrados valores de OD entre 5,2 e 8,1 mg/L.

Já durante as treze campanhas anteriores de monitoramento ambiental da atividade de Merluza (Tabela V-5), as concentrações de OD variaram de 4,48 mg/L (ACTC) a 8,92 (ACTC) mg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022). Os valores da atual campanha apresentaram-se dentro da faixa de variação dos valores encontrados na literatura para a região.

Tabela V-5 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) encontradas na água nas campanhas anteriores de monitoramento do PMAEpro_PMPR_MLZ.

Campanha	OD (mg/L)	
	Mín.	Máx.
C1 MLZ ¹	6,07 (SUP/ACTC)	8,77 (SUP)
C2 MLZ ²	6,40 (TC)	7,40 (SUP)
C3 MLZ ³	4,48 (ACTC)	8,92 (ACTC)
C4 MLZ ⁴	6,27 (ACTC)	7,16 (TC)
C5 MLZ ⁵	6,28 (ABTC)	7,71 (ACTC)
C6 MLZ ⁶	6,04 (TC)	6,90 (ABTC)
C7 MLZ ⁷	6,32 (SUP)	7,03 (ACTC)
C8 MLZ ⁸	6,68 (ABTC)	7,38 (TC)
C9 MLZ ⁹	7,57 (ABTC)	8,43 (TC)
C10 MLZ ¹⁰	5,89 (ABTC)	6,67 (SUP)
C11 MLZ ¹¹	6,80 (SUP)	7,48 (TC)
C12 MLZ ¹²	6,56 (SUP)	7,10 (SUP/TC/ABTC)
C13 MLZ ¹³	6,82 (SUP)	7,20 (SUP)

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-9 são apresentadas as faixas de concentrações de oxigênio dissolvido (OD) obtidas em cada profundidade nas 14 campanhas de monitoramento da fase de operação do Sistema de Merluza. Para a profundidade ACTC, a comparação não considera dados para a sexta campanha, uma vez que

essa camada foi suprimida devido a menor profundidade da termoclina. É possível verificar que a 1ª campanha mostrou uma variação mais ampla nas concentrações de OD em cada profundidade, exceto na ACTC, onde foi observada a maior de todas as variações, de 4,48 a 8,92 mg/L, durante a terceira campanha. De maneira geral, observa-se menos variabilidade dos dados a partir da 6ª campanha. Na comparação dos resultados de concentração de OD obtidos em cada um dos níveis de profundidade nas campanhas da fase de operação, foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas para todas as camadas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Na superfície, a nona campanha diferiu da segunda, terceira, quarta, quinta, sexta e décima campanha, a décima campanha diferiu da primeira e da décima quarta, e a oitava, a décima primeira e a décima terceira diferiram da sexta e da décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada ACTC, a nona campanha diferiu da terceira e décima campanha e a oitava e décima primeira campanha diferiram da décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a nona campanha diferiu da segunda, terceira, quarta, sexta, sétima, décima e décima segunda campanha, a primeira, a oitava, a décima primeira e a décima quarta campanha diferiram da sexta e décima campanha, e a décima campanha diferiu da décima terceira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada ABTC, a nona campanha diferiu da terceira, quarta, sexta, sétima e décima campanha, a décima primeira diferiu da quarta, da sétima e da décima, a décima diferiu da primeira, da oitava, da décima terceira e da décima quarta, e a primeira diferiu da quarta (*Tukey*, $p < 0,05$).

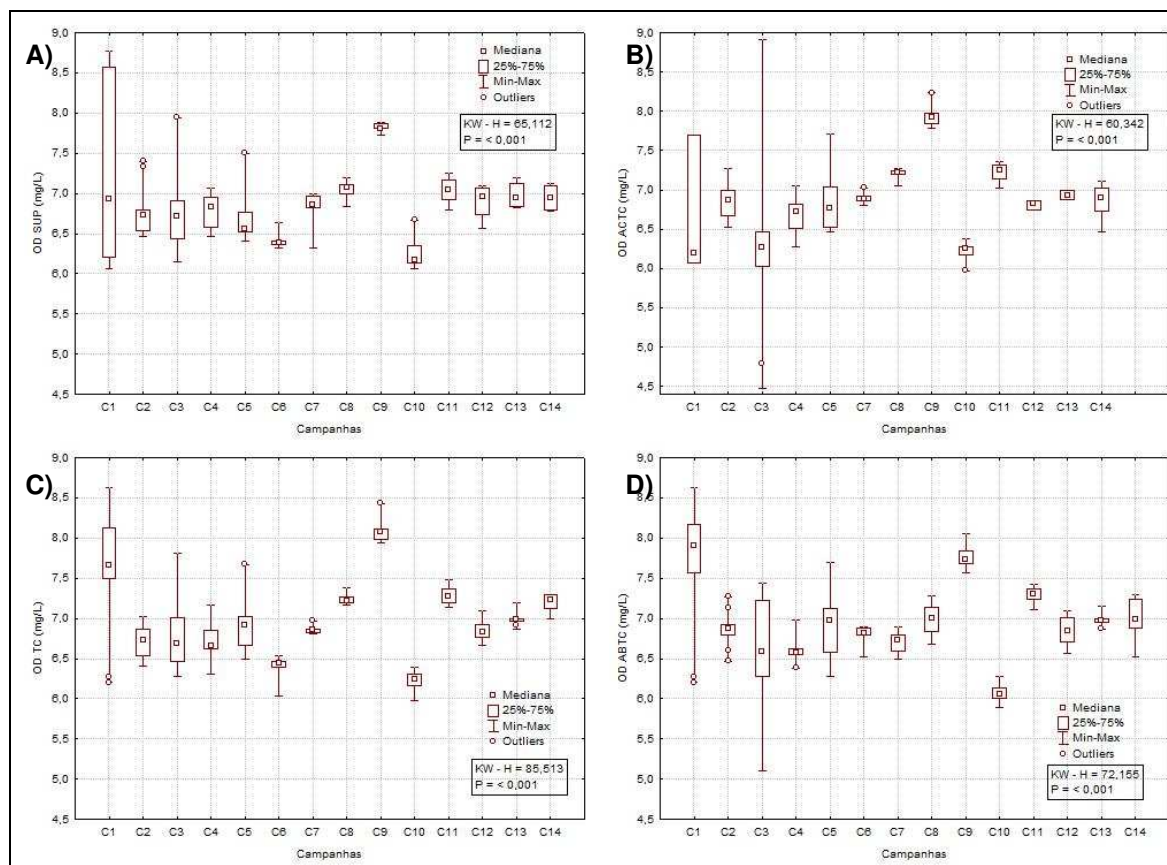


Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico

Os valores de pH na água do mar podem apresentar variações significativas naturalmente, visto que o potencial hidrogeniônico é condicionado por diversos fatores físico-químicos e biológicos (NIENCHESKI *et al.*, 1999), impossibilitando a caracterização de um ecossistema somente em função desse parâmetro (NIENCHESKI *et al.*, 1999).

Na maioria das águas naturais, o pH é influenciado pela concentração de H^+ , originada da dissociação do ácido carbônico por processos como respiração e decomposição (BOYD, 2001), o que gera valores baixos de pH. Uma pequena diminuição no pH pode estar associada ao aumento no teor de matéria orgânica que leva a consequente queda da quantidade de oxigênio dissolvido (MAIER, 1987). No sistema oceânico, os valores de pH apresentam pequenas variações,

devido ao mecanismo tampão associado à água do mar. No entanto, variações na ordem de 7,8 a 8,2 podem ser observadas, associadas, sobretudo, aos fenômenos de oxidação de matéria orgânica, produção primária e incorporação de CO₂ atmosférico pelo sistema marinho. Variações mais amplas no pH acontecem, geralmente, onde existem importantes aportes terrestres (BRAGA & NIENCHESKI, 2006).

O pH influencia também a solubilidade de diversas substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade. Byrne *et al.* (1988) observaram que a complexação de metais hidrolizados, além de estar associada à temperatura, é fortemente influenciada pelo valor do pH.

Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH da água podem resultar no desaparecimento dos organismos, como também estresse (MACEDO, 2007). Já as reações de íons carbonato e bicarbonato com a molécula de água elevam os valores de pH para a faixa alcalina (ESTEVES, 1988), ocasionando estresse ou morte de peixes (MACEDO, 2007).

Na presente campanha de monitoramento o pH variou entre 8,12 (SUP da estação MLZ_J1003) e 8,36 (TC e ABTC da estação MLZ_J1001) (Tabela V-6). A média entre as estações variou de $8,18 \pm 0,03$ em MLZ_J501 e MLZ_J503 a $8,35 \pm 0,02$ em MLZ_J1001. Na superfície foi observado o menor valor médio de pH por estrato ($8,23 \pm 0,09$), enquanto a maior média ($8,29 \pm 0,06$) foi observada na ABTC.

Tabela V-6 – Valores de pH medidos na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003		
SUP	8,33	8,28	8,25	8,15	8,16	8,14	8,32	8,33	8,12	8,23	0,09
ACTC	8,33	8,31	8,29	8,18	8,17	8,16	8,35	8,32	8,23	8,26	0,08
TC	8,34	8,33	8,31	8,19	8,20	8,20	8,36	8,33	8,26	8,28	0,07
ABTC	8,35	8,33	8,32	8,21	8,21	8,30	8,36	8,35	8,21	8,29	0,06
Máx.	8,35	8,33	8,32	8,21	8,21	8,30	8,36	8,35	8,26		
Mín.	8,33	8,28	8,25	8,15	8,16	8,14	8,32	8,32	8,12		
Média	8,34	8,31	8,29	8,18	8,19	8,20	8,35	8,33	8,21		
DP	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,07	0,02	0,01	0,06		

Legenda: SUP: Superfície; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Verificou-se bastante homogeneidade do pH ao longo das profundidades amostradas em cada uma das estações, destacando-se, no entanto, uma maior variação de valores em MLZ_J503 e em MLZ_J1003 (Figura V-10). Nota-se também uma separação dos dados em dois grupos, cuja composição reflete a ordem de coleta nas estações. Assim, o grupo, com valores de pH mais altos, consiste das estações amostradas primeiro, com coletas ocorridas até às 21 hs do dia 07/02/2023. Já o grupo com valores menores, consiste das estações amostradas na sequência, amostradas até as 04h08 do dia 08/02/2023.

De qualquer forma, todos os valores de pH obtidos na atual campanha de monitoramento se encontram entre os limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas classe 1, de 6,5 a 8,5.

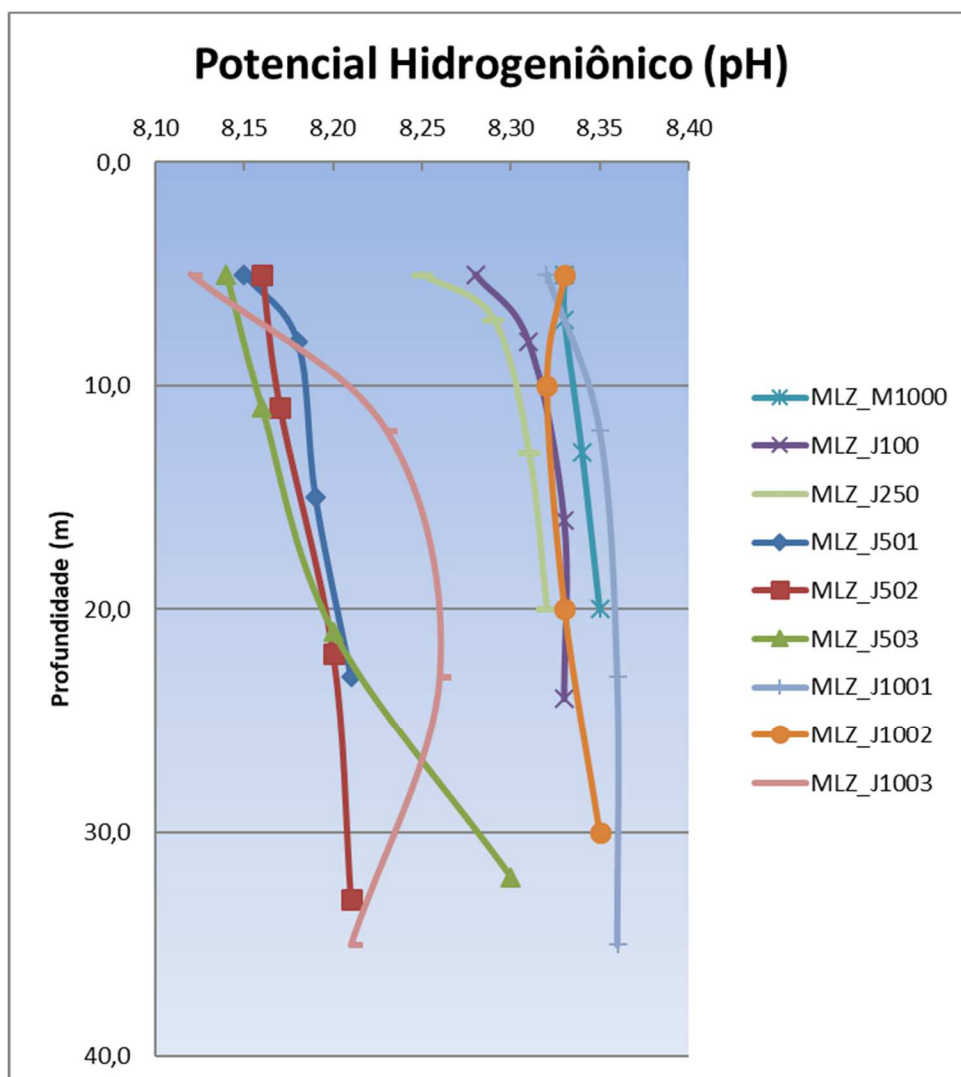


Figura V-10 – Perfis de pH obtidos na atual campanha de monitoramento.

Os perfis verticais dos valores de pH na coluna d'água obtidos com CTD revelaram um padrão de ligeiro aumento dos valores de pH até a profundidade aproximada de 30 m, seguido de diminuição gradual até o fundo em todas as estações (Figura V-11). Ao contrário dos agrupamentos observados para os dados de pH de bancada, os dados de CTD não evidenciam diferenças entre as estações na faixa de profundidades amostradas, isso é, entre superfície e 35 m, apresentando valores que corroboram apenas com o grupo de estações com coletas ocorridas até às 21 hs do dia 07/02/2023, ou seja, com as amostras que apresentaram maiores valores de pH.

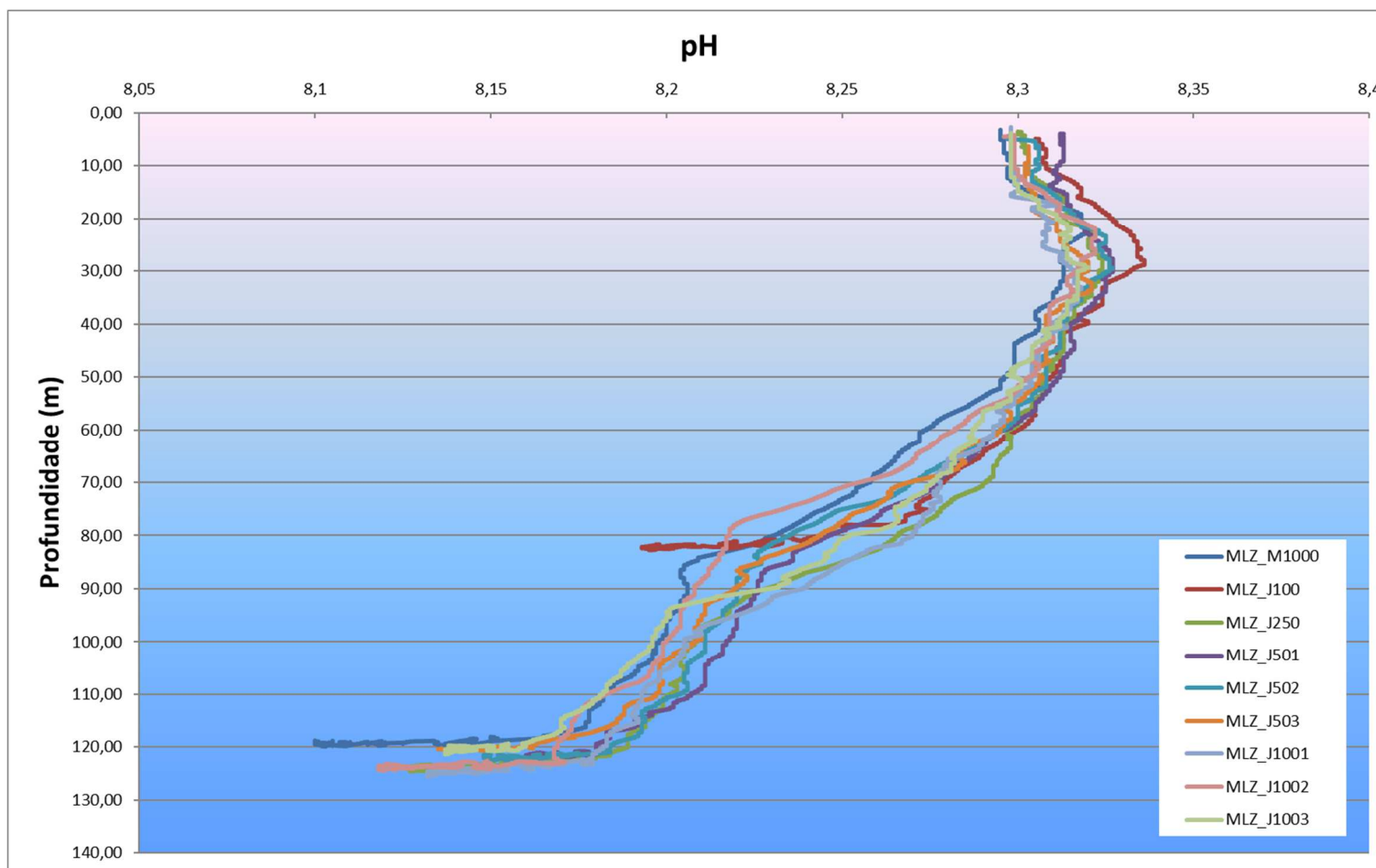


Figura V-11 – Perfis de pH (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.

Em um estudo realizado por Niencheski *et al.* (1999), os valores de pH encontrados para a costa brasileira apresentam-se em torno de 8,2. No relatório ambiental da Bacia de Santos, Petrobras/Analytical Solutions (2002) encontraram pH médio de 8,08 em profundidades de 10 e 40 m na região da Bacia de Santos. No PCR-BS (Petrobras, 2022a), o pH médio encontrado para a região da Bacia de Santos, na região da plataforma de PMLZ-1 foi entre 8,0 e 8,4, na camada de mistura superficial, sendo valores mais consistentes com os valores normalmente obtidos na superfície de regiões da plataforma e áreas oceânicas. A Tabela V-7 apresenta a faixa de valores de pH observados nas campanhas de monitoramento deste projeto anteriormente realizadas na região. Observa-se que os valores da atual campanha são semelhantes aos registrados na literatura e condizentes com o esperado.

Tabela V-7 – Valores de pH encontrados na água nas campanhas anteriores de monitoramento do PMAEpro_PMPR_MLZ.

Campanha	pH	
	Min.	Máx.
C1 MLZ ¹	8,13 (SUP)	8,28 (ABTC)
C2 MLZ ²	6,90 (ACTC)	7,99 (SUP)
C3 MLZ ³	7,81 (TC)	8,33 (ACTC)
C4 MLZ ⁴	6,89 (SUP)	8,16 (ACTC)
C5 MLZ ⁵	8,02 (ABTC)	8,13 (ACTC)
C6 MLZ ⁶	8,20 (TC)	8,32 (SUP)
C7 MLZ ⁷	8,03 (ACTC)	8,18 (ABTC)
C8 MLZ ⁸	8,23 (SUP)	8,32 (SUP)
C9 MLZ ⁹	8,23 (ACTC)	8,40 (TC)
C10 MLZ ¹⁰	7,73 (TC)	8,18 (TC)
C11 MLZ ¹¹	8,01 (ACTC)	8,16 (SUP/ABTC)
C12 MLZ ¹²	8,08 (TC)	8,25 (SUP)
C13 MLZ ¹³	7,99 (TC)	8,30 (TC)

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-12 é apresentada a faixa de concentrações de pH obtidas nos quatro estratos do PMAEpro_PMPR_MLZ.

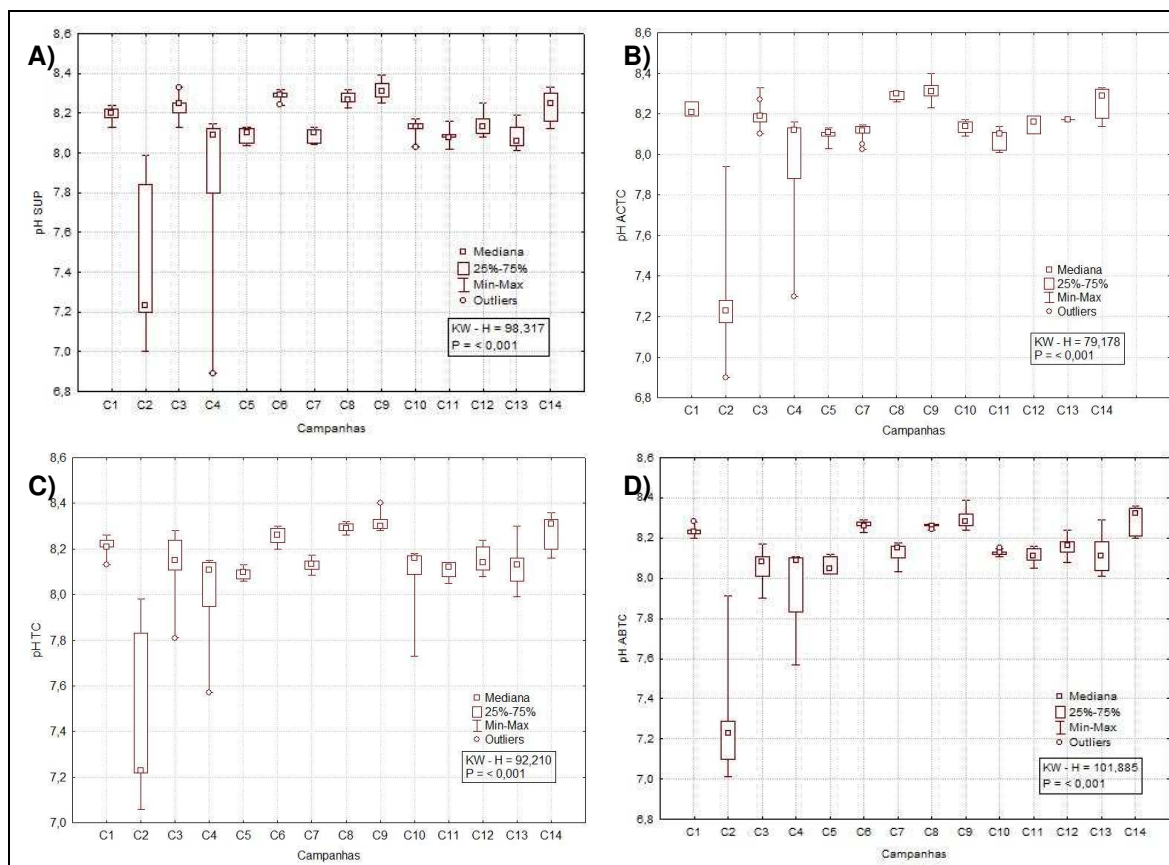


Figura V-12 – Concentrações de pH observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.
A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Para a ACTC foram utilizadas as cinco primeiras e as oito últimas campanhas para comparação dos valores, pois na sexta campanha essa camada foi suprimida. Observa-se que a variação dos valores de pH em cada uma das profundidades foi mais ampla na segunda e na quarta campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas, para todas as profundidades consideradas.

Para a superfície, a sexta, a oitava e a nona campanha diferiram da segunda, quarta, quinta, sétima, décima primeira e décima terceira campanha, a terceira e a décima quarta campanhas diferiram da segunda e quarta campanha, e a primeira campanha diferiu da segunda (*Tukey*, $p < 0,05$).

Para a camada ACTC, a oitava e a nona campanha diferiram significativamente da segunda, quarta, quinta, sétima e décima primeira campanha, a décima quarta diferiu da segunda, quarta, quinta e décima primeira campanha e a segunda campanha diferiu da primeira e terceira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

Para a termoclina, a oitava e nona campanha diferiram significativamente da maioria das demais campanhas, exceto da primeira, terceira, sexta, oitava, décima segunda e décima quarta para a nona campanha, e da primeira, terceira, sexta, sétima e décima segunda para a oitava campanha, a décima quarta diferiu da segunda, quarta, quinta e décima primeira campanha, a sexta campanha diferiu significativamente da segunda, quarta e quinta campanha, e a segunda campanha diferiu significativamente da primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

Para a camada ABTC, a nona campanha diferiu significativamente da segunda, terceira, quarta, quinta, décima primeira e décima terceira campanha, a primeira, sexta, oitava e décima quarta campanhas diferiram da segunda, terceira, quarta, quinta campanha, e a segunda diferiu da décima segunda campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

Assim, a primeira, sexta, a oitava, a nona e décima quarta campanhas apresentaram diferenças significativas em relação a maioria das demais campanhas para todos os estratos, sendo as campanhas que apresentaram os valores médios de pH mais elevados. Apesar disso, as variações do pH foram baixas e consistentes com o esperado, tendo-se em conta o efeito tampão da água do mar sobre esta propriedade.

V.1.4 - Clorofila-a

A clorofila-a é um pigmento com função fotossintética presente em todos os organismos fotoautotróficos, como o fitoplâncton, tornando-a assim um indicador da biomassa fitoplanctônica (JEFFREY *et al.*, 1997).

O fitoplâncton está na base das cadeias alimentares marinhas e é um bom indicador de suas condições ambientais (NEVEUX *et al.*, 1989; FIALA *et al.*, 2002). Representa a base do sistema pelágico, realizando as trocas de carbono entre o oceano e a atmosfera. Durante o processo fotossintético, estes organismos convertem os materiais inorgânicos em novos compostos orgânicos, o ponto de partida do fluxo do carbono na cadeia trófica (LALLI & PARSONS, 1995).

A absorção seletiva dos comprimentos de onda do azul e verde-azulado pelos pigmentos fotossintéticos, especialmente a clorofila-a, permite a quantificação da biomassa fitoplanctônica com base em medidas da cor do oceano derivadas de

sensores satelitários. As concentrações de clorofila e a composição taxonômica das comunidades fitoplanctônicas são qualitativamente correlacionadas à circulação oceânica e aos processos físicos de mesoescala que, por sua vez, influenciam o fluxo de nutrientes essenciais a partir do reservatório das águas subsuperficiais em direção à zona eufótica (GAETA & BRANDINI, 2006).

Na porção central dos giros oceânicos, esses fluxos a partir das águas profundas são relativamente fracos, e a concentração de clorofila na camada superior da zona eufótica alcança valores médios próximos de 2 µg/L (YODER *et al.*, 1993). Em regiões de ressurgência costeira, regiões de mares temperados e boreais com forte mistura sazonal, e em divergências de giros subpolares ou feições de mesoescala com bombeamento induzido por vórtices ciclônicos, fluxos verticais de nutrientes podem gerar acúmulo transitório de clorofila em concentrações superiores a 50 µg/L (FALKOWSKI *et al.*, 2001).

Os valores de clorofila-a registrados na presente campanha variaram entre 0,063 µg/L (na ABTC da estação MLZ_J1003) a 0,14 µg/L (MLZ_J1003_SUP, MZL_J501_ACTC e MLZ_J502_ABTC) (Tabela V-8). Entre os estratos, as concentrações médias variaram entre 0,08 ($\pm 0,02$ e $\pm 0,01$ em SUP e TC, respectivamente) e 0,09 ($\pm 0,02$ em ACTC e ABTC).

Tabela V-6 – Concentração de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003		
SUP	0,082	0,083	0,080	0,071	0,065	0,071	0,069	0,076	0,142	0,082	0,023
ACTC	0,094	0,076	0,079	0,140	0,075	0,083	0,071	0,103	0,098	0,091	0,021
TC	0,103	0,085	0,074	0,104	0,079	0,068	0,081	0,073	0,069	0,082	0,013
ABTC	0,082	0,080	0,076	0,116	0,142	0,086	0,090	0,091	0,063	0,092	0,024
Máx.	0,103	0,085	0,080	0,140	0,142	0,086	0,090	0,103	0,142		
Mín.	0,082	0,076	0,074	0,071	0,065	0,068	0,069	0,073	0,063		
Média	0,090	0,081	0,077	0,108	0,090	0,077	0,078	0,086	0,093		
DP	0,010	0,004	0,003	0,029	0,035	0,009	0,010	0,014	0,036		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de clorofila-a na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-13. Através deles, foi possível observar pouca variação entre os estratos na maioria das estações, destacando-se apenas as concentrações levemente superiores já citadas anteriormente, e um valor ligeiramente mais alto também em J501_ABTC.

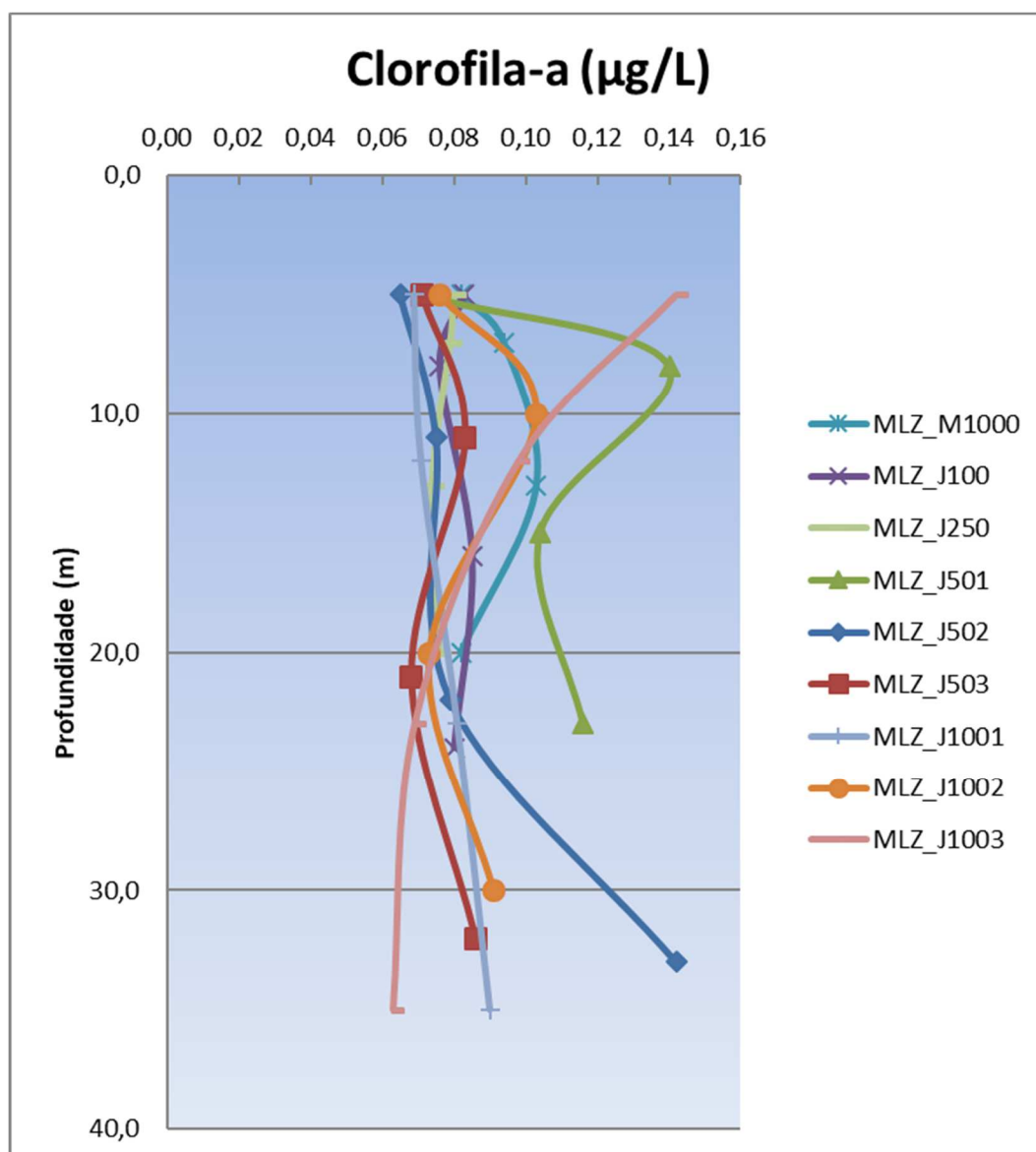
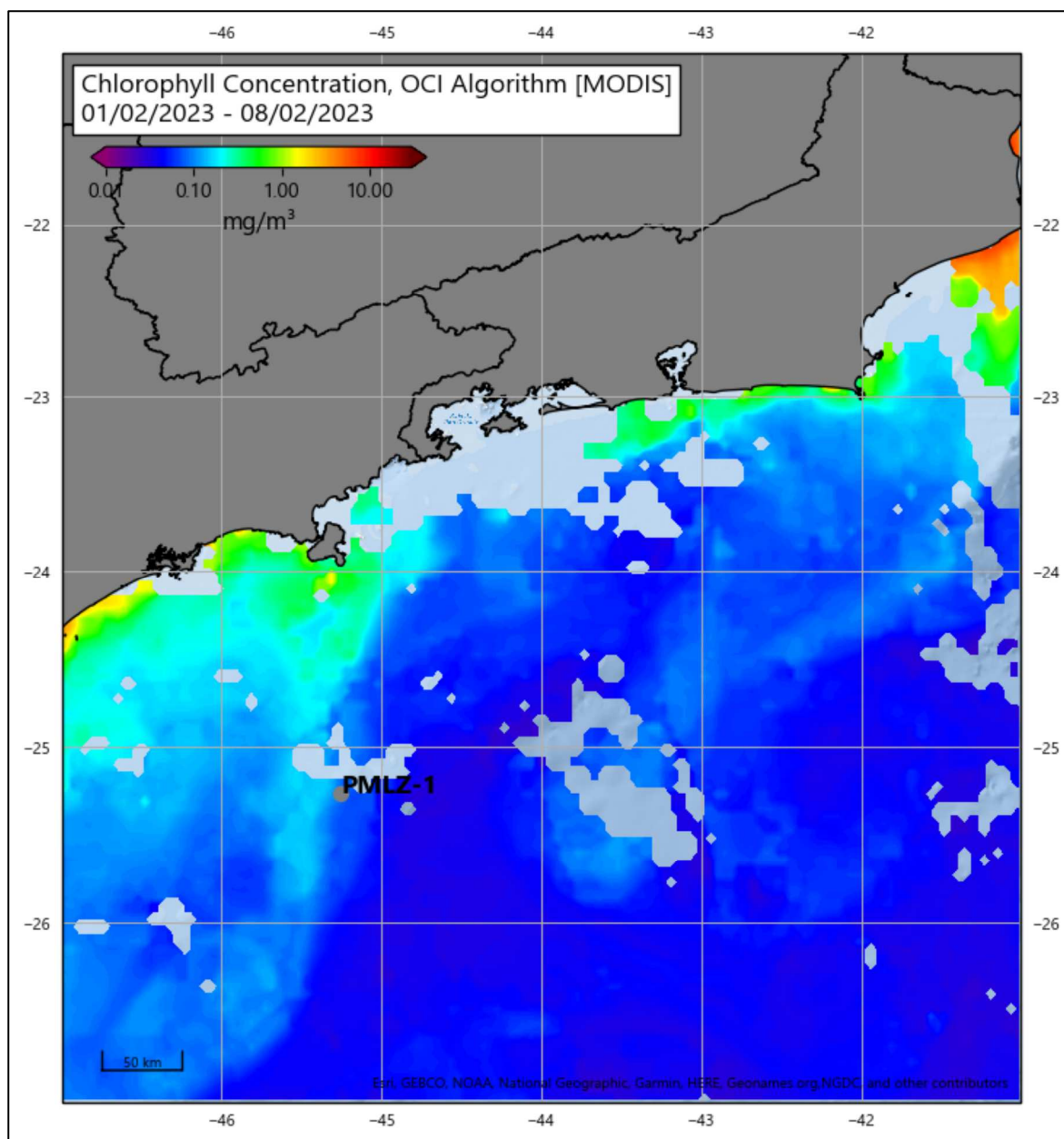


Figura V-13 – Perfis das concentrações de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) obtidos na atual campanha de monitoramento.

O mosaico de clorofila-a na superfície do mar obtido entre 01 e 08/02/2023 através de imagens de satélite (Figura V-14) mostraram concentrações de 0,01 $\mu\text{g/L}$ de clorofila-a na área da plataforma de Merluza (PETROBRAS, 2022).



Fonte: Petrobras (2023b).

Figura V-14 - Mosaico de clorofila-a na superfície do mar do período de 01 a 08/02/2023 para a Bacia de Santos. O círculo cinza indica a localização de PMLZ.

Petrobras/Analytical Solutions (2002) encontraram concentrações de clorofila-a na Bacia de Santos variando entre 0,0157 e 6,308 µg/L. Já Petrobras/Habtec (2003) verificaram concentrações de clorofila-a variando entre não detectado (abaixo do limite de detecção) e 3,13 µg/L, também na Bacia de Santos. Segundo Petrobras (2022a), foram observados valores de clorofila-a variando nas

campanhas de inverno e verão entre 0,07 a 50,48 mg/m², com valores de distribuição horizontal calculados com base na integração das concentrações observadas na zona eufótica. Na Tabela V-9 são apresentados os valores mínimos e máximos de clorofila-a encontrados nas campanhas anteriormente realizadas deste projeto. As concentrações de clorofila da atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação observada na literatura, embora com máximos inferiores em relação a maioria das campanhas anteriores e às concentrações encontradas na Bacia de Santos por Petrobras/Analytical Solutions (2002), Petrobras/Habtec (2003) e Petrobras (2022a).

Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água e nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ. nd = não detectado e nq = não quantificado.

Campanha	Clorofila-a (µg/L)	
	Mín.	Máx.
C1 MLZ ¹	nd (ACTC)	0,67 (SUP)
C2 MLZ ²	0,08 (ABTC)	0,34 (ACTC)
C3 MLZ ³	0,07 (SUP)	0,90 (ABTC)
C4 MLZ ⁴	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)
C5 MLZ ⁵	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,50 (ACTC)
C6 MLZ ⁶	nd (SUP/TC/ABTC)	3,54 (ABTC)
C7 MLZ ⁷	nd (SUP/ACTC/TC)	0,40 (ACTC/TC/ABTC)
C8 MLZ ⁸	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)
C9 MLZ ⁹	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	4,54 (TC)
C10 MLZ ¹⁰	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)
C11 MLZ ¹¹	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)
C12 MLZ ¹²	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,89 (ABTC)
C13 MLZ ¹³	0,04 (SUP)	0,28 (ABTC)

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-15 são apresentadas as faixas de concentrações de clorofila-a obtidas no PMAEpro_PMPR_MLZ. Os valores de clorofila-a encontrados nas amostras da sexta campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, apresentaram máximos superiores aos valores das demais campanhas deste projeto de monitoramento, exceto na TC, em que o valor máximo foi encontrado na nona campanha, e na ACTC, em que os dados foram suprimidos, sendo

consideradas apenas as cinco primeiras e as oito últimas campanhas para a comparação, sendo, portanto, os valores mais elevados verificados na quinta campanha. Além disso, observa-se que a variação dos valores de clorofila-*a* em cada uma das profundidades na 1ª, 3ª, 5ª, 6ª e 9ª campanhas da fase de operação foi mais ampla que nas outras campanhas. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das treze campanhas, para todas as profundidades (Figura V-15). Na superfície, a primeira, quinta e sexta campanha diferiram significativamente da terceira, décima segunda e décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais campanhas foram observadas as diferenças. Na TC, a terceira e a quinta campanha diferiram significativamente da quarta, oitava, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, a décima segunda ainda diferiu da primeira, segunda, sexta e sétima campanha, e a décima quarta também diferiu da primeira e da segunda campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente da quarta, oitava, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, a sexta, sétima e nona campanhas diferiram da décima segunda e da décima quarta e a décima quarta também diferiu da primeira (*Tukey*, $p < 0,05$). É importante lembrar que os métodos e os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas (método de extração com acetona e espectrofotômetro e LD = 0,02 µg/L nas três primeiras campanhas, SMEWW 10200 H (2005), LD = 0,003 µg/L na décima segunda campanha, fluorimetria e LD = 0,012 µg/L na décima terceira e décima quarta campanha e LD = 0,2 µg/L nas demais campanhas).

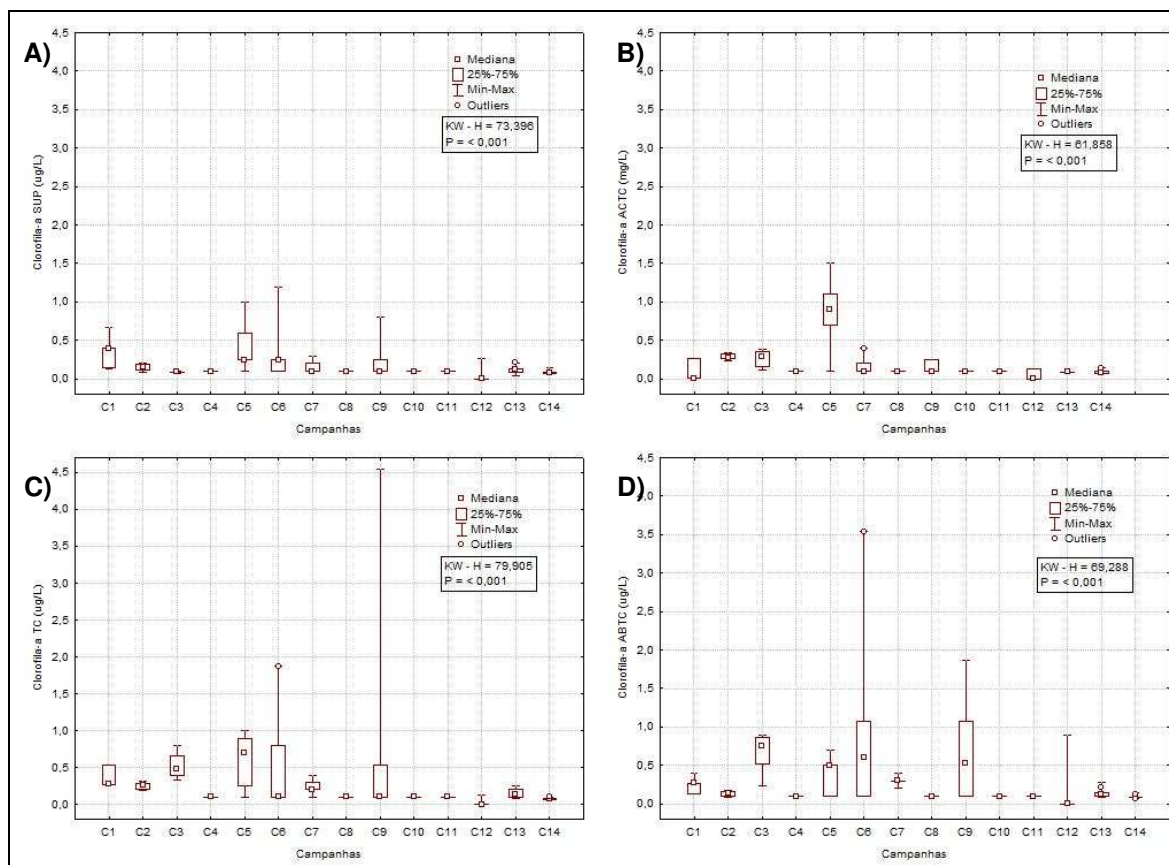


Figura V-15 – Concentrações de clorofila-a observadas ao longo do PMAEpro-Bs_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.5 - Nutrientes

O nitrogênio, o fósforo e a sílica são nutrientes necessários às funções metabólicas do fitoplâncton. Comportam-se, portanto, de forma não conservativa, na dependência direta dos processos de demanda biológica pela biomassa fitoplanctônica na zona eufótica e dos aportes devidos a processos físicos (advecção, intrusão de águas mais ricas), biológicos (regeneração), climáticos (chuvas e ventos) e drenagem continental (AIDAR *et al.*, 1993).

Os nutrientes (N, P, Si) se apresentam em suas formas minerais em solução na água do mar. O nitrogênio forma quatro compostos, de acordo com seu grau de oxidação: nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), íon amônio (NH_4^+) e amônia (NH_3) (os dois últimos representados juntos como nitrogênio amoniacal), sendo o nitrito um composto intermediário no processo de nitrificação, um composto bastante instável

e sem um padrão bem definido. Para o fósforo, utiliza-se normalmente o termo fosfato (PO_4^{3-}), que engloba todas as formas de ortofosfatos presentes em uma amostra. O silicato (SiO_3^{2-}) representa quase a totalidade das formas de silício encontradas na água do mar (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Os nutrientes e em especial o nitrogênio, no meio marinho, são fatores que limitam o crescimento da biomassa fitoplanctônica. As razões entre as concentrações molares do nitrogênio, fósforo e silício na camada eufótica das águas marinhas e os processos determinantes do seu enriquecimento por esses elementos são capazes de induzir não somente alterações na densidade das comunidades fitoplanctônicas, como também dar subsídios para explicar a composição qualitativa dessas comunidades, a competição e a exclusão de algumas espécies (DUGDALE & GOERING, 1967; RYTHER & DUNSTAN, 1971).

Normalmente, os nutrientes em regiões oceânicas apresentam menores concentrações nas camadas superficiais, seguidos de um aumento gradativo em direção as camadas mais profundas (MOSER & GALVÃO, 1997; NIENCHESKI *et al.*, 1999). Essa dinâmica pode ser explicada pelo consumo dos nutrientes pelo fitoplâncton na zona fótica e pela presença da termoclina que impede o afloramento dos nutrientes das camadas mais profundas para as mais superficiais, funcionando como uma barreira (THURMAN & BURTON, 2001).

Segundo os dados do PCR-BS, (Petrobras, 2022a) somado aos dados históricos, a quebra da limitação por nutrientes na Bacia de Santos pode ocorrer em setores onde processos físicos fertilizam a zona eufótica como ocorre nas ressurgências de Cabo Frio ou nas intrusões da ACAS na plataforma média durante o verão (Petrobras, 2022). Segundo o estudo, as concentrações de nitrogênio amoniacal durante o verão usualmente estão abaixo de $0,3 \mu\text{M}$, com exceção de pontos isolados da plataforma média onde é mais frequente a influência de movimentos ascendentes da ACAS.

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas ($\text{LD} = 0,01 \text{ mg/L N}$) concentrações de nitrogênio amoniacal em nenhuma das amostras, de modo que todos os resultados foram inferiores ao limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1, de $0,40 \text{ mg/L N}$. A Figura V-16 apresenta resultados obtidos para este parâmetro nas demais campanhas do PMAEpro_PMPR_MLZ.

Na Figura V-16 são apresentadas as faixas de concentrações de nitrogênio amoniacal obtidas em cada profundidade durante as campanhas de monitoramento já realizadas do projeto, com exceção da sétima campanha, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Além disso, a camada ACTC foi suprimida na sexta campanha.

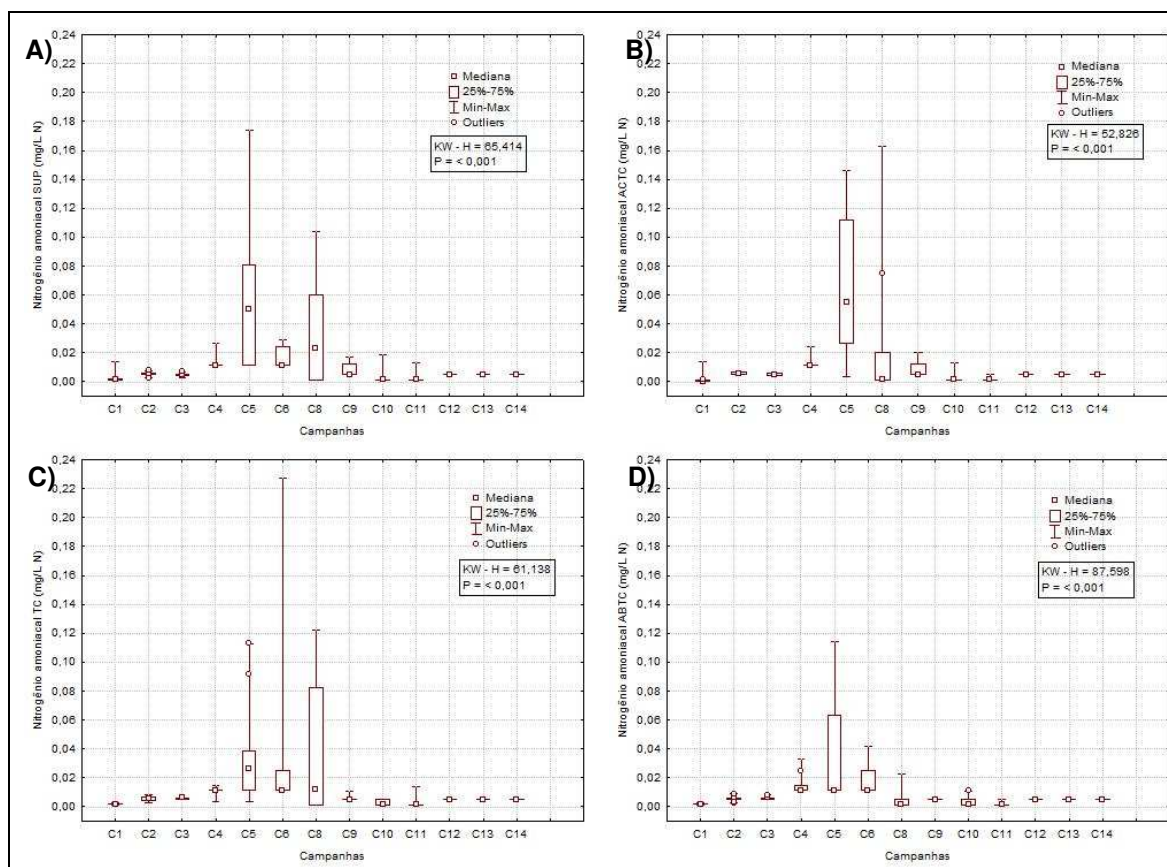


Figura V-16 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

De maneira geral, observa-se que a quinta e oitava campanhas apresentaram maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas, exceto na TC, em que a concentração máxima foi encontrada na sexta campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as camadas, foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os dados de todas as campanhas de monitoramento para todas as profundidades. Na SUP, a quinta campanha diferiu significativamente da primeira, terceira, décima e décima primeira

campanha, e a quarta e sexta campanha diferiram da primeira, da décima e da décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a quarta e quinta campanha diferiram significativamente da primeira, décima e décima primeira campanha, e a nona campanha diferiu significativamente da primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, a quarta, quinta e sexta campanha diferiram significativamente da primeira, décima e décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a quarta, a quinta e a sexta campanha diferiram significativamente da primeira, oitava, décima e décima primeira campanha, e a terceira campanha diferiu da décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

Para o nitrito, não foram quantificadas concentrações em nenhuma das amostras ($LQ = 0,002 \text{ mg/L N}$), de modo que todos os resultados foram inferiores ao limite máximo estabelecido para o parâmetro pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1, a $0,07 \text{ mg/L N}$. A Figura V-17 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. Os resultados obtidos para a atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação apresentada pela literatura para o local.

Os valores de nitrito encontrados nas amostras da terceira campanha foram maiores em relação as demais campanhas de monitoramento, em todas as profundidades, exceto na superfície, em que o valor máximo foi encontrado na nona campanha. Para a ACTC, não foram obtidas amostras durante a sexta campanha, e por isso a campanha não se encontra representada no gráfico. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas para todas as profundidades (Figura V-17).

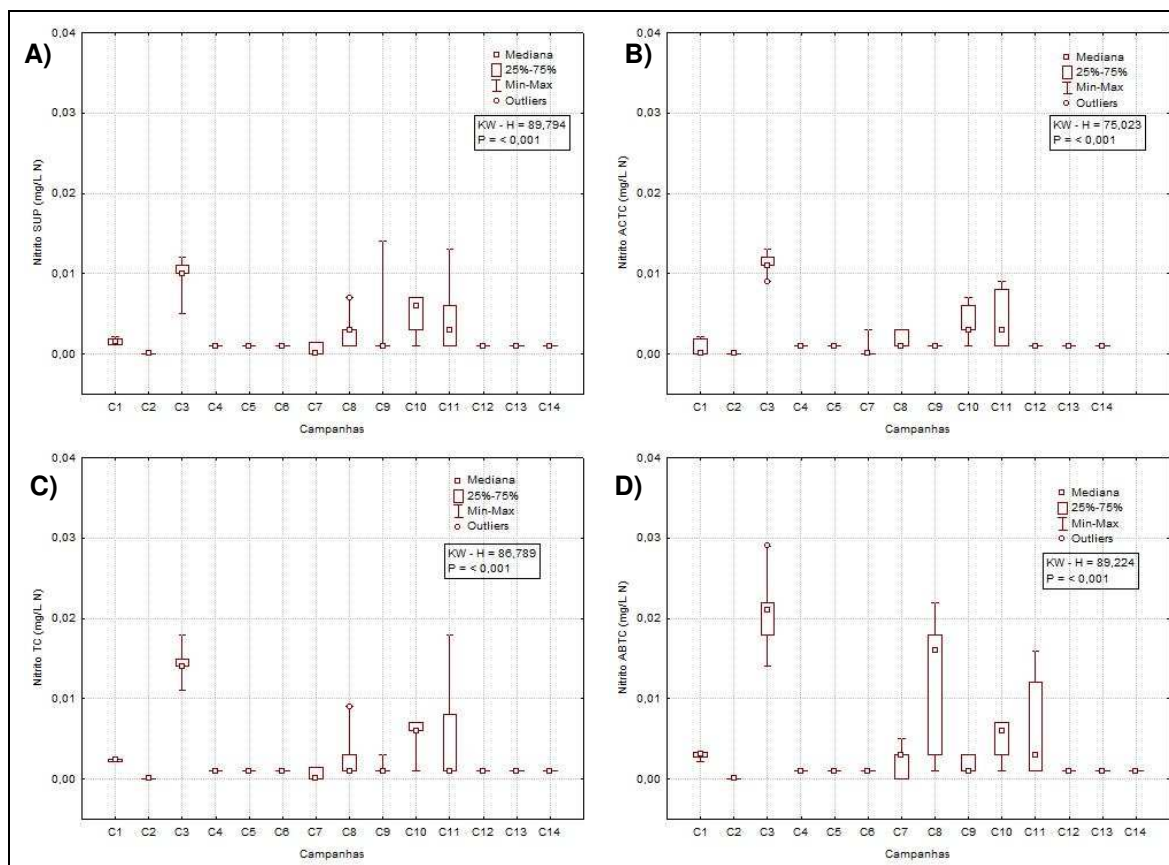


Figura V-17 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na SUP, a terceira campanha diferiu significativamente das demais campanhas, exceto da primeira, oitava, nona, décima e décima primeira campanha, a segunda campanha diferiu significativamente da primeira, da oitava, da décima e da décima primeira campanha, e a décima campanha diferiu significativamente da sétima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira campanha diferiu significativamente primeira, segunda, quinta, sétima, nona, e décima quarta campanha, a décima e a décima primeira campanha diferiram da segunda e sétima, e a oitava diferiu da segunda campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na TC e ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente das demais campanhas, exceto da primeira, oitava, décima e décima primeira campanha na TC, e exceto da primeira, sétima, oitava, décima e décima primeira campanha na ABTC, e a segunda campanha diferiu significativamente da primeira, da oitava, da décima e da décima primeira campanha (Tukey, $p < 0,05$). É importante salientar que houve variações do limite de detecção e dos métodos analíticos entre as campanhas: 0,0001 mg/L N para as

duas primeiras campanhas e para a sétima campanha, 0,001 mg/L N para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e 0,002 mg/L N para as demais campanhas / método da diazotação e colorimetria para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 B (2005) para a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e MAOQ – FURG (1996) para a sétima campanha.

Para o nitrato, não foram quantificadas concentrações na atual campanha (LQ = 0,2 mg/L N), de modo que todos os resultados foram inferiores ao limite máximo do parâmetro estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1, de 0,4 mg/L. A Figura V-18 apresenta resultados obtidos para este parâmetro nas campanhas anteriores.

Na Figura V-18 é apresentada a faixa de concentrações de nitrato obtidas em cada estrato das campanhas do PMAEpro_PMPR_PMLZ, com exceção da ACTC suprimida durante a sexta campanha. Apesar de apresentar, majoritariamente, valores não detectados, a 9ª campanha foi a que apresentou os valores mais altos, juntamente com a 3ª e 8ª campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das treze campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-18). Na superfície, a décima segunda, a décima terceira e a décima quarta campanha diferiram da primeira, segunda, sétima, oitava e décima primeira campanha, a terceira, quarta, quinta, sexta, nona e a décima campanha diferiram significativamente da sétima campanha, e a segunda diferiu da nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a sétima campanha diferiu da terceira, quarta, quinta, nona, décima segunda, décima terceira e décima quarta (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a décima segunda, a décima terceira e a décima quarta campanha diferiram da primeira, segunda, sétima e oitava campanha, a terceira, quarta, quinta, sexta e nona campanha diferiram significativamente da sétima campanha, e a nona diferiu da segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, segunda e sétima campanha, a décima, a décima segunda, a décima terceira e décima quarta campanha diferiram significativamente da segunda e da sétima campanha, e a sétima campanha diferiu significativamente da nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Embora o limite de detecção e os métodos tenham sido diferentes entre as campanhas (método da

diazotação e colorimetria e $LD = 0,0006 \text{ mg/L N}$ para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 (2005) e HACH 8192 e $LD = 0,1 \text{ mg/L N}$ para a quarta, quinta e sexta campanha, MAOQ – FURG (1996) e $LD = 0,0001 \text{ mg/L N}$ para a sétima campanha, e SMEWW 4500 (2005) e $LD = 0,03 \text{ mg/L N}$ para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha e $LD = 0,05 \text{ mg/L N}$ para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha), as análises estatísticas são condizentes com os resultados ambientais, sendo as diferenças verificadas, basicamente, entre as campanhas com resultados não detectados e não quantificados e as demais campanhas.

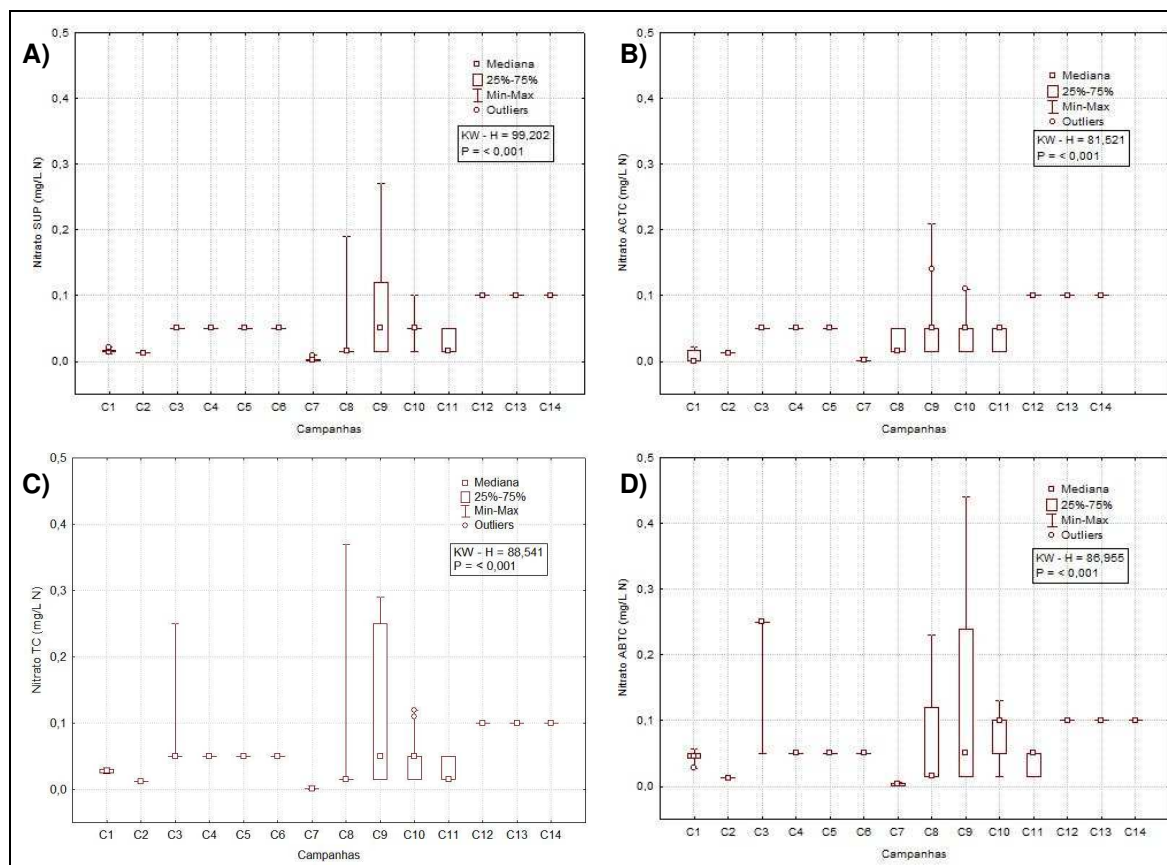


Figura V-18 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Os valores de silicato não foram quantificados na presente campanha (LQ = 0,05 mg/L). A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valor máximo de concentração de silicato para águas salinas classe 1. A Figura V-19 apresenta resultados obtidos para este parâmetro nas campanhas anteriores, na qual se observa que as concentrações de silicato também ficaram abaixo do limite de quantificação na campanha C13 e abaixo do limite de detecção na campanha C11.

Na Figura V-19 é apresentada a faixa de concentrações de silicato obtidas em cada profundidade nas 14 campanhas do PMAEpro_PMPR_PMLZ.

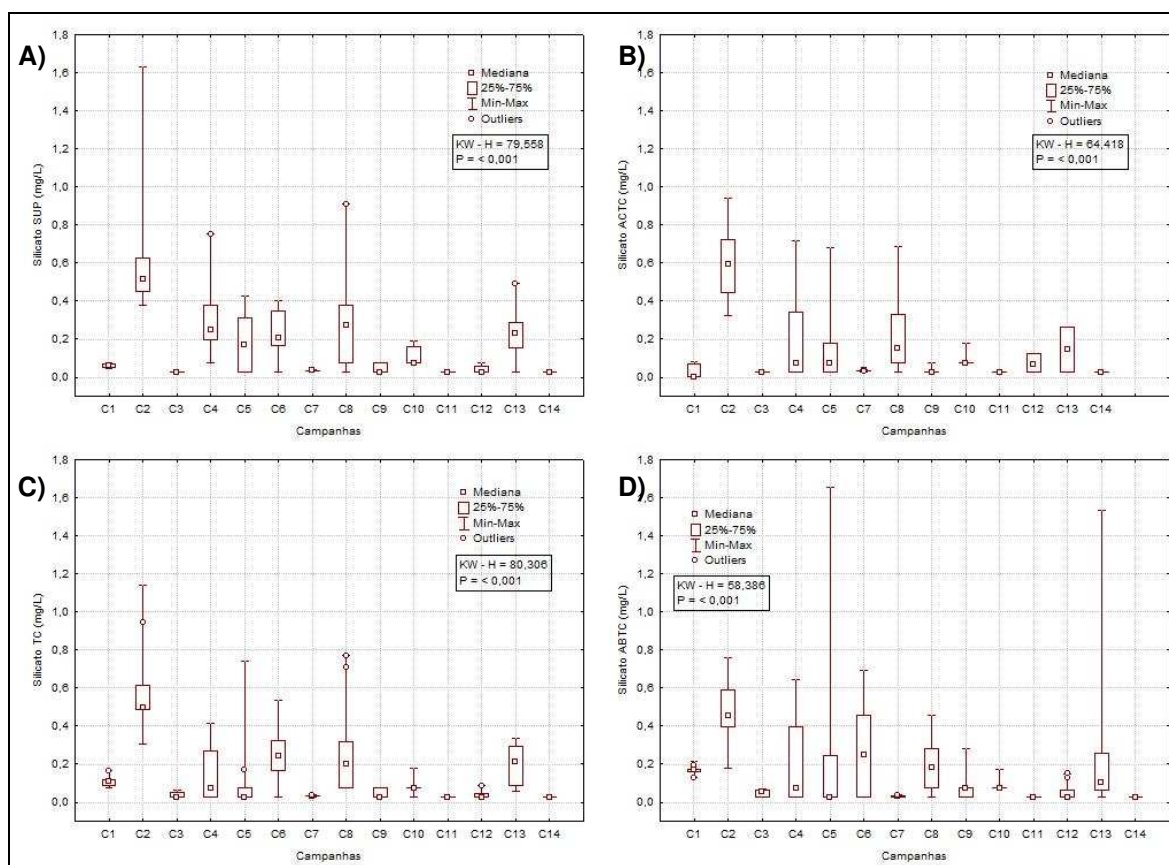


Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Os valores de silicato total encontrados, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores na segunda campanha, exceto na camada ABTC, em que esses valores foram maiores na quinta e a décima terceira campanhas. A ACTC, como dito para os outros parâmetros, foi suprimida na sexta campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-19). Na superfície, a segunda campanha diferiu significativamente da terceira, sétima, nona, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, a quarta, oitava e décima terceira diferiram da terceira, décima primeira e décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a segunda campanha diferiu significativamente da primeira, terceira, nona, décima primeira e décima quarta campanha, e a oitava campanha diferiu significativamente da primeira (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a segunda campanha diferiu significativamente da terceira, quinta, sétima, nona, décima

primeira, décima segunda e décima quarta campanha, a oitava campanha diferiu da terceira, da décima primeira, da décima quarta, e a primeira, sexta e décima terceira campanhas diferiram da décima primeira, da décima quarta (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a segunda campanha diferiu significativamente da terceira, sétima, nona, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, e a décima primeira e décima quarta campanhas diferiram da primeira e da oitava (*Tukey*, $p < 0,05$). Embora os métodos e o limite de detecção tenham sido diferentes entre as campanhas (0,0006 mg/L para as duas primeiras campanhas, 0,01 mg/L para a terceira campanha, 0,05 mg/L para a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha, 0,001 mg/L para a sétima campanha, e 0,02 mg/L para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha / método silicomolibdídico e análise por colorimetria para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 C (2005) para a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e MAOQ – FURG (1996) para a sétima campanha), as análises estatísticas são condizentes com os resultados ambientais para todos os estratos, uma vez que as diferenças foram verificadas entre a campanha com maiores concentrações, no caso, a segunda campanha e as demais.

Os ortofosfatos são biodisponíveis e, uma vez assimilados, são convertidos em fosfato orgânico e em fosfato condensado. Após a morte de um organismo, os fosfatos condensados são liberados na água. Entretanto, eles não estão disponíveis para absorção biológica até que sejam hidrolisados para ortofosfatos por bactérias (CETESB, 2008). Segundo consta no PCR-BS (Petrobras, 2022b), existem fontes potenciais de fosfato na BS na área costeira sob a influência da pluma do rio da Prata e em alguns pontos na plataforma média ou na plataforma interna, ao largo das baías da Ilha Grande e Sepetiba, e no Sudoeste onde se localizam os sistemas estuarino-lagunares da Lagoa dos Patos, Baía de São Francisco, Paranaguá e Cananéia e Iguape. No restante da Bacia, as concentrações dos macronutrientes são fatores limitantes, principalmente na área oceânica oligotrófica.

Os valores de fósforo total não foram quantificados na presente campanha (LQ = 0,005 mg/L P). Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro fósforo total é de 0,062 mg/L P, o qual

não foi excedido em nenhuma das amostras. Nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ, as concentrações variaram entre mínimo não detectado, na maioria das campanhas a e 0,100 mg/L P, valor máximo observado na campanha C5, exceto na quarta, nona, décima, décima primeira, décima segunda e décima terceira campanhas, que também não detectaram nem quantificaram concentrações para o fósforo (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012; 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023) conforme Figura V-20.

Na Figura V-20 é apresentada a faixa de concentrações de fósforo total obtidas em cada profundidade nas 14 campanhas do PMAEpro_PMPR_MLZ.

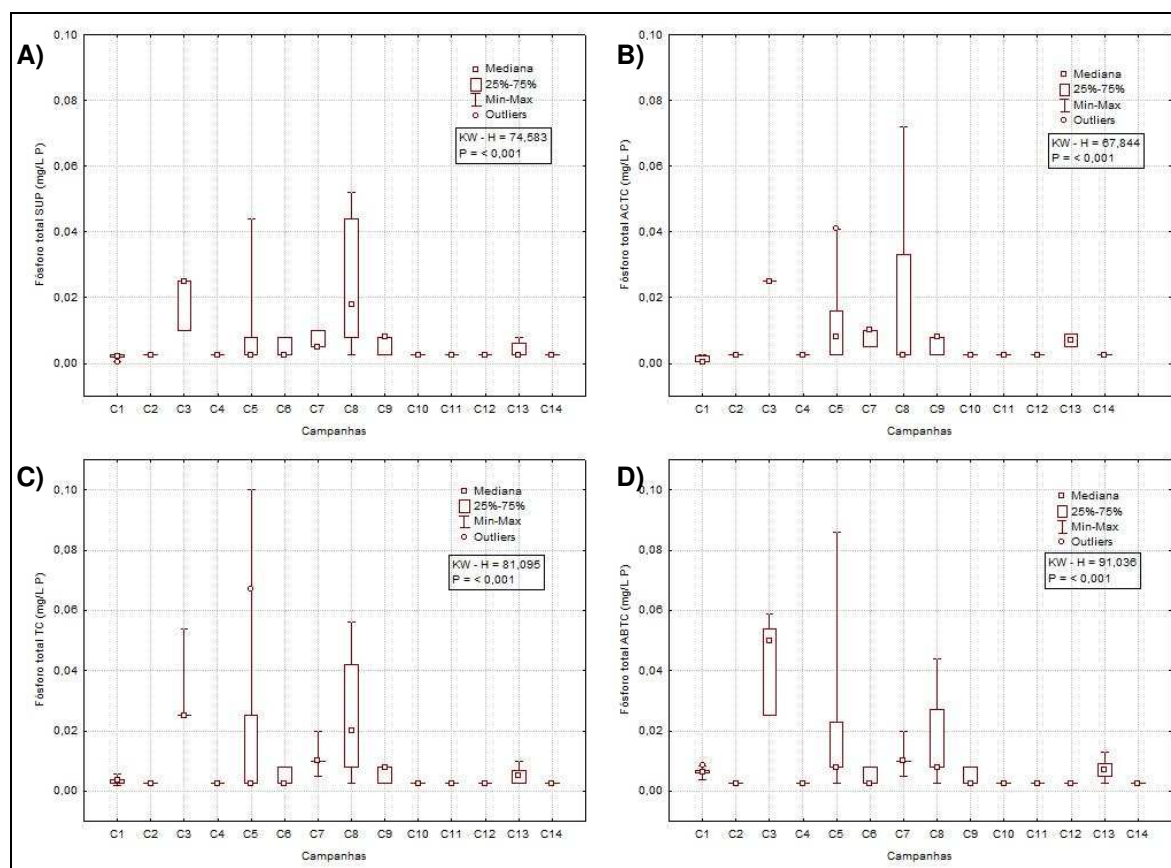


Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Maiores valores de fósforo total foram encontrados nas amostras das camadas da TC e ABTC da quinta campanha, enquanto na SUP e na ACTC, os valores

superiores foram observados durante a oitava campanha. A ACTC foi suprimida da sexta campanha. Através da aplicação do teste estatístico Kruskal-Wallis foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das treze campanhas, para todas as profundidades consideradas. Na superfície, a terceira campanha diferiram significativamente da primeira, segunda, quarta, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, e a primeira campanha diferiu significativamente da sétima e oitava campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, quarta, décima primeira e décima quarta campanha, e a primeira diferiu da sétima (Tukey, $p < 0,05$). Na termoclina, a terceira campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, sexta, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanhas, e a sétima e oitava campanha diferiram significativamente da segunda, quarta, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanhas (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, sexta, nona, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanhas, e a sétima diferiu significativamente da segunda, quarta, décima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanhas (Tukey, $p < 0,05$). Embora o método e o limite de detecção tenham sido diferentes entre as campanhas (0,001 mg/L P para as duas primeiras campanhas, 0,02 mg/L P para a terceira campanha e décima quarta, 0,005 mg/L P para a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e 0,002 mg/L P para a sétima, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanhas / método de digestão em meio ácido e análise pelo método fosfomolibdico para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 PE (2005) para a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima, décima primeira, décima e décima terceira segunda campanhas e USEPA 365.2 para a sétima campanha), as análises estatísticas são condizentes com os resultados ambientais para todos os estratos, uma vez que as diferenças foram verificadas entre as campanhas com maiores concentrações (terceira, quinta, sétima e oitava campanha) e as campanhas com as menores concentrações, incluindo as concentrações não detectadas e não quantificadas.

Tabela V-10 – *Concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, silicato e fósforo total encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos, incluindo*

as campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ (n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado).

Campanha	N amoniacal (mg/L N)		Nitrito (mg/L N)		Nitrato (mg/L N)		Silicato (mg/L)		Fósforo total (mg/L P)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Bacia de Santos 1	-	-	0,0040	0,0050	0,0130	0,0465	0,0200	0,0700	-	-
C1 MLZ ²	0,0008	0,0140	0,0012	0,0033	0,0120	0,0576	0,0460	0,2120	n.d.	0,0085
C2 MLZ ³	0,0030	0,0090	n.d.	n.d.	0,0020	0,0090	0,1760	1,6300	0,0020	0,0030
C3 MLZ ⁴	0,0030	0,0080	0,005	0,029	0,0250	0,2630	0,0200	0,0670	0,0120	0,0590
C4 MLZ ⁵	n.d.	0,0270	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,7530	n.d.	n.d.
C5 MLZ ⁶	n.d.	0,1740	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,6550	n.d.	0,1000
C6 MLZ ⁷	0,0115	0,2273	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6920	n.d.	0,0080
C7 MLZ ^{* 8}	-	-	n.d.	0,005	n.d.	0,0090	0,0250	0,0390	n.q.	0,0200
C8 MLZ ⁹	n.d.	0,1630	n.d.	0,0220	n.d.	0,3700	n.d.	0,9100	n.d.	0,0720
C9 MLZ ¹⁰	n.q.	0,0200	n.d.	0,0140	n.d.	0,4400	n.d.	0,2800	n.d.	n.q.
C10 MLZ ¹¹	n.d.	0,0190	n.d.	0,0070	n.d.	0,1300	n.d.	0,1900	n.d.	n.d.
C11 MLZ ¹²	n.d.	0,0140	n.d.	0,0180	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C12 MLZ ¹³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,1510	n.q.	n.q.
C13 MLZ ¹⁴	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.

* Não são apresentados resultados de nitrogênio amoniacal para essa campanha, pois as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos.

Fonte: 1 = Petrobras (2002), 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2010), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 4 = Petrobras/Analytical Solutions (2013), 5 = Petrobras/Bourscheid (2014), 6 = Petrobras/Bourscheid (2015), 7 = Petrobras/Bourscheid (2016); 8 = Petrobras/Bourscheid (2017); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 11 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 12 = Petrobras/Bourscheid (2020); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022); 14 = Petrobras/Bioconsult (2023).

No PCR-BS (Petrobras, 2022a), o monitoramento sazonal dos nutrientes indicou uma variação na concentração de nitrato entre níveis abaixo do limite de detecção (<0,00062 mg/L) até máximos >1,054 mg/L no nível da Água Central do Atlântico Sul, sobretudo na plataforma externa próximo ao talude. O estudo indicou uma concentração de nitrito predominantemente inferior a 0,046mg/L, com pico máximo no nível da termoclina, enquanto as concentrações de amônia na zona epipelágica foram sempre <0,017mg/L, frequentemente entre 0,0017 e 0,0034 mg/L. Em relação ao fósforo, na forma de fosfato, esse estudo indicou uma concentração na zona epipelágica variando entre 0,0076 e 0,1254 mg/L com mínimos na Água Tropical oligotrófica da Corrente do Brasil e máximos nas camadas de fundo dominadas pela presença da ACAS, em ambos os períodos sazonais amostrados em 2019 e 2022. Com relação ao silicato, concentrações mínimas são típicas de áreas oceânicas dominadas pela AT da Corrente do Brasil,

contrastando com as concentrações máximas nas áreas sob a influência da drenagem continental, sendo observado uma variação na zona epipelágica entre 0,0018 e 0,918 mg/L no inverno e entre 0,0018 e 0,624 mg/L nos meses do verão.

Em geral observa-se que as concentrações dos nutrientes observadas nesse estudo (Petrobras, 2022a) estão dentro da faixa de variação das concentrações observadas nas 14 campanhas de monitoramento realizadas para o PMAEpro_PMPR_MLZ, destaca-se apenas que nitrato apresentou valores máximos superiores aos observados nas 14 campanhas

V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)

O material particulado em suspensão (MPS) diminui a transparência da água, podendo reduzir a produção primária fotossintética. Em regiões oceânicas, as concentrações de MPS na superfície estão geralmente entre 0,5 e 1 mg/L. Tais concentrações, principalmente em regiões não muito afastadas da costa, estão sujeitas a variações, como variações sazonais, biológicas, aportes terrígenos e tempestades. Sendo assim, é possível encontrar valores de 0,5 a 5 mg/L ou até centenas de miligramas por litro em estuários (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

Os valores de MPS registrados na presente campanha variaram entre < 0,10 mg/L (SUP das estações MLZ_J100 e MLZ_J502) a 3,60 mg/L (ABTC da estação MLZ_J502) (Tabela V-11). Entre os estratos, a maior concentração média de MPS ($1,16 \pm 1,05$ mg/L) esteve associada à camada abaixo da termoclina.

Tabela V-7 – Concentração de MPS (mg/L) na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003		
SUP	0,58	<0,100	0,23	0,10	<0,100	0,48	0,68	0,93	0,33	0,48	0,28
ACTC	0,93	0,20	0,18	1,88	0,18	0,35	0,55	0,95	0,33	0,62	0,56
TC	1,10	0,15	0,53	1,58	0,35	0,60	0,75	1,20	0,20	0,72	0,49
ABTC	0,88	0,18	0,30	1,15	3,60	1,55	1,60	0,78	0,38	1,16	1,05
Máx.	1,10	0,20	0,53	1,88	3,60	1,55	1,60	1,20	0,38		
Mín.	0,58	0,15	0,18	0,10	0,18	0,35	0,55	0,78	0,20		
Média	0,87	0,18	0,31	1,18	1,38	0,75	0,90	0,97	0,31		
DP	0,22	0,03	0,15	0,78	1,93	0,55	0,48	0,17	0,08		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de MPS da atual campanha de monitoramento são mostrados na Figura V-21. Através deles, não foi possível observar um padrão na distribuição das concentrações, embora seja possível destacar maiores concentrações ao longo das estações MLZ_M1000, MLZ_J501 e MLZ_J1002, além de concentrações pontualmente mais altas na camada ABTC das estações MLZ_J502, MLZ_J503 e MLZ_J1001.

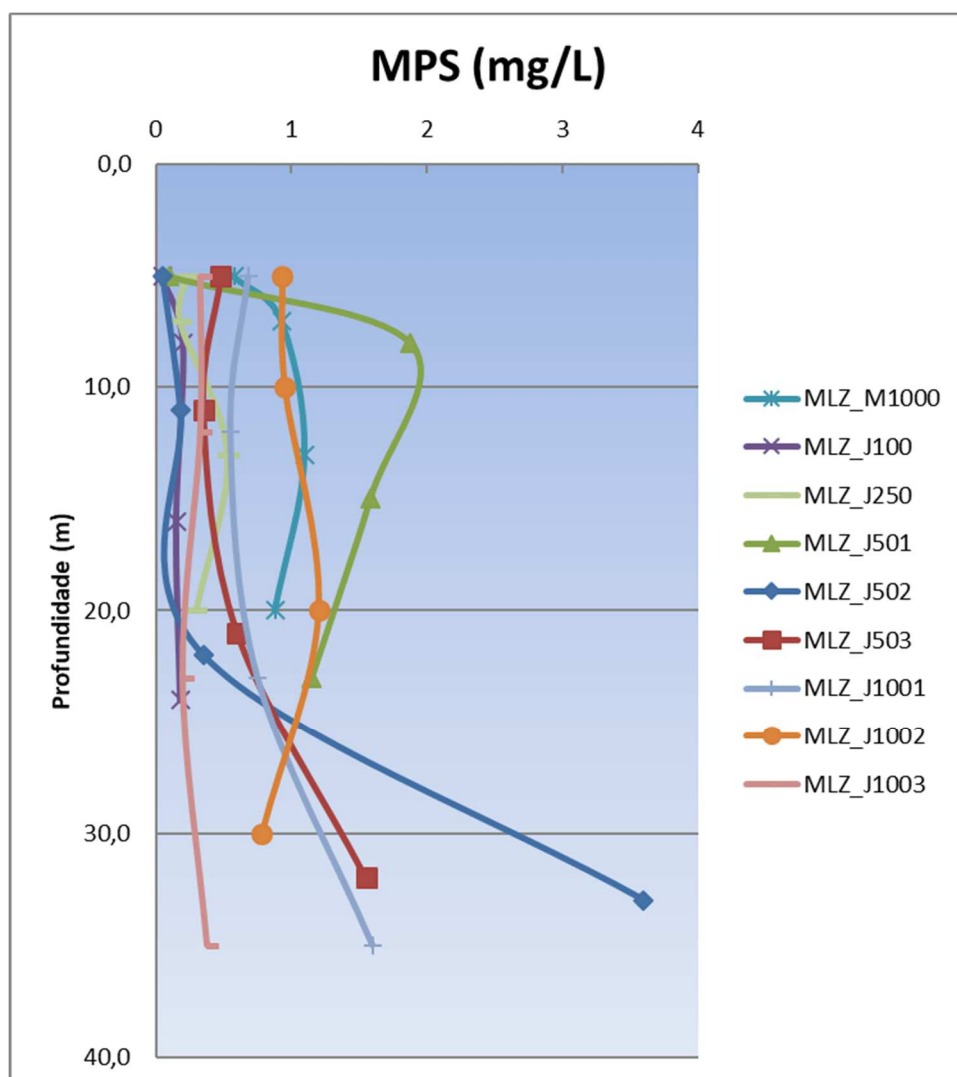


Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS (mg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.

Quanto aos resultados das campanhas de monitoramento anteriores do projeto, mostrados na Tabela V-12, a atual campanha apresentou resultados situados dentro da faixa de variação do local, mas com máximo inferior ao das

demais campanhas, com exceção da primeira e sexta campanhas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023).

Tabela V-8 – Concentrações de MPS (mg/L) encontradas na água nas campanhas de monitoramento anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	MPS (mg/L)	
	Mín.	Máx.
C1 MLZ ¹	n.d. (SUP/ACTC)	2,51 (ACTC)
C2 MLZ ²	n.d. (TC)	6,50 (SUP)
C3 MLZ ³	n.d. (TC)	6,88 (SUP)
C4 MLZ ⁴	n.d. (SUP/ABTC)	7,00 (ACTC)
C5 MLZ ⁵	n.d. (SUP)	5,00 (ACTC/TC)
C6 MLZ ⁶	n.q. (TC)	3,20 (ABTC)
C7 MLZ ⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	31,65 (ACTC)
C8 MLZ ⁸	n.d. (ABTC)	6,73 (TC)
C9 MLZ ⁹	n.d. (SUP/ABTC)	4,93 (SUP)
C10 MLZ ¹⁰	3,18 (TC)	6,95 (ABTC)
C11 MLZ ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	7,93 (ABTC)
C12 MLZ ¹²	0,97 (SUP)	15,57 (ABTC)
C13 MLZ ¹³	0,50 (ACTC)	14,98 (ABTC)

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022). 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

No PCR-BS (Petrobras, 2022a), foram observados valores de MPS na zona epipelágica entre <0,1 e 19,4 mg/L, durante o inverno de 2019, e entre <0,1 e 21mg/L durante o verão de 2021-2022.

Na Figura V-22 são apresentadas as faixas de concentrações de MPS obtidas em cada profundidade nas 14 campanhas do PMAEpro_PMPR_MLZ.

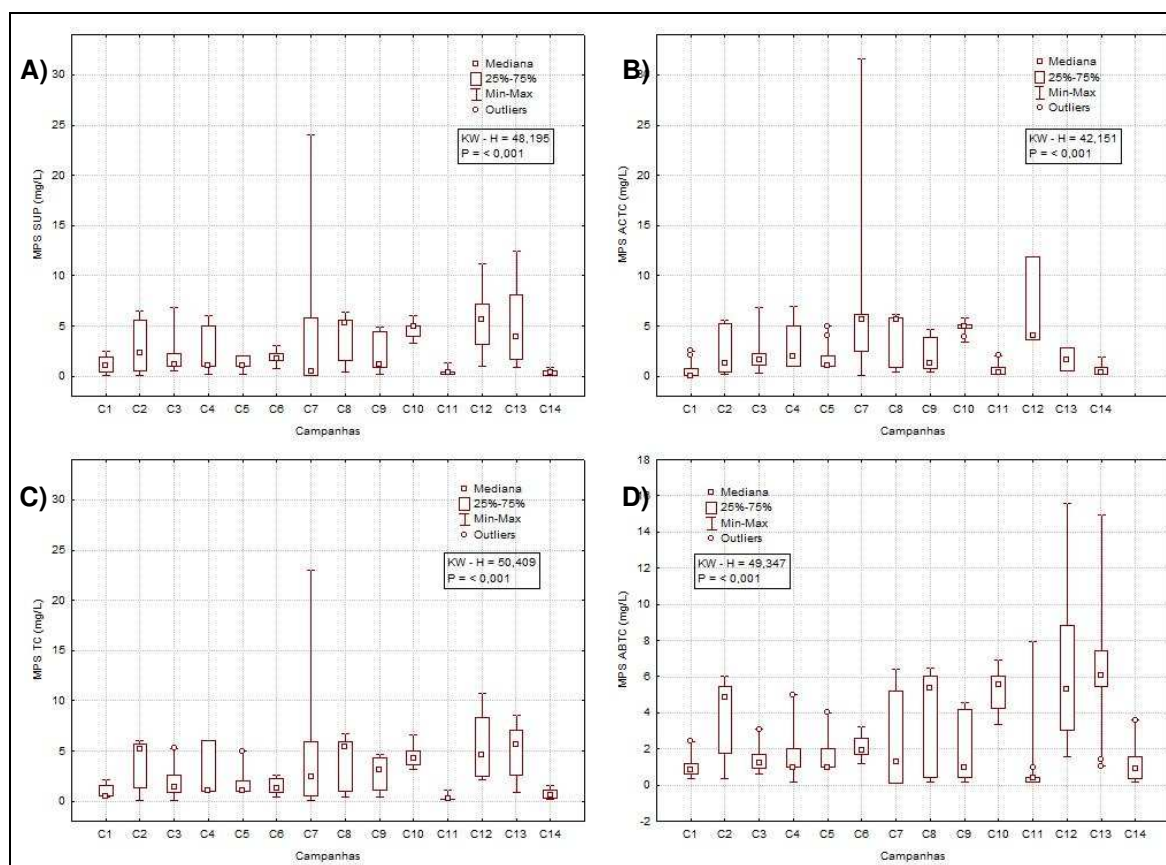


Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

A ACTC foi suprimida na sexta campanha. Maiores valores máximos de MPS foram observados na sétima campanha, exceto na ABTC, onde os máximos se apresentam na décima segunda campanha. Já os maiores valores médios foram encontrados na segunda, sétima, décima e décima segunda campanhas. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os dados das treze campanhas para todas as camadas (Figura V-22). Na superfície, a décima, décima segunda e décima terceira campanha diferiram da décima primeira e décima quarta campanha, e a oitava diferiu da décima quarta (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais campanhas foram observadas as diferenças. Na termoclina, a décima e a décima segunda campanha diferiram da primeira, da décima primeira e da décima quarta, a décima primeira também diferiu da décima terceira e da segunda, e a décima terceira, diferiu da décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a décima, a décima

segunda e a décima terceira campanha diferiram da primeira, décima primeira e décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que foram empregados diferentes limites de detecção em cada uma das campanhas (LD = 0,05 mg/L nas três primeiras campanhas, LD = 0,4 mg/L para a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha, LD = 0,1 mg/L para a sétima e décima terceira campanha, e LD = 0,005 mg/L na décima segunda e décima quarta campanha).

O principal agente responsável na produção de carbono orgânico (CO) anualmente nos oceanos, em escala global, é a produção primária fitoplanctônica, produzindo aproximadamente 2×10^{16} g de C (CHESTER, 2003; MILLERO, 2002). Outro fato interessante é que cerca de 80% dessa produção ocorre em mar aberto e cerca de 20% em regiões costeiras (CHESTER, 2003). Contudo, as margens continentais são apontadas como os principais reservatórios de CO no ambiente marinho, recebendo um aporte de aproximadamente $1,3 \times 10^{14}$ g de CO por ano, levando-se em conta nessa estimativa material tanto de origem terrestre quanto marinha (PRAHL *et al.*, 1994).

Ao longo das estações, o carbono orgânico total (COT) variou entre 0,81 mg/L (na TC da estação MLZ_J250) a 2,62 mg/L (TC da estação MLZ_J1003) (Tabela V-9). Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro COT é de 3,0 mg/L C, o qual não foi excedido em nenhuma das amostras da campanha.

Tabela V-9 – Concentração de COT (mg/L C) da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	MLZ_M1000	MLZ_J100	MLZ_J250	MLZ_J501	MLZ_J502	MLZ_J503	MLZ_J1001	MLZ_J1002	MLZ_J1003		
SUP	0,84	0,88	0,97	0,90	0,89	0,98	0,95	1,09	0,98	0,94	0,07
ACTC	1,01	0,88	0,93	0,98	0,89	1,02	0,95	1,12	1,34	0,97	0,08
TC	0,85	1,37	0,81	0,93	1,09	0,95	1,07	0,88	2,62	1,17	0,57
ABTC	1,01	0,90	1,03	0,82	0,89	0,98	1,02	1,34	1,18	1,02	0,16
Máx.	1,01	1,37	1,03	0,98	1,09	1,02	1,07	1,34	2,62		
Mín.	0,84	0,88	0,81	0,82	0,89	0,95	0,95	0,88	0,98		
Média	0,93	1,01	0,94	0,91	0,94	0,98	1,00	1,11	1,53		
DP	0,10	0,24	0,09	0,07	0,10	0,03	0,06	0,19	0,74		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina.

As concentrações foram baixas e uniformes na maioria das estações, destacando-se apenas leves incrementos verificados em MLZ_J100_TC, MLZ_J1002_ACTC e MLZ_J1003_ABTC, TC e ACTC (Figura V-23).

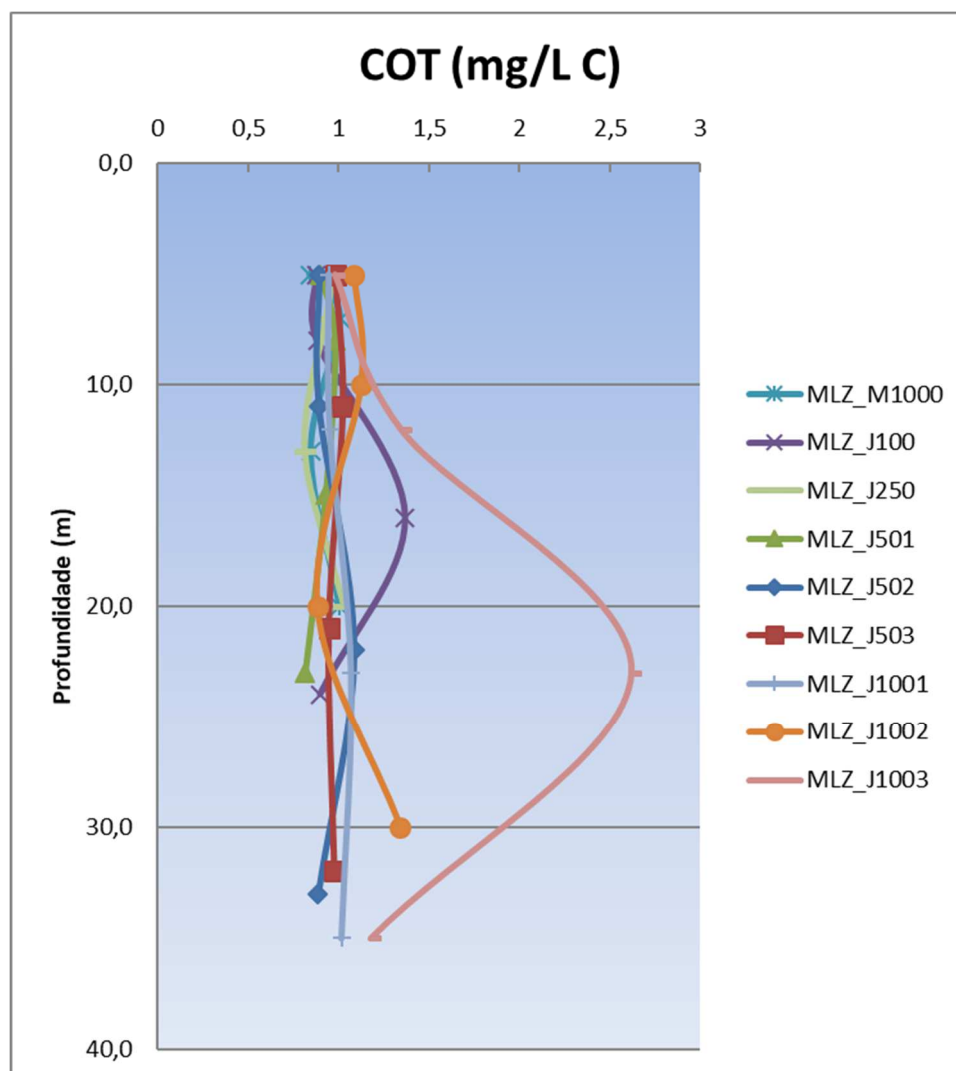


Figura V-23 – Perfis das concentrações de COT obtidos na atual campanha de monitoramento.

Nas campanhas anteriores, as concentrações de COT (Tabela V-10) variaram entre não detectado a 3,23 mg/L (TC na décima terceira campanha), sendo que os valores da atual campanha estiveram dentro da faixa de variação já verificada para o local (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023).

Tabela V-10 – Concentrações de COT (mg/L) encontradas na água no PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	COT (mg/L)	
	Mín.	Máx.
C1 MLZ ¹	n.d. (ACTC)	1,31 (SUP)
C2 MLZ ²	1,20 (ABTC)	2,00 (SUP)
C3 MLZ ³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,05 (SUP)
C4 MLZ ⁴	n.q. (TC/ABTC)	3,00 (TC)
C5 MLZ ⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (ACTC)
C6 MLZ ⁶	n.q. (SUP/TC/ABTC)	1,43 (TC)
C7 MLZ ^{*7}	-	-
C8 MLZ ⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,37 (TC)
C9 MLZ ⁹	n.q. (SUP/ABTC)	2,07 (TC)
C10 MLZ ¹⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,76 (TC)
C11 MLZ ¹¹	1,06 (ABTC)	1,53 (ACTC)
C12 MLZ ¹²	1,13 (SUP)	1,53 (TC)
C13 MLZ ¹³	1,04 (TC)	3,23 (TC)

* Não são apresentados resultados de COT para essa campanha, pois as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos.

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bourscheid (2022); 13 = Petrobras/Bourscheid (2023).

Na Figura V-24 são apresentadas as faixas de concentrações de COT obtidas em cada profundidade durante todas as 14 campanhas do PMAEpro_PMPR_MLZ, com exceção da sétima campanha, cujas análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos.

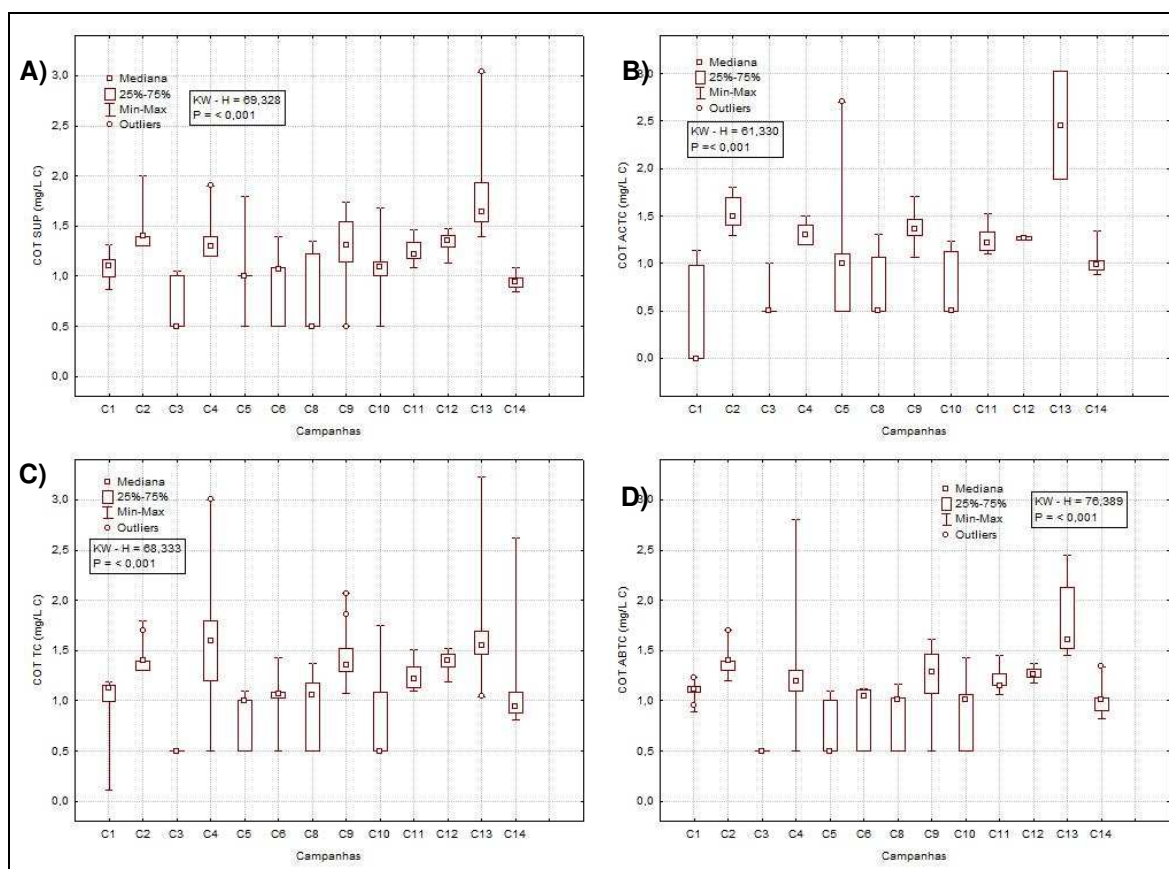


Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo PMAEpro-BR_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

A ACTC foi suprimida na sexta campanha. Observa-se que a quarta campanha apresentou maior amplitude de valores nas camadas TC e ABTC, enquanto na camada ACTC, maior amplitude foi verificada na quinta campanha. Em todos os estratos, maiores valores máximos foram observados na décima terceira campanha, exceto na ABTC, em que maiores valores ocorreram na quarta campanha. Através da aplicação do teste estatístico Kruskal-Wallis para todas as profundidades foram verificadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os dados das campanhas de monitoramento da fase de operação para todas as profundidades. Na SUP, a décima terceira campanha diferiu da primeira, terceira, quinta, sexta, oitava e décima, a segunda e a quarta diferiram da terceira e décima quarta, e a terceira diferiu da nona e da décima segunda (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a segunda, a quarta, a nona e a décima terceira campanha diferiram da primeira e da terceira campanha e a quarta diferiu da primeira (Tukey, $p < 0,05$).

Na TC, a décima terceira diferiu da terceira, quinta, oitava e décima campanha, a segunda, quarta, nona e décima segunda diferiram da terceira e quinta, e a terceira diferiu da décima primeira campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a décima terceira campanha diferiu da terceira, quinta, sexta, oitava, décima e décima quarta, a segunda diferiu da terceira, quinta, sexta, oitava e décima, a décima segunda diferiu da terceira e quinta, e a terceira diferiu da quarta, nona e décima primeira (Tukey, $p < 0,05$).

V.1.7 - Sulfetos

Os sulfetos são encontrados amplamente na natureza, provenientes dos campos de petróleo e gás natural, das águas subterrâneas, das zonas pantanosas, das jazidas de sal, de carvão, de minérios sulfetados e da emissão de vulcões, ou seja, são originários de processos geológicos baseados em diversos mecanismos físico-químicos ou microbiológicos.

O oxigênio dissolvido na água do mar é utilizado por bactérias para oxidar a matéria orgânica transformando-a em CO_2 , água e íons inorgânicos. Em águas profundas de bacias estagnadas e em áreas marinhas onde a troca de água é muito lenta ou há alta carga de matéria orgânica, todo o oxigênio é utilizado no processo de oxidação. Nesse tipo de águas anóxicas, forma-se o sulfeto, através da redução de íons sulfato por bactérias redutoras (FONSELIUS, 1983).

Os sulfetos podem originar-se também a partir de atividades industriais, através de processos de remoção química e/ou lavagens de gases ácidos, de sistemas de tratamento de efluentes, de fermentação, de decapagens ácidas, etc. (MAINIER & VIOLA, 2005), apresentando considerável representatividade em esgotos sanitários e outros.

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas salinas de classe 1, o valor máximo estabelecido para sulfetos é de 0,002 mg/L S.

Nesta campanha de monitoramento, as concentrações de sulfetos não foram quantificadas ($\text{LQ} = 0,002 \text{ mg/L}$) em nenhuma das amostras e, portanto, todos os resultados estão enquadrados dentro do limite da Resolução CONAMA nº 357/2005. Assim como ocorreu na atual campanha, baixos teores de sulfetos são esperados para ambientes pelágicos e corroboram os resultados obtidos durante o

monitoramento ambiental da atividade de Merluza, o qual encontrou concentrações quantificáveis de sulfetos somente durante a segunda, a oitava e a nona campanhas de monitoramento da fase de operação. Das 36 amostras da segunda campanha, 18 tiveram concentrações variando de 0,012 (ACTC) a 0,145 mg/L (ABTC). Das 36 amostras da oitava campanha, todas tiveram concentrações entre não quantificado e 0,05 mg/L (ACTC), e das 36 amostras da nona campanha, 22 tiveram concentrações entre não detectado e 0,078 mg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018, 2019).

Na Figura V-25 são apresentadas as faixas de concentrações de sulfetos obtidas em cada estrato do PMPR_MLZ.

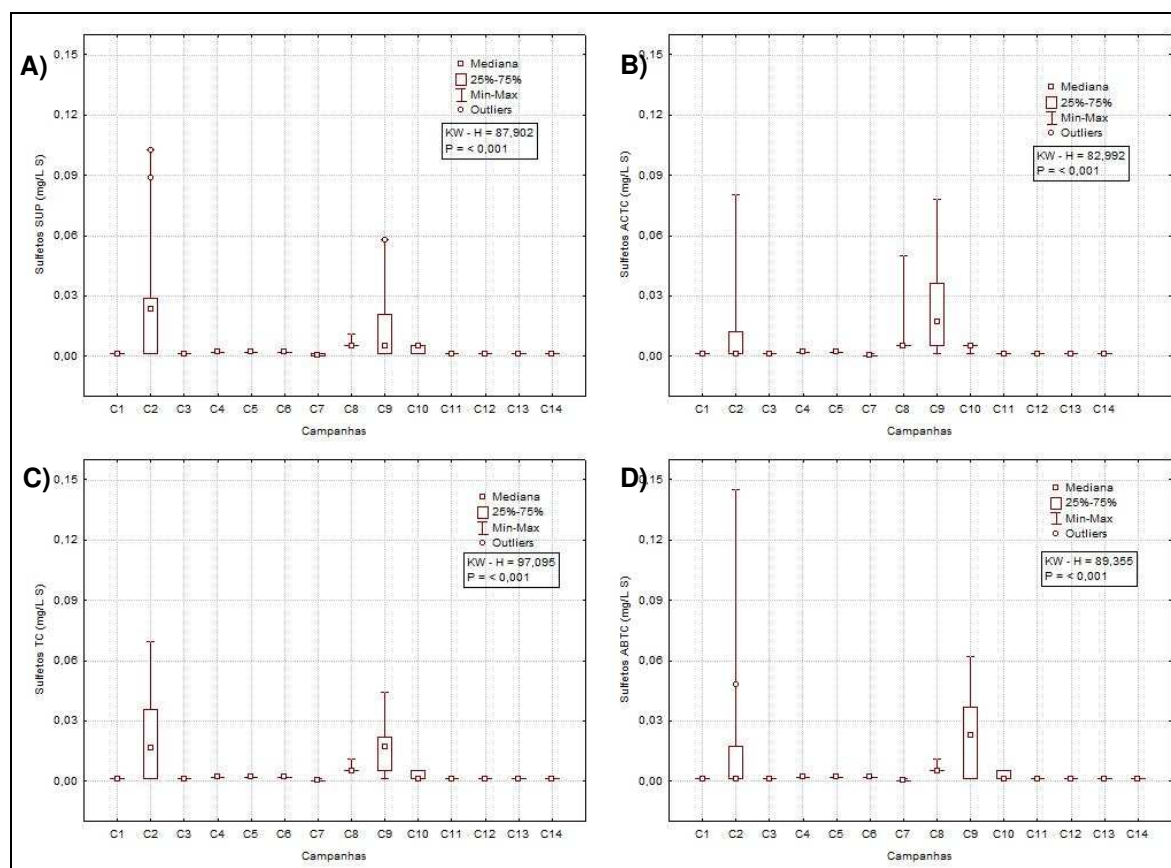


Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo do PMAEpro-Bs_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

A ACTC foi suprimida na sexta campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das treze campanhas (Figura V-25). Na superfície, a oitava campanha diferiu significativamente da primeira, terceira, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a sétima campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, nona e décima campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a oitava e a nona campanha diferiram significativamente da sétima e décima quarta campanha, e sétima campanha diferiu da quarta, quinta e décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Para a termoclina, a oitava e a nona campanhas diferiram significativamente da primeira, terceira, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a sétima campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, quinta e sexta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a oitava campanha diferiu da primeira, terceira, sétima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanhas, e a sétima campanha diferiu da segunda, quarta, quinta, sexta, nona e décima campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Os métodos e o limite de detecção foram diferentes entre as campanhas (método SMEWW 4500 (2005) para as duas primeiras campanhas e para as dez últimas campanhas, e método USEPA 376.2 para a terceira campanha / LQ = 0,002 mg/L S para as três primeiras campanhas e a oitava, nona, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanhas, LD = 0,004 mg/L S para a quarta, quinta e sexta campanha e LD = 0,0005 mg/L S para a sétima campanha). Assim, há algumas diferenças encontradas entre as campanhas que são meramente matemáticas, sem correspondência ambiental, e fruto do tratamento dado aos resultados não detectados e não quantificados, indicando, na verdade, diferenças entre os diferentes limites de detecção e de quantificação.

V.1.8 - Fenóis

Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. São compostos pouco solúveis ou insolúveis em água, ligeiramente ácidos, obtidos principalmente através de extração de óleos. Os fenóis são tóxicos ao homem, aos organismos aquáticos, e aos microrganismos que tomam parte dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais. Segundo informações da CETESB (2008), indústrias de processamento de borracha, colas, adesivos, resinas impregnantes, componentes elétricos (plásticos) e siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais.

Para as águas salinas de Classe 1, a Resolução CONAMA nº 357/05 estabelece como limite máximo o valor de 60 µg/L. Na atual campanha, não foram quantificados teores de fenóis em nenhuma das estações amostradas sendo o limite de quantificação do método de 0,04 µg/L.

Importante destacar que a ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis de fenóis na água é usual para a área de estudo, uma vez que nas campanhas anteriores realizadas na região não foram encontradas concentrações detectáveis de fenóis (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). Como todas as concentrações de fenóis das 14 campanhas anteriores da fase de operação não foram detectadas, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.1.9 - Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos presentes no ambiente marinho consistem em misturas complexas de compostos derivados de múltiplas fontes, que incluem não só a contribuição resultante do uso do petróleo como fonte de energia e matéria-prima, mas também a combustão de biomassa, a biossíntese e a transformação diagenética recente de produtos naturais contendo heteroátomos em

hidrocarbonetos. Em função de sua solubilidade limitada na água e de sua natureza hidrofóbica, evidenciadas pelos coeficientes de partição octanol-água (K_{ow}) e carbono orgânico-água (K_{oc}), a concentração dos hidrocarbonetos dissolvidos na água é muito baixa (Petrobras, 2022a).

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos formados por átomos de carbono e hidrogênio, além de pequenas quantidades de enxofre, nitrogênio e oxigênio em proporções variáveis. Os hidrocarbonetos de petróleo podem ser agrupados em quatro classes principais, baseadas na composição molecular: aromáticos, n-alcanos, n-alcenos e cicloalcanos (KOLESNIKOVAS *et al.*, 2009).

A mistura complexa não resolvida (MCNR) é uma importante feição na fração dos hidrocarbonetos alifáticos. Ela representa uma mistura de centenas de compostos que não pode ser resolvida cromatograficamente, e é composta por isômeros e homólogos de hidrocarbonetos ramificados e cíclicos (BOULOUBASSI & SALIOT, 1993).

A MCNR pode ser unimodal ou bimodal. A primeira, em geral, localiza-se entre $n-C_{18}$ e $n-C_{35}$ e está relacionada à presença de resíduos de óleo bruto degradado por micro-organismos (FARRINGTON & TRIPP, 1977; BOULOUBASSI, 1990). Já na bimodal, pode ocorrer uma segunda ondulação entre $n-C_{16}$ e $n-C_{22}$ que pode ser atribuída à degradação bacteriana da matéria orgânica (VENKATESAN & KAPLAN, 1982).

Alguns autores utilizam a relação da MCNR com os resolvidos, que são todos os compostos que se encontram na fração alifática e são resolvidos pela coluna capilar, para avaliar a origem da contaminação. Valores de MCNR/Resolvidos maiores que quatro são indicativos de contaminação petrogênica (SIMONEIT & MAZUREK, 1982; SIMONEIT, 1984).

Já no que tange à origem destes compostos, existem duas formas de hidrocarbonetos encontrados nos oceanos, os autóctones e os alóctones. Os hidrocarbonetos autóctones são derivados de algas, do zooplâncton ou de bactérias; já os alóctones são provenientes de detritos naturais ou fósseis – produtos de exsudações naturais do fundo oceânico ou poluição. A análise detalhada da distribuição dos hidrocarbonetos em amostras coletadas nas águas e nos sedimentos dos oceanos permite traçar sua origem e diferenciá-los entre as suas duas formas (SHELL/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2004).

V.1.9.1 - **Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's)**

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) são uma classe de compostos orgânicos, semi-voláteis, formados por anéis benzênicos ligados de forma linear, angular ou agrupados, contendo na sua estrutura somente carbono e hidrogênio. Dos HPA's, 16 são indicados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) como sendo poluentes prioritários, devida sua toxicidade, persistência e predominância no meio ambiente. São eles: acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno e pireno (CETESB, 2008).

A presença de HPA's no ambiente oceânico é uma característica natural. Os hidrocarbonetos podem também ser introduzidos no ambiente a partir de outras fontes como: motores de exaustão a gasolina e a diesel, o alcatrão da fumaça do cigarro, superfície dos alimentos chamuscados ou queimados, fumaça de queima de carvão ou madeira, além de outros processos de combustão parcial em que o carbono ou combustível não são convertidos em CO (óxido de carbono) ou CO₂ (dióxido de carbono) (BAIRD, 2002).

No PCR-BS (Petrobras, 2022a), 15% das estações amostradas no inverno apresentaram valores acima do limite de quantificação (LQ= 0,00063) até 0,01646 µg/L, para os 16 compostos de HPA. No verão, aumentou para 33,9% o número de estações com quantificações de HPA.

Nesta campanha de monitoramento não foram quantificadas concentrações de HPA's em nenhuma das amostras (LQ = 0,005 µg/L).

Também não houve detecção de concentrações de HPA's nas demais campanhas de monitoramento realizadas na região, exceto durante a oitava campanha, em que foram detectadas concentrações em duas amostras, de 0,108 µg/L (MLZ_J100_ABTC) e 0,258 µg/L (MLZ_J250_SUP), ambas devidas a detecção de naftaleno (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). Como, para a grande maioria das campanhas, não foram detectadas nem quantificadas concentrações

de HPA's, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação dos resultados.

V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações para hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), n-alcanos e Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) (LQ = 1,0 µg/L).

Na comparação entre as concentrações HTP obtidas nas 13 campanhas anteriores do monitoramento ambiental da atividade de Merluza, observa-se que foram encontradas concentrações detectáveis somente nas três primeiras campanhas e na sétima, com valores variando de 0,0644 (SUP) a 19.580 µg/L (ACTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023).

No PCR-BS (Petrobras, 2022a), a análise de HTP resultou em concentrações superiores ao limite de quantificação para 43,3% e 55,9% das estações do verão e inverno, respectivamente, com valores variando entre < 0,025 e 28,73 µg/L no inverno e entre < 0,025 e 155,23 µg/L no verão.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-26).

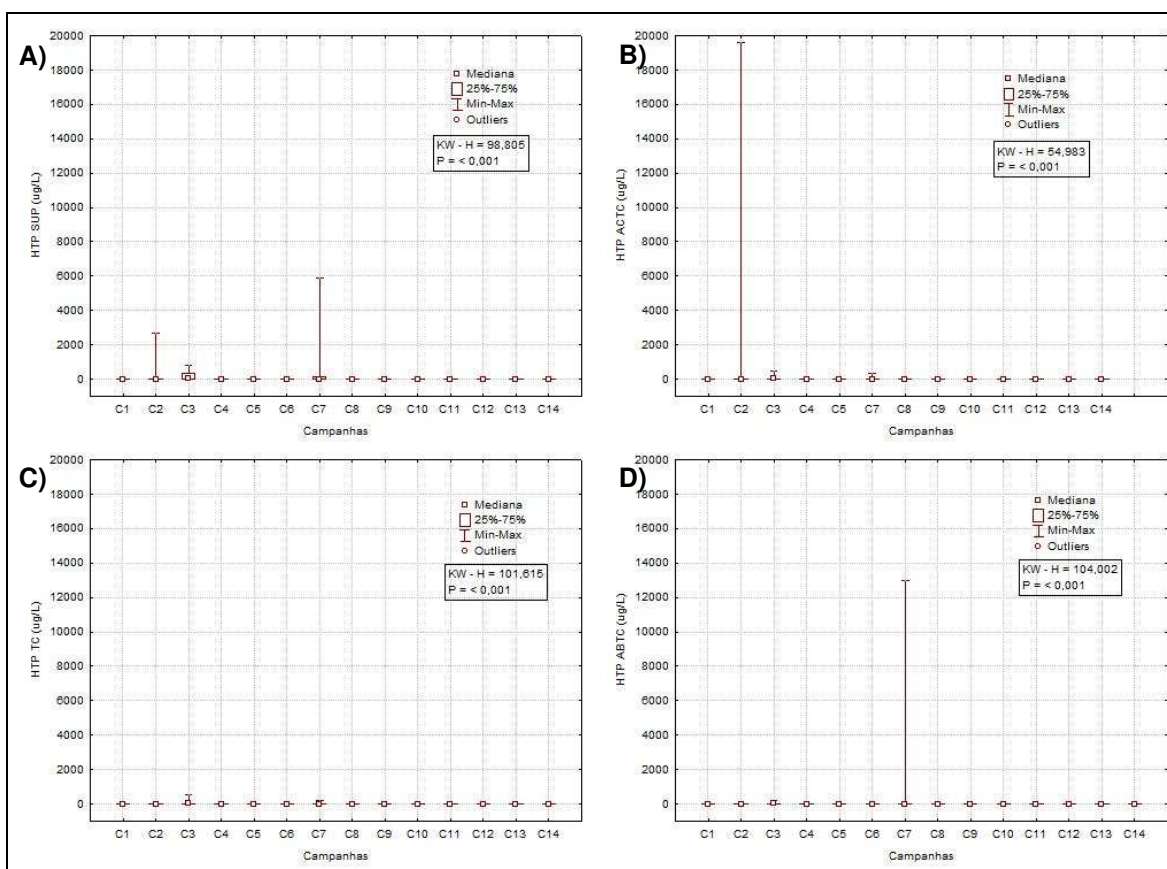


Figura V-26 – Concentrações de HTP ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na superfície, a primeira e a terceira campanha diferiram significativamente das demais campanhas, exceto da segunda, décima terceira e décima quarta e entre si, e a décima segunda diferiu da segunda, décima terceira e décima quarta campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira campanha diferiu significativamente das demais, exceto da segunda, décima terceira e décima quarta campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, a primeira e a terceira campanha diferiram significativamente das demais campanhas, exceto da segunda, décima terceira e décima quarta e entre si, a décima terceira e décima quarta campanhas diferiram da sétima e décima segunda, e a segunda diferiu da décima segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a primeira e a terceira campanha diferiram significativamente das demais campanhas, exceto da segunda, décima terceira e décima quarta e entre si, a segunda, décima terceira e décima diferiram da sétima e décima segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas (0,1

µg/L na primeira e terceira campanhas, 0,001 µg/L na segunda campanha, 0,2 µg/L na quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanhas, 0,03 µg/L na sétima campanha, e 0,05 µg/L na décima segunda e décima terceira campanha).

Já os n-alcanos apresentaram concentrações em apenas duas amostras da segunda campanha, com concentrações de 16,02 µg/L (MLZ_M1000_ACTC) e 964,28 µg/L (MLZ_J250_ACTC), com origem provavelmente relacionada a contaminação petrogênica com óleo degradado, segundo as razões diagnósticas calculadas, mas sem nenhuma relação espacial entre as amostras e o posicionamento das estações em relação à plataforma. Também foram encontradas concentrações de n-alcanos durante a sétima campanha, variando entre não detectado e 33,20 µg/L (MLZ_J503_ABTC), sendo que nenhuma das amostras apresentou perfil cromatográfico típico de contaminação por aporte de petróleo.

No PCR-BS (Petrobras, 2022a), a análise de n-alcanos indicou que as concentrações encontradas foram relativamente baixas, com apenas 20% das estações apresentando valores maiores que o limite de quantificação (>LQ), entre <0,025 e 3,16 µg/L e entre <0,025 e 112,28 µg/L, nas campanhas de inverno e verão, respectivamente.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-27).

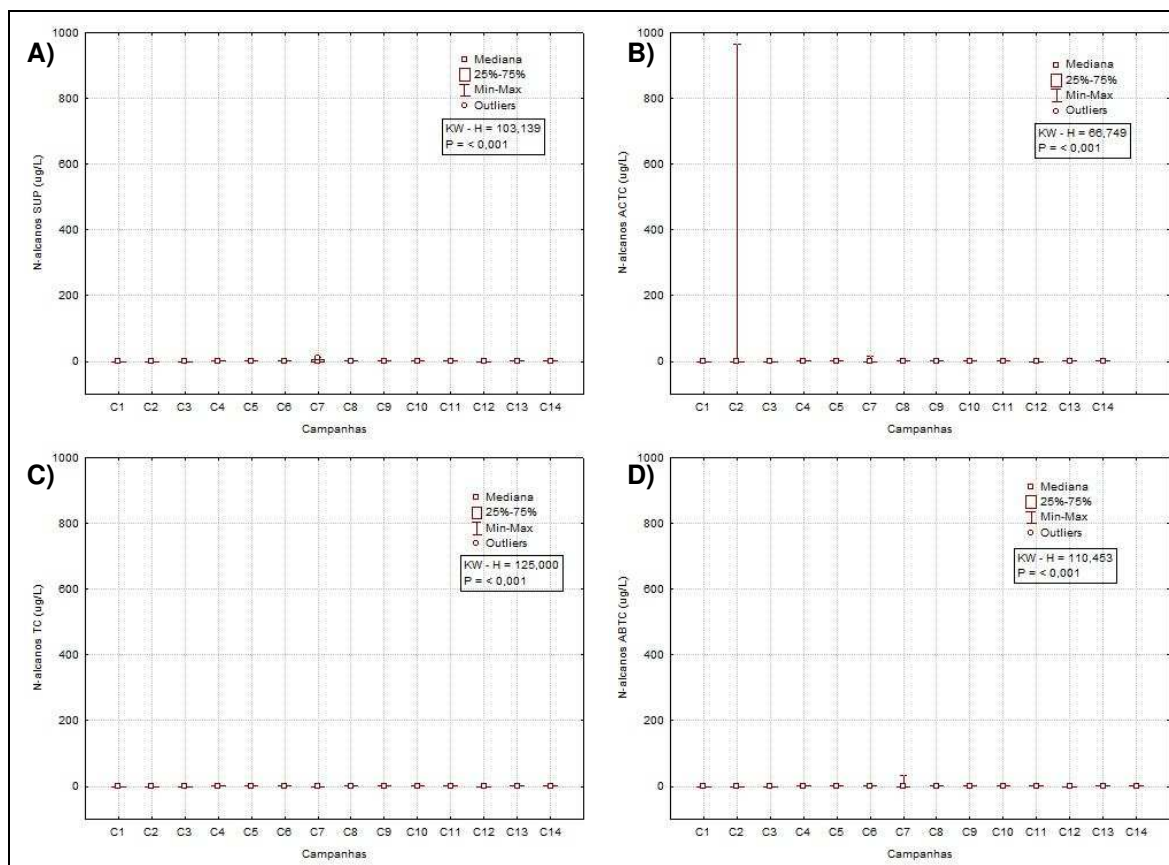


Figura V-27 – Concentrações médias de *n*-alcanos ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Importante ressaltar que foi suprimida a camada ACTC na sexta campanha. Na SUP e na ABTC, a décima terceira e décima quarta campanha diferiram da primeira, segunda, terceira, sétima e décima segunda, a segunda e a décima segunda campanha diferiram significativamente da quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença. Na TC, a décima terceira e décima quarta campanha diferiram da primeira, segunda, terceira, sétima e décima segunda campanha, a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanhas diferiram significativamente da segunda, sétima campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas ($0,1 \mu\text{g/L}$ na primeira e terceira campanha, $0,001 \mu\text{g/L}$ na segunda campanha, $0,2 \mu\text{g/L}$ na quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanhas, $0,03 \mu\text{g/L}$ na sétima campanha, $0,05 \mu\text{g/L}$ na décima segunda décima terceira campanha e

0,014 µg/L na quarta campanha). As diferenças encontradas separaram as campanhas com concentrações quantificadas daquelas com concentrações não detectadas e não quantificadas ao longo da execução do projeto, mas houve também diferenças estatísticas entre concentrações não detectadas e não quantificadas de diferentes campanhas, evidenciando a influência do tratamento aplicado aos dados, como pode ser verificado na TC e para a diferença entre a segunda e demais campanhas na SUP e ABTC, por exemplo.

Já a MCNR apresentou concentrações variando entre 183,80 µg/L (MLZ_M1000_ABTC) e 16.060,00 µg/L (MLZ_J250_ACTC), em amostras da segunda, terceira e sétima campanhas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017). O PCR-BS (Petrobras, 2022a) registrou a presença de MCNR em 26,7% das estações no inverno e 42,4% das estações no verão. No inverno e verão, as concentrações variaram entre < 0,025 e 19,87 µg/L e < 0,025 e 38,14 µg/L, respectivamente.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das treze campanhas nos diferentes estratos, considerados (Figura V-28).

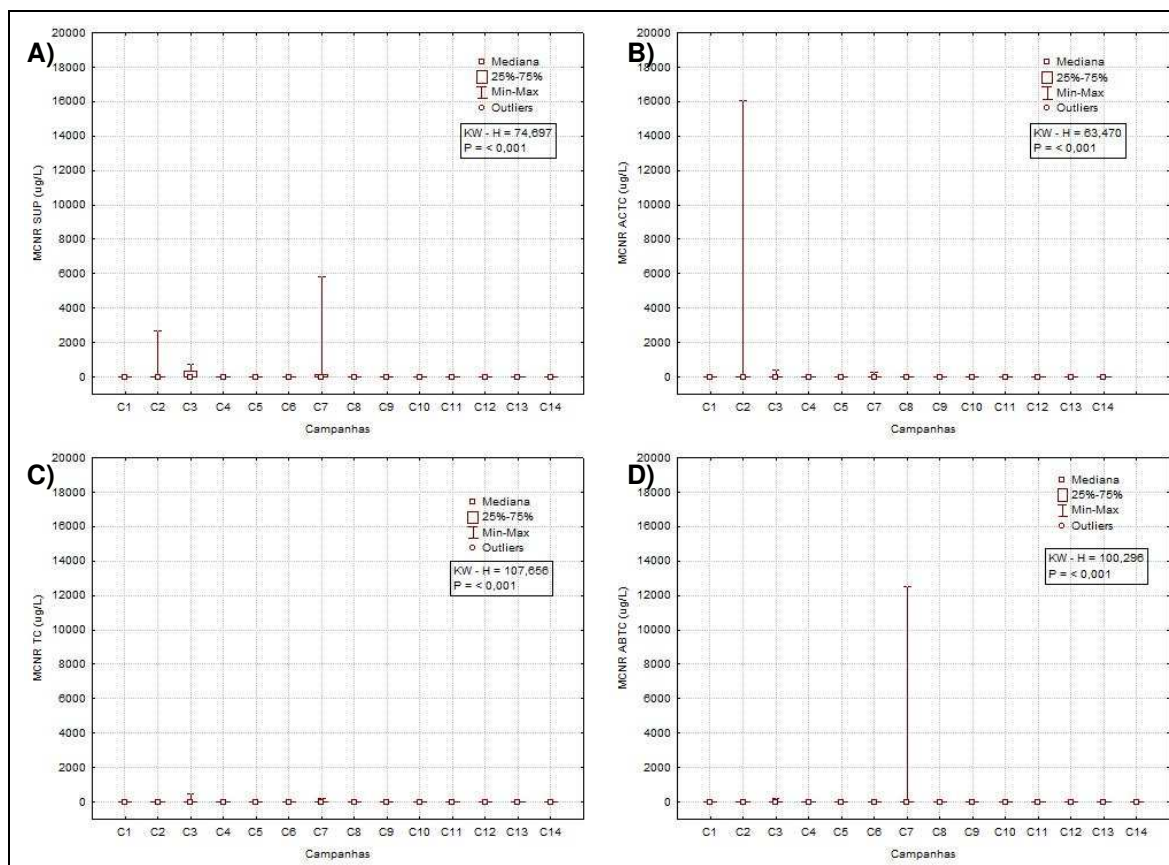


Figura V-28 – Concentrações de MCNR ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo do PMAEpro-Bs_PMPR_MLZ. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na sexta campanha a camada ACTC foi suprimida. Na SUP, a décima segunda, a décima terceira e a décima quarta campanha diferiram significativamente da primeira e da segunda campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença. Na TC e na ABTC, a décima segunda, a décima terceira e a décima quarta campanha diferiram da primeira, segunda, terceira e sétima campanhas, e a segunda campanha diferiu da quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$). Os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas ($0,1 \mu\text{g/L}$ na primeira e terceira campanha, $0,001 \mu\text{g/L}$ na segunda campanha, $0,2 \mu\text{g/L}$ na quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanhas, $0,03 \mu\text{g/L}$ na sétima campanha, e $0,12 \mu\text{g/L}$ na décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha). Grande parte das diferenças encontradas separaram as campanhas com concentrações quantificadas daquelas com concentrações não detectadas e

não quantificadas ao longo da execução do projeto, mas, assim como verificado para n-alcanos, houve também diferenças estatísticas entre concentrações não detectadas e não quantificadas de diferentes campanhas, evidenciando a influência do tratamento aplicado aos dados, como pode ser verificado para a diferença entre a segunda e demais campanhas na TC e ABTC, por exemplo.

V.1.9.3 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX)

A gasolina, líquido composto por uma mistura de hidrocarbonetos de petróleo, é comumente representada em avaliações ambientais pelos hidrocarbonetos aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, conjuntamente denominados BTEX (KOLESNIKOVA *et al.*, 2009).

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações acima dos limites de quantificação (LQ = 1,0 µg/L) e, portanto, todos os resultados estão enquadrados dentro do limite da Resolução CONAMA nº 357/2005.

Nas 12 campanhas anteriores, as concentrações foram inferiores ao limite de detecção do método em todas as amostras analisadas do monitoramento ambiental da atividade de Merluza (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022) e, por isso, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.2 - PLÂNCTON

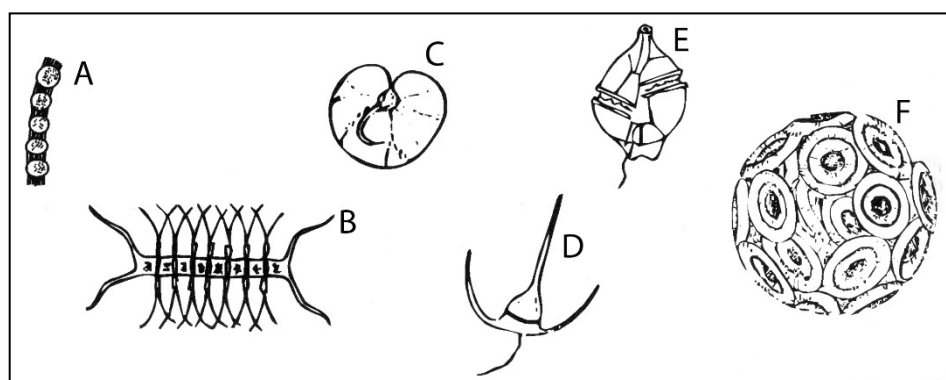
As comunidades planctônicas são formadas por uma grande diversidade de espécies de diminutos organismos uni e multicelulares, autotróficos e heterotróficos, representantes de diversos grupos taxonômicos (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

A categorização dos organismos planctônicos se baseia em inúmeros critérios como dimensão corpórea, habitat, tempo de residência no domínio planctônico e grupo taxonômico. A classificação do plâncton por grupos taxonômicos insere estes organismos marinhos nas categorias bacterioplâncton (bactérias), viroplâncton

(vírus), fitoplâncton (algas e demais organismos unicelulares autotróficos), zooplâncton (metazoários e protistas heterotróficos) e ictioplâncton (ovos e larvas de peixes).

V.2.1 - Fitoplâncton

O fitoplâncton é representado por procariotos e eucariotos, pluricelulares ou unicelulares, que podem ou não formar colônias. No entanto, a grande maioria é unicelular. São microrganismos autotróficos que pertencem a várias classes. Microalgas é um termo genérico, pois este grupo é constituído por diversos organismos nos mais variados tamanhos pertencentes às seguintes classes: Bacillariophyceae (diatomáceas); Dinophyceae (dinoflagelados); Chlorophyceae (clorofíceas); Haptophyceae (cocolitoforídeos); Classe Cryophyceae (silicoflagelados); Cryptophyceae (criptofíceas) (BONECKER *et al.*, 2009; LALLI & PARSONS, 1995) (Figura V-29).



Fonte: Bonecker, Bonecker e Bassani (2009).

Figura V-29 – Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) *Skeletonema*; (B) *Chaetoceros*; (C) *Pleurosigma*. Dinoflagelados: (D) *Noctiluca*; (E) *Ceratium*. Primnesiófita: (F) *Coccolithus*.

A comunidade fitoplanctônica possui grande importância nos ecossistemas, pois contribui com aproximadamente 90% da produção orgânica anual dos oceanos, formando a base da teia alimentar marinha (BRANDINI *et al.*, *op. cit.*). Portanto, oscilações em sua estrutura podem acarretar modificações em todos os níveis tróficos do ecossistema marinho.

O crescimento das populações fitoplanctônicas possui sazonalidade devido a diferenças na incidência luminosa, além de outras variáveis físico-químicas da água como temperatura, efeitos hidrodinâmicos das correntes, ventos e turbidez. A concentração de nutrientes e as interações ecológicas, tais como herbivoria, parasitismo e competição, também são fatores reguladores do tamanho populacional das espécies de fitoplâncton (SOUZA, 2008). Devido ao seu curto ciclo de vida e as elevadas taxas de reprodução de suas espécies, a comunidade fitoplanctônica responde rapidamente às alterações do meio aquático, seja por variações no regime meteorológico ou por impactos antropogênicos (BRANDINI *et al.*, *op. cit.*). Desta forma, este componente do plâncton é uma útil ferramenta para avaliação e para monitoramento das condições ambientais do meio aquático.

Densidades elevadas de microalgas indicam alta produtividade biológica (centenas de milhares de organismos por litro), sendo mais comumente observadas em áreas costeiras com reflexos geralmente positivos em ambientes naturais. De acordo com Sournia *et al.* (1991), são estimadas cerca de 5.000 espécies que constituem o fitoplâncton, das quais aproximadamente 300 podem ocorrer em grandes densidades na água do mar. No entanto, em certas situações, algumas espécies podem ser nocivas ao produzirem toxinas ou por causar impactos negativos ao ecossistema. Dentre as 5.000 espécies estimadas, aproximadamente 40 produzem toxinas (HALLEGRAEFF *et al.*, 1995). Essas espécies podem se reproduzir de forma assexuada, por divisão celular, e intensivamente em espaço de tempo relativamente curto, aumentando consideravelmente a sua biomassa e/ou densidade celular, originando as chamadas florações ou *blooms*.

Na comunidade fitoplanctônica, os organismos presentes estabelecem relações intra e interespecíficas complexas, gerando uma intensa competição por espaço e recursos orgânicos e inorgânicos (BRANDINI *et al.*, 1997). A ecologia e composição do fitoplâncton são frequentemente utilizadas como ferramenta em estudos de caracterização de qualidade de água (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Isso ocorre devido ao fato de serem organismos indicadores de alterações ambientais, pois a degradação dos ambientes aquáticos pode influenciar na distribuição espacial e temporal dos mesmos (BARBOSA, 2002).

V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem

Ao todo, considerando as 14 campanhas de monitoramento, foram coletadas 106 amostras para esse grupo, devido à supressão da ACTC na estação MLZ_J1002 durante C1, nas estações MLZ_M1000 e MLZ_J1002 durante C6, na estação MLZ_M1000 durante C12 e em ambas as estações durante C13. Na atual campanha, houve incremento de 12 novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas da fase de operação contabilizou 246 taxa, evidenciando um incremento maior entre a 1ª e 23ª amostra, que contabilizaram, de forma cumulativa, 103 taxa. Ou seja, 42% do total de taxa obtido, considerando as 14 campanhas de monitoramento, foi coletado durante as três primeiras campanhas de monitoramento (Figura V-30).

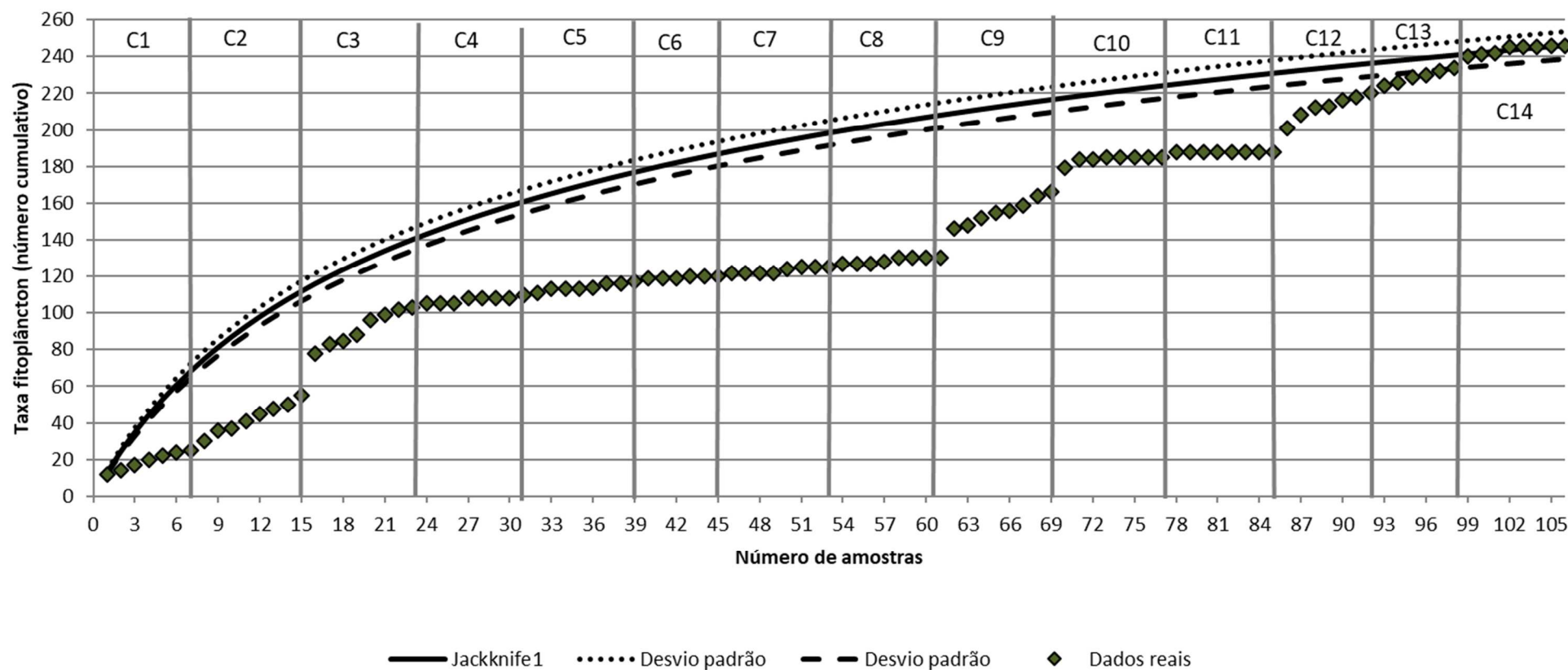


Figura V-30 – Taxa fitoplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMPR_MLZ . A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Durante as demais campanhas, ocorrem leves incrementos do número de taxa e uma tendência de estabilização da curva, com um incremento cada vez mais sutil até a oitava campanha. Na nona campanha, há um novo incremento de taxa, que provavelmente se deve à mudança de metodologia analítica, uma vez que passou a se empregar filtração reversa e sedimentação de 72 horas, com estabilização da curva nas campanhas subsequentes e um novo incremento nas primeiras amostras da décima segunda campanha, provavelmente devido à alteração do laboratório de análise. Na sequência, a taxa de crescimento vai se atenuando e a curva volta a apresentar tendência de estabilização ao final da décima quarta campanha, evidenciando que, mesmo com o aumento do esforço amostral, não é esperado um incremento significativo no número de espécies. É interessante ainda ressaltar que, a partir da quarta campanha, todo grande incremento na riqueza observado na curva esteve associado a alterações de ordem analítica.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada até o final da décima segunda campanha. No entanto, é preciso destacar que a curva é calculada para estimar a evolução dos dados com base no total de registros, visando uma progressão contínua e predizível, mas que não é capaz de refletir as alterações de ordem analítica que constituíram as condições de obtenção dos dados. De todo modo, a partir da primeira amostra da décima terceira campanha até o final, é possível observar que a distribuição real é mais semelhante à distribuição esperada, e todos os pontos recaem dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife.

De modo geral, o comportamento da curva aponta para um adequado esforço amostral, garantindo que grande parte dos taxa presentes na comunidade local seja amostrado durante a realização de poucas campanhas, e evidenciando ainda que mudanças de ordem analítica interferem na estabilidade da curva apenas na campanha de implantação das alterações, com subsequente retorno a condições de estabilidade.

V.2.1.2 - *Análise Qualitativa*

No presente trabalho, foram registrados organismos pertencentes a quatro filos: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myxozoa. Os filos Myxozoa e Bacillariophyta apresentaram maior riqueza total, com 24 e 15 taxa respectivamente, seguidas por Haptophyta, com 6 taxa, e Cyanobacteria, com 3 taxa cada. Vale ressaltar que o nível taxonômico das identificações foi variável, e que podem existir mais espécies dentro dos taxa identificados em nível de ordem, família e gênero (Figura V-31). Nas campanhas anteriores da fase de operação, as diatomáceas (Bacillariophyta), fitoflagelados e dinoflagelados (divisão Pyrrophytophyta – atual filo Myxozoa) também foram reconhecidamente mais ricas, destacando-se também a alta riqueza de Euglenophycota durante a segunda campanha (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). A listagem das espécies fitoplanctônicas coletadas está contida no Anexo X-13.

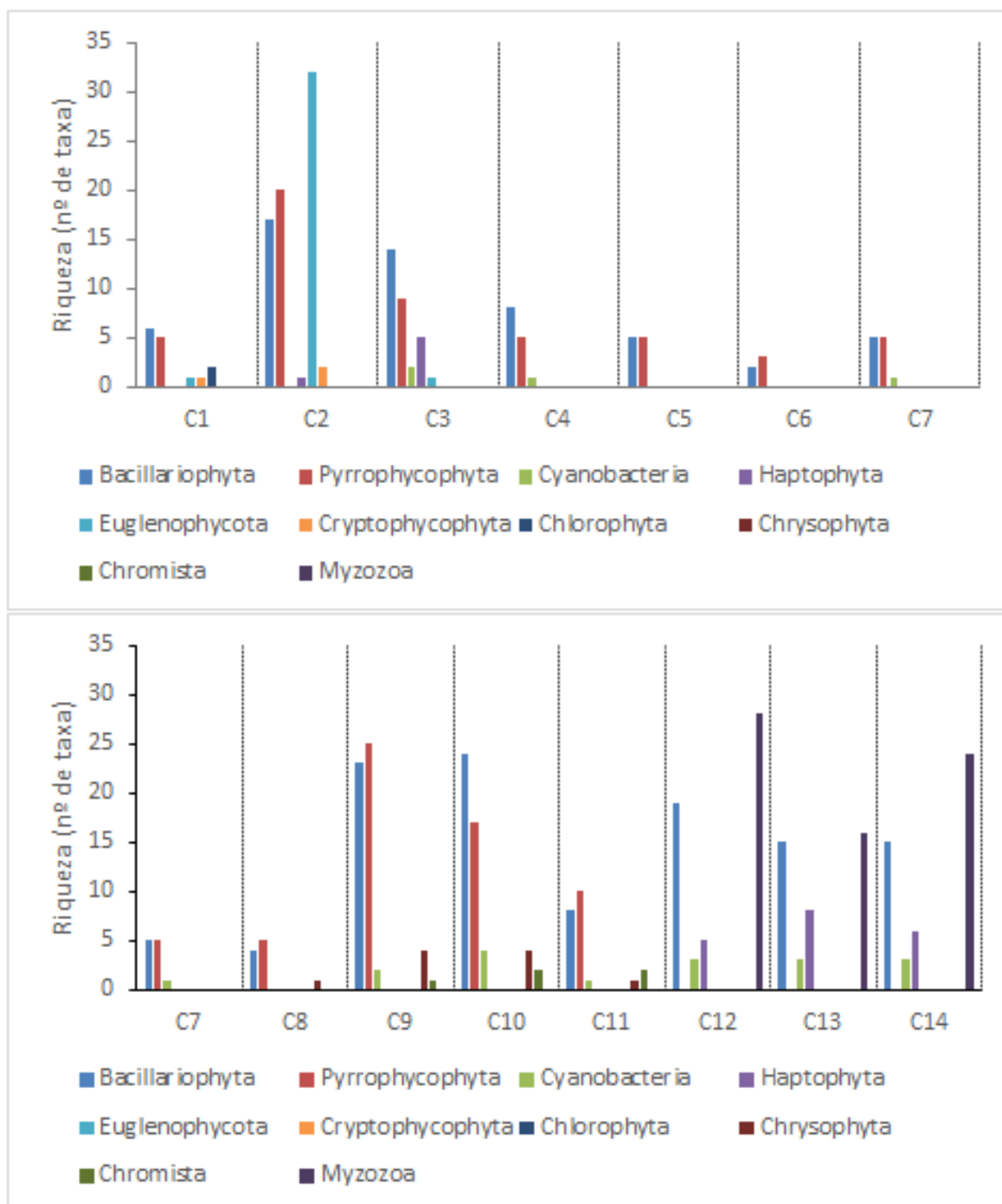


Figura V-31 – Riqueza (número de taxa) das divisões e filos fitoplanctônicos ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Ao longo da plataforma continental brasileira, a comunidade fitoplanctônica é composta principalmente por diatomáceas e células flageladas do nanoplâncton e do micropâncton pertencentes às classes Dinophyceae (Pyrrophyphyta), Prymnesiophyceae, Cryptophyceae, Prasinophyceae e Chlorophyceae (BRANDINI *et al.*, 1997). Já ao longo do talude continental, o fitoplâncton é composto

principalmente por diatomáceas (Bacillariophyta), dinoflagelados (Pyrrophytophyta), coccolitoforídeos (Haptophyta), cianofíceas (Cyanobacteria) e silicoflagelados (PETROBRAS/HABTEC, 2003; CENPES/PDEDS/AMA, 2013).

Segundo o PCR-BS (Petrobras, 2022b), o nanoplâncton (1,8 - 20,0 µm) tem grande importância na composição da comunidade localizada na plataforma externa e na região oceânica, apresentando uma maior contribuição, tanto em termos de densidade (99%) quanto de biomassa (47-90%), na região de talude e oceânica onde predominam condições oligotróficas. Os coccolitoforídeos, pertencentes a filo Haptophyta, apresentaram uma importância inédita na Bacia de Santos, ocorrendo em quase todas as estações, tanto na superfície como na profundidade de máximos de clorofila-a, representando entre 2 e 75% da biomassa total.

A Divisão Pyrrophytophyta (atualmente classificada como filo Myzozoa) é representada por espécies carapaçadas (tecadas), que se distinguem pela célula encerrada em uma teca formada por placas separáveis, e pelas não carapaçadas (nuas ou atecadas) que não possuem essas placas (BALECH, 1988). Esses organismos apresentam dois flagelos quase sempre apresentando disposição ortogonal com diferentes funções. Um deles realiza movimento de rotação para frente e o outro empurra a água posteriormente impulsionando o organismo para frente (RUPPERT *et al.*, 2005). Devido as suas características de mobilidade vertical, os dinoflagelados apresentam vantagem, principalmente em zonas com maior estabilidade da coluna de água. Em zonas de turbulência, o movimento da coluna de água facilita o deslocamento vertical de formas desprovidas de flagelos (MOITA, 2001), como as diatomáceas. Alguns dinoflagelados liberam toxinas prejudiciais a um grande número de organismos, refletindo de maneira negativa nas atividades de pesca, de turismo e na saúde humana (VALE, 2004), sendo também os principais responsáveis pelo fenômeno de maré vermelha ou por floração de algas nocivas.

Tanto os dinoflagelados (divisão Pyrrophytophyta – filo Myzozoa) quanto as diatomáceas (filo Bacillariophyta) são organismos de grande importância para as comunidades fitoplanctônicas, pois constituem a base da teia alimentar aquática, e por possuírem alta diversidade de espécies (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI *et al.*, 1997; RAVEN *et al.*, 2001).

As diatomáceas representam um elemento importante na cadeia alimentar aquática, predominantemente em ambientes com altos níveis de nutrientes (RAVEN *et al.*, 2001). Esse grupo de organismos necessita de maiores concentrações de nutrientes para sobreviver, e consequentemente é mais escasso em águas oligotróficas afetadas pela Água Tropical (AT) (BRANDINI *et al.*, 1997). Bacillariophyta é uma classe cosmopolita que habita ambientes aquático, terrestre ou subaéreo (fixada em macroalgas e fanerógamas) e no sedimento (BOLD & WYNNE, 1985).

Em áreas com maior concentração de nutrientes as diatomáceas têm maior sucesso de colonização, enquanto os dinoflagelados são um grupo oportunista, devido ao fato de serem melhores competidores em condições mais instáveis como, por exemplo, concentrações irregulares de nutrientes (HALLEGRAEFF, 1995).

As cianobactérias (filo Cyanobacteria) são bactérias fotossintetizantes encontradas em diversos tipos de ambientes como ambientes terrestres, de água doce, salobra ou marinha, além de habitats extremos como fontes termais, neve ou deserto. Cianofíceas podem ocorrer no plâncton e no bentos. Apesar de sua ampla distribuição, o maior número de espécies desse grupo é registrado em ambientes dulcícolas, sendo um grupo menos rico nos sistemas marinhos (BONECKER *et al.*, 2009; BRANCO *et al.*, 2003). As cianofíceas vêm sendo retiradas do grupo das algas, por serem microrganismos. No entanto, as cianobactérias possuem um sistema fotossintetizante semelhante ao das algas e de vegetais eucariontes sendo, portanto, bactérias fotossintetizantes (BRANDINI *et al.*, 1997; ESTEVES & SUZUKI, 2011; LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009).

Algumas espécies de algas são capazes ainda de produzir toxinas, nocivas ao homem e ao meio ambiente. No entanto, as mesmas são consideradas nocivas quando ocorrem em altas concentrações, acima de 10^6 ind/L (BRANDINI *et al.*, 1997; VILLAC, 1990). Por este motivo, o monitoramento das comunidades fitoplanctônicas representa uma ferramenta importante para análise de qualidade da água e avaliação do equilíbrio ecológico nos sistemas aquáticos.

V.2.1.4 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-11 são apresentados os valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade para a comunidade fitoplânctônica encontrada na atual campanha de monitoramento.

Tabela V-11 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade fitoplânctônica da atual campanha de monitoramento.

Estação	Estratos	Riqueza (nº de taxa)	Densidade (ind/L)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
MLZ_M1000	SUP	25	346,52	2,59	0,80
	ACTC	27	353,19	2,59	0,79
	TC	25	259,28	2,41	0,75
	ABTC	26	267,36	2,60	0,80
MLZ_J1002	SUP	22	298,99	2,41	0,78
	ACTC	23	269,59	2,46	0,78
	TC	19	232,06	2,40	0,82
	ABTC	22	256,49	2,44	0,79
mínimo		19,00	232,06	2,40	0,75
máximo		27,00	353,19	2,60	0,82
média		23,63	285,44	2,49	0,79
desvio padrão		2,62	43,84	0,09	0,02

A análise da comunidade fitoplanctônica registrou um total de 48 taxa, dentre os quais dois foram identificados a nível de ordem, nove a nível de gênero e 37 a nível de espécie. A riqueza (número de taxa) variou entre 19 (TC de MLZ_J1002) e 27 (ACTC de MLZ_M1000), com média de $23,63 \pm 2,62$ taxa.

Na Tabela V-12 são apresentados os valores obtidos para os indicadores ecológicos do fitoplâncton nas campanhas de monitoramento ambiental anteriores do PMAEpro-BS_PMPR-MLZ. Os valores de riqueza registrados durante a atual campanha são elevados, sendo comparáveis aos resultados observados nas campanhas C3, C9, C10 e C12.

Tabela V-12 - Resultados (mínimo e máximo) dos indicadores ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR-MLZ.

	Riqueza (nº de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C1 MLZ¹	0	5	174.000	216.000,00	0,30	0,44	0,28	0,41
C2 MLZ²	15	22	246.353,50	348.973,50	0,38	0,62	0,30	0,50
C3 MLZ³	13	26	445.045,00	4.644.776,00	0,02	0,36	0,01	0,13
C4 MLZ⁴	3	10	28.015,00	71.526,00	0,44	2,05	0,34	0,89
C5 MLZ⁵	5	7	0,00	8.000,00	0,00	1,24	0,00	1,00
C6 MLZ⁶	0	4	200,00	1500,00	0,00	1,22	0,00	0,88
C7 MLZ⁷	1	8	20,00	500,00	0,00	1,83	0,00	1,00
C8 MLZ⁸	0	4	0,00	420,00	0,00	1,10	0,00	1,00
C9 MLZ⁹	14	27	92,45	496,49	1,40	2,87	0,50	0,96
C10 MLZ¹⁰	14	31	245,43	1.645,07	1,70	2,74	0,52	0,82
C11 MLZ¹¹	8	13	40,03	105,52	1,69	2,25	0,73	0,94
C12 MLZ¹²	17	26	614,00	901,00	2,40	2,66	0,79	0,86
C13 MLZ¹³	18	22	344,62	541,44	1,94	2,28	0,64	0,74

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010), 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid, 2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

A nona, a décima e a décima quarta campanha apresentaram os maiores valores de riqueza médias de taxa, semelhantes entre si, sendo que a nona e a décima campanhas também apresentaram as maiores amplitudes de valores para esse índice (Figura V-32). Cabe ressaltar que a ACTC foi suprimida na sexta e na décima terceira campanha. Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza de taxa das 14 campanhas de monitoramento da fase de operação (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), sendo que C3 e C13 diferiram de C5 e C8; C9 e C12 diferiram de C5, C6, C7 e C8, e; C10 e C14 diferiram de C1, C4, C5, C6, C7 e C8 (*Tukey*, $p < 0,05$).

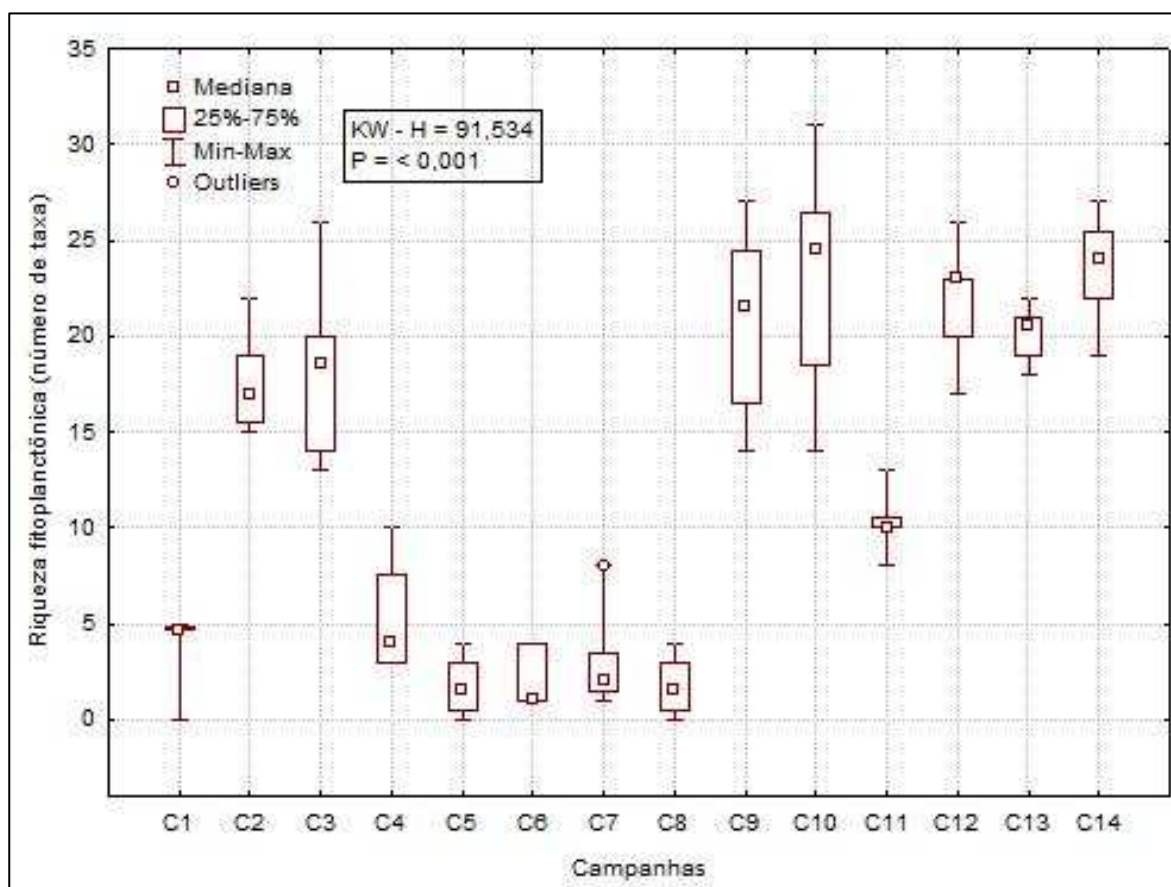


Figura V-32 – Box plots representativos dos valores de riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) encontradas no PMAEpro-BS_PMPR-MLZ.

A densidade média dos organismos fitoplanctônicos na atual campanha foi de $285,44 \pm 43,84$ ind/L, variando de 232,06 na camada TC da estação MLZ_J1002, a 353,19 ind/L na ACTC da estação MLZ_M1000 (Tabela V-17).

Na Tabela V-16 são apresentados os valores obtidos nas 13 campanhas anteriores do PMAEpro_PMPR-MLZ. Pode-se observar que os dados obtidos nas quatro primeiras campanhas foram muito superiores aos verificados na presente campanha. As demais campanhas apresentaram faixas de densidade mais próximas a da atual campanha, embora a quinta, a sexta, a décima e a décima tenham apresentados limites superiores bem mais elevados. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-13.

A densidade de organismos (ind/L) foi maior e apresentou maior amplitude de variação na terceira campanha (Figura V-33). Importante ressaltar que não foram coletadas amostras na ACTC durante a sexta e a décima terceira campanha. Foram encontradas diferenças significativas entre a densidade fitoplanctônica das treze campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), sendo que C1 diferiu de C8 e C11; C2 e C3 diferiram de C7, C8, C9, C11 e C14, e; C4 diferiu de C7, C8 e C11 (*Tukey*, $p < 0,05$).

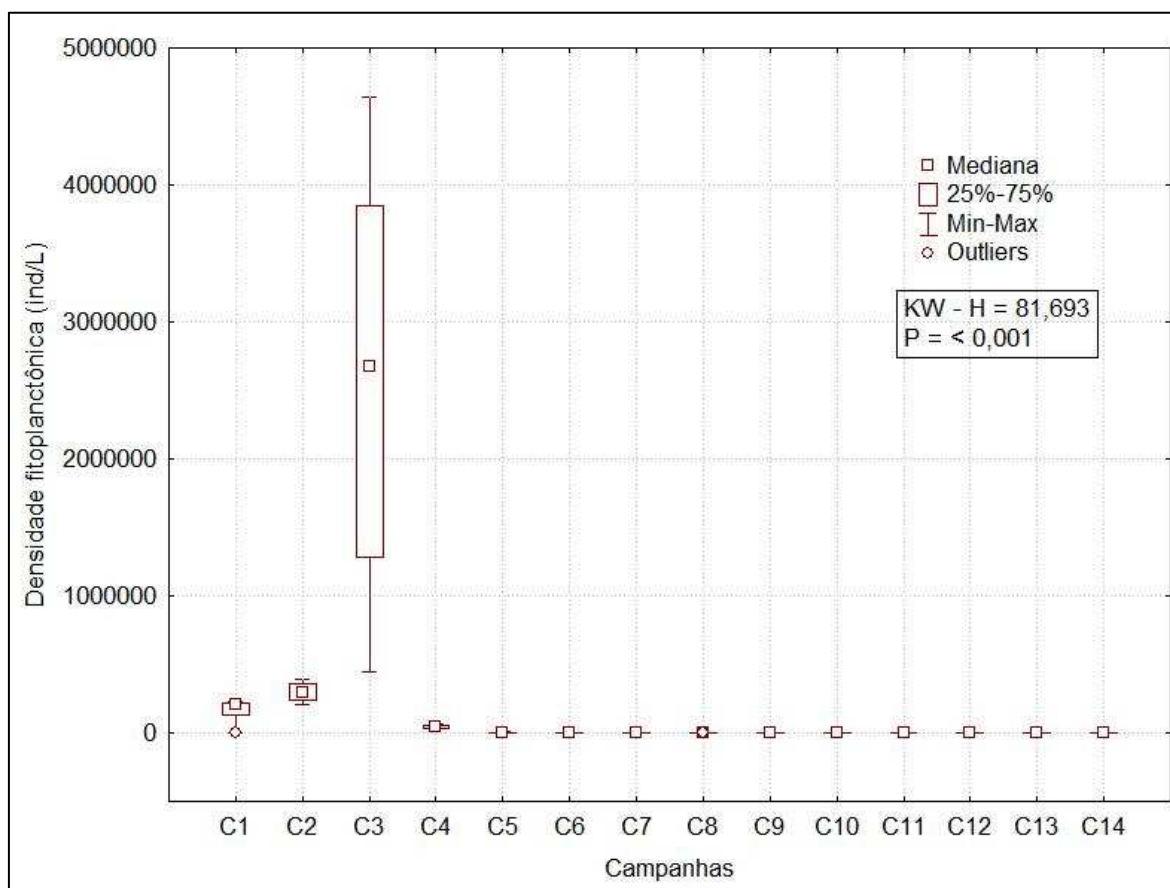


Figura V-33 –Box plots representativos dos valores de densidade (ind/L) das comunidades fitoplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Nas áreas oceânicas do Brasil, a densidade fitoplanctônica varia de 50.000 a 200.000 ind/L (KOENING & MACEDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 1999). No entanto, altas densidades podem ser encontradas devido a florações de espécies de algas oportunistas em condições adversas no ambiente ou fenômenos de ressurgência (CASTRO & MOSER, 2012).

Na Bacia de Santos as densidades celulares médias obtidas entre todas as estações oceanográficas monitoradas no PCR-BS (Petrobras, 2022b) variaram significativamente entre cada classe de tamanho considerada. A média global da densidade do microplâncton na superfície da Bacia de Santos foi de até 1.026×10^3 cels/L, enquanto a densidade do nanoplâncton foi de $52,4 \times 10^5$ cels/L, para o verão. No inverno, esses valores foram menores, $385,9 \times 10^3$ cel/L e $38,1 \times 10^5$ cel/L, respectivamente.

O filo Myzozoa registrou densidade média de $149,46 \pm 31,95$ ind/L, seguido do filo Bacillariophyta, com $91,23 \pm 26,10$ ind/L e do filo Cyanobacteria, com $23,17 \pm 19,14$ ind/L. O filo Haptophyta registrou densidade média de $21,57 \pm 14,87$ ind/L (Figura V-34). Nas três primeiras campanhas de monitoramento realizadas no local, os fitoflagelados foram o grupo mais representativo quanto ao parâmetro densidade (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2012, 2013), seguidos pelas diatomáceas. Na quarta campanha de monitoramento, a maior densidade foi registrada para a classe Dictyochophyceae, seguido pelos dinoflagelados (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014), enquanto nas demais campanhas a maior densidade foi da divisão Ochrophyta (atual Bacillariophyta) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022), exceto na décima primeira campanha, em que Pyrrophyta dominou em densidade (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020). Além disso, estas campanhas registraram outros filos e divisões com baixo número de organismos, corroborando o resultado da presente campanha.

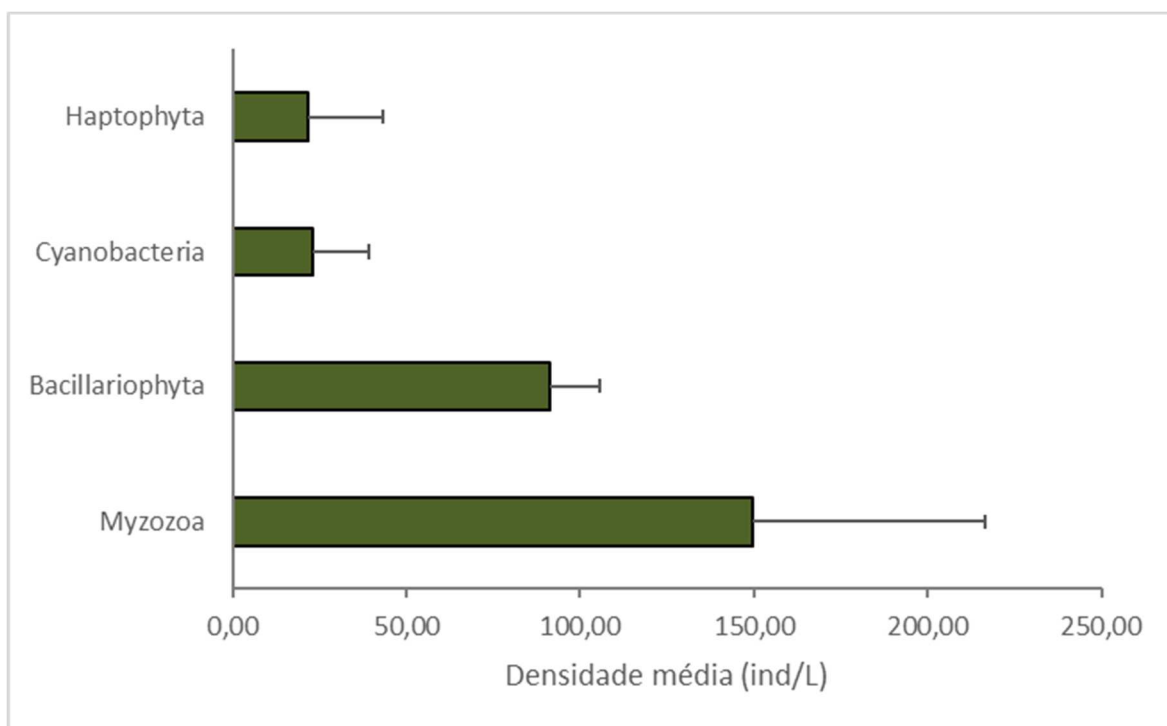


Figura V-34 – Densidade de organismos (ind/L) das divisões e filos fitoplanctônicos na PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das divisões $\pm$ desvio-padrão.

Segundo a Tabela V-15, o índice de diversidade variou de 2,40 bits/ind a 2,60 bits/ind na TC da estação MLZ_J1002 e na ABTC da MLZ_M1000, respectivamente, com média de $2,49 \pm 0,09$ bits/ind, sendo esses valores representativos de uma média a alta diversidade (Figura V-35). Na Tabela V-12 são apresentados os valores obtidos nas campanhas anteriores de monitoramento ambiental realizadas para a atividade de Merluza. Pode-se observar que os resultados obtidos na atual campanha são elevados frente aos resultados obtidos anteriormente, aproximando-se mais aos resultados verificados em C9 e C12.

Na Figura V-35 é possível observar que as maiores diversidades médias foram registradas na nona, na décima segunda e na décima quarta campanhas. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento da atividade de Merluza (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), sendo que C12 e C14 diferiram de C1, C2, C3, C5, C6, C7 e C8; C9 diferiu de C1, C2, C3, C5, C6 e C8, e; C10 diferiu de C3 (Tukey, $p < 0,05$).

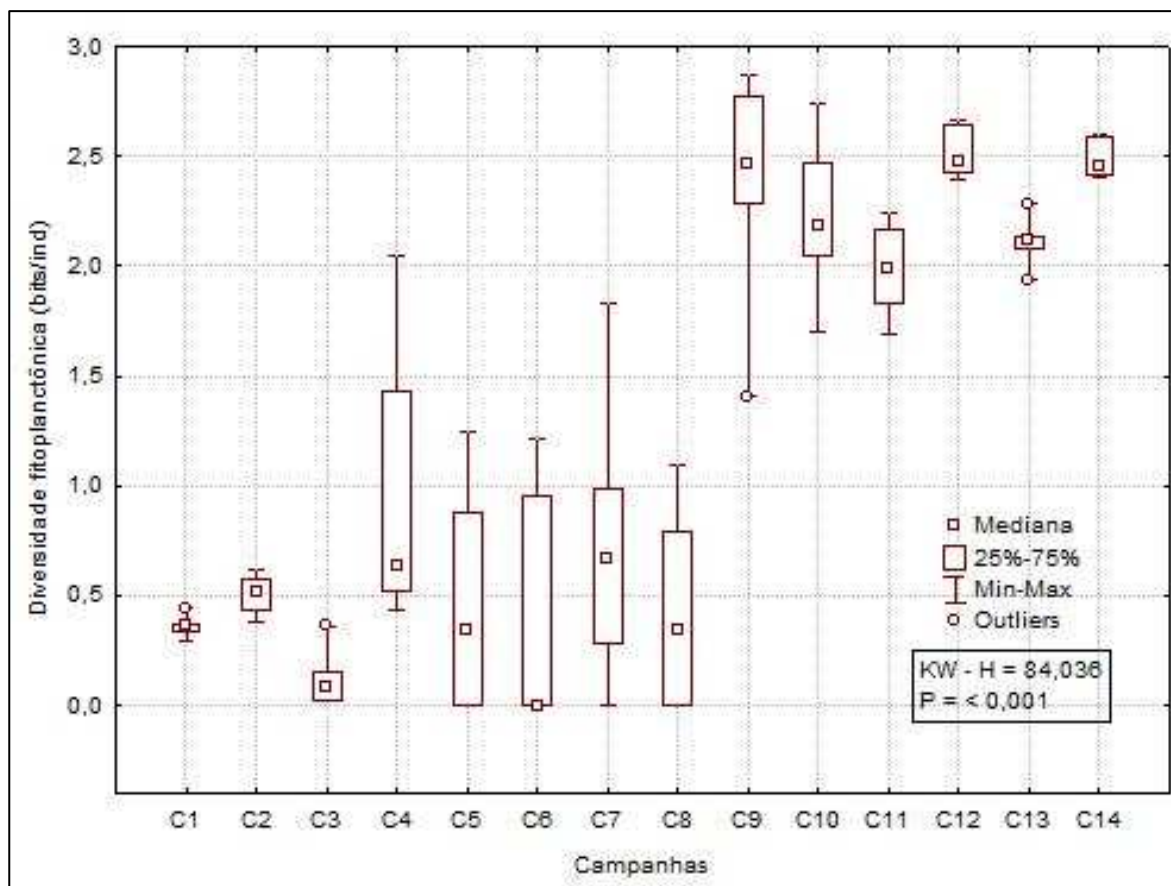


Figura V-35 – Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (nits/ind) encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A equitabilidade variou entre 0,75 e 0,82 na TC da estação MLZ_M1000 e MLZ_J1002, respectivamente, com valor médio de $0,79 \pm 0,02$, demonstrando uma comunidade relativamente equitativa entre as amostras coletadas (Tabela V-15). Na Tabela V-12 são apresentados os valores mínimos e máximos obtidos nas campanhas anteriores de monitoramento ambiental realizadas para a atividade de Merluza. Pode-se observar que a atual campanha registrou valores mínimos de equitabilidade superiores em relação aos registrados nas campanhas anteriores, exceto em relação a C12.

A quinta, a sexta, a sétima e a oitava campanhas de monitoramento apresentaram maiores amplitudes de valores; a sétima, a nona e a décima primeira campanhas apresentaram as maiores equitabilidades médias em relação as demais (Figura V-36). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento da atividade de Merluza (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), com C3 diferindo de C9, C10 e C12, e C11 diferindo de C1 e C6 (Tukey, $p < 0,05$).

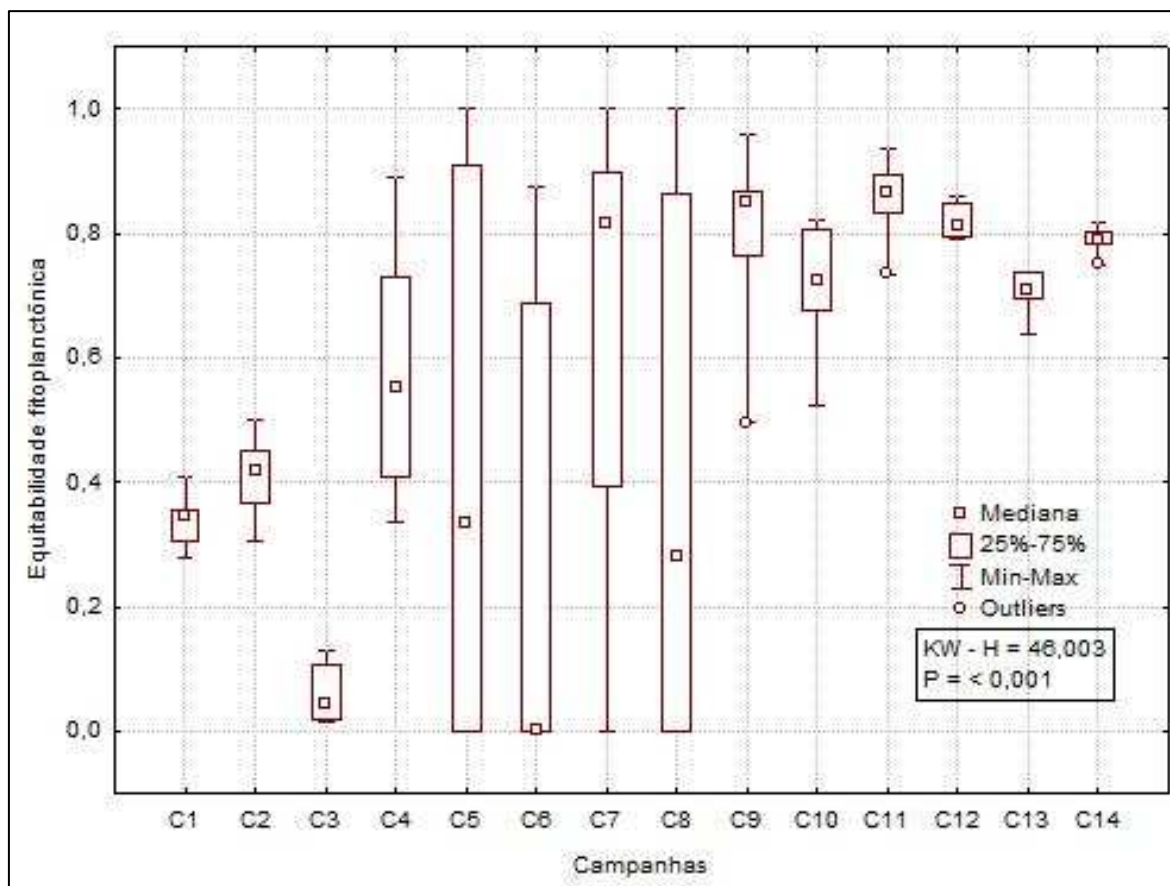


Figura V-36 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades fitoplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Por fim, é importante salientar que, embora todas as campanhas tenham utilizado os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que as trocas de laboratório ocorridas entre a terceira e a quarta, entre a sexta e a sétima e entre a décima primeira e décima segunda campanhas tenham influenciado nos resultados gerados e, consequentemente, nas diferenças encontradas entre as campanhas.

As alterações analíticas adotadas a partir da nona campanha, com o emprego de filtração reversa e tempo de sedimentação mínima de 72 horas, também

parecem ter influenciado nos resultados obtidos e, assim, não é possível ser conclusivo acerca das diferenças estatísticas verificadas entre as campanhas para os índices ecológicos avaliados, podendo tais diferenças estar associadas não apenas às alterações na ocorrência do fitoplâncton no meio, mas também à otimização da metodologia analítica.

V.2.1.5 - *Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton*

A riqueza total acumulada nas profundidades de cada estação mostrou-se ligeiramente inferior em MLZ_J1002, com 39 taxa, enquanto MLZ_M1000 contabilizou 45 taxa (Figura V-37).

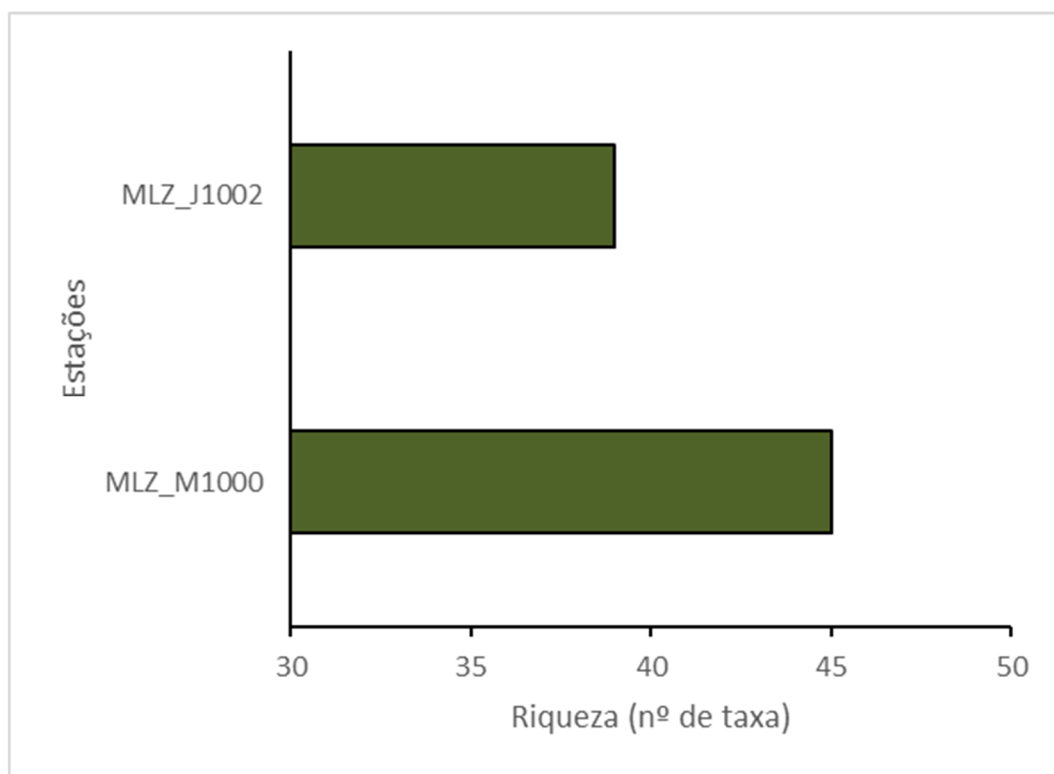
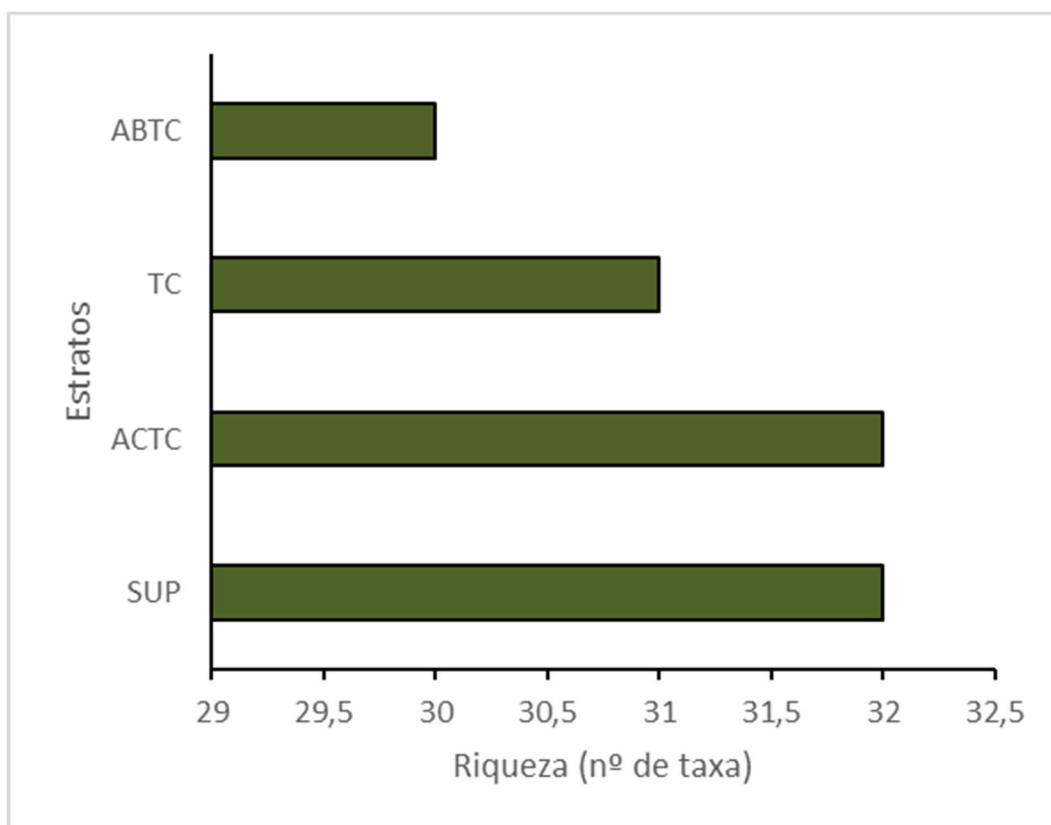


Figura V-37 – Riqueza fitoplancônica (número de taxa) nas estações da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).

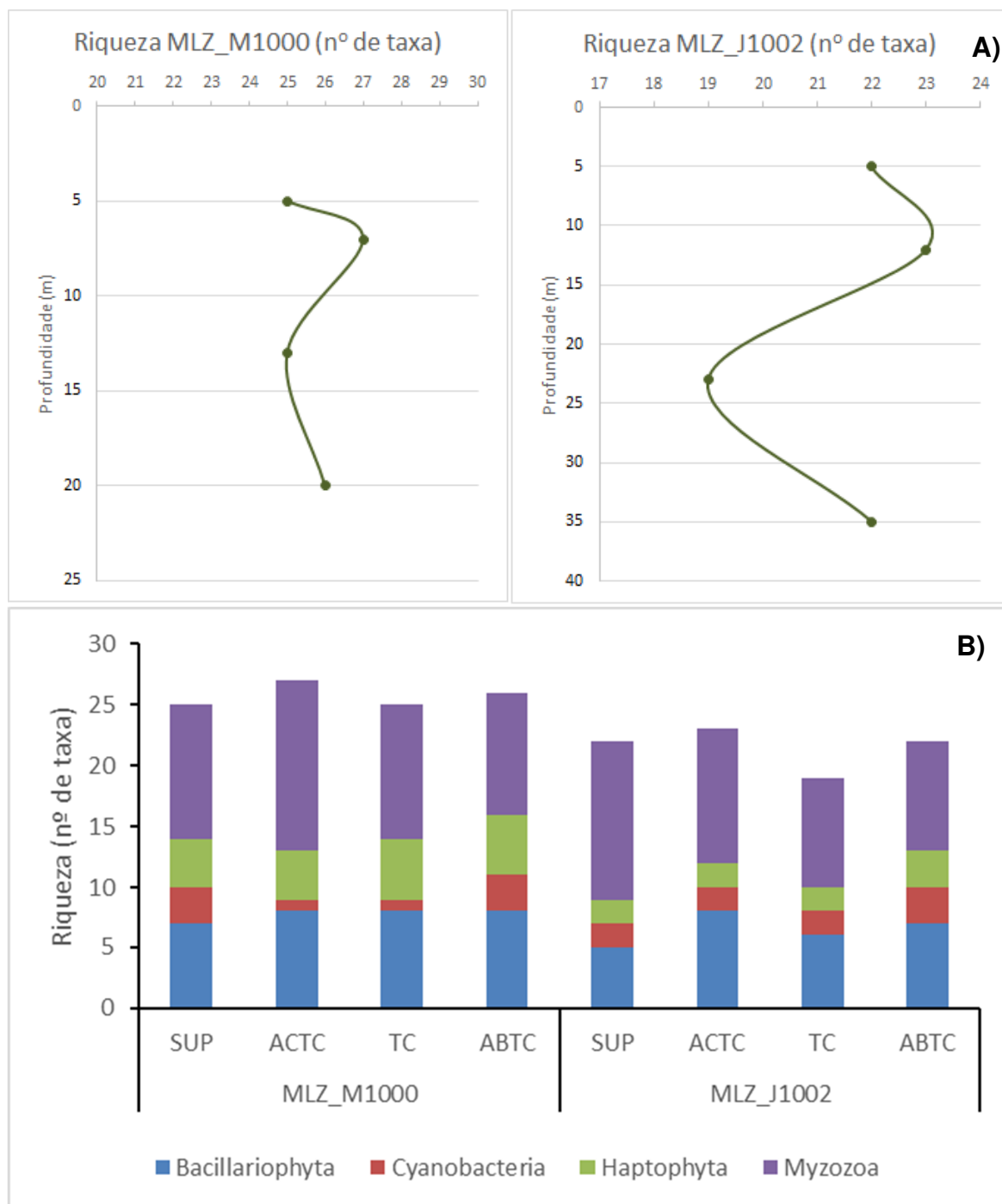
A riqueza total (nº de taxa) nas diferentes profundidades variou de 30 a 32 taxa, com maiores valores de riqueza nas camadas mais superficiais (SUP e ACTC) e menores valores com maior profundidade (TC e ABTC) (Figura V-38).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-38 – Riqueza (número de taxa) fitoplanctônicas nos quatro estratos (SUP, ACTC, TC e ABTC) da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).

Avaliando os perfis verticais de riqueza de cada estação, verifica-se aumento da riqueza da SUP até a ACTC, redução da riqueza de ACTC para TC, seguida de aumento para ABTC em ambas as estações. Destaca-se que a amplitude de variação dos valores de riqueza foi mais pronunciada em MLZ_J1002 (Figura V-39A). Já em relação a riqueza de taxa das classes nas diferentes estações e profundidades de coleta, foi possível observar que todas as profundidades e estações apresentaram ocorrência de Bacillariophyta, Cyanobacteria, Myzozoa e Haptophyta (Figura V-39B).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-39 – Número de taxa fitoplanctônicas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões e filos fitoplanctônicos. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Com relação ao parâmetro densidade média (ind/L) nas duas estações, a estação MLZ_M1000 obteve valor maior ($306,59 \pm 50,14$ ind/L) se comparada a

MLZ_J1002, que obteve média de $264,28 \pm 27,88$ ind/L (Figura V-40). Observa-se que o desvio-padrão dessas médias foi baixo, refletindo na pouca variação de densidade verificada ao longo da coluna d'água.

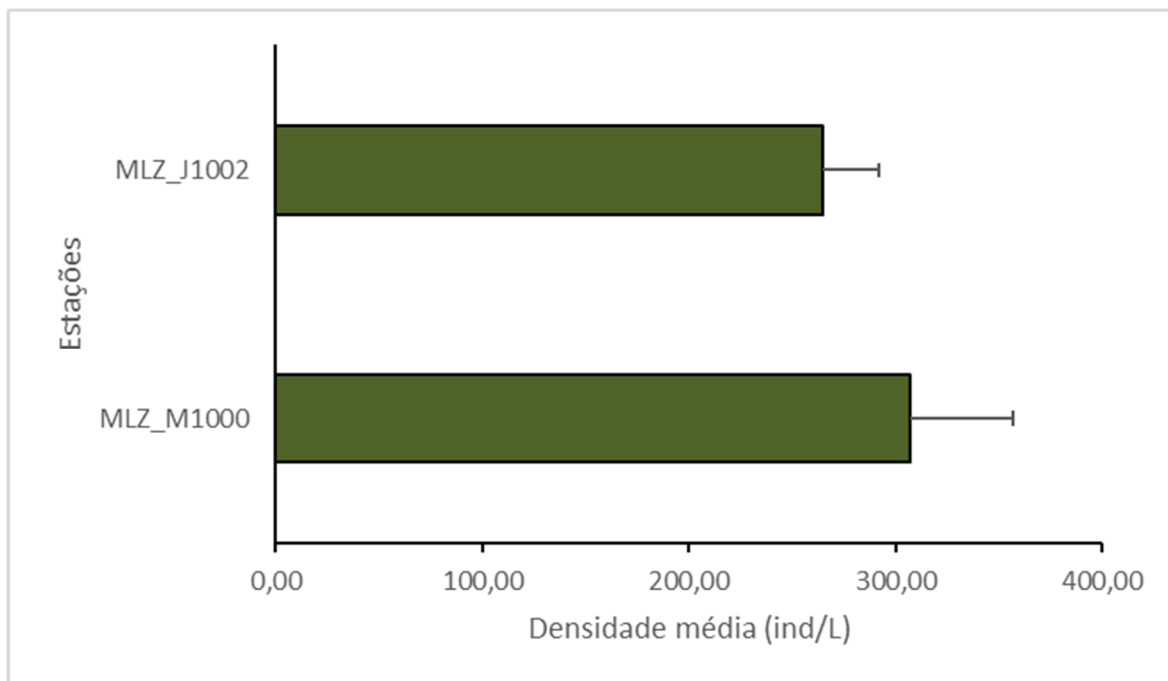
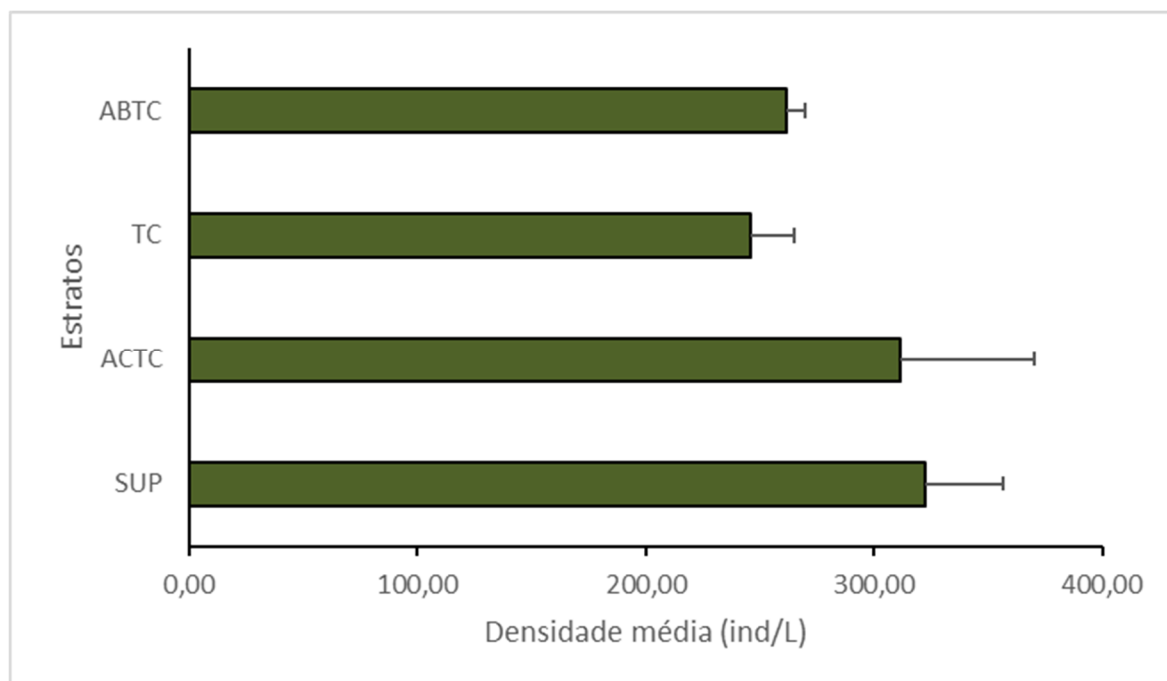


Figura V-40 – Densidade média de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das estações $\pm$ desvio-padrão.

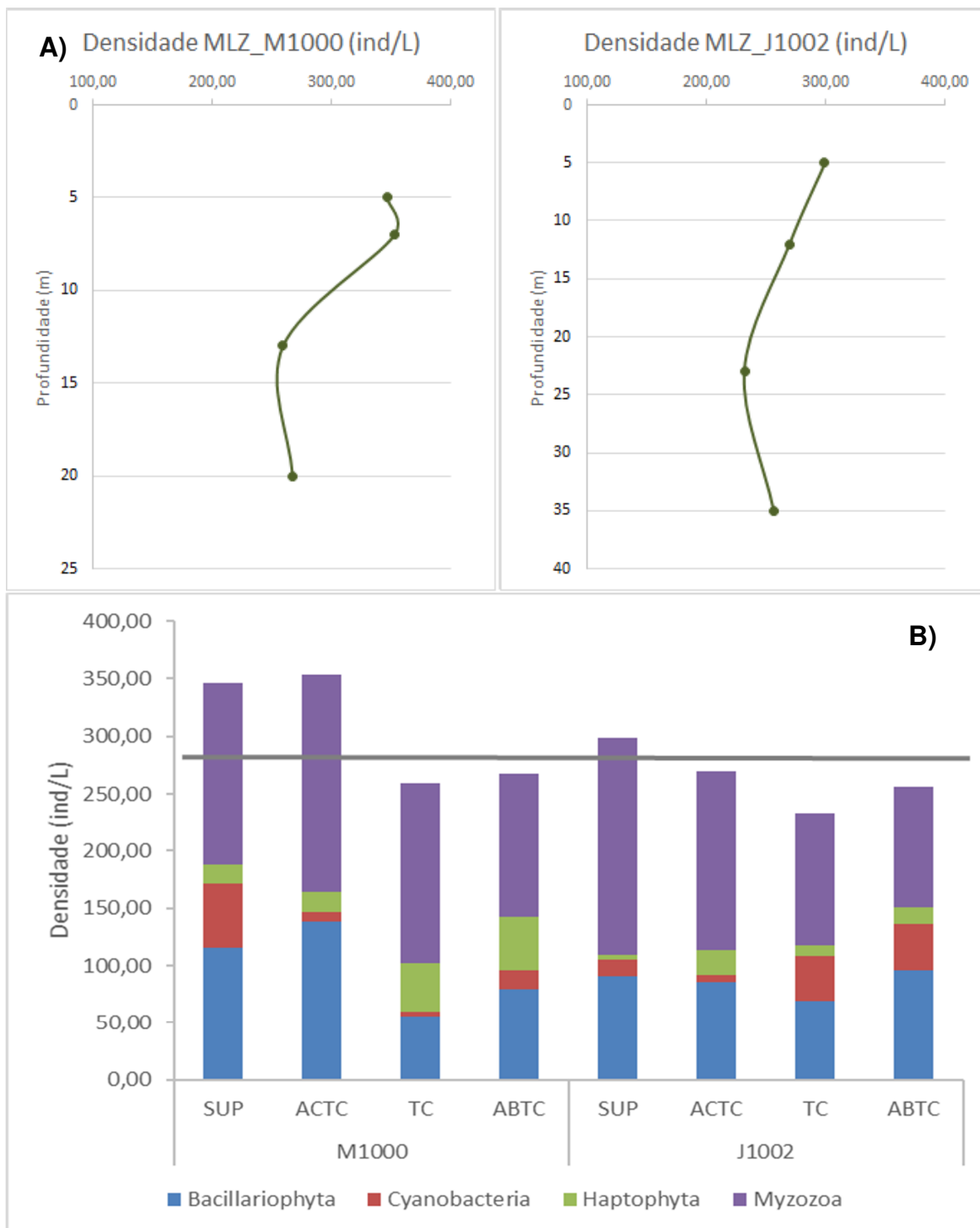
A densidade média (ind/L) foi maior nas camadas mais superficiais (SUP e ACTC), sendo registrados valores de $322,76 \pm 33,61$ ind/L e $311,39 \pm 59,12$ ind/L, respectivamente. Nas camadas mais profundas (TC e ABTC) foram registrados valores de densidade de $245,67 \pm 19,25$ ind/L e $261,93 \pm 7,69$ ind/L, respectivamente (Figura V-41).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-41 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nos quatro estratos (SUP, ACTC, TC e ABTC) da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.

Os perfis de densidade das duas estações apresentaram padrões semelhantes de tendência de diminuição da densidade entre as camadas mais profundas. Contudo em MLZ_M100, houve um leve aumento de SUP para ACTC seguido então da redução da densidade até ABTC. Em MLZ_J1002, a densidade tendeu a diminuir para as camadas mais profundas de SUP até a TC de onde aumentou até ABTC (Figura V-42A).



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-42 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas estações e estratos (SUP, ACTC, TC e ABTC) da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade das divisões e filos fitoplanctônicos. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Todas as amostras apresentaram dominância do filo Myzozoa (variando de 105,85 ind/L na camada ABTC de MLZ_J1002 a 189,90 ind/L na SUP da mesma estação, seguido por Bacillariophyta (variando entre 69,21 na TC de MLZ_J1002 a 138,30 ind/L na ACTC de MLZ_M1000) (Figura V-42B). Na sequência de menores densidades, Cyanobacteria e Haptophyta variaram em dominância entre as amostras, sendo que Haptophyta apresentou densidade muito baixa na SUP de MLZ_J1002 (4,04 ind/L).

A diversidade de Shannon (bits/ind) e equitabilidade são apresentadas na Figura V-43. A diversidade nas duas estações apresentou um padrão semelhante, de redução dos valores de ACTC para TC e aumento de TC para ABTC, embora em MLZ_M1000 essa variação tenha sido ainda mais pronunciada. Em relação à equitabilidade, as estações apresentaram padrões opostos de variação vertical. Em MLZ_M1000 a TC apresentou a mínima equitabilidade, enquanto na MLZ_J1002 a máxima.

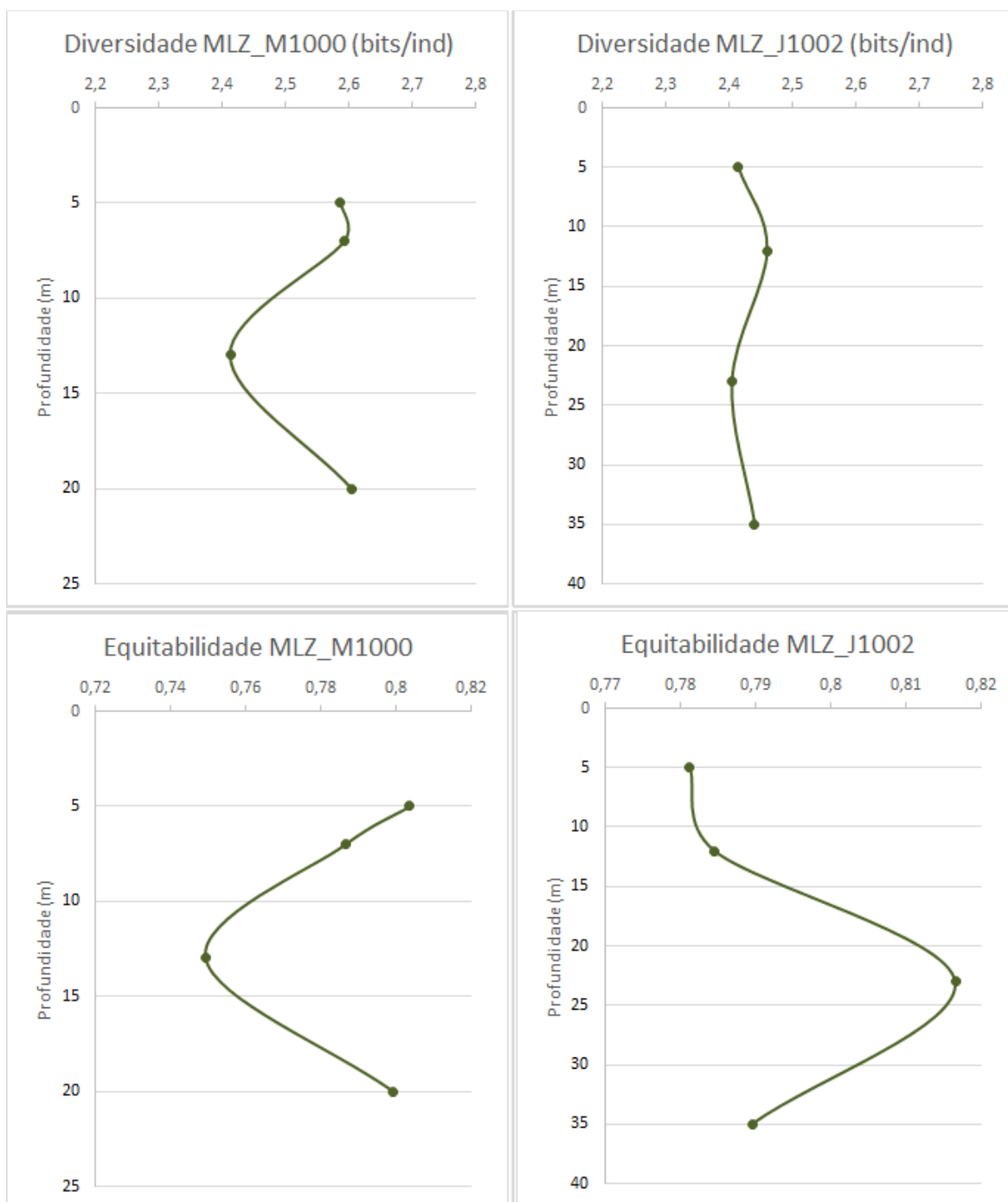


Figura V-43 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica nas estações e estratos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

A distribuição da comunidade fitoplanctônica no sistema marinho é diretamente influenciada por fatores físicos, químicos e biológicos, como intensidade de luz, temperatura, disponibilidade de nutrientes e predação. A termoclina, nas regiões tropicais, pode funcionar como uma barreira natural impedindo que águas mais

profundas ricas em nutrientes alcancem a camada superficial, onde há maior disponibilidade de luz (MANN & LAZIER, 2006). Assim, variações verticais e horizontais nas densidades fitoplanctônicas podem ocorrer naturalmente nas regiões oceânicas em função da variação dos diferentes parâmetros limitadores da produção primária (MANN & LAZIER, 2006). Na horizontal, a variação da distribuição ocorre ao longo do eixo costa-oceano, influenciada pelos aportes continentais e pelos processos oceânicos. Na vertical, a diferença ocorre principalmente em locais com relevante turbulência e correntes ascendentes, como áreas de ressurgência e de convergência e divergência (BONECKER *et al.*, 2009).

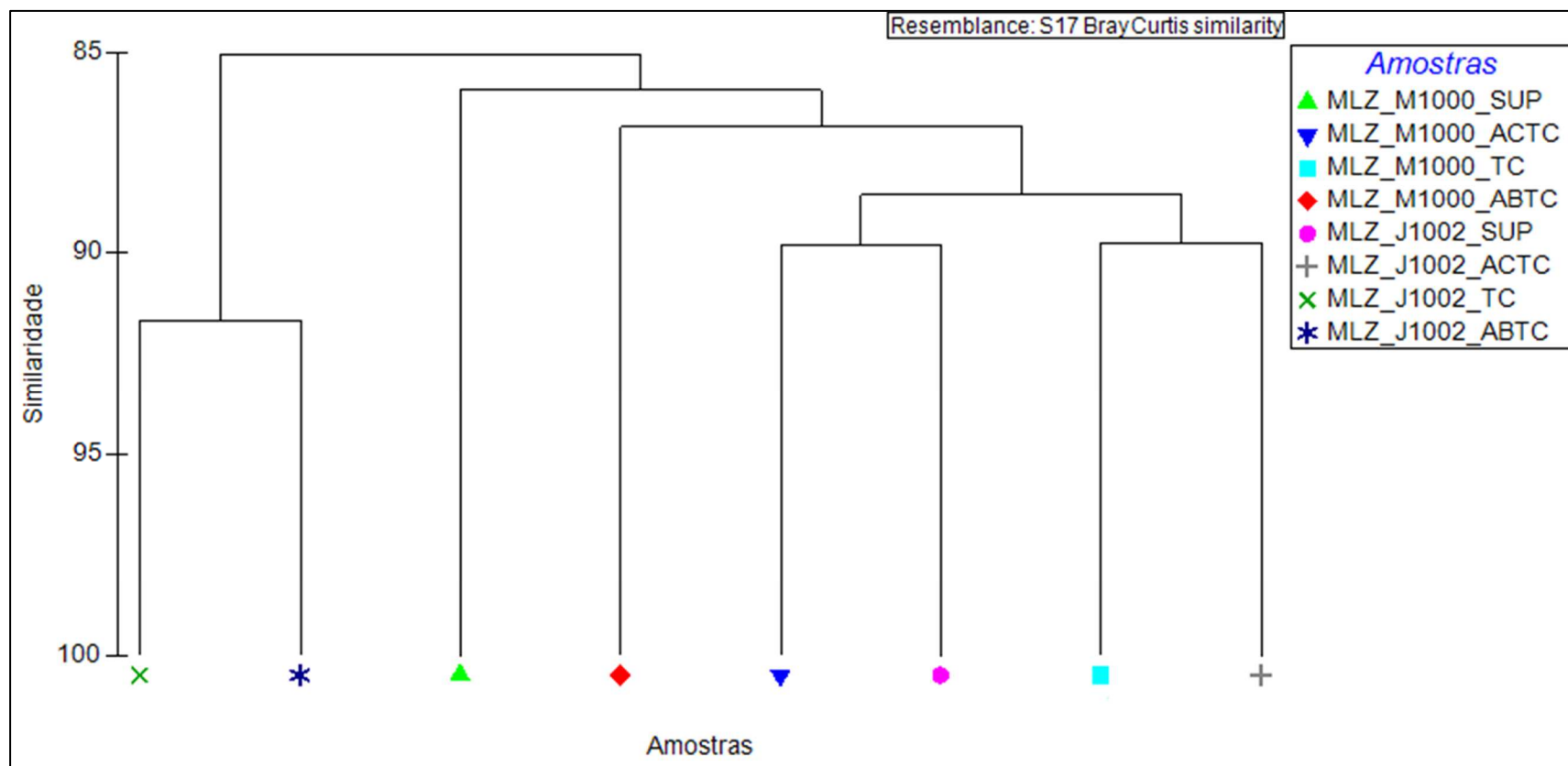
Segundo análise histórica da região oceânica da Bacia de Santos (Soares, 1983; Silva, 1991; Gaeta, 1999), a Água Tropical oligotrófica regula o ecossistema, mantendo a comunidade planctônica limitada por nutrientes. Nas regiões do talude continental e oceânica as poucas investigações realizadas na Bacia de Santos, estão relacionadas a levantamentos da composição preliminar do fito- e protozooplâncton de grupos como diatomáceas, dinoflagelados tecados e ciliados tintinidos, pois são células que resistem melhor aos fixadores utilizados (formaldeído ou Lugol). No PCR-BS, os resultados apontam que na região oceânica da Bacia de Santos (Petrobras, 2022b), há uma comunidade planctônica limitada pela oligotrofia típica da Água Tropical, assim como a presença de uma termoclina permanente e abaixo da zona eufótica, com indícios de regulação do crescimento da comunidade pelágica.

Espera-se maior riqueza e densidade nas camadas mais superficiais por esses organismos serem diretamente influenciados pela incidência luminosa na coluna d'água (LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009; REBELLO *et al.*, 1988). Na presente campanha foi observada zonação vertical da comunidade avaliada em ambas as estações, com maiores valores de riqueza e densidade nas camadas mais superficiais.

V.2.1.6 - **Análise de Cluster e MDS**

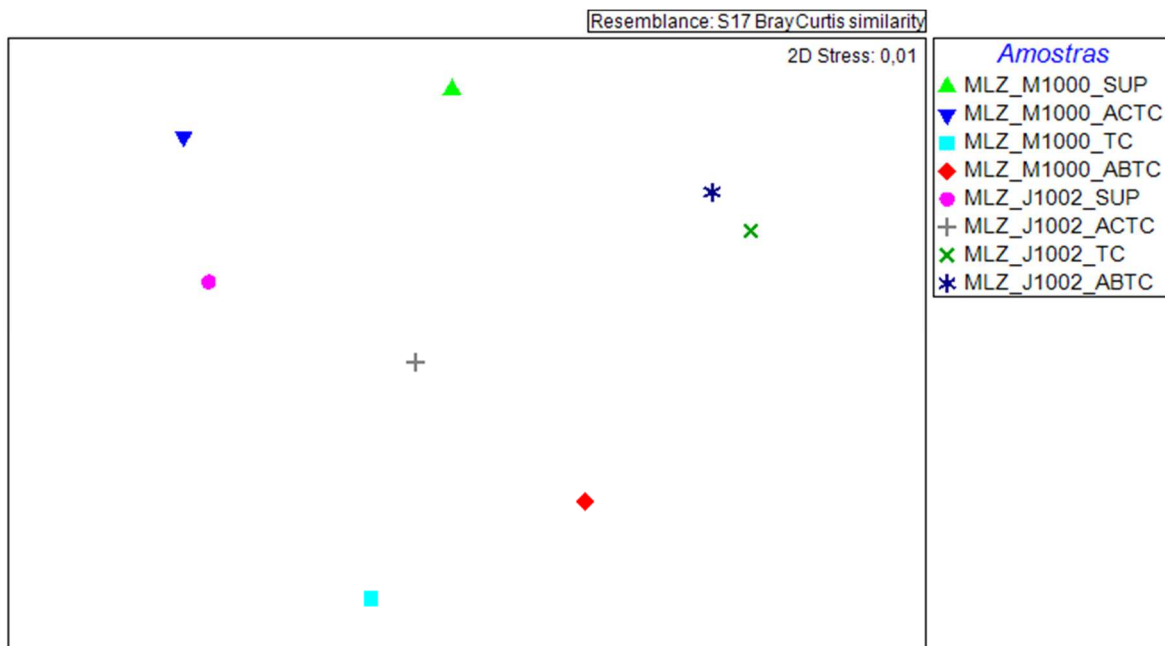
A análise de *Cluster* apresentou similaridade variando de 85 a 92%. Com 85% de similaridade, ocorreu a formação de dois grupos, separando as amostras MLZ_J1002_TC e MLZ_J1002_ABTC, que compartilham 92% de similaridade entre

si, das demais estações (Figura V-44), provavelmente, devido aos semelhantes valores de densidade entre essas duas amostras, principalmente para Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Os demais agrupamentos formados entre as demais amostras, com similaridades intermediárias, não correspondem a padrões espaciais, seja de distribuição horizontal ou vertical, bem definidos. Tais condições também foram observadas na análise de MDS (Figura V-45). O MDS apresentou *stress* 0,01. Na literatura, valores acima de 0,20 são mencionados como não apresentando uma boa ordenação entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados (CLARKE & WARWICK, 2001). Portanto, o atual valor de *stress* representa uma boa ordenação dos dados.



Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-44 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



Legenda: SUP: amostragem na superfície; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

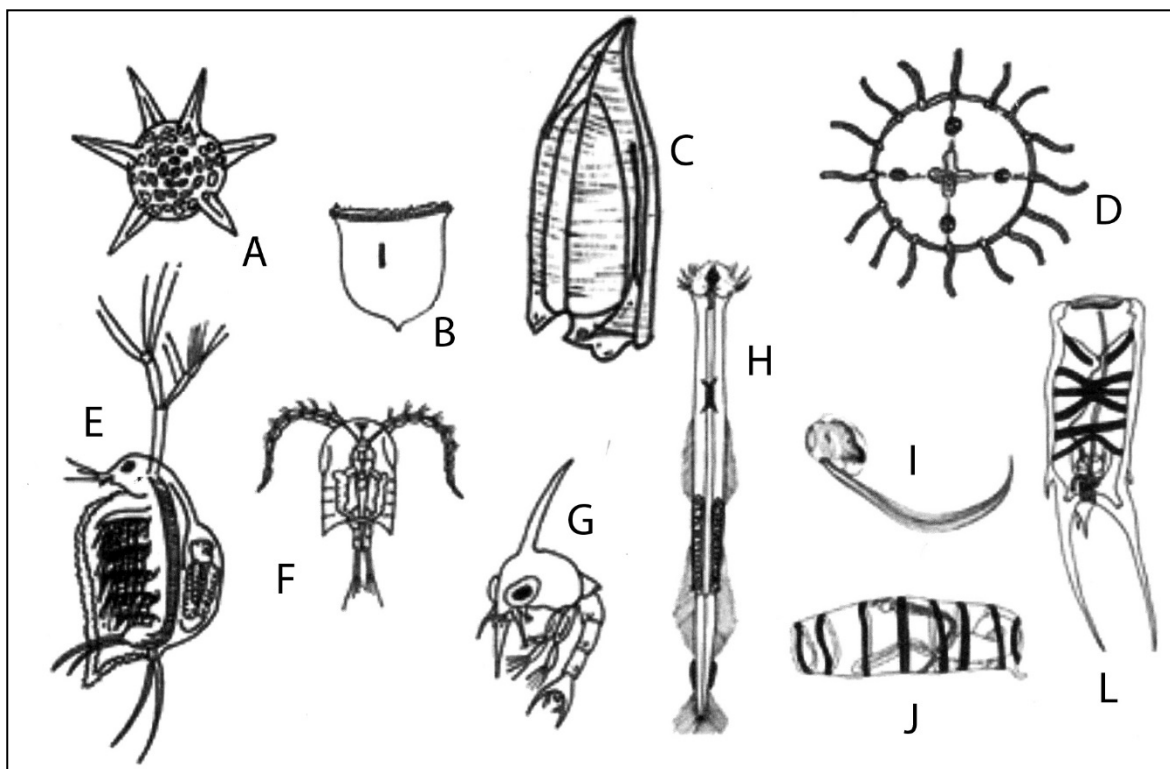
Figura V-45 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

V.2.1 - Zooplâncton

A comunidade zooplanctônica é representada pelo conjunto de organismos heterotróficos microscópicos que possuem hábito de vida na coluna d'água. Os organismos dessa comunidade podem ser classificados segundo seu tempo de permanência na coluna d'água durante seu ciclo de vida. De acordo com essa classificação, o holoplâncton é representado pelos organismos que passam todo o seu ciclo de vida associados à coluna d'água e o meroplâncton são aqueles que passam apenas parte de sua vida neste habitat (BONECKER *et al.*, 2009; ESTEVES, 2011; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Em contraste com o fitoplâncton, que consiste em uma variedade relativamente pequena de organismos, o zooplâncton é extremamente diverso, abrangendo uma série de formas, que compreendem uma grande variedade de grupos de animais e protistas. Os principais representantes dessa comunidade são crustáceos, cladóceros e copépodes. Além disso, também estão presentes diversos grupos de protistas (foraminíferos, radiolários, acantários, flagelados e tintinídeos), cnidários, ctenóforos, moluscos, poliquetas e quetognatos e cordados (Appendicularia),

sendo menos frequentes nessa comunidade (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI *et al.*, 1997). A Figura V-46 mostra diversos exemplos dos principais componentes do zooplâncton no ambiente marinho.



Fonte: Bonecker *et al.* (2009).

Figura V-46 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplancônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).

Os organismos que compõem o zooplâncton representam um dos elos mais importantes no ecossistema marinho por serem responsáveis por realizar a transferência de energia a partir dos produtores primários (fitoplâncton) para os níveis superiores (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; VEGA-PÈRES, 1993). Portanto, possuem papel significativo na dinâmica dos sistemas aquáticos, principalmente com relação à ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia, sendo diretamente influenciado pelo estrato autotrófico (fitoplâncton) (HUTCHINSON, 1967).

Diversos fatores físicos e químicos são responsáveis por determinar a estrutura das comunidades zooplancônicas. Podemos citar como exemplo, a concentração

de oxigênio dissolvido e de nutrientes (compostos fosfatados e nitrogenados) (ESTEVES *et al.*, 2012; GANNON & STEMBERGER, 1978; HARDY *et al.*, 1984).

Os indivíduos do zooplâncton podem ser susceptíveis a processos de bioacumulação e biomagnificação de substâncias tóxicas e de metais pesados. A bioacumulação é o processo onde os organismos acumulam, ao longo de sua vida, quantidades progressivamente maiores de substância tóxicas, que são absorvidas diretamente do meio ambiente. Já a biomagnificação é o acúmulo de certas substâncias tóxicas ao longo da cadeia alimentar (RAND & PETROCELLI, 1985).

A comunidade zooplanctônica é considerada indicadora das condições tróficas de água, sendo utilizada na caracterização da qualidade ambiental (GANNON & STEMBERGER, 1978). O acompanhamento dessas comunidades é considerado um método eficiente na avaliação dos impactos oriundos de atividades antrópicas nos ambiente aquáticos (ESTEVES *et al.*, 2012).

V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem

Ao todo, considerando as 14 campanhas de monitoramento, foram coletadas 28 amostras para esse grupo. Na atual campanha, houve incremento de sete novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 14 campanhas evidencia um incremento maior de taxa entre a 1ª e 12ª amostra, que contabilizaram, de forma cumulativa, 113 taxa (Figura V-47). Ou seja, 63% do total de 180 taxa obtidos foi amostrado durante as seis primeiras campanhas de monitoramento. É interessante notar que a curva formada pelos dados reais apresenta um incremento contínuo ao longo das campanhas C4 a C8, tendendo a estabilidade entre C9 a C11, com um novo incremento de organismos em C12, e nova tendência de estabilidade até C14. Os incrementos verificados em C4, C7 e C12 coincidem com mudanças nos laboratórios executores das análises taxonômicas, o que pode ter ocasionado diferenças na identificação dos organismos. Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada, principalmente nas amostras iniciais e intermediárias (amostras das onze primeiras campanhas), assemelhando-se a distribuição esperada nas amostras finais do monitoramento (a partir de C12), quando os valores observados situaram-se dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. No entanto, é preciso destacar que a curva é calculada para estimar a evolução dos dados com base no total de registros, visando uma progressão contínua e predizível, mas que não é capaz de refletir as alterações de ordem analítica que constituíram as condições de obtenção dos dados.

Os resultados obtidos evidenciam que o projeto apresenta atualmente um esforço amostral adequado para caracterização da comunidade, evidenciando que o incremento do esforço amostral não acarreta num grande incremento de taxa zooplânctônico, e que mudanças de ordem analítica interferem na estabilidade da curva apenas na campanha de implantação das alterações, com subsequente retorno a condições de estabilidade.

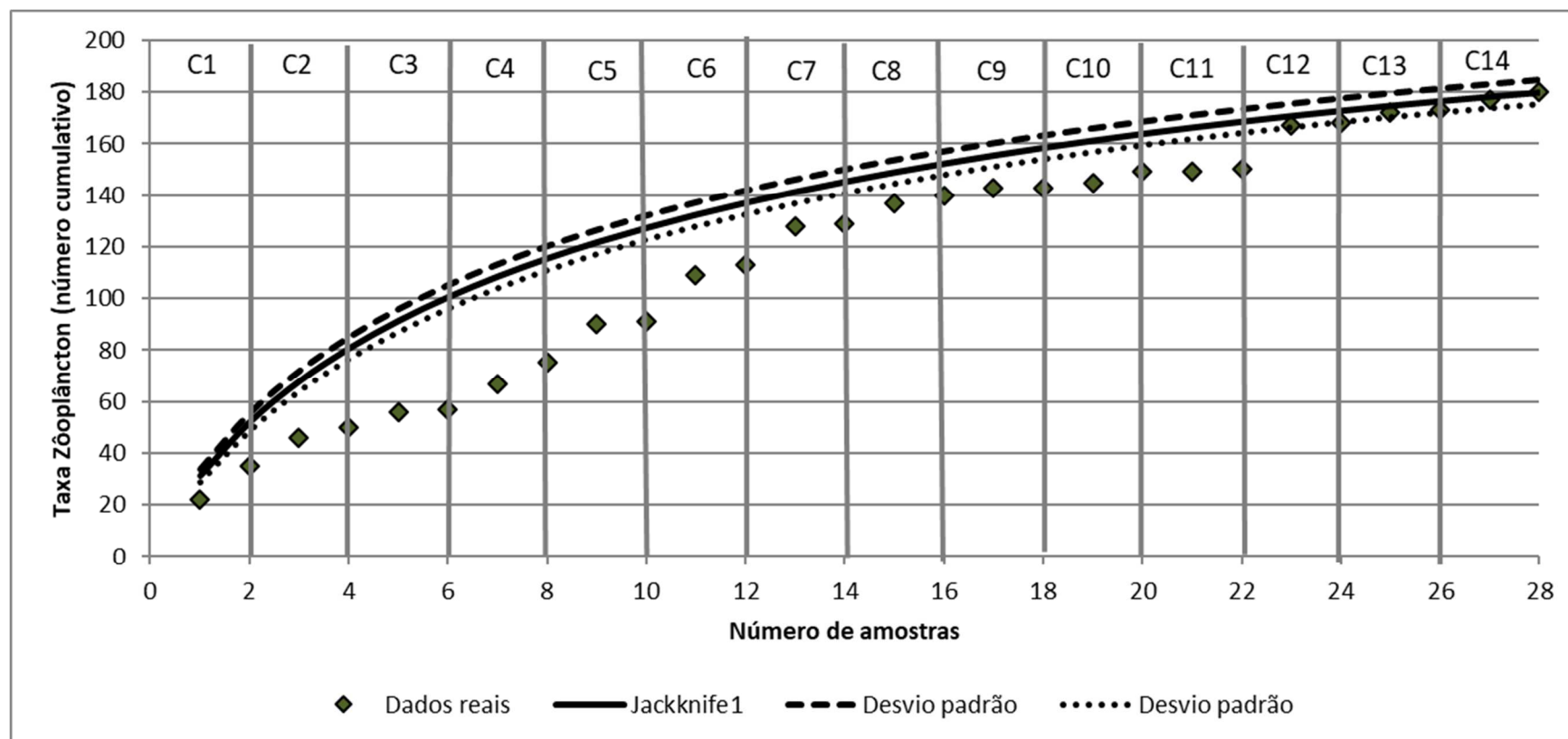


Figura V-47 – Taxa de zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.2.1.2 - *Análise Qualitativa*

Na presente campanha, foram identificados organismos pertencentes a 11 filos (Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platelmintos), sendo que a maioria desses filos já foram registrados, e de forma recorrente, ao longo das campanhas anteriores (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). O filo com maior número de taxa foi sempre Arthropoda, com riqueza de 23 taxa na atual campanha, representando 57% de todos os taxa encontrados e destacando-se em relação aos demais que tiveram riqueza de 5 taxa (Mollusca), 3 taxa (Chordata), 2 taxa (Cnidaria) e 1 táxon (Annelida, Bryozoa, Chaetognatha, Ctenophora, Echinodermata, Foraminifera e Platelmintos) (Figura V-48). Nas 13 campanhas anteriores desse monitoramento, Arthropoda registrou entre 52% e 97%, dos taxa coletados e os outros filos também registraram contribuição percentual baixa. A lista completa com os taxa encontrados na atual campanha é apresentada no Anexo X-23.

Os artrópodes foram representados pelo Subfilo Crustacea e pelas Classes Ostracoda, Hexanauplia, Malacostraca e Branchiopoda. Os artrópodes são comumente dominantes nas comunidades zooplânctônicas (BRANDINI *et al.*, 1997).

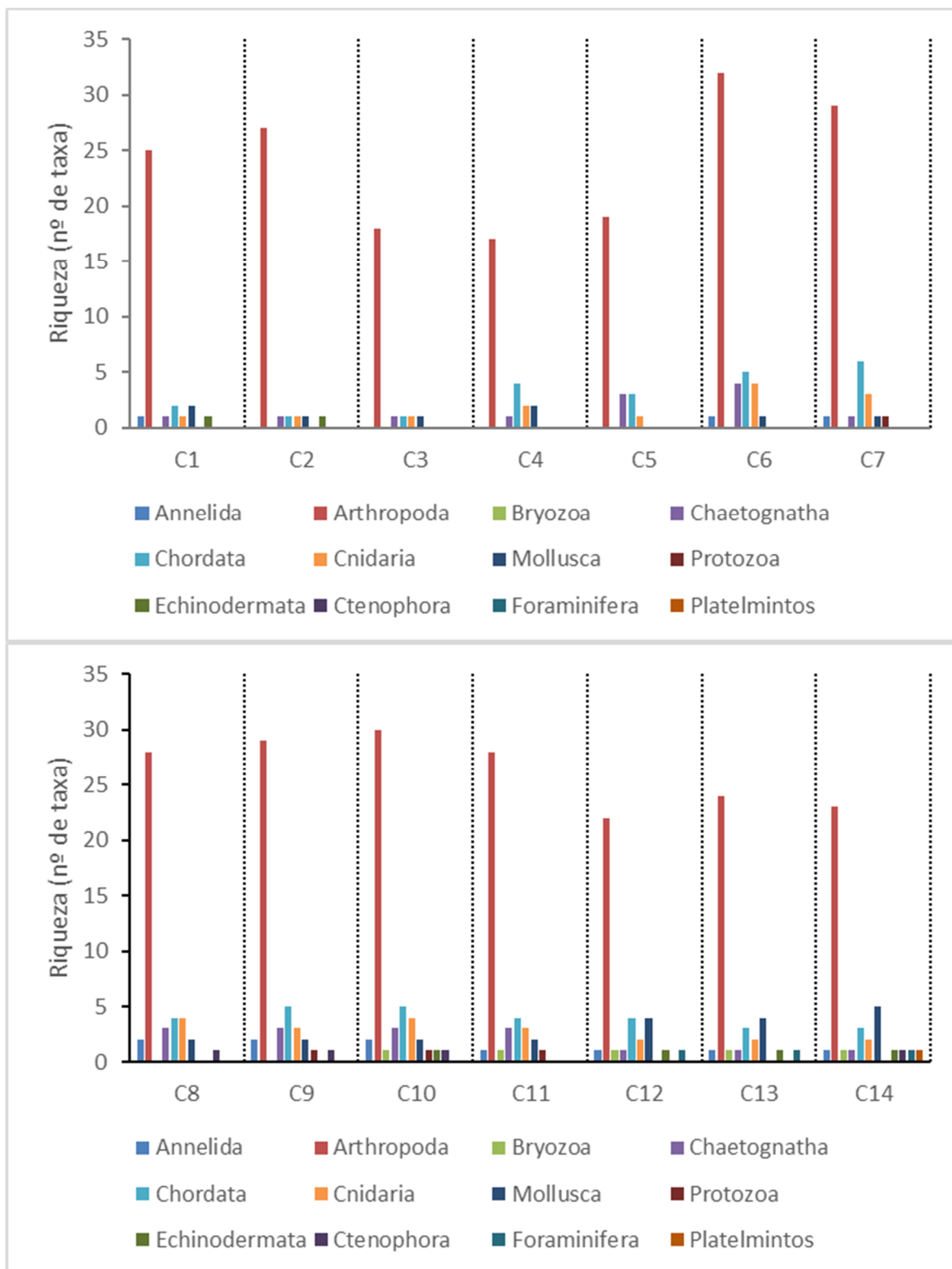


Figura V-48 – Riqueza zooplancônica (nº de taxa) ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A forte dominância, em número de taxa, dos artrópodes foi devido a ocorrência de diversos taxa de Copepoda. Os copépodes são geralmente os representantes mais numerosos do holoplâncton marinho. Esses pequenos crustáceos possuem um papel central na teia alimentar pelágica. Os mesmos possuem tamanhos que variam de menos de um a vários milímetros de comprimento e apresentam uma variada gama de hábitos alimentares, com a ocorrência de espécies herbívoras, onívoras e carnívoras. Copepoda constitui um dos principais alimentos de peixes planctófagos e os estágios larvais dos copépodes (náuplios e copepoditos) representam uma fonte de alimentos fundamental para as larvas e juvenis do ictioplâncton (BRANDINI *et al.*, 1997; CUSHING, 1977; ESKINAZI-SANT'ANNA & BJÖRNBERG, 2000).

Na literatura, muitos trabalhos demonstram que os Copepoda são dominantes na comunidade zooplanctônica, chegando a representar 98% do total de densidade das amostras (COELHO-BOTELHO *et al.*, 1999). Este grupo é reconhecidamente dominante na Bacia de Santos (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022), bem como na plataforma continental brasileira de maneira geral (BRANDINI *et al.*, 1997; NOGUEIRA *et al.*, 1999).

No PCR-BS (Petrobras, 2022b), os copépodes representaram o grupo zooplanctônico predominante na maior parte da Bacia de Santos, tanto na campanha de inverno como de verão. Na campanha de verão houve maior contribuição de outros grupos zooplanctônicos, que no inverno, foram eles: Apendicularia, Cladocera, Chaetognata, Salpidia e outros

A composição e estrutura da comunidade zooplanctônica podem trazer importantes informações sobre as características ambientais, como por exemplo, a presença de espécies indicadoras de massas d'água. *T. turbinata*, espécie registrada na atual campanha, é um Copepoda introduzido na costa leste brasileira que divide espaço com a espécie nativa *T. stylifera* (ARAÚJO & MONTÚ, 1993), que, segundo Petrobras (2022), é indicadora de água costeira (AC), estando associada a estações costeiras e da plataforma interna do PCR-BS, com maiores concentração de clorofila. O zooplâncton da Bacia de Santos (Petrobras, 2022) mostrou características semelhantes às comunidades zooplanctônicas de outras bacias sedimentares da costa brasileira, com maiores concentrações nas camadas superficiais, sobretudo de copépodos que dominaram a comunidade da plataforma

continental. Nesse estudo, a comunidade zooplânctônica encontrada na plataforma média e na zona oceânica, caracterizada como uma região oligotrófica, foi marcada pelo predomínio de copépodes onívoros na composição do microzooplâncton durante o verão.

Na atual campanha também foram registrados, embora com menor riqueza, outros taxa, tais como os poliquetas, que são representantes do filo Annelida, o filo Chaetognatha - um pequeno grupo de animais encontrados em todos os habitats marinhos, desde águas costeiras até oceanos abertos e zonas abissais (NUNES, 2012), os gastrópodos, bivalves e cefalópodes, representantes do filo Mollusca, e os briozoários, que geralmente são abundantes e componentes importantes dos ecossistemas aquáticos, desde águas rasas até zonas profundas (VIEIRA *et al.*, 2015).

Também foi registrada a classe Hydrozoa, dentro do filo Cnidaria; Thaliacea e Appendicularia, dentro o filo Chordata, além dos filis Foraminifera, Ctenophora e Echinodermata e Platelminetos.

V.2.1.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-13 são apresentados os valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade zooplânctônica encontrada na atual campanha de monitoramento.

Tabela V-13 - Valores de riqueza (nº de taxa) de taxa, densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplânctônica da atual campanha de monitoramento.

Estação	Riqueza (nº de taxa)	Densidade (ind/m ³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
MLZ_M1000	31	311,97	3,28	0,66
MLZ_J1002	38	386,21	3,60	0,69
mínimo	31,00	311,97	3,28	0,66
máximo	38,00	386,21	3,60	0,69
média	34,50	349,09	3,44	0,67
desvio padrão	4,95	52,50	0,22	0,02

Na comunidade zooplancônica foram registrados 40 diferentes taxa considerando as duas estações de coleta, dentre os quais, 6 foram identificados em nível de filo, 1 em nível de subfilo, 7 em nível de classe, 1 em nível de infraclasses, 7 em nível de ordem, 1 em nível de família, e 17 em nível de espécie. A riqueza nas estações registrou média de $34,50 \pm 4,95$, portanto, com uma variação em torno da média relativamente baixa (14%).

Comparando os resultados de riqueza total (31 a 38 taxa) da atual campanha com os resultados obtidos nas campanhas anteriores do PMAEpro_PMPR_PMLZ, foi possível observar que os dados estão dentro da faixa de variação da maioria dos valores obtidos anteriormente (Tabela V-14).

Tabela V-14 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplanctônica nas campanhas anteriores do PMAEpro_PMPR_MLZ.

	Riqueza (nº de taxa)		Densidade (ind/m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C1 MLZ¹	13,63	18,18	74,25	312,52	2,49	2,64	0,81	0,81
C2 MLZ²	9	10	9.714,30	11.375,00	1,28	1,29	0,85	0,86
C3 MLZ³	16	25	2.069,30	5.959,00	0,47	0,56	0,33	0,40
C4 MLZ⁴	17	23	823,00	1.400,00	1,77	1,94	0,62	0,62
C5 MLZ⁵	21	24	2.623,00	3.047,00	2,03	2,25	0,63	0,74
C6 MLZ⁶	38	39	595,00	1.590,00	2,57	3,07	0,71	0,84
C7 MLZ⁷	28	39	332,49	393,79	2,67	3,01	0,80	0,82
C8 MLZ⁸	36	38	1.662,08	2.136,90	3,09	3,40	0,86	0,93
C9 MLZ⁹	31	37	1.760,69	3.752,60	3,04	3,19	0,88	0,88
C10 MLZ¹⁰	40	40	2.067,93	3.705,87	3,06	3,07	0,83	0,83
C11 MLZ¹¹	27	37	1.359,89	2.206,60	2,77	3,18	0,84	0,88
C12 MLZ¹²	29	34	11.790,26	15.002,50	2,73	2,74	0,54	0,56
C13 MLZ¹³	27	35	717,90	725,17	2,55	3,15	0,54	0,62

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010), 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid, 2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022), 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Verifica-se ainda que os valores de riqueza da atual campanha foram mais próximos dos valores encontrados entre a sexta e a décima terceira campanhas, havendo uma clara distinção desse grupo com o grupo formado pelas campanhas anteriores, com riquezas bem inferiores. Foram observadas diferenças significativas entre os valores de riqueza das treze campanhas da fase de operação (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$) (Figura V-49). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença.

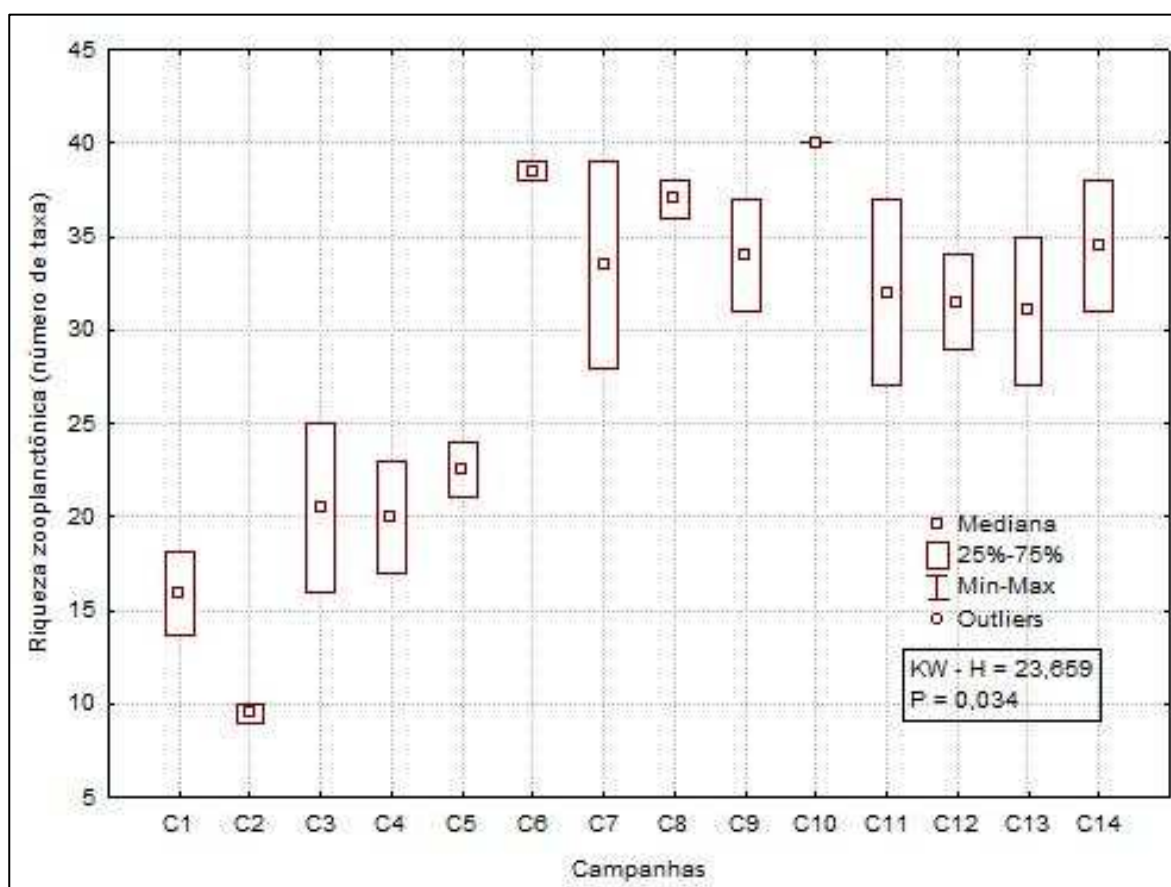


Figura V-49 – Box plots representativos dos valores de riqueza de taxa (número de taxa) das comunidades zooplancônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A densidade média de organismos zooplancônicos na atual campanha foi de $349,09 \pm 52,50$ ind/m³ (Tabela V-17). As campanhas de monitoramento realizadas anteriormente no local encontraram valores variando entre 74,25 e 15.002,50 ind/m³ (Tabela V-14), sendo, portanto, grande a faixa de variação para

esse parâmetro. Assim, os dados da atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação de densidade já verificada para o local, mas com valor máximo inferior em relação às campanhas anteriores, exceto em relação a C1 e C7. Vale ressaltar, ainda, que a elevada variação na densidade da comunidade zooplânctônica é frequente na plataforma continental e as elevadas concentrações podem estar associadas à entrada de massas d'água ricas em nutrientes (LOPES *et al.*, 2006). A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-3.

Bassani *et al.* (1999) realizou levantamento de trabalhos que estudaram a densidade de zooplâncton no sudeste do Brasil. Nesse trabalho, a autora descreve uma densidade anual média desses organismos de 30.000 ind/m³. Esse trabalho também afirma que 46% dos valores observados na literatura situam-se entre 10.000 e 20.000 ind/m³ e que os valores comumente flutuam entre 10.000 e 50.000 ind/m³, apresentando variação sazonal. No PCR-BS (Petrobras, 2022b), a abundância do zooplâncton variou, na camada mais superficial (0-25 m), entre 100 ind/m³ e 500 ind/m³ durante o inverno, e entre 500 ind/m³ e 100.000 ind/m³ na campanha de verão. Já na camada mais profunda (25-50 m), a abundância do zooplâncton variou entre 100 ind/m³ e 500 ind/m³ durante o inverno, e entre 10.000 ind/m³ e 100.000 ind/m³ na campanha de verão. Cabe destacar que o mesozooplâncton foi coletado através de arrastos oblíquos, durante o período noturno (18h até 6h).

A décima segunda campanha apresentou os maiores valores de densidade média, enquanto a terceira campanha registrou a maior variação para esse parâmetro. A atual campanha apresentou valores semelhantes a C1, C7 e C13. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais campanhas foram observadas diferenças (Figura V-50).

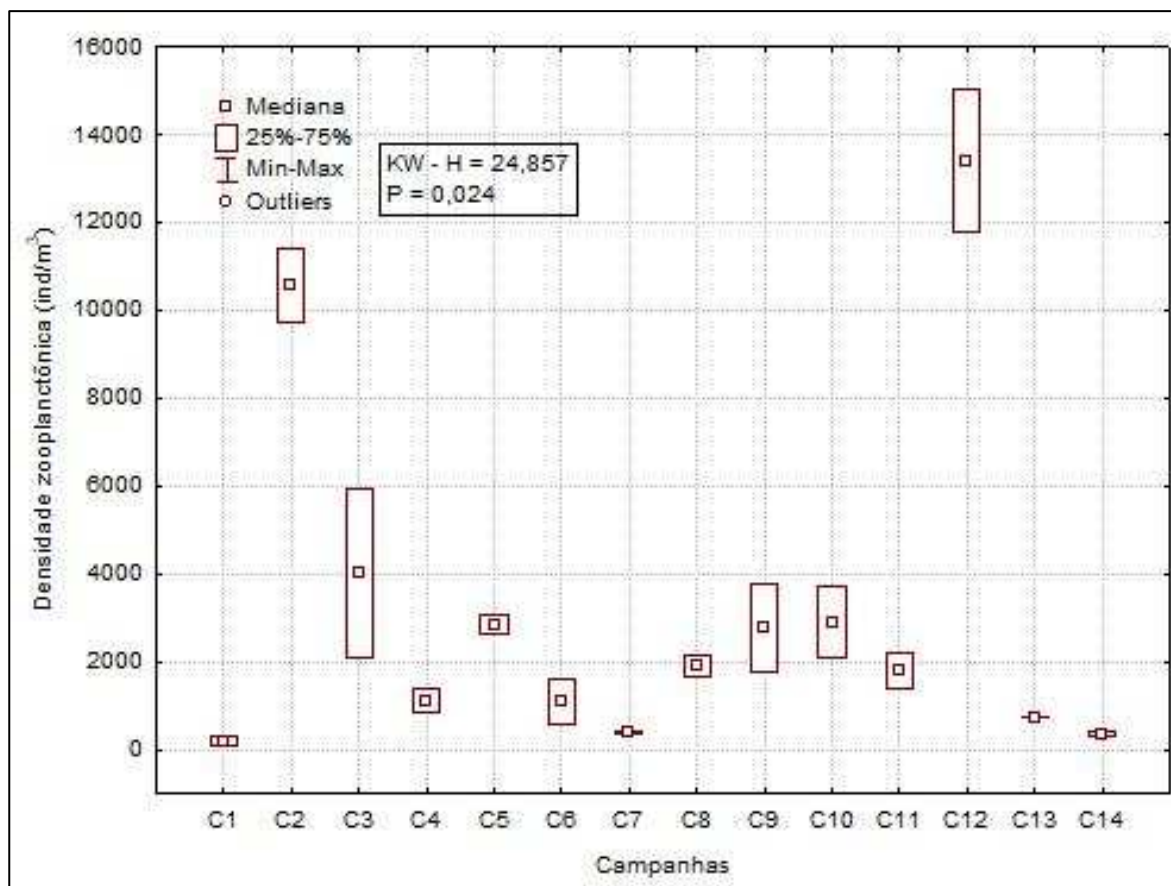


Figura V-50 –Box plots representativos dos valores de densidade (ind/m³) das comunidades zooplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Arthropoda registrou o maior número de taxa e maior densidade média de organismos nas comunidades do local, registrando média de $217,85 \pm 8,10$ ind/m³, correspondendo a cerca de 62% dos organismos (Figura V-51), seguido pelo filo Chordata, com média de $68,79 \pm 33,55$ ind/m³, representando 20% dos organismos, pelo filo Cnidaria, com média de $32,08 \pm 18,88$ ind/m³, representando 9% dos organismos, e pelo filo Mollusca, com média de $17,94 \pm 3,85$ ind/m³, representando cerca de 5% dos organismos. Os demais grupos somados totalizaram aproximadamente 3% dos organismos. O quinto filo com maior densidade foi Chaetognatha ($8,16 \pm 3,31$ ind/m³), seguido de Foraminifera ($2,70 \pm 0,36$ ind/m³), Annelida ($1,12 \pm 0,13$ ind/m³), Echinodermata ($0,09 \pm 0,00$ ind/m³), Bryozoa ($0,07 \pm 0,09$ ind/m³) e Platyhelminthes ($0,05 \pm 0,06$ ind/m³). Nas 13 campanhas anteriores de monitoramento do local, Petrobras/Analytical Solutions (2010, 2012, 2013), Petrobras/Bourscheid (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020) e

Petrobras/Bioconsult (2022, 2023) registraram altas densidades de artrópodes, sendo o grupo com maior densidade nas 12 campanhas anteriores, exceto na campanha 13, cujas maiores densidades foram de Chordata.

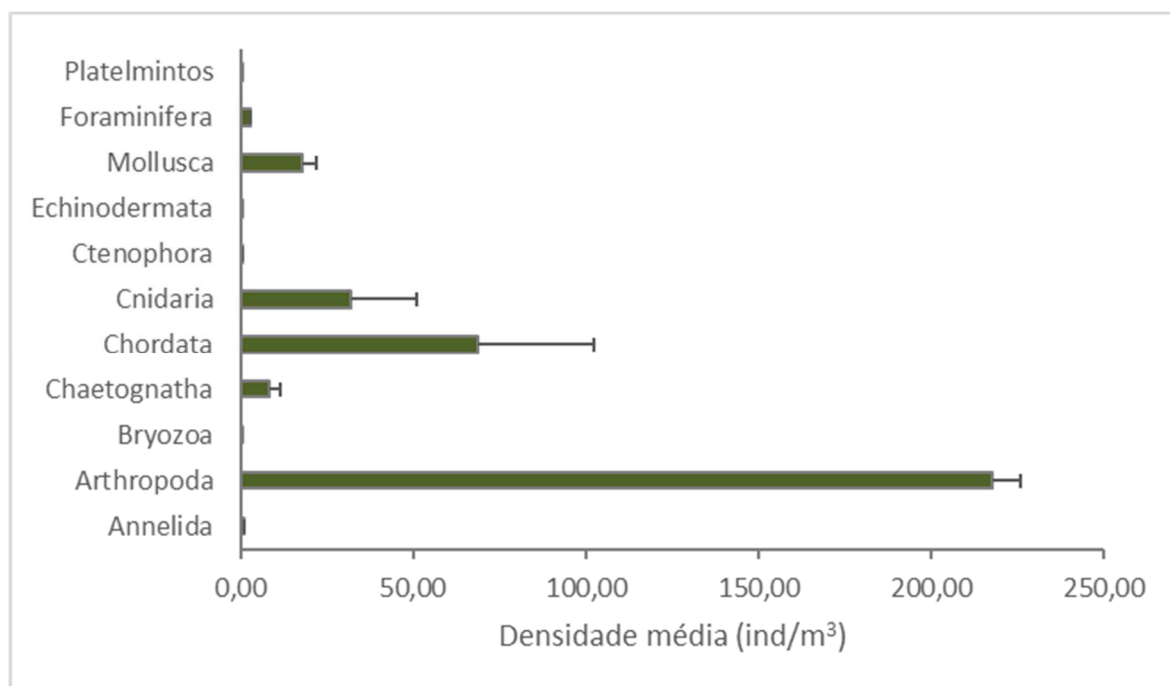


Figura V-51 – Densidade de organismos (ind/m³) dos filos zooplancônicos na atual campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A barra verde representa a densidade média dos filos $\pm$ desvio-padrão.

A atual campanha apresentou diversidade de 3,28 e 3,60 bits/ind nas estações MLZ_M1000 e MLZ_J1002, respectivamente (Tabela V-19). Na Tabela V-14 são apresentados os valores obtidos nas 13 campanhas do PMAEpro_PMPR-MLZ. Os resultados da atual campanha foram superiores aos resultados das demais campanhas.

A terceira campanha apresentou os menores, com gradual incremento nas campanhas seguintes, e manutenção de altos valores de diversidades da sexta campanha em diante. A oitava e a décima quarta campanhas foram as que apresentaram os maiores valores de diversidade média (Figura V-52). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), porém, por teste aplicado *a posteriori* (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais campanhas ocorreram tais diferenças.

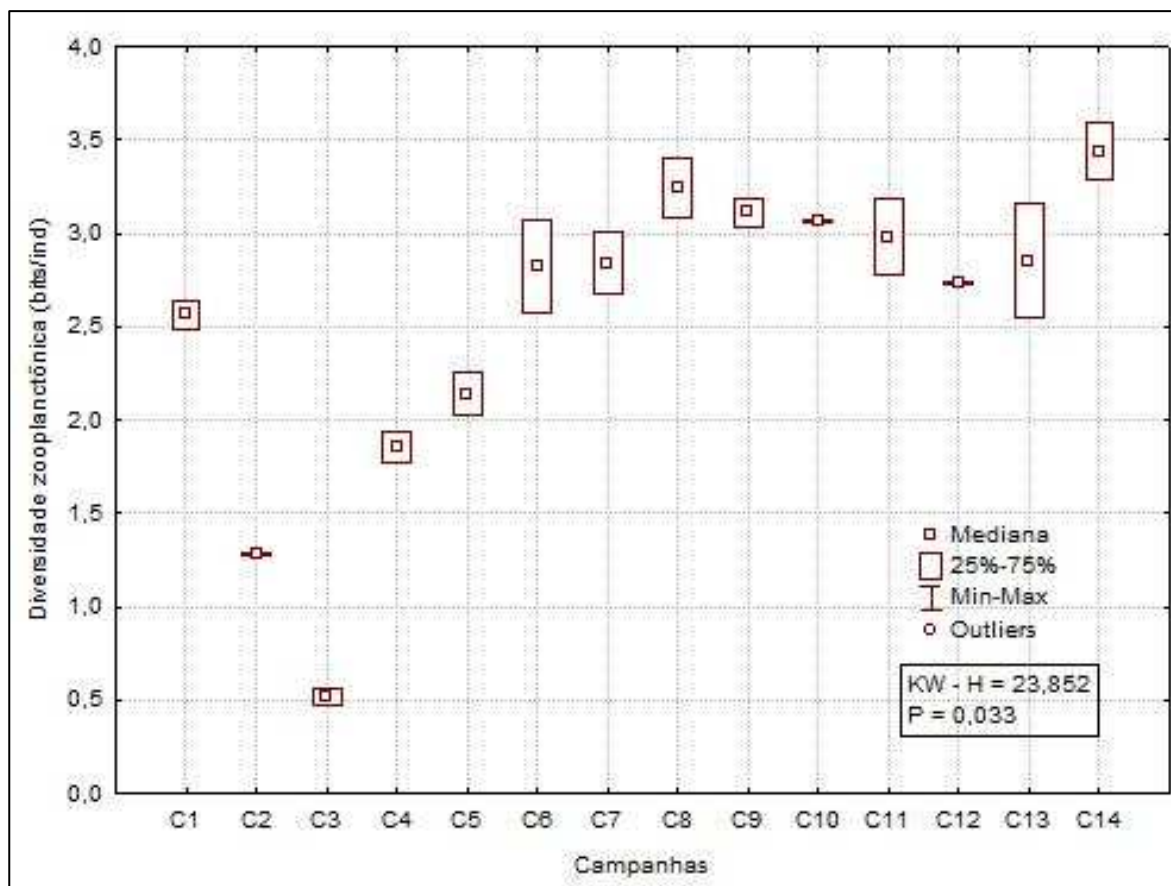


Figura V-52 -Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades zooplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A equitabilidade média da atual campanha foi de $0,67 \pm 0,02$, variando entre 0,66, na estação MLZ_M1000 e 0,69 na estação MLZ_J1002 (Tabela V-17). Na Tabela V-14, são apresentados os valores obtidos nas campanhas de monitoramento ambiental anteriores do PMAEpro-BS_PMPR-MLZ. Pode-se observar que os dados de equitabilidade obtidos na atual campanha encontram-se na faixa de variação dos resultados obtidos anteriormente.

A oitava campanha registrou a maior equitabilidade média, enquanto a terceira campanha apresentou os menores valores para esse parâmetro. A atual campanha apresentou valores intermediários e semelhantes a C5 e C6 (Figura V-53). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento da atividade de Merluza (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença.

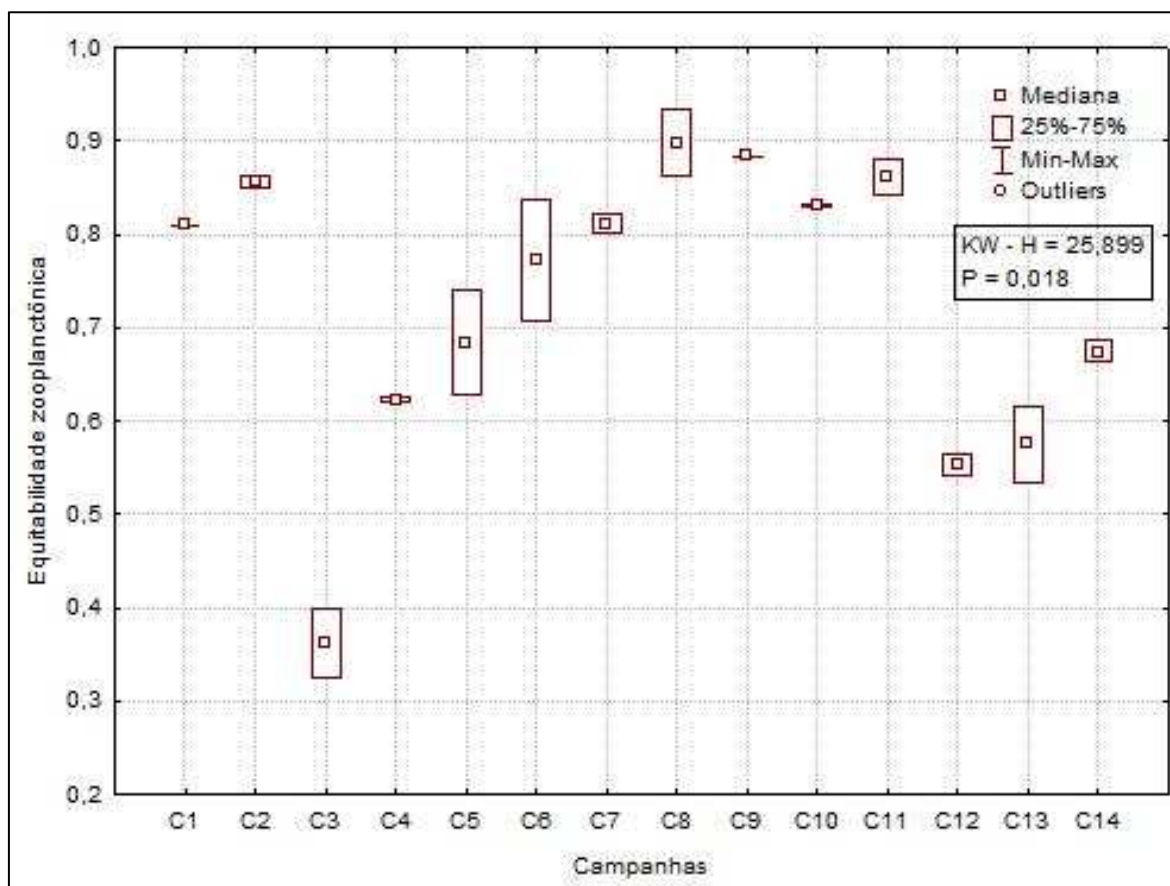


Figura V-53 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades zooplanctônicas encontradas nas 14 campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Por fim, é importante ressaltar que em todas as campanhas foram utilizados os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, embora tenha ocorrido troca de laboratório entre a sexta e a sétima e entre a décima primeira e décima segunda campanha, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, mas é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações.

V.2.1.4 - *Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton*

Os resultados de riqueza entre as estações apresentaram uma leve diferença, variando de 31 na estação MLZ_M1000 a 38 taxa na estação MLZ_J1002 (Figura V-54). Apesar disso, a contribuição relativa da maioria dos filos nas amostras foi bastante similar. A maioria dos taxa foi encontrado em todas as amostras, com contribuição semelhante, excetos os filos Bryozoa e Ctenophora, que ocorreu somente em MLZ_J1002. Portanto, as pequenas diferenças não representaram distinção marcante, provavelmente representando uma variação natural da distribuição espacial dessas comunidades.

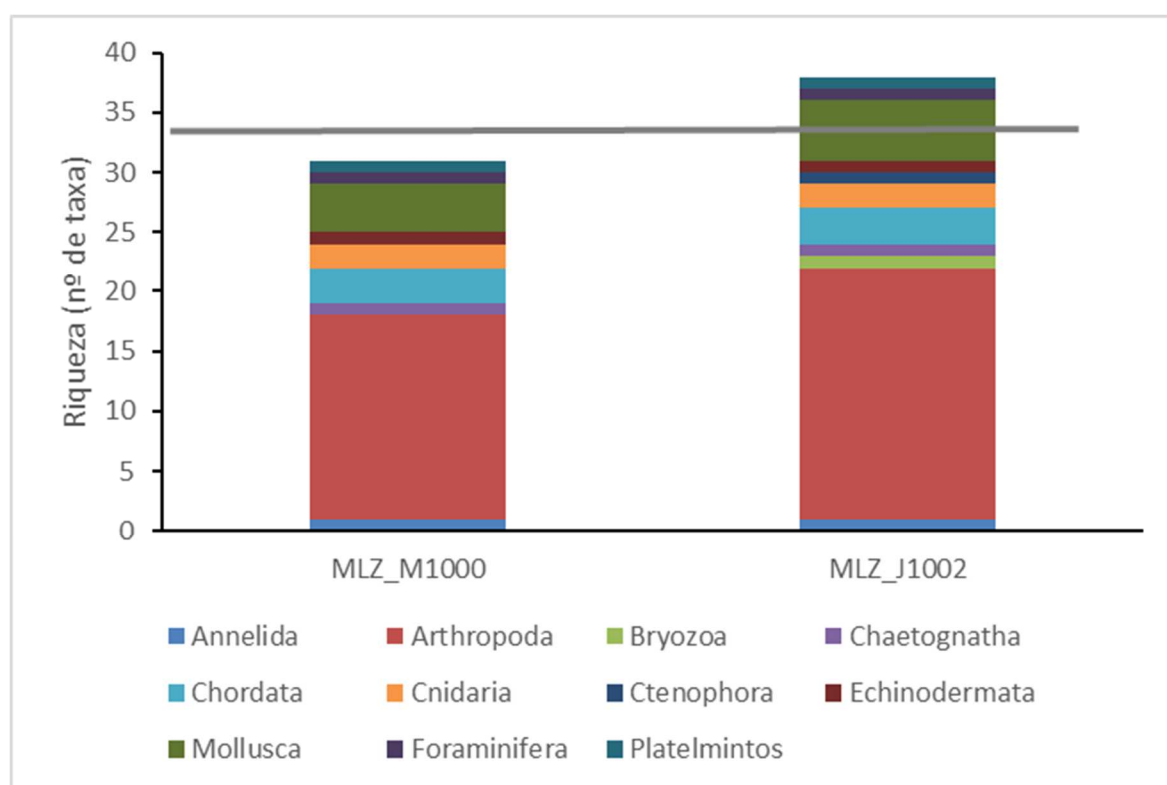


Figura V-54 – Riqueza (Número de taxa) dos filos zooplanctônicos nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Assim como observado para a riqueza, a estação MLZ_J1002 registrou maior densidade de organismos, que se deveu, basicamente, às maiores densidades de Chordata e Cnidaria (Figura V-55). A composição proporcional da comunidade foi similar entre as estações, e o filo Arthropoda dominou ambas as amostras.

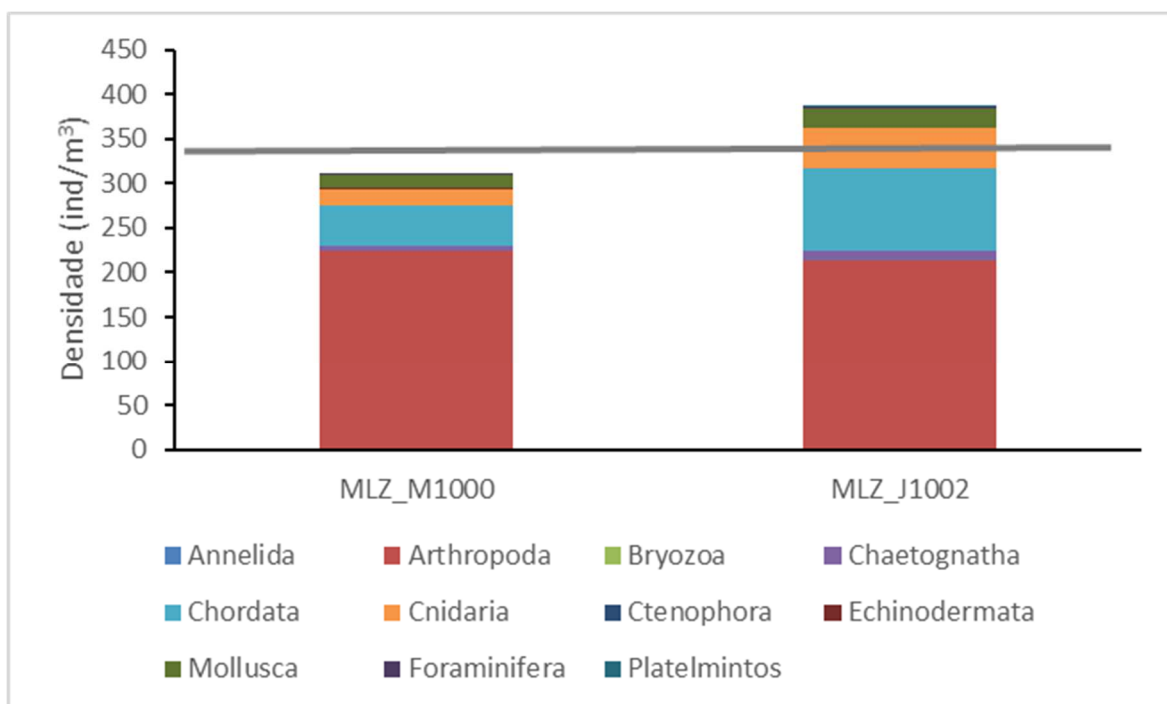


Figura V-55 – Densidade de organismos dos filos zooplanctônicos (ind/m³) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A estação MLZ_J1002 apresentou índices de diversidade e equitabilidade maiores em relação à estação MLZ_M1000. Ambas as amostras apresentaram valores de diversidade altos e equitabilidade médios a altos, indicando uma composição específica local diversa e relativamente bem distribuída (Figura V-56).

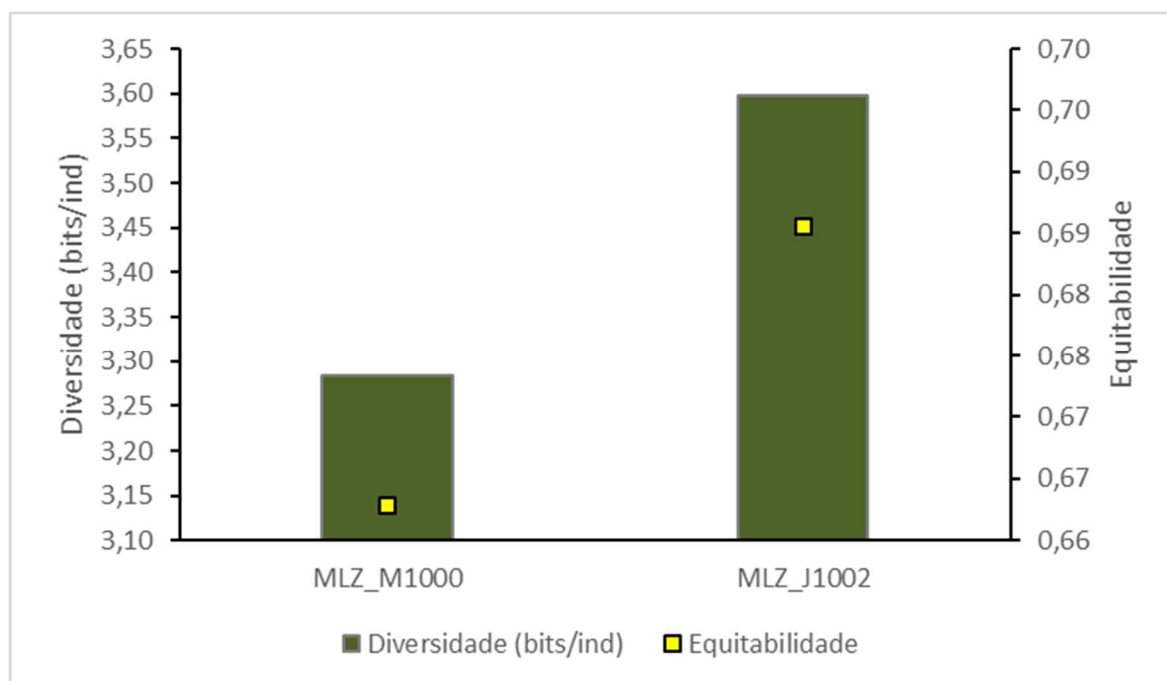


Figura V-56 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade zooplânctônica nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

No zooplâncton, ocorrem oscilações na estrutura das comunidades direcionadas por fatores como os ciclos biológicos de cada espécie e a sazonalidade de fenômenos como a ressurgência, principalmente em águas de plataforma e oceânicas. Portanto, a distribuição do zooplâncton está diretamente ligada ao movimento das massas de água, modificando-se com a origem e mistura das águas predominantes em uma determinada região (VALENTIN, 1988). As oscilações ocorrem de acordo com os ciclos das espécies, bem como da sazonalidade dos fenômenos de ressurgência, principalmente em águas da plataforma oceânica (BASSANI *et al.*, 1999). No presente estudo, foi observada grande similaridade na distribuição espacial dessas comunidades, provável reflexo das condições de mistura de água.

V.2.3 - Ictioplâncton

O grupo dos peixes é formado por vertebrados aquáticos que possuem respiração branquial, extremidades adaptadas à natação, tegumento lubrificado por secreção mucosa e corpo recoberto por escamas de origem dérmica (WOOTTON, 1990). Os mesmos possuem diferentes fases de vida, sendo elas resumidamente: ovo, larva, juvenil e adulto. A saber:

- Ovo - fase compreendida entre a fecundação e a eclosão (período embrionário), muitas vezes de hábito planctônico, também podendo ser bentônico.
- Larva - fase compreendida entre a eclosão e a metamorfose (período larvar). Nessa fase de vida os peixes possuem hábito planctônico. A metamorfose é coincidente com o final da vida planctônica.
- Juvenil - fase compreendida entre a metamorfose e a primeira maturação sexual, sendo em sua grande maioria de hábito de vida nectônico, no entanto, também existem espécies bentônicas e demersais.

O ictioplâncton é constituído pelos ovos e larvas de peixes (Chordata – Vertebrata). A Figura V-57 demonstra um exemplo esquemático do aspecto de ovos e larvas dessa comunidade. A maioria dos Osteichthyes (peixes ósseos) marinhos possui ovos planctônicos de tamanho reduzidos, com cerca de 1 mm. Os mesmos, geralmente, são transparentes com forma esférica. Alguns organismos em estados larvares mais avançados desenvolvem características transitórias, também utilizadas na sua identificação, como por exemplo, padrões pigmentares, espinhos e cristas. Já as larvas possuem uma grande variedade de formas (BONECKER *et al.*, 2009; MOSER, 1984).

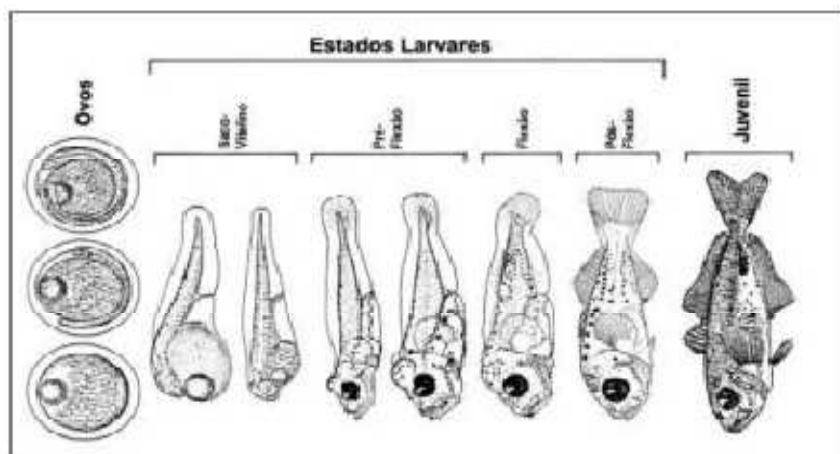


Figura V-57 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de *Trachurus symmetricus*. Adaptado de Moser (1984).

Os estudos dos organismos desse grupo estão muito relacionados com a dinâmica das populações e recursos pesqueiros. A distribuição e ocorrência do ictioplâncton vão determinar características do período reprodutivo, como época de desova, locais de recrutamento e até mesmo relações com o estoque pesqueiro (BONECKER *et al.*, 2009; NAKATANI *et al.*, 2001; PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

V.2.3.1 - Avaliação da Amostragem

Ao todo, considerando as 14 campanhas de monitoramento, foram coletadas 54 amostras para esse grupo, sendo que, durante a sexta campanha, 2 amostras foram perdidas por problemas com a fixação e preservação. Na atual campanha, foram encontrados um total de 14 novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 14 campanhas evidencia um incremento maior da riqueza entre a 1ª e 20ª amostra, que contabilizaram, de forma cumulativa, 48 taxa. Ou seja, 43,24% do total de taxa obtido foi coletado até a quinta campanha de monitoramento (Figura V-58). Durante a sexta e sétima campanhas, o incremento no número de taxa foi mínimo, e a taxa de incremento manteve-se relativamente constante da oitava campanha em diante.

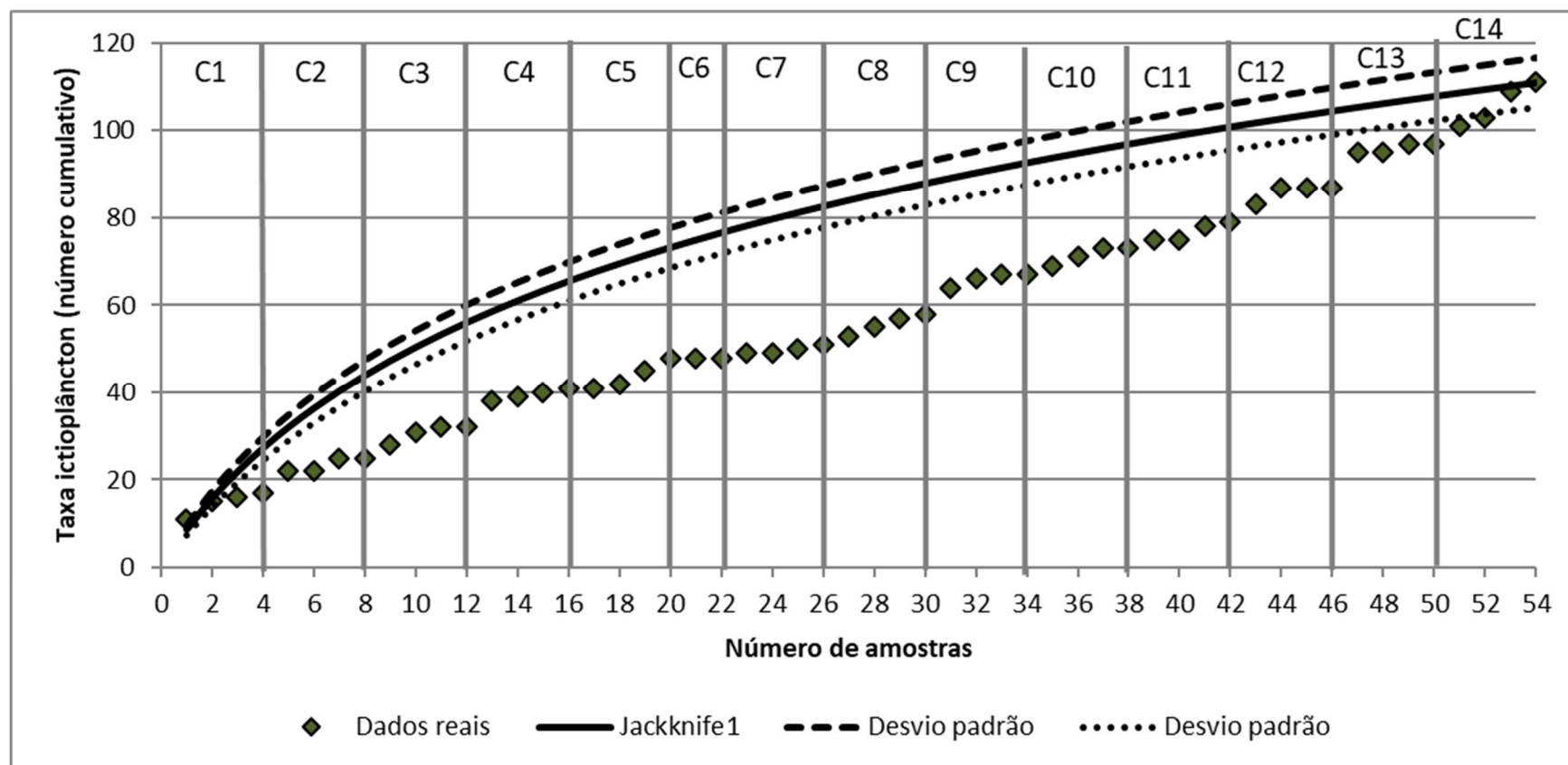


Figura V-58 – Taxa ictioplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve muito próxima da distribuição esperada nas amostras da primeira e da atual campanha, pois a maioria dos pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. Em todas as demais campanhas, a distribuição real dos dados ficou abaixo da esperada. No entanto, é preciso destacar que a curva é calculada para estimar a evolução dos dados com base no total de registros, visando uma progressão contínua e predizível, mas que não é capaz de refletir as alterações de ordem analítica que constituíram as condições de obtenção dos dados.

V.2.3.2 - *Análise Qualitativa*

As larvas e ovos encontrados na atual campanha pertenciam a sete ordens de peixe: Myctophiformes (família Myctophidae), Perciformes (famílias Serranidae, Caproidae, Dactylopteridae, Pomacanthidae, Coryphaenidae, Carangidae, Labridae, Microdesmidae, e Scombridae), Anguilliformes (família Ophichthidae), Clupeiformes (família Clupeidae), Ophidiiformes (família Ophidiidae), Pleuronectiformes (famílias Cynoglossidae e Bothidae) e Stomiiformes (família Gonostomatidae). No presente estudo, a ordem Perciformes foi dominante, com 14 taxa (Figura V-59). Dentre os taxa supracitados, as campanhas anteriores do monitoramento da atividade de Merluza também destacam a ordem Perciformes como dominante (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). As larvas coletadas foram identificadas ao menor grupo taxonômico possível e resultou na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3.

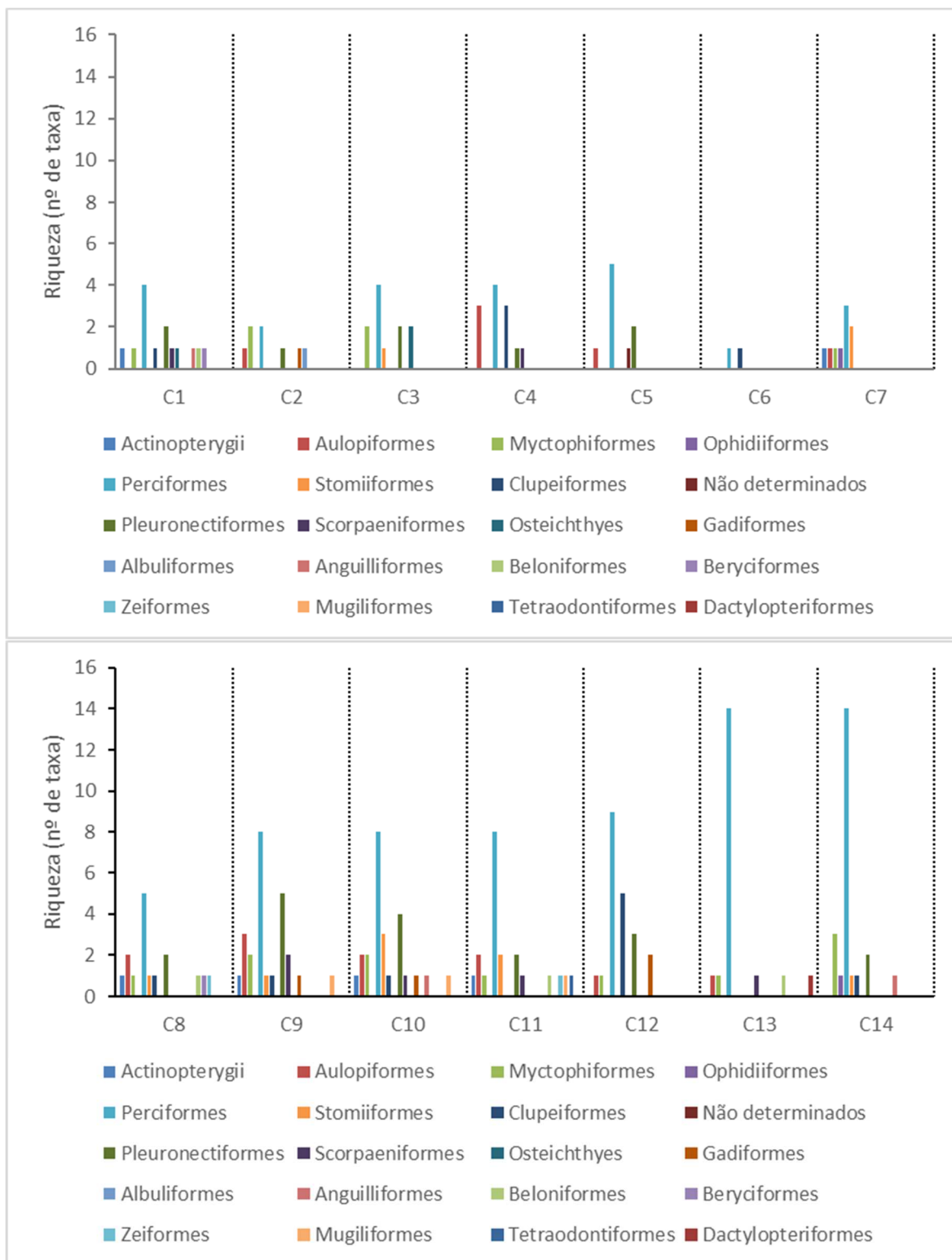


Figura V-59 – Riqueza (nº de taxa) das classes e ordens ictioplanctônicas ao longo das campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Os indivíduos ictioplancônicos da ordem Myctophiformes possuem fotóforos, que auxiliam na identificação das espécies. A família Myctophidae, encontrada na atual campanha, é marinha e é composta por 32 gêneros com 240 espécies. São peixes mesopelágicos, que alcançam 35 cm de comprimento na fase adulta. O padrão de pigmentação e a morfologia do corpo são importantes para a identificação das larvas, além do número e do padrão de distribuição dos fotóforos, que é único para cada espécie (BONECKER *et al.*, 2014).

A ordem Perciformes é a mais diversa de todas as ordens e é composta por 160 famílias e mais de 10.000 espécies. A família Carangidae, que também ocorreu na atual campanha, é marinha e composta por espécies comerciais. As larvas têm formato do corpo variado (de fusiformes a alto e discoide). Para as larvas dessa família, os caracteres merísticos e o padrão de pigmentação das larvas é importante para a identificação das espécies (BONECKER *et al.*, 2014).

A ordem Stomiiformes é composta por espécies marinhas e a maioria das espécies ocorre em grandes profundidades. A presença de fotóforos é a principal característica das larvas em transformação e dos adultos. Na atual campanha, a ordem foi representada pelo gênero *Cyclothone* e por outras *taxa*. O padrão de pigmentação na margem dorsal do corpo de indivíduos desse gênero é importante para diferenciação das larvas, que são identificadas pela pigmentação da membrana que cobre a meninge (BONECKER *et al.*, 2014).

Para as demais ordens observadas na atual campanha não foram encontradas informações específicas sobre ictioplâncton para esse grupo.

V.2.3.3 - *Análise Quantitativa*

Na Tabela V-15 são apresentados os valores de riqueza (*nº* de *taxa*), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade, para a comunidade ictioplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-16 - Valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind), e equitabilidade, encontrados para a comunidade ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Estação	Malha	Riqueza (nº de taxa)	Densidade (Ind/100m ³)	Diversidade (Bits/Ind)	Equitabilidade
MLZ_M1000	300 µm	11	70,32	1,59	0,77
	500 µm	7	38,53	1,52	0,85
MLZ_J1002	300 µm	13	121,15	1,74	0,75
	500 µm	13	71,12	1,63	0,71
	mínimo	7,00	38,53	1,52	0,71
	máximo	13,00	121,15	1,74	0,85
	média	11,00	75,28	1,62	0,77
	desvio padrão	2,83	34,14	0,09	0,06

Um total de 23 taxa diferente de larvas de peixes foi coletado, sendo que sete foram identificados a nível de família, cinco a nível de gênero e 11 a nível de espécie. A riqueza variou de 7 a 13 taxa entre as amostras, com média de $11 \pm 2,83$ taxa (Tabela V-17). Valores baixos, em número de taxa, em comunidades ictioplanctônicas são considerados comuns, visto que existe um menor número desses organismos na coluna d'água. As campanhas de monitoramento anteriores realizadas no mesmo local encontraram riqueza total de taxa ictioplanctônicos variando de 0 (C12) a 21 taxa (C10) (Tabela V-17). Portanto, os resultados encontrados na atual campanha encontram-se na faixa de variação dos valores observados no local de coleta em campanhas anteriores.

Tabela V-17 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplanctônica nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ

	Riqueza		Densidade (ind/100m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C1 MLZ¹	8	11	93,36	154,18	0,41	0,76	0,52	0,80
C2 MLZ²	2	9	235,55	932,20	0,22	0,79	0,72	0,93
C3 MLZ³	4	6	12,44	32,74	0,58	1,76	0,53	0,95
C4 MLZ⁴	3	8	1,86	24,00	0,89	1,86	0,73	0,94
C5 MLZ⁵	1	4	2,00	940	0,00	1,21	0,00	0,87
C6 MLZ⁶	2	2	10,00	11,00	0,30	0,33	0,44	0,47
C7 MLZ⁷	5	5	74,41	120,50	0,22	0,97	0,13	0,60
C8 MLZ⁸	7	11	205,61	342,45	0,38	0,70	0,20	0,29
C9 MLZ⁹	14	18	119,68	448,62	1,38	2,32	0,52	0,80
C10 MLZ¹⁰	17	21	258,68	349,80	2,03	2,24	0,71	0,78
C11 MLZ¹¹	9	11	70,41	331,52	1,04	1,53	0,43	0,70
C12 MLZ¹²	0	14	0,00	52,97	0,69	2,32	0,94	1,00
C13 MLZ¹³	2	15	8,15	79,63	0,24	0,54	0,50	0,85

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010), 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); Petrobras/Bioconsult (2023).

O ictioplâncton apresentou maior riqueza média de taxa (18,50 taxa) na décima campanha e menores valores de riqueza na quinta e na sexta campanha (1 e 2 taxa, respectivamente) (Figura V-60). Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais campanhas foram as diferenças.

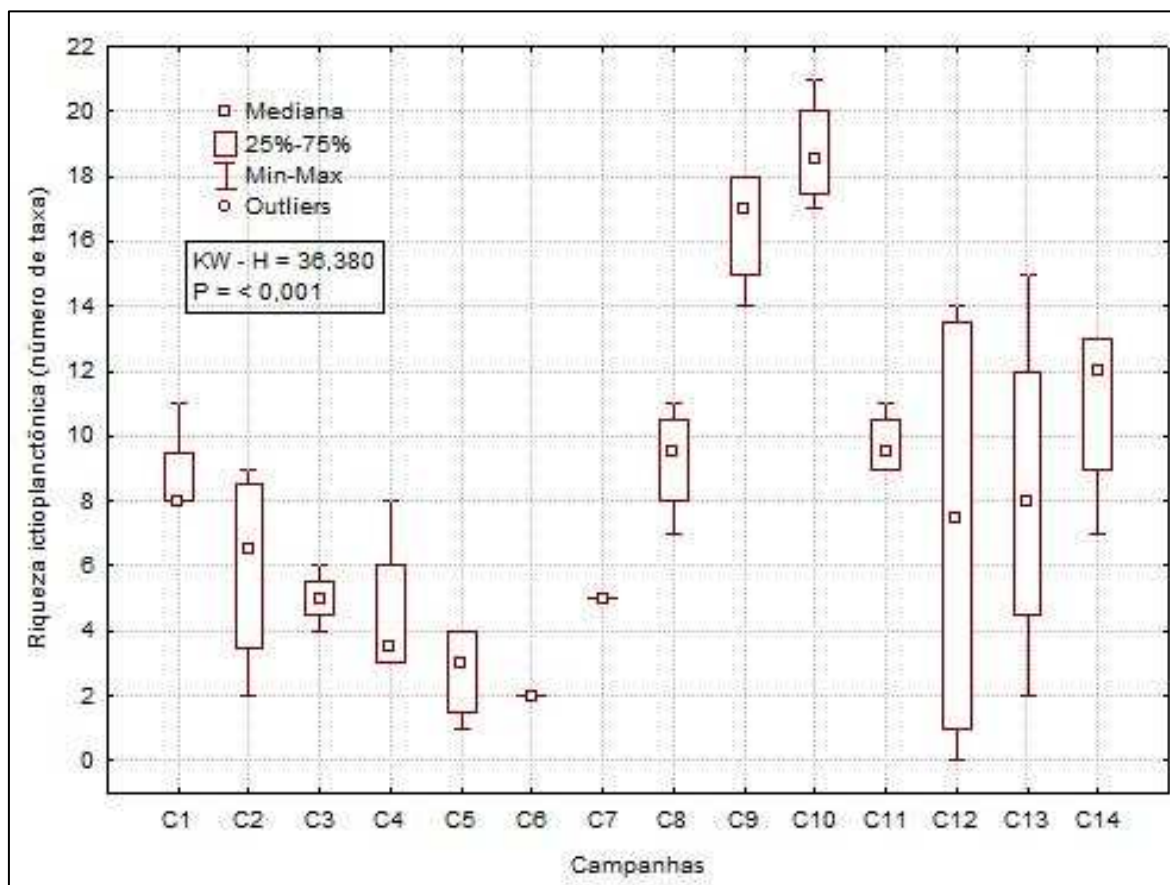


Figura V-60 – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônica (n° de taxa) encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A densidade média de larvas da presente campanha foi de $75,28 \pm 34,14$ ind/100 m³, com valores variando entre 38,53 ind/100m³, no arrasto com malha de 500 µm da estação MLZ_M1000 e 121,15 ind/100 m³ no arrasto de 300µm da estação MLZ_J1002 (Tabela V-19).

No PCR-BS (Petrobras, 2022b), na região nerítica, as densidades variaram entre 0,01 e 200 ind/10m² entre verão e inverno. PIR2/TRANSPETRO (2009) realizaram levantamento do ictioplâncton no sudeste do Brasil e obtiveram

densidades de larvas que variaram entre 6 e 29 ind/100 m³. Nas campanhas anteriores deste projeto de monitoramento, Petrobras/Analytical Solutions (2010, 2012, 2013), Petrobras/Bourscheid (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020) e Petrobras/Bioconsult (2022, 2023) encontraram densidades variando de 0 a 932,00 larvas/100 m³ (Tabela V-17). Baixos valores de densidade são comumente registrados nessas comunidades (BRANDINI *et al.*, 1997; MAFALDA JR. *et al.*, 2004).

A quinta campanha apresentou a maior variação de densidade ictioplanctônica, enquanto a segunda campanha apresentou a maior densidade média (Figura V-61). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Foram encontradas diferenças significativas entre C2 e C4 (*Tukey*, $p < 0,05$).

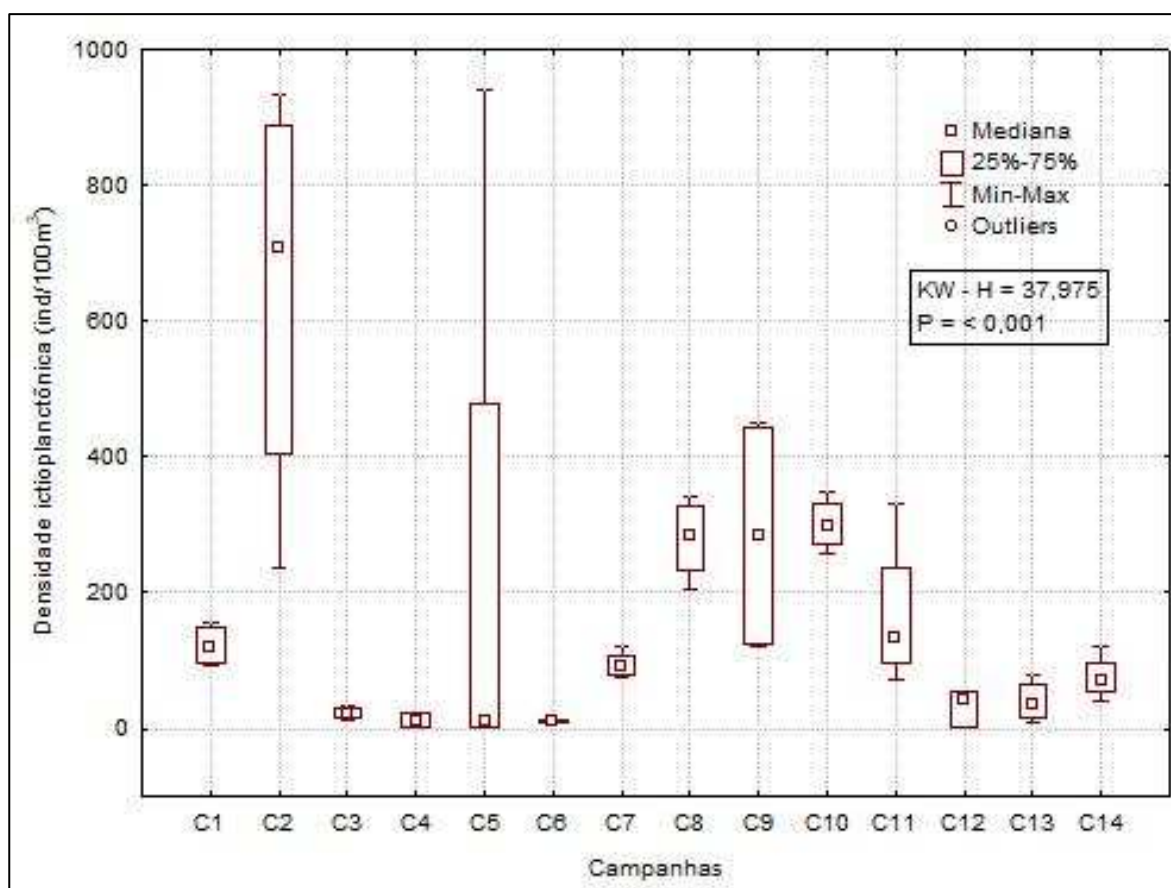


Figura V-61 –Box plots representativos dos valores de densidade (ind/100 m³) das comunidades ictioplanctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A ordem Perciformes foi dominante em número de taxa (14), e também registrou as maiores densidades médias de organismos ($55,13 \pm 17,11$ ind/100 m³), seguido da ordem Myctophiformes ($11,45 \pm 16,01$ ind/100 m³) e Clupeiformes ($4,91 \pm 5,47$ ind/100 m³). As demais ordens obtiveram médias variando entre $0,32 \pm 0,64$ ind/100 m³ (Ordem Ophidiiformes) e $1,20 \pm 1,39$ ind/100 m³ (Ordem Stomiiformes) (Figura V-2). De maneira geral, os valores encontrados foram baixos, com grande dispersão dos valores em torno das médias, com desvios, majoritariamente em torno de 111 a 200%. Esse resultado fica, portanto, muito sujeito a fenômenos estocásticos (do acaso) locais. A dispersão pelas correntes e outras variações ambientais relevantes, além de questões amostrais, podem influenciar nos resultados de amostragem desse grupo.

Na primeira campanha, as ordens Perciformes e Pleuronectiformes dominaram em densidade. Na segunda campanha de monitoramento, as ordens Perciformes e Myctophiformes foram dominantes, enquanto na terceira campanha de monitoramento, dominou a ordem dos Myctophiformes. Na quarta campanha de monitoramento, a ordem Clupeiformes registrou a maior densidade média de organismos ($7,3 \pm 8,11$ ind/100 m³), seguido de Perciformes ($2,7 \pm 2,51$ ind/100 m³). Na quinta campanha de monitoramento, o grupo dos não determinados registrou a maior densidade média de organismos ($230,25 \pm 460,50$ ind/100 m³), seguido de Perciformes ($5,50 \pm 5,45$ ind/100 m³). Na sexta campanha de monitoramento da atividade de Merluza, a ordem Perciformes registrou a maior densidade média de organismos ($4,75 \pm 5,94$ ind/100 m³), seguido de Clupeiformes ($0,50 \pm 0,63$ ind/100 m³). Perciformes também registrou as maiores densidades médias de organismos, na sétima campanha, assim como a classe Actinopterygii, com valores médios de $19,66 \pm 19,72$ ind/100 m³ e $72,51 \pm 13,13$ ind/100 m³, respectivamente. Na oitava campanha, Actinopterygii dominou numericamente a densidade, com valores médios de $241,60 \pm 46,38$ ind/100 m³, seguido de Perciformes, com valores médios de $26,91 \pm 10,85$ ind/100 m³. Na nona campanha, a classe Actinopterygii registrou as maiores densidades médias de organismos ($148,56 \pm 144,04$ ind/100 m³), seguido da ordem Perciformes ($57,49 \pm 20,13$ ind/100 m³). Da mesma forma, na décima campanha, a classe Actinopterygii também registrou as maiores densidades médias de organismos ($98,07 \pm 19,35$ ind/100 m³), seguido da ordem Myctophiformes ($66,26 \pm 33,52$ ind/100 m³). Na décima primeira

campanha, a classe Actinopterygii registrou as maiores densidades médias de organismos ($101,23 \pm 90,63$ ind/100 m³), seguido da ordem Scorpaeniformes ($27,14 \pm 24,13$ ind/100 m³) e Perciformes ($23,96 \pm 19,05$ ind/100 m³) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020). Na décima segunda campanha, Clupeiformes registrou as maiores densidades médias de organismos ($10,18 \pm 12,07$ ind/100 m³), seguido da ordem Perciformes ($7,46 \pm 9,01$ ind/100 m³) e Gadiformes ($2,34 \pm 3,57$ ind/100 m³) (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022). Na décima terceira campanha, ordem Perciformes registrou as maiores densidades médias de organismos ($35,96 \pm 30,99$ ind/100 m³), seguido da ordem Myctophiformes ($2,13 \pm 2,71$ ind/100 m³) e Dactylopteriformes ($1,35 \pm 2,00$ ind/100 m³). Assim como na atual campanha de monitoramento (Figura V-62), as campanhas anteriores também encontraram valores de desvios padrões altos e às vezes maiores que as próprias médias de densidades de organismos.

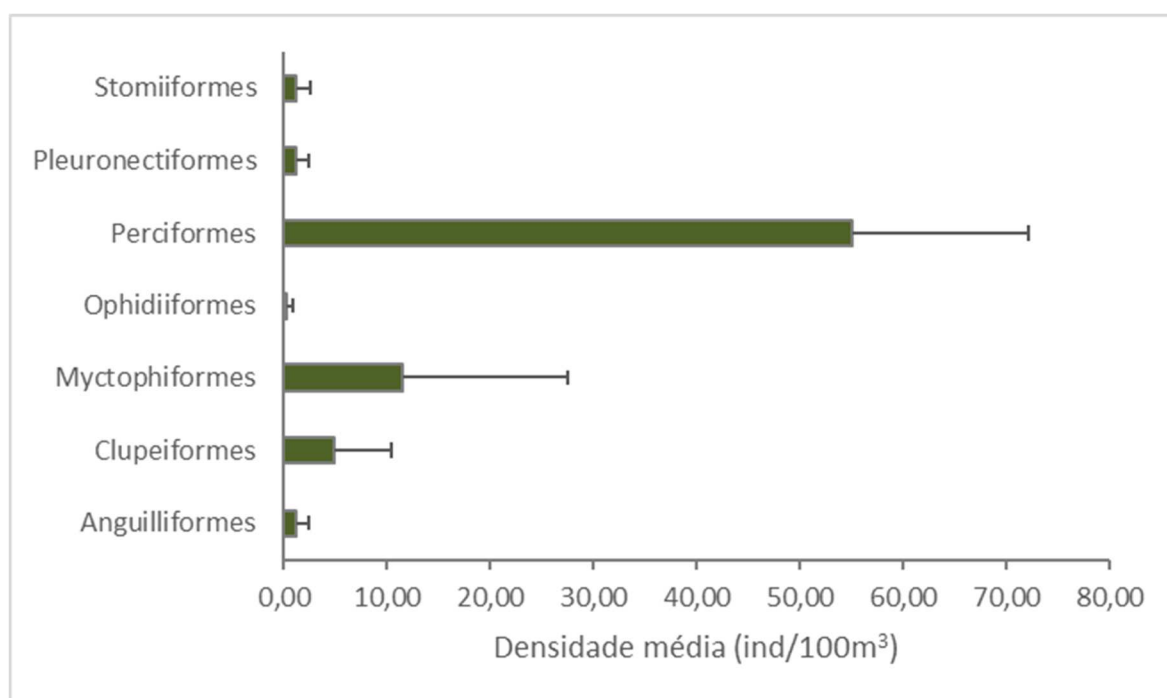


Figura V-62 – Densidade de organismos (ind/100 m³) das ordens ictioplanctônicas da campanha PMAEpro-BSPMPR_MLZ_C14. A barra verde representa a densidade média das ordens $\pm$ desvio-padrão.

Na atual campanha, a diversidade média foi baixa ($1,62 \pm 0,09$ bits/ind), variando entre 1,52 bits/ind, no arrasto com malha de 500 μ m da estação MLZ_M1000 e 1,74 bits/ind, no arrasto de 300 μ m da estação MLZ_J1002 (Tabela

V-19). Nas campanhas anteriores, a diversidade foi baixa a intermediária, variando entre 0 e 2,32 (na quinta e nona campanhas, respectivamente) (Tabela V-17).

A nona e a décima segunda campanha de monitoramento apresentaram a maior diversidade máxima, sendo que a décima segunda campanha também apresentou a maior variação, enquanto a quinta campanha apresentou o menor valor mínimo. A décima campanha apresentou o maior valor médio (Figura V-3). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento da atividade de Merluza (ANOVA, $p < 0,05$). A décima segunda e décima quarta campanha diferiram significativamente da primeira, segunda, quinta, sexta, sétima, oitava e décima terceira campanhas. A nona e décima campanhas diferiram da primeira, segunda, quinta, sexta, sétima, oitava e décima terceira campanhas, e a décima campanha também diferiu da quarta (Tukey, $p < 0,05$).

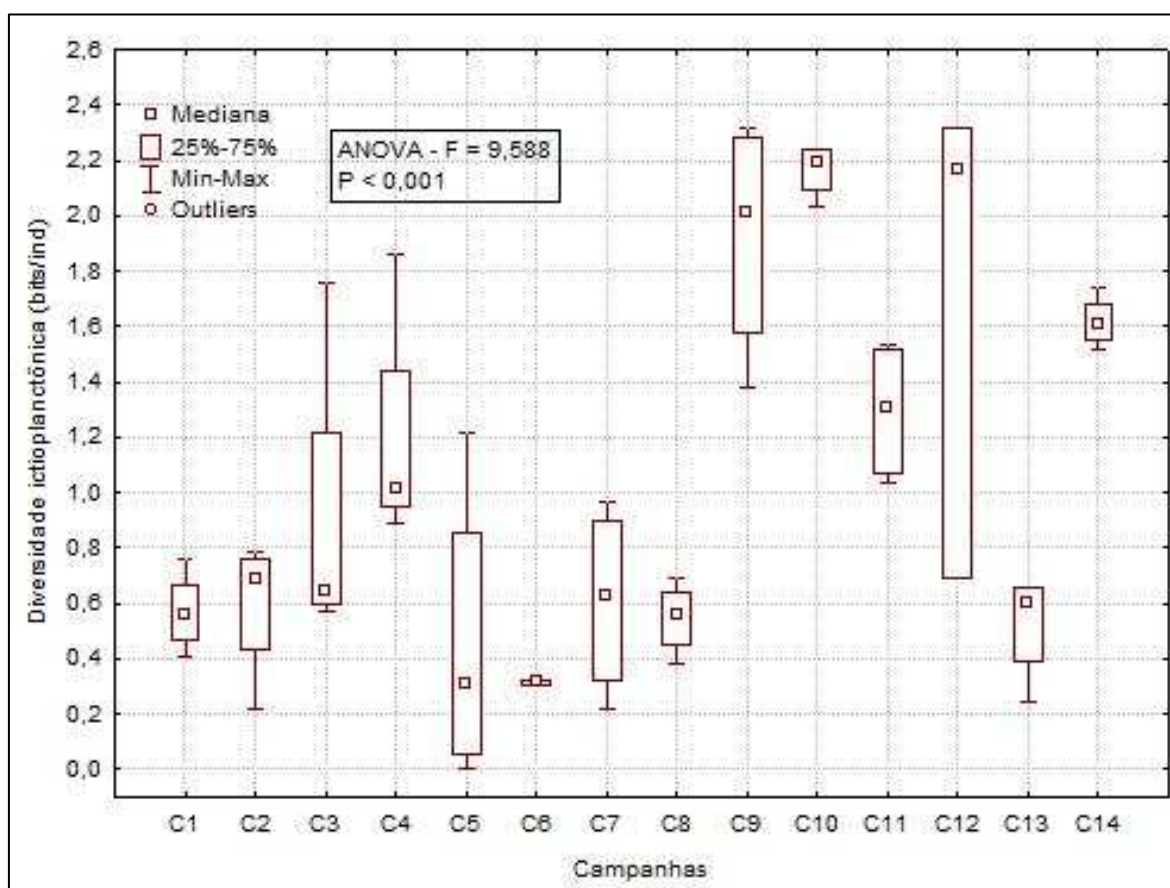


Figura V-63 -Box plots representativos dos valores de diversidade médias (bits/ind) das comunidades ictioplânctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na atual campanha de monitoramento da atividade de Merluza, a equitabilidade variou entre 0,71, no arrasto com malha de 500 µm da estação MLZ_J1002, e 0,85, no arrasto com malha de 500 µm da estação MLZ_M1000, com média de $0,77 \pm 0,06$ (Tabela V-19).

Nas campanhas anteriores, a equitabilidade foi bastante variável, com valores entre 0 e 1,00 (na quinta e décima segunda campanhas, respectivamente) (Tabela V-17).

A décima segunda campanha apresentou a maior equitabilidade média e máxima, enquanto a quinta campanha apresentou a maior variação para esse índice e a oitava campanha apresentou a menor equitabilidade média (Figura V-64). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento da atividade de Merluza (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$) e a décima segunda campanha diferiu significativamente da oitava campanha (Teste de *Tukey*).

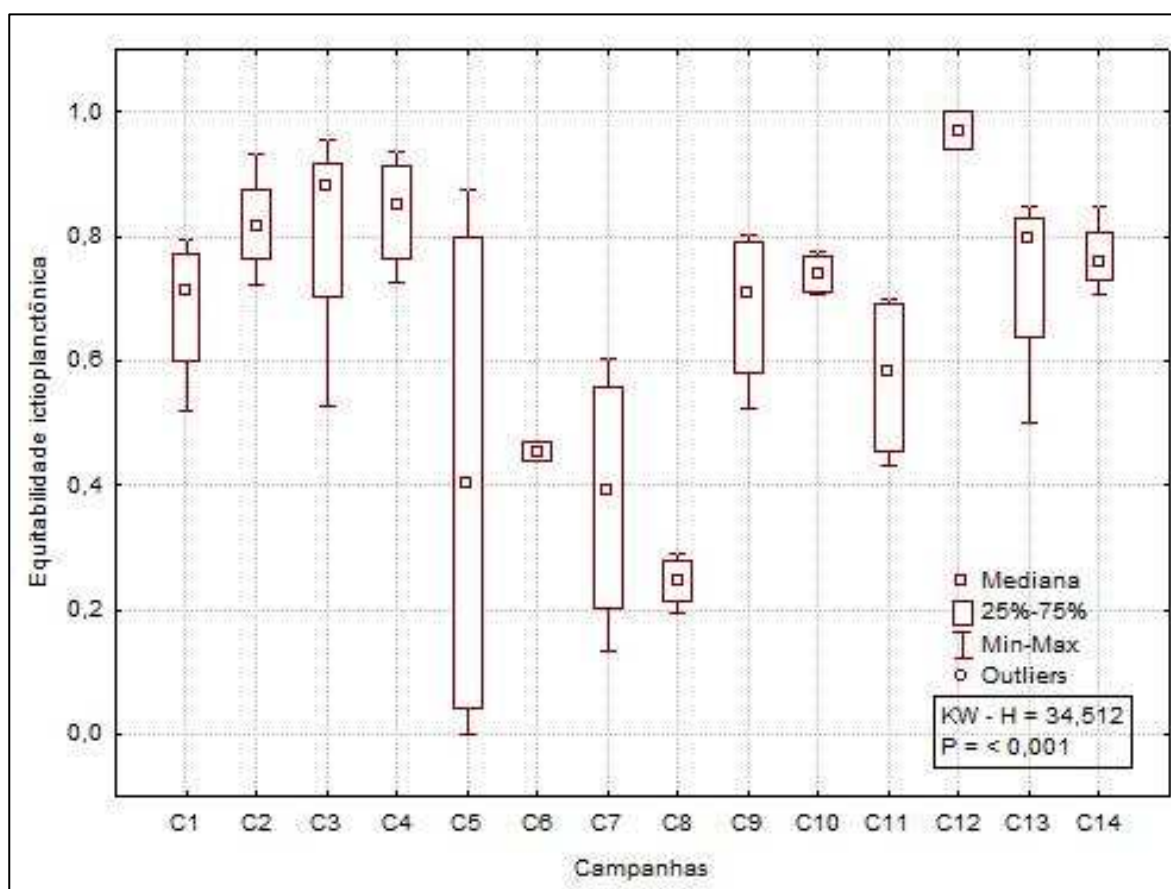


Figura V-64 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade médias das comunidades ictio planctônicas encontradas no PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Por fim, é importante ressaltar que todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, mas é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que a troca de laboratório ocorrida entre a sexta e a sétima e entre a décima primeira e décima segunda campanha tenha influenciado, em parte, nos resultados gerados e, conseqüentemente, nas diferenças encontradas para os parâmetros analisados. Somado a isso, destaca-se que os dados da sexta campanha representaram metade das amostras das campanhas anteriores, uma vez que parte das amostras não foi adequadamente preservada, podendo este fato também ter influenciado nos resultados obtidos.

V.2.3.4 - *Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton*

As amostras da estação MLZ_J1002 registraram os maiores valores de riqueza, em ambas os arrastos com 13 taxa, enquanto as amostras MLZ_M1000_500 e MLZ_J1002_300 registraram 11 e 7 taxa, respectivamente (Figura V-65). Perciformes ocorreu em todas as amostras e em maior número. Myctophiformes e Clupeiformes apenas não ocorreram em MLZ_M1000_500. Anguiliformes e Pleuronectiformes ocorreram apenas em MLZ_M1000_300 e MLZ_M1000_500. Stomiiformes ocorreu em MLZ_M1000_500 e MLZ_J1002_300. E Ophidiiformes ocorreu apenas em MLZ_J1002_500

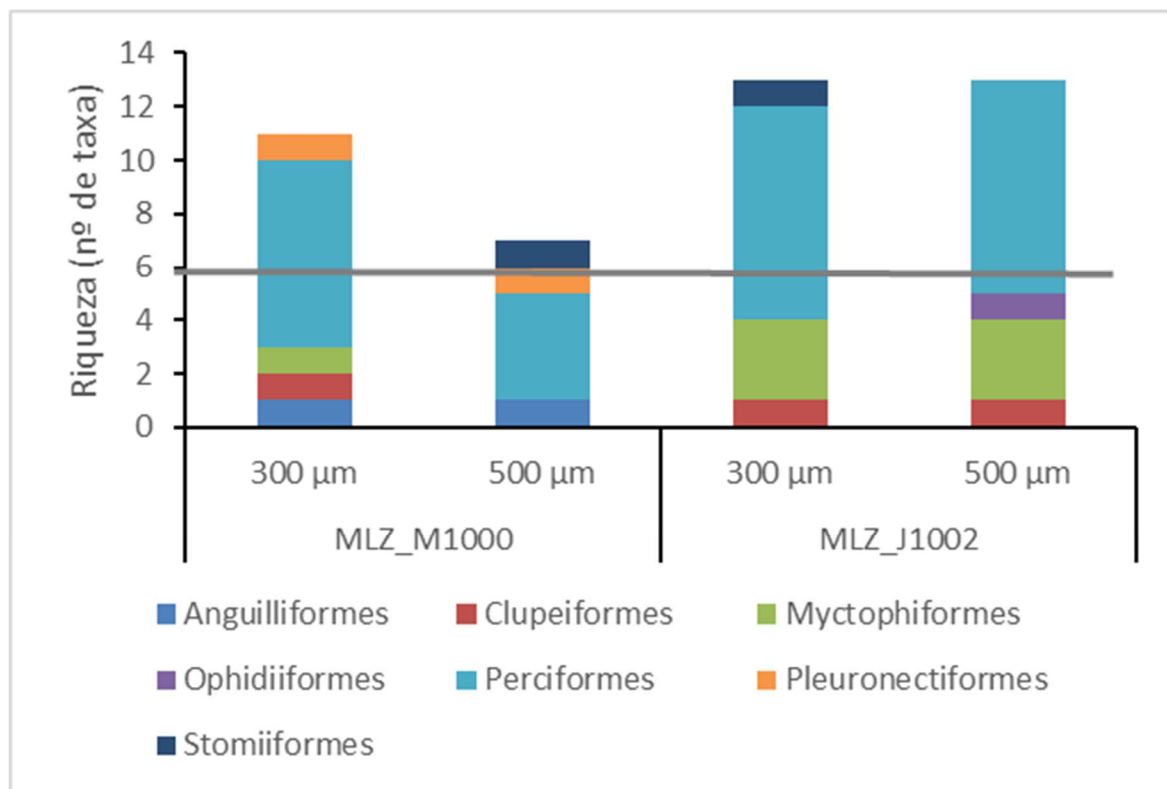


Figura V-65 – Riqueza (número de taxa) das ordens e classes ictioplanctônicas nas estações e redes da campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A densidade foi maior na amostra do arrasto com a rede de 300 µm de MLZ_J1002 (Figura V-66), sendo que as maiores contribuições em termos de densidade em todas as amostras foram devido à presença de Perciformes. Os demais registros contribuíram com menores densidades entre as amostras. Destaca-se, entretanto, importantes contribuições de Myctophiformes nas amostras de MLZ_J1002, e de Clupeiformes nas amostras obtidas com a rede de 300 µm. Ainda, destaca-se que pequenas variações entre as amostras podem não indicar um padrão de distribuição real desses organismos devido ao baixo número amostral.

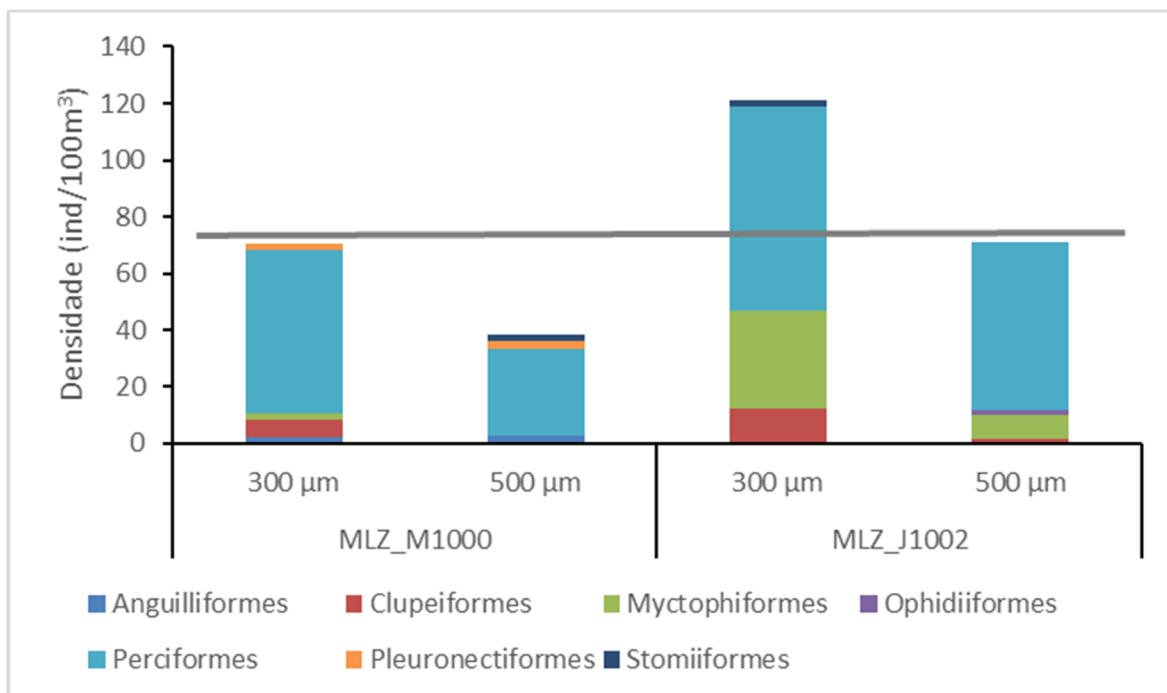


Figura V-66 – Densidade de organismos das ordens e classes ictioplanctônicas (ind/100m³) nas estações e redes da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A captura de larvas está muito relacionada com a dinâmica de migração desses organismos. As larvas de peixes, de maneira geral, costumam ocupar maiores profundidades durante o dia, realizando migração vertical em direção à superfície durante a noite (RÉ, 1984, 1986).

A observação de padrões em comunidades ictioplanctônicas depende de um esforço amostral superior, pois são organismos menos abundantes na coluna d'água se comparados com, por exemplo, o zooplâncton (BRANDINI *et al.*, 1997).

Na atual campanha foram observados baixos número de taxa e densidade. Além disso, as diferentes estações apresentaram tendências diferentes para a riqueza e densidade.

O índice de diversidade apresentou valores distintos entre as estações, contudo a equitabilidade variou pouco entre as amostras. As maiores diversidades foram observadas nas amostras da estação MLZ_J1002, com maiores valores na malha de 300 µm. Já a equitabilidade foi maior em MLZ_M1000 500. Contudo a diversidade foi baixa entre todas as amostras e a equitabilidade alta e, portanto,

esses resultados apontam para uma composição específica com baixa diversidade e com distribuição igualitária em todas as amostras (Figura V-67).

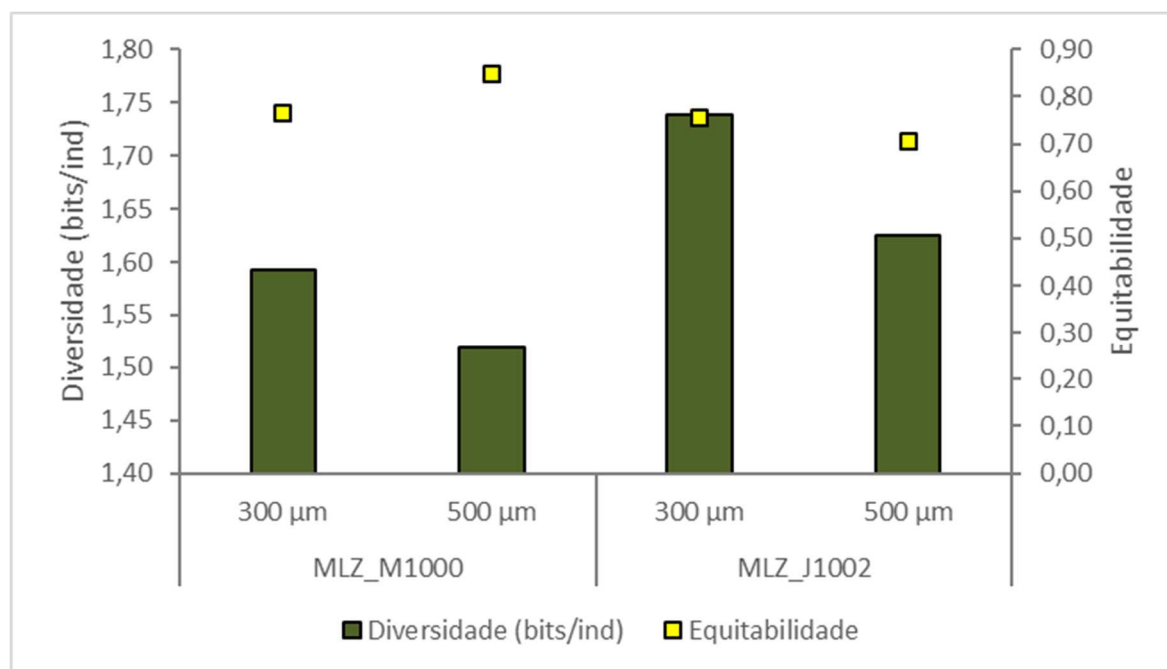


Figura V-67 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade ictioplancônica nas estações e redes da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

V.3 - QUALIDADE DE SEDIMENTO

V.3.1 - Granulometria e Teor de Carbonatos

Dados de composição e características granulométricas 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 a comunidade de macroinvertebrados bentônicos, por exemplo, constituindo um fator responsável pela estrutura e distribuição da comunidade em ecossistemas aquáticos (GONÇALVES *et al.*, 1998).

A análise granulométrica do sedimento fornece a distribuição dos grãos, conforme o diâmetro das partículas, além de medidas estatísticas que auxiliam na interpretação dos resultados (SUGUIO, 1973).

Nesta campanha de monitoramento, nas estações do entorno da plataforma houve predomínio da classe granulométrica areia muito grossa, que totalizou de 40,35 a 46,22% das amostras das estações MLZ_1, MLZ_2R, MLZ_5R, MLZ_6R e MLZ_9R, e de 24,14 a 27,07% das amostras das estações MLZ_3, MLZ_4, MLZ_7, MLZ_8 e MLZ_10, onde também houve boas contribuições de areia fina, variando de 18,45 a 22,39%. Em MLZ_10 também houve importantes contribuições de areia muito fina e silte, as maiores dentre todas as estações. Nas amostras do gasoduto, dominaram as classes areia fina e areia muito fina nas estações MLZ_D_1REP a MLZ_D_4R, e silte nas estações MLZ_D_5R a MLZ_D_8R, que chegou a representar contribuições superiores a 55% na estação MLZ_D_7R. Destaca-se também a estação MLZ_D_3R que, diferentemente das demais estações mais costeiras, também apresentou elevadas contribuições de sedimentos mais grosseiros, notadamente, areia muito grossa, areia grossa, grânulo e seixo (Figura V-68).

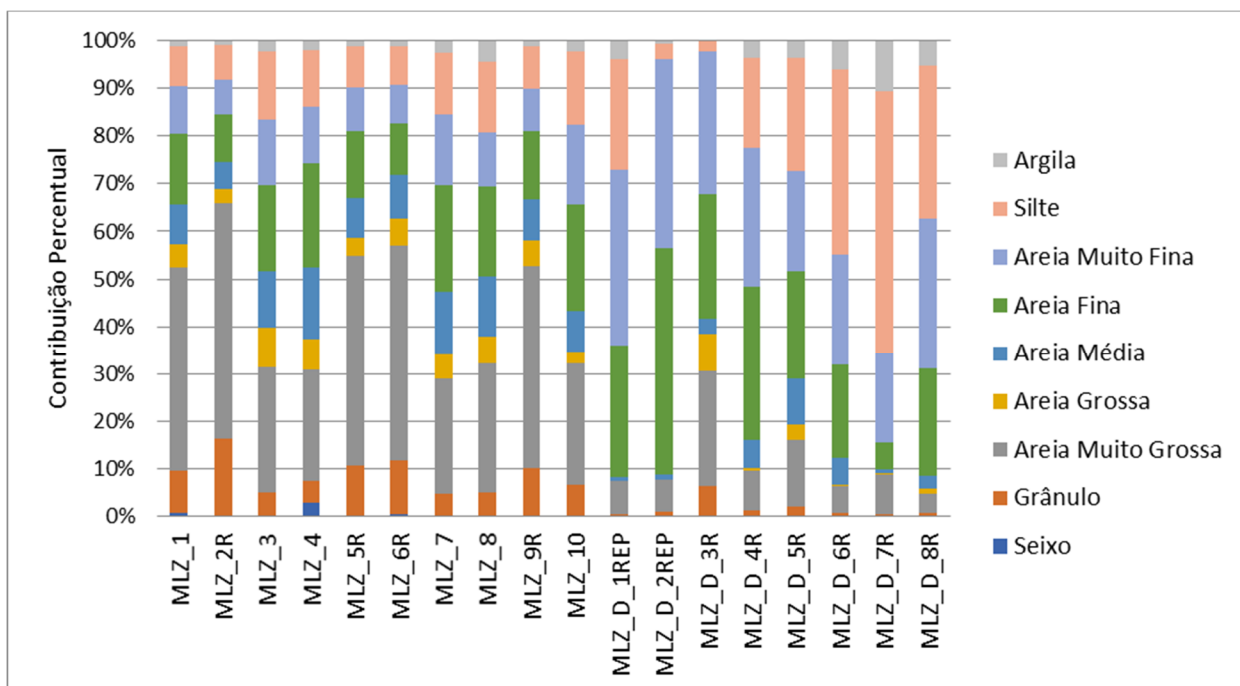


Figura V-68 – Contribuição percentual dos grãos do sedimento na atual campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A distribuição percentual dos grãos de sedimento e a classificação textural segundo o diagrama de Folk são apresentadas na Tabela V-18, onde se constatou que todas as amostras do entorno da plataforma, foram classificadas como areia

lamosa-cascalhenta, exceto MLZ_2R, classificada como areia cascalhenta. Já a maioria das amostras do gasoduto (MLZ_D_1REP, MLZ_D_4R, MLZ_D_5R, MLZ_D_6R e MLZ_D_8R), foram classificadas como areia lamosa ligeiramente cascalhenta. As estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3 apresentaram menores contribuições de lama e cascalho, sendo classificadas como areia ligeiramente cascalhenta e areia cascalhenta, respectivamente, enquanto a estação MLZ_D_7R diferenciou-se completamente das demais, sendo classificada como lama arenosa com cascalho esparso. Esta classificação evidencia menores teores de cascalho (somatório das classes seixo e grânulo) ao longo do gasoduto, exceto na estação MLZ_D_3R, e os menores teores de lama (somatório das classes silte e argila) nas estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R.

Tabela V-18 – Distribuição percentual dos grãos de sedimento e classificação textural de Folk na PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Estações	Seixo	Grânulo	Areia muito grossa	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte	Argila	Classificação Textural de Folk
MLZ_1	5,09	8,73	41,22	4,68	7,81	14,41	9,55	7,98	1,14	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_2R	7,78	14,92	46,22	2,81	5,36	9,23	6,82	6,60	0,92	Areia Cascalhenta
MLZ_3	0,20	4,92	26,52	8,61	11,71	18,45	13,80	14,28	2,26	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_4	0,23	4,90	24,14	6,76	15,52	22,39	12,45	12,29	1,87	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_5R	4,33	10,33	42,51	3,87	7,88	13,75	8,71	8,31	1,15	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_6R	3,42	11,26	44,17	5,45	8,84	10,66	7,93	7,83	1,07	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_7	0,41	4,49	24,22	5,22	13,34	22,32	14,61	13,12	2,41	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_8	0,77	4,96	27,07	5,77	12,46	18,80	11,37	14,74	4,48	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_9R	5,80	9,48	40,35	5,09	8,25	13,59	8,50	8,29	1,16	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_10	0,52	6,53	25,72	2,34	8,86	22,39	16,81	15,37	2,28	Areia Lamosa-Cascalhenta
MLZ_D_1REP	0,10	0,36	7,08	0,02	0,66	28,18	37,25	23,56	3,84	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta
MLZ_D_2REP	0,01	0,99	6,63	0,07	1,01	47,81	39,81	3,17	0,66	Areia Ligeiramente Cascalhenta
MLZ_D_3R	2,80	6,17	23,72	7,47	3,19	25,57	29,20	2,24	0,00	Areia Cascalhenta
MLZ_D_4R	0,00	1,06	8,43	0,71	5,91	32,53	29,07	19,14	3,51	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta
MLZ_D_5R	0,20	1,98	14,10	3,19	9,63	22,88	20,93	23,91	3,55	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta
MLZ_D_6R	0,03	0,61	5,74	0,09	5,75	19,80	23,36	38,82	6,12	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta
MLZ_D_7R	0,00	0,35	8,45	0,29	0,77	5,71	18,79	55,21	10,73	Lama arenosa com cascalho esparsa
MLZ_D_8R	0,04	0,50	4,22	1,13	2,70	22,77	31,44	32,41	5,15	Areia Lamosa Ligeiramente Cascalhenta

Na classificação por diâmetro médio (Tabela V-19), as estações no entorno da plataforma foram classificadas como areia média e grossa, enquanto as estações ao longo do gasoduto foram classificadas como areia muito fina, areia fina, com exceção da estação MLZ_D_3R, classificada como areia média, e da estação MLZ_D_7R, classificada como silte grosso.

Tabela V-19 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas das amostras de sedimento na PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Estações	Média	Diâmetro médio	Mediana	Seleção	Grau de Seleção	Assimetria	Assimetria	Curtose	Curtose
MLZ_1	0,74	Areia grossa	-0,11	2,04	Muito pobremente selecionado	0,52	Muito positiva	0,81	Platicúrtica
MLZ_2R	0,32	Areia grossa	-0,40	1,92	Pobremente selecionado	0,60	Muito positiva	0,88	Platicúrtica
MLZ_3	1,77	Areia média	1,86	2,04	Muito pobremente selecionado	-0,03	Aproximadamente simétrica	0,66	Muito platicúrtica
MLZ_4	1,74	Areia média	1,92	1,97	Pobremente selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	0,72	Platicúrtica
MLZ_5R	0,70	Areia grossa	-0,16	2,03	Muito pobremente selecionado	0,53	Muito positiva	0,82	Platicúrtica
MLZ_6R	0,64	Areia grossa	-0,19	1,98	Pobremente selecionado	0,55	Muito positiva	0,87	Platicúrtica
MLZ_7	1,75	Areia média	1,95	2,00	Muito pobremente selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	0,69	Platicúrtica
MLZ_8	1,84	Areia média	1,93	2,13	Muito pobremente selecionado	-0,03	Aproximadamente simétrica	0,66	Muito platicúrtica
MLZ_9R	0,70	Areia grossa	-0,13	2,00	Pobremente selecionado	0,54	Muito positiva	0,80	Platicúrtica
MLZ_10	1,91	Areia média	2,29	2,12	Muito pobremente selecionado	-0,21	Negativa	0,65	Muito platicúrtica
MLZ_D_1REP	3,38	Areia muito fina	3,38	1,35	Pobremente selecionado	-0,20	Negativa	1,46	Leptocúrtica
MLZ_D_2REP	2,90	Areia fina	2,87	1,05	Pobremente selecionado	-0,21	Negativa	1,59	Muito leptocúrtica
MLZ_D_3R	1,70	Areia média	2,27	1,90	Pobremente selecionado	-0,41	Muito negativa	0,64	Muito platicúrtica
MLZ_D_4R	3,13	Areia muito fina	3,05	1,41	Pobremente selecionado	-0,11	Negativa	1,36	Leptocúrtica
MLZ_D_5R	2,46	Areia fina	2,92	1,99	Pobremente selecionado	-0,30	Muito negativa	0,93	Mesocúrtica
MLZ_D_6R	3,57	Areia muito fina	3,78	1,91	Pobremente selecionado	-0,10	Aproximadamente simétrica	1,85	Muito leptocúrtica
MLZ_D_7R	4,07	Silte grosso	4,29	1,83	Pobremente selecionado	-0,20	Negativa	2,98	Muito leptocúrtica
MLZ_D_8R	3,53	Areia muito fina	3,60	1,77	Pobremente selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,92	Muito leptocúrtica

O sedimento analisado nas estações amostradas durante a atual campanha apresentou valores de média variando entre 0,32 Φ (MLZ_2R) e 4,07 Φ (MLZ_D_7R), e os valores de mediana, entre -0,40 Φ (MLZ_2R) e 4,29 Φ (MLZ_D_7R) (Tabela V-19).

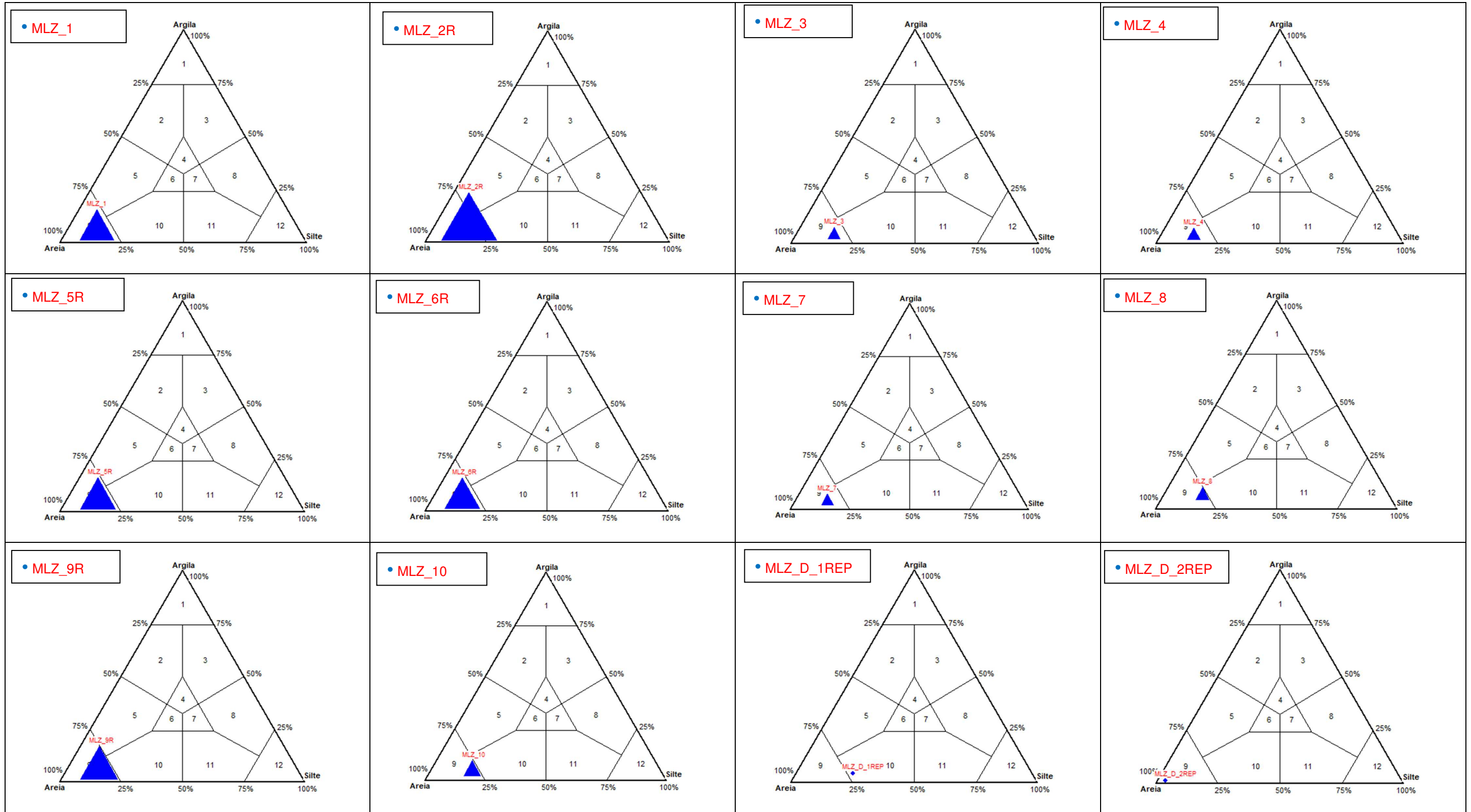
O grau de seleção é dado pela predominância de uma ou mais classes granulométricas. Um sedimento altamente selecionado apresenta predominância de uma classe granulométrica enquanto um sedimento pobremente selecionado (entre 1,00 e 2,00) é composto por duas ou mais classes (SUGUIO, 1973). Na atual campanha, o selecionamento variou entre 1,05 e 2,13, sendo classificado como pobremente a muito pobremente selecionado. Estes resultados devem-se a uma falta de dominância das classes ao longo do gasoduto, que apresentaram altas contribuições de areia fina, areia muito fina e silte em quase todas as estações e de areia muito grossa acompanhada tanto de sedimentos mais finos (areia fina e lama), quanto das frações mais grosseiras nas estações do entorno da plataforma (Tabela V-19).

A Tabela V-19 mostra que a assimetria dos grãos variou entre -0,41 (estação MLZ_D_3R) e 0,60 (estação MLZ_2R). A assimetria da distribuição granulométrica é calculada pela diferença entre valores de média e mediana (SUGUIO, 1973) e indica a tendência da amostra em apresentar material mais grosso ou mais fino do que a média (DIAS, 2004). Para a atual campanha, as estações no entorno da plataforma apresentaram, majoritariamente, distribuição aproximadamente simétrica a muito positiva, refletindo maior tendência das amostras de apresentar sedimentos mais grosseiros em relação à média, com exceção da estação MLZ_10, que apresentou assimetria negativa. Já as estações do gasoduto foram, principalmente, classificadas como negativa a muito negativa, refletindo tendência a sedimentos mais finos que a média, com exceção das estações MLZ_D_6R e MLZ_D_8R, classificadas como aproximadamente simétricas (Tabela V-19).

Em relação à curtose, os valores ficaram entre 0,64 na estação MLZ_D_3R e 2,98 na estação MLZ_D_7R (Tabela V-19). As estações do entorno da plataforma foram classificadas como platicúrtica e muito platicúrtica. As classificações foram bastante variáveis no trecho mais costeiro e mediano do gasoduto, entre as estações MLZ_D_1REP a MLZ_D_5R, que apresentou desde distribuição muito

platicúrtica (MLZ_D_3R) a muito leptocúrtica (MLZ_D_2REP). No trecho mais profundo do gasoduto, entre as estações MLZ_D_6R e MLZ_D_8R, as estações foram todas classificadas como muito leptocúrticas (Tabela V-19). Segundo Machado (2010), curvas mais platicúrticas, conforme verificado no entorno da plataforma e na estação MLZ_D_3R do gasoduto, são indicativas de ambientes deposicionais, enquanto curvas mais leptocúrticas, verificadas ao longo do gasoduto, são indicativas de ambiente de transporte. A maior variabilidade dos valores de curtose do gasoduto demonstra ainda maior diversidade de ambientes e maior dinamismo ao longo desta área.

Nos diagramas de Shepard (Figura V-69), estão representadas as estações de amostragem da atual campanha de monitoramento. Nestes diagramas pode-se constatar que todas as estações amostradas no entorno da plataforma e a maioria das estações ao longo do gasoduto estão situadas na classe 9, correspondente à classe areia, exceto as estações MLZ_D_1REP, MLZ_D_5R, MLZ_D_6R e MLZ_D_8R, que se situaram na classe 10, correspondente a areia síltica, e a estação MLZ_D_7R, situada na classe 11, correspondente a silte arenoso.



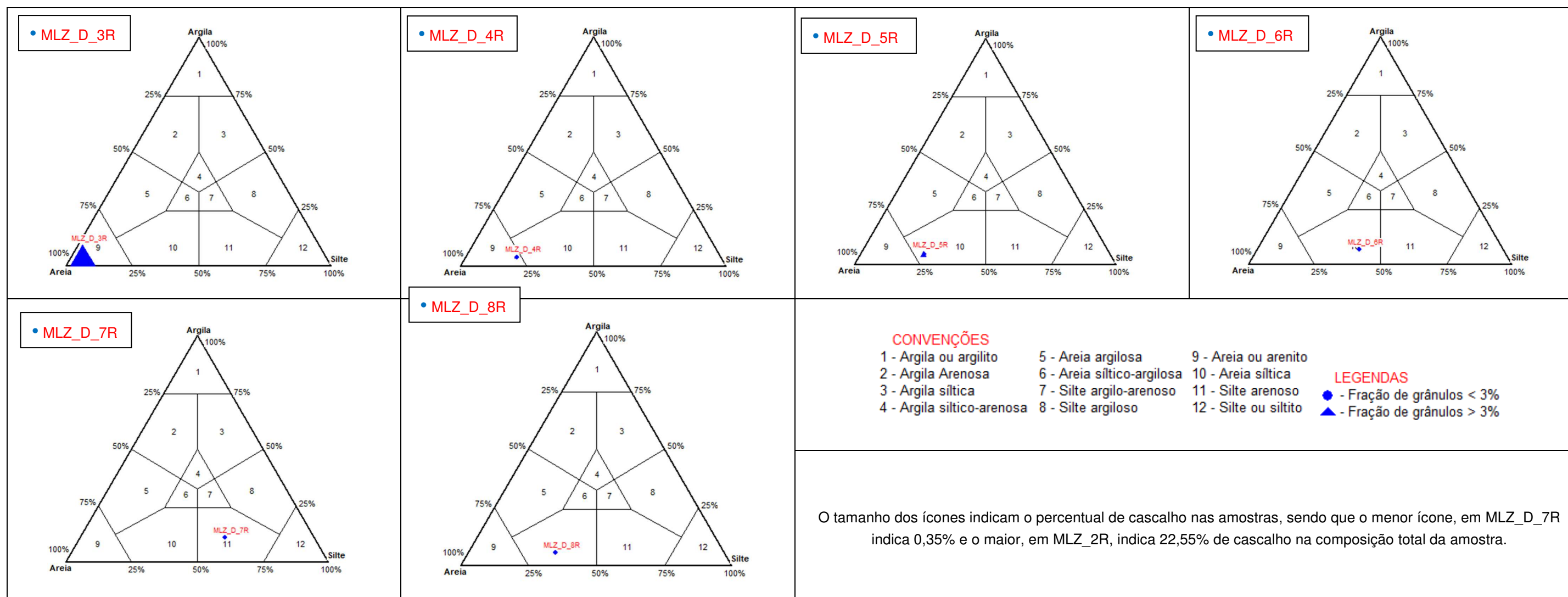


Figura V-69 – Diagramas de Shepard para as amostras de sedimento obtidas na atual campanha de monitoramento.

Na Figura V-70 é apresentada a distribuição espacial da granulometria das estações amostradas na atual campanha, onde silte e argila compõem a fração fina e o cascalho, junto com todas as classes de areia, compõem a fração grosseira. Optou-se pela inclusão de todas as frações granulométricas e a comparação em frações finais e grosseiras para fins de uma avaliação mais generalista do ambiente. Observa-se que existe predomínio da fração grosseira sobre a fina na maioria das estações, exceto nas estações MLZ_D_6R e MLZ_D_7R e MLZ_D_8R, na porção profunda do gasoduto. Nota-se ainda maior variação no predomínio da fração grosseira das estações o gasoduto. O padrão observado pode ser relacionado com maiores aportes continentais nas estações mais costeiras e maior dinamismo na região do gasoduto, que perpassa por diferentes ambientes, não sendo verificado um padrão de distribuição granulométrica que pudesse ser associado a atividade ou a possíveis influências das estruturas de fundo instaladas da atividade de Merluza.

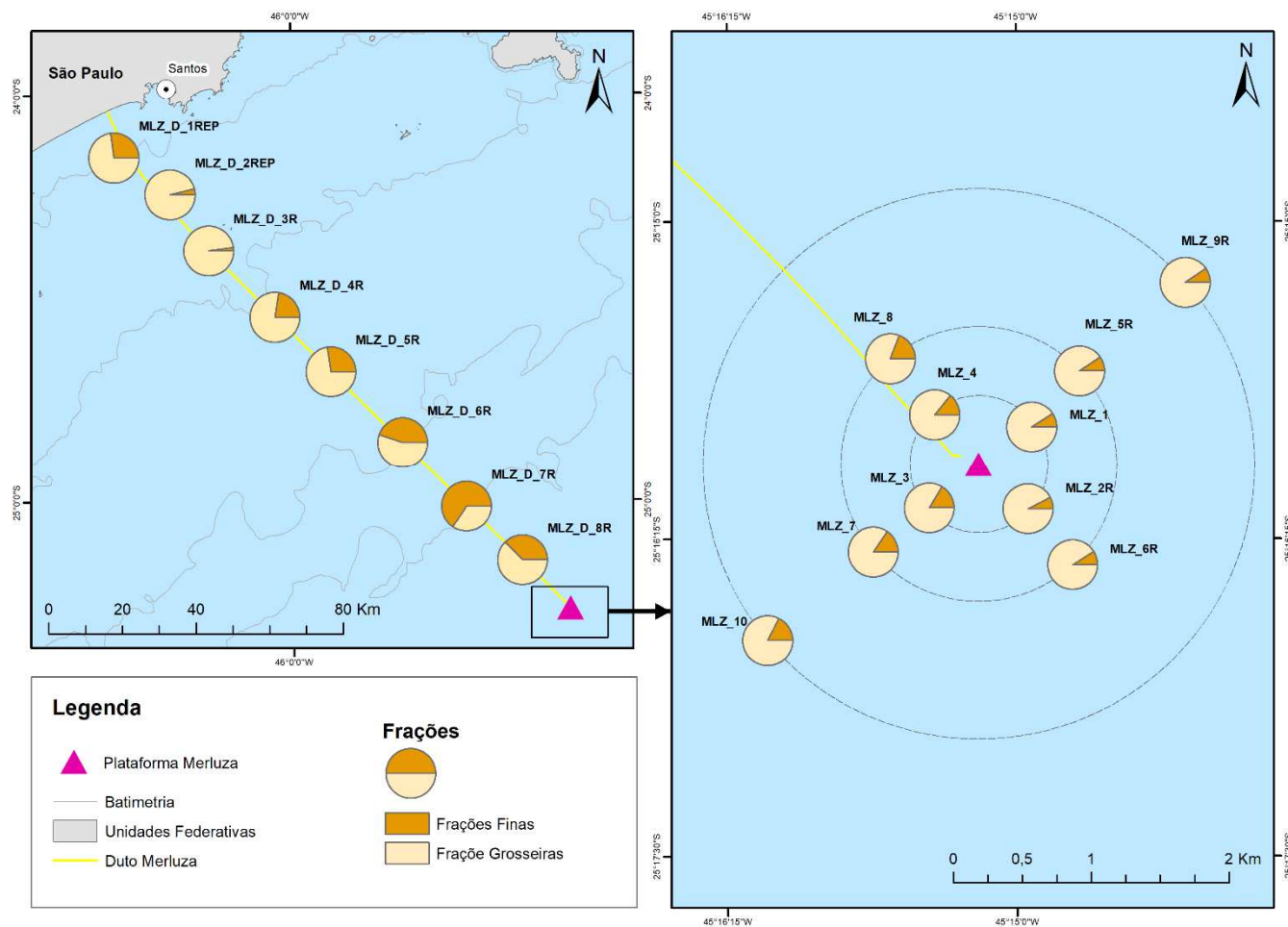


Figura V-70 – Distribuição espacial das frações finas e grosseiras do sedimento na PMAEpro-BS_MLZ_C14.

Os resultados dos testes estatísticos realizados entre cada um dos parâmetros granulométricos medidos durante a atual campanha podem ser conferidos na Tabela V-20.

Tabela V-20 – *Análise de variância das frações granulométricas das estações de sedimento durante a PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste.*

	Cas	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Arg
F	-	-	-	-	-	-	93,401	-
H	46,156	48,447	48,960	49,097	46,861	49,760	-	47,555
p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Cas: cascalho (seixo + grânulo); AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; Arg: argila.

Na comparação dos dados de granulometria entre as estações foi observada diferença significativa para todas as frações granulométricas. Para o cascalho, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais estações foram as diferenças. Para a areia muito grossa, as estações MLZ_2R e MLZ_6R diferiram da estação MLZ_D_8R (Tukey, $p < 0,05$). Para a areia grossa, a estação MLZ_3 diferiu das estações MLZ_D_1REP, e MLZ_D_6R, e a estação MLZ_D_3R diferiu da estação MLZ_D_1REP (Tukey, $p < 0,05$). Para a areia média, a estação MLZ_4 diferiu das estações MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP e MLZ_D_7R, e a estação MLZ_7, diferiu de MLZ_D_1REP (Tukey, $p < 0,05$). Para a areia fina, a estação MLZ_D_2REP diferiu das estações MLZ_2R, MLZ_6R e MLZ_D_7R, e a estação MLZ_D_4R diferiu de MLZ_D_7R (Tukey, $p < 0,05$). Para a areia muito fina, a estação MLZ_6R diferiu de MLZ_D_2REP (Tukey, $p < 0,05$). Para o silte, as estações MLZ_D_6R, MLZ_D_7R e MLZ_D_8R diferiram de todas as estações, porém MLZ_D_6R e MLZ_D_8R, não diferiram entre si; MLZ_D_5R diferiu da maioria das estações, exceto de MLZ_D_1REP e MLZ_D_4R; MLZ_D_1REP diferiu da maioria das estações, exceto de MLZ_D_4R e MLZ_D_5R; MLZ_D_4R diferiu da maioria das estações, exceto de MLZ_3, MLZ_4, MLZ_7, MLZ_8 e MLZ_10; MLZ_10 diferiu de MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R, MLZ_2R e MLZ_6R; MLZ_3 diferiu de MLZ_2R, MLZ_D_2REP, e MLZ_D_3R, e; MLZ_4 e MLZ_7 diferiram de MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R (Tukey, $p < 0,05$). Para

a argila, a estação MLZ_D_3R diferiu das estações MLZ_D_6R e MLZ_D_7R (Tukey, $p < 0,05$).

Considerando as frações predominantes nas campanhas anteriores (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023) serem areia fina e areia muito fina (Tabela V-23), foram selecionadas essas classes granulométricas, como mais representativas para as comparações estatísticas, estação a estação.

Na análise comparativa das contribuições de areia fina de cada estação entre as sucessivas campanhas, mostradas na Tabela V-24, foram detectadas diferenças significativas em todos os casos. Porém, para a estação MLZ_7, através de teste *a posteriori*, não foi possível identificar entre quais campanhas ocorreram tais diferenças. Nas demais estações, as diferenças foram bastante difusas, porém, mais frequentemente encontradas entre a quinta e a nona campanha com as demais campanhas, para as estações ao longo do duto, e entre a segunda, a nona e a décima campanha com as demais campanhas, para as estações do entorno da plataforma.

Tabela V-21 – Análise de variância dos valores de areia fina e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 37,611 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13		X							X		X			
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 5,485 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11	X							X						
	C12											X			
	C13		X			X				X	X	X			
	C14		X			X				X	X	X			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3	C1														
ANOVA	C2	X													
F = 9,618	C3														
P = <0,001	C4														
	C5	X													
	C6		X												
	C7														
	C8														
	C9	X					X								
	C10														
	C11														
	C12		X			X				X					
	C13		X	X	X	X				X	X	X			
	C14		X			X				X	X	X			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4	C1														
ANOVA	C2														
F = 21,462	C3														
P = <0,001	C4														
	C5														
	C6	X	X	X	X	X									
	C7						X								
	C8						X								
	C9	X			X		X								
	C10					X									
	C11					X									
	C12	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			
	C13	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			
	C14	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 44,319 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 38,468 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 36,256 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 32,774 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 37,182 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 ANOVA F = 8,945 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 23,601 P = 0,009	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F = 15,235 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 26,125 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 26,029 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 20,315 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 24,976 P = 0,005	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 29,447 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R KW H = 29,241 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na análise comparativa das contribuições de areia muito fina de cada estação entre as sucessivas campanhas, mostrada na Tabela V-22, foram detectadas diferenças significativas em todos os casos.

As principais diferenças encontradas nas estações no entorno da plataforma foram entre as estações MLZ_1R e MLZ_10, cujas diferenças ocorreram entre a maioria das campanhas. Nas amostras do gasoduto, destacam-se as estações MLZ_D_3R e MLZ_D_8R que apresentaram a maioria das diferenças entre as campanhas.

Tabela V-22 – Análise de variância dos valores de areia muito fina e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 ANOVA F = 33,420 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 34,355 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 33,288 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 37,238 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 36,885 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
MLZ_6R KW H = 34,772 P = <0,001	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 30,540 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 38,850 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 36,294 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 ANOVA F = 33,996 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 27,829 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 25,005 P = 0,005	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R ANOVA F = 31,858 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 21,501 P = 0,018	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 5,035 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 27,501 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 27,872 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 18,988 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na Tabela V-23 são apresentadas as principais medidas e classificações das curvas granulométricas nas campanhas anteriores do monitoramento de Merluza. Os dados de frações predominantes das campanhas anteriores, com predomínio de areia fina e muito fina foram semelhantes aos encontrados na atual campanha para as estações do gasoduto, enquanto nas estações do entorno da plataforma houve predomínio de areia média e grossa. Os sedimentos das campanhas anteriores também foram classificados como muito pobremente selecionados e pobremente selecionados, devido a falta de predominância de mais de classes granulométricas específicas na composição dos sedimentos das estações. Os valores de média e mediana da atual campanha aproximam-se dos resultados verificados em C13. As demais campanhas apresentaram faixas de valores mais variáveis entre si, mas com dados mínimos sempre superiores aos das campanhas C13 e C14, indicando menor representatividade dos sedimentos mais grosseiros. A assimetria da atual campanha teve predominância das classes aproximadamente assimétrica, muito positiva e muito negativa. Não indicando a predominância de uma classe específica como nas campanhas anteriores, mas sim de três classes. Em relação à curtose, a classificação platicúrtica foi predominante, se assemelhando à sexta e à décima terceira campanha.

Tabela V-23 – Principais medidas e classificações das curvas granulométricas do sedimento nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

	Frações predominantes	Seleção	Média	Mediana	Assimetria	Curtose
C1 MLZ ¹	Areia fina	Pobrememente selecionado	1,41 – 2,38	1,59 – 2,68	Negativa	Leptocúrtica
C2 MLZ ²	Areia fina	Pobrememente selecionado	3,10 – 3,76	2,87 – 3,63	Positiva/ Muito positiva	Leptocúrtica
C3 MLZ ³	Areia fina	Pobrememente selecionado	3,35 – 3,82	3,16 – 3,90	Positiva/ Muito positiva	Leptocúrtica
C4 MLZ ⁴	Areia fina	Pobrememente selecionado	1,58 – 3,62	1,87 – 3,50	Aproximadamente simétrica	Leptocúrtica
C5 MLZ ⁵	Areia fina	Pobrememente selecionado	1,15 – 3,00	1,51 – 2,96	Negativa	Leptocúrtica
C6 MLZ ⁶	Areia fina	Muito pobremente selecionado	1,80 – 3,90	1,62 – 3,16	Positiva/ Muito positiva	Platicúrtica
C7 MLZ ⁷	Areia fina	Muito pobremente selecionado	1,87 – 6,65	2,25 – 7,21	Positiva/ Muito positiva	Muito leptocúrtica
C8 MLZ ⁸	Areia fina	Muito pobremente selecionado	1,89 – 3,65	1,99 – 3,09	Positiva	Leptocúrtica/Muito leptocúrtica
C9 MLZ ⁹	Areia fina	Pobrememente selecionado	2,89 – 5,10	2,70 – 4,57	Muito positiva	Muito leptocúrtica
C10 MLZ ¹⁰	Areia fina Areia muito fina	Muito pobremente selecionado	2,89 – 5,57	2,75 – 5,08	Muito positiva	Muito leptocúrtica
C11 MLZ ¹¹	Areia fina	Pobrememente selecionado	3,18 – 7,09	2,74 – 7,88	Muito positiva	Muito platicúrtica
C12 MLZ ¹²	Areia fina	Pobrememente selecionado	1,04 – 4,08	1,22 – 3,79	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
C13 MLZ ¹³	Areia fina Areia muito fina Areia grossa	Muito pobremente selecionado	0,18 – 3,50	-0,10 – 3,79	Aproximadamente simétrica	Platicúrtica

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

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 provém de organismos planctônicos, enquanto, nas plataformas continentais, a acumulação do carbonato de cálcio (CaCO_3) é principalmente processada por organismos bentônicos, como moluscos, foraminíferos, briozoários e corais (DIAS, 2004).

Segundo o PRC-BS (Petrobras, 2022b) uma zona carbonática (CB) abrange toda a isóbata de 150 m de profundidade ao longo da Bacia de Santos, com uma interrupção próxima da longitude 46°W. Esta zona é um depósito de algas calcárias formado durante o Quaternário como consequência das oscilações do nível do mar (Dominguez et al., 2013 *apud* Petrobras, 2022b; Santos Filho et al., 2022 *apud* Petrobras, 2022b) que se destaca pelas altas porcentagens de carbonato no sedimento, maiores concentrações de fósforo inorgânico e baixas densidades de Nematoda. A predominância de carbonatos com baixa porcentagem de sedimentos finos nesta zona indica uma potencial área de alta hidrodinâmica, condizente com o fluxo principal da Corrente do Brasil presente ao longo da quebra da plataforma, predominantemente oligotrófica e com baixas taxas de sedimentação (Mahiques et al., 2004 *apud* Petrobras, 2022; Brandini et al., 2018 *apud* Petrobras, 2022b).

Os valores de concentrações médias de carbonato observados na atual campanha variaram entre $4,53 \pm 0,31\%$ (MLZ_D_2REP) e $23,73 \pm 4,08\%$ (MLZ_D_8R) com média entre as estações de $19,09 \pm 5,55\%$ (Tabela V-24 e Figura V-71). Foram encontradas diferenças significativas nas concentrações de carbonato entre as estações desta campanha de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), porém, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais estações foram observadas as diferenças.

Tabela V-25 – Concentrações médias de carbonato no sedimento e desvio padrão (%) na PMAEpro-BS_MLZ_C14.

Estações	Carbonato (%)		
	Média		Desvio padrão
MLZ_1	22,47	±	2,51
MLZ_2R	21,93	±	2,85
MLZ_3	21,03	±	1,76
MLZ_4	19,47	±	0,78
MLZ_5R	19,40	±	0,79
MLZ_6R	21,57	±	2,56
MLZ_7	20,20	±	1,90
MLZ_8	22,57	±	3,09
MLZ_9R	21,40	±	0,96
MLZ_10	22,70	±	1,05
MLZ_D_1REP	5,87	±	1,02
MLZ_D_2REP	4,53	±	0,31
MLZ_D_3R	21,03	±	11,08
MLZ_D_4R	13,07	±	2,43
MLZ_D_5R	21,93	±	5,06
MLZ_D_6R	19,30	±	2,46
MLZ_D_7R	21,43	±	2,65
MLZ_D_8R	23,73	±	4,08

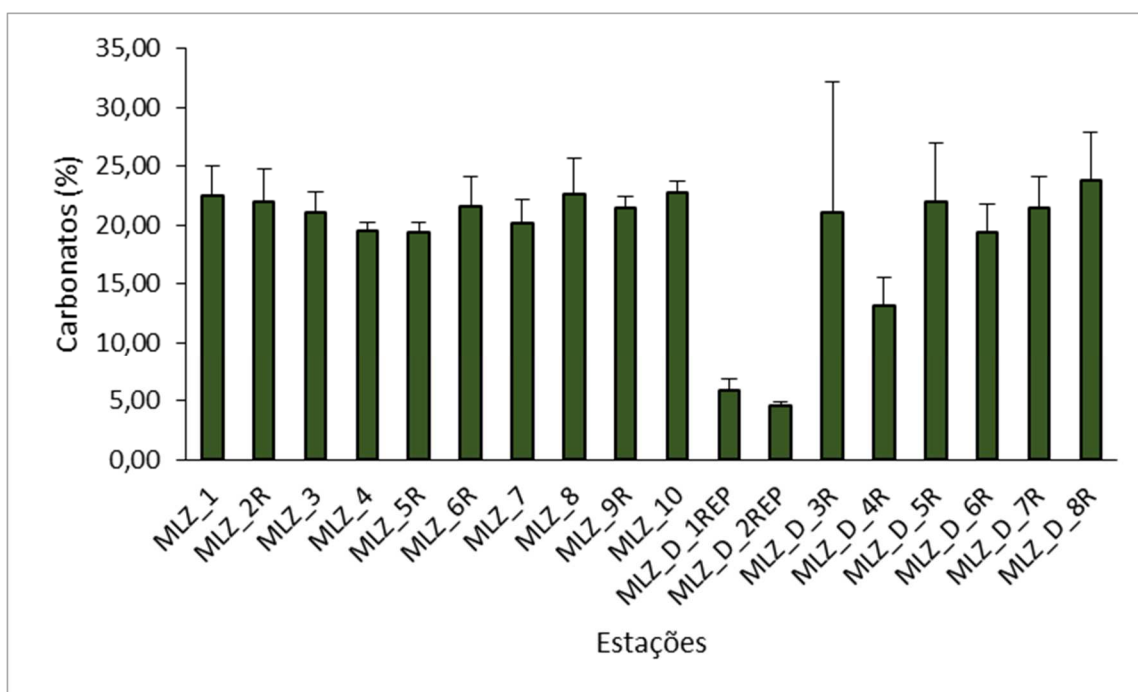


Figura V-71 – Concentrações médias de carbonato e desvio padrão (%) obtidas no sedimento da atual campanha de monitoramento ambiental. A barra verde representa os valores médios ± desvio-padrão.

Conforme classificação de Larssonneur (1977), os sedimentos de todas as estações amostradas foram classificados como litoclásticos ($\text{CaCO}_3 < 30\%$). Amaral *et al.* (2004) encontraram esse mesmo padrão no sedimento da plataforma continental no estado de São Paulo (setor SP), principalmente nas amostras com granulometrias mais finas, classificadas como areia síltica e silte arenoso, que apresentaram baixo conteúdo de carbonato de cálcio ($\text{CaCO}_3 < 30\%$).

A análise da distribuição espacial dos dados de carbonatos indica um padrão de crescimento das concentrações da região costeira em direção às regiões mais afastadas da costa e mais profundas. O PCR-BS (Petrobras, 2022b) destaca a elevação das concentrações de carbonato na isóbata de 150 m ao longo de quase toda a Bacia, relacionada com a ocorrência de bioconstruções e fácies bioclásticas (Santos Filho *et al.*, 2022), demonstrando que o comportamento do parâmetro em questão têm associação com fatores naturais (Figura V-72).

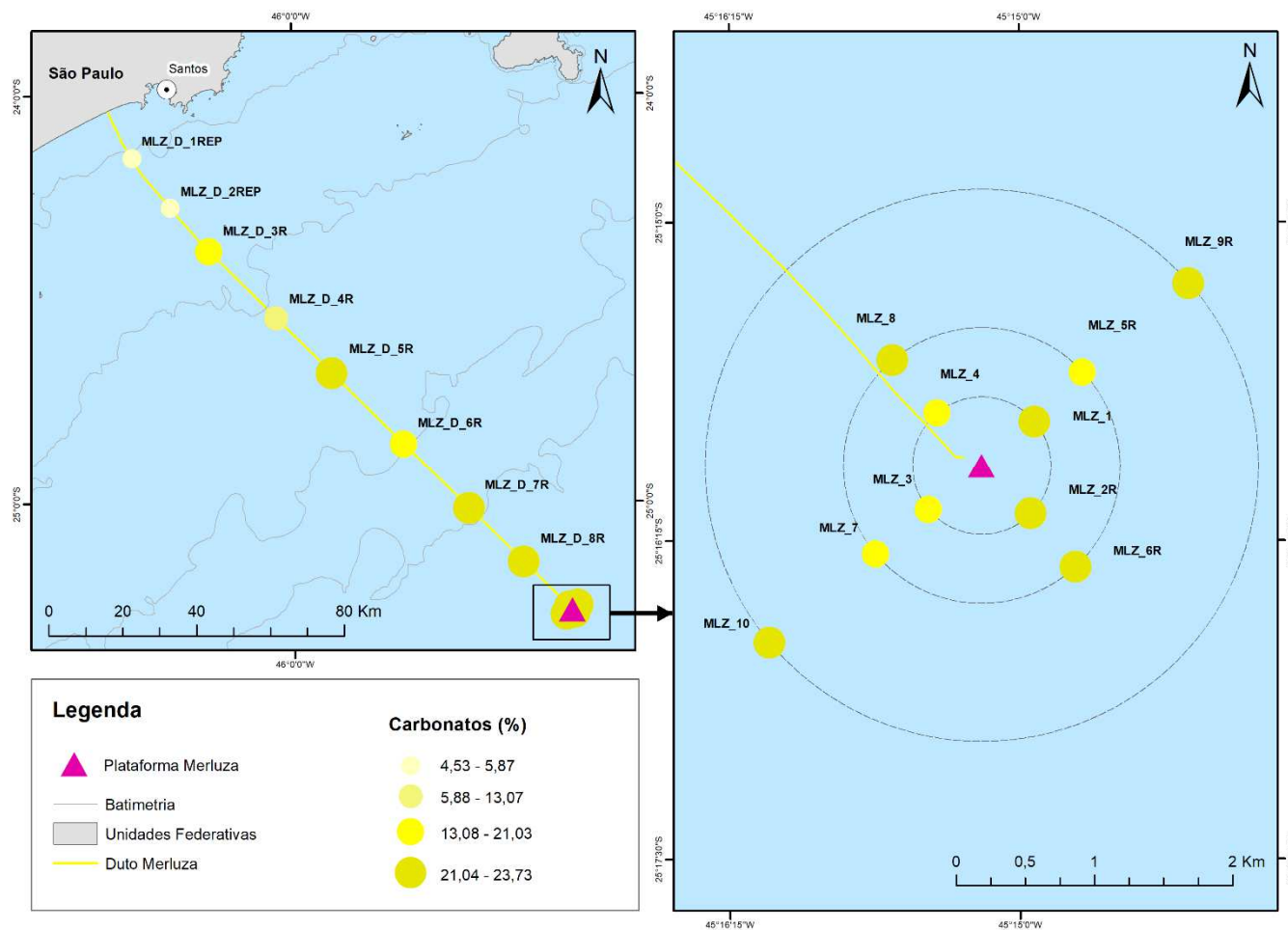


Figura V-72 – Distribuição espacial de concentração de carbonato no sedimento da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Os resultados encontrados, embora mais baixos em relação à maioria das campanhas, estão dentro da faixa de concentrações observadas nas campanhas de monitoramento anteriores, aproximando-se mais dos resultados verificados em C3, C5 e C7 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023).

Tabela V-26 – Concentrações de carbonatos (%) encontradas no sedimento no PMAEpro_PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	Carbonatos (%)	
	Min.	Máx.
C1 MLZ ¹	30,84	62,71
C2 MLZ ²	41,47	65,29
C3 MLZ ³	18,67	24,87
C4 MLZ ⁴	3,03	17,27
C5 MLZ ⁵	19,00	22,87
C6 MLZ ⁶	36,47	51,72
C7 MLZ ⁷	0,60	29,77
C8 MLZ ⁸	37,79	49,34
C9 MLZ ⁹	1,42	52,33
C10 MLZ ¹⁰	n.d.	46,87
C11 MLZ ¹¹	n.d.	67,61
C12 MLZ ¹²	38,73	51,70
C13 MLZ ¹³	1,82	10,45

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010); 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012); 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-73 e Figura V-74 são apresentadas as faixas de porcentagem de carbonato obtidas nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ, sendo que a Figura V-3 apresenta as estações amostradas no entorno da plataforma e a Figura V-4, as estações ao longo do gasoduto, que não foram amostradas nas campanhas C1, C2 e C8. É possível verificar que a 9ª e a 11ª campanhas mostraram uma variação mais ampla de carbonato tanto para as amostras da plataforma quanto para as amostras do gasoduto.

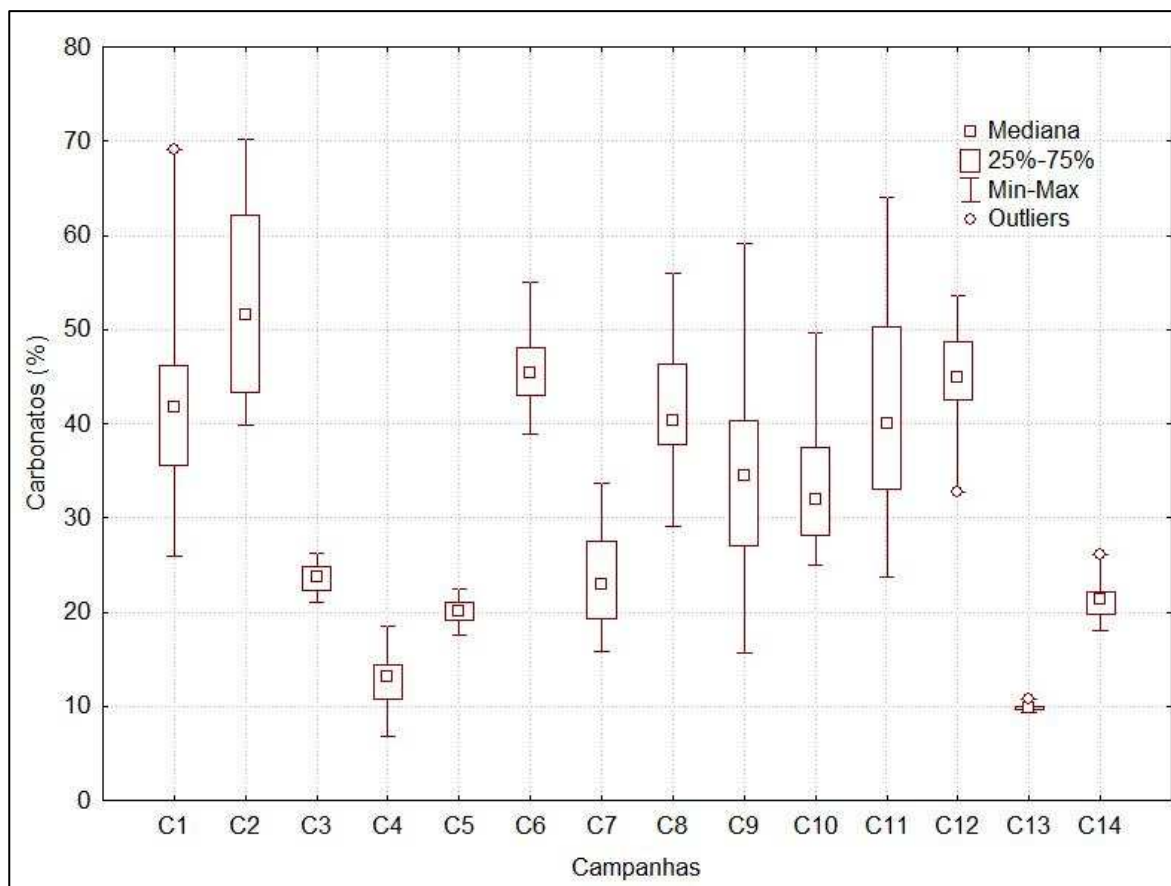


Figura V-73 – Teores médios de carbonato (%) observados no entorno da plataforma do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

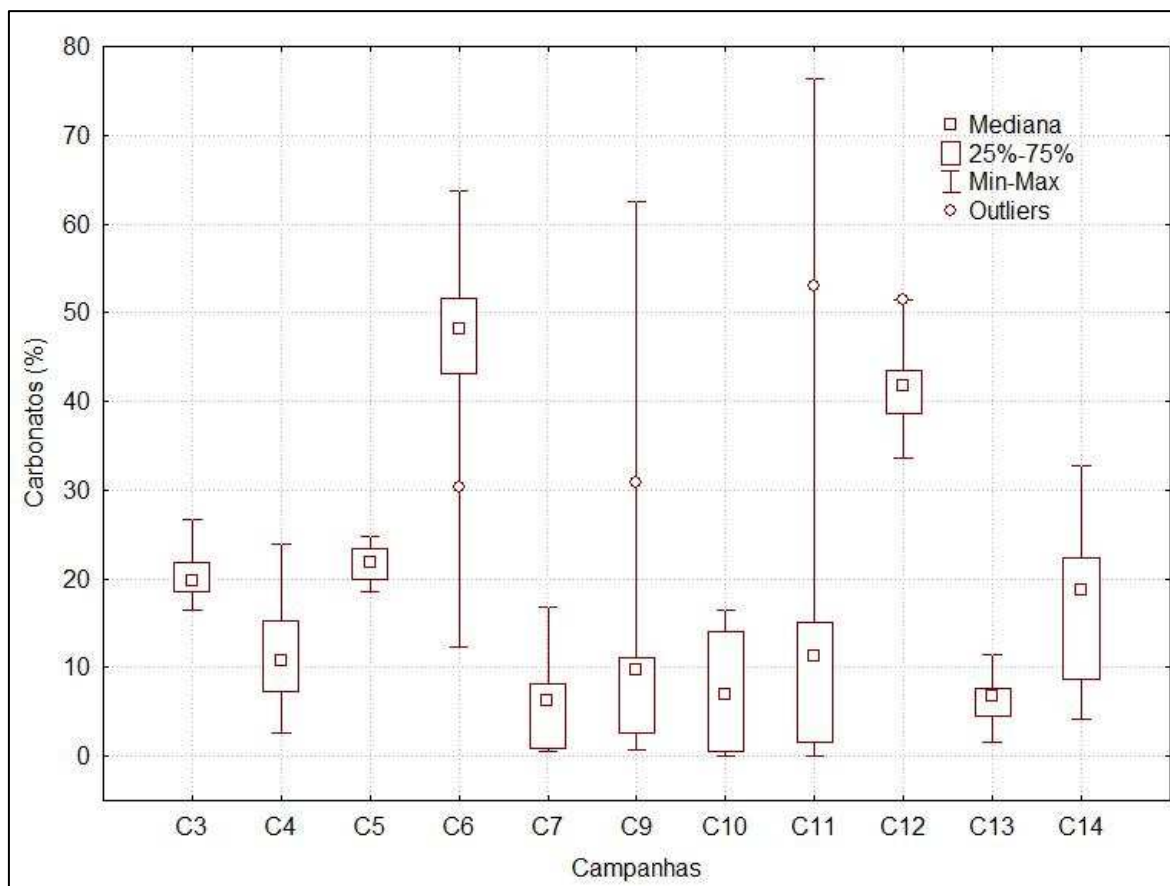


Figura V-74 – Teores médios de carbonato (%) observados ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa dos resultados de cada uma das estações entre as sucessivas campanhas, foram detectadas diferenças significativas em todos os casos, conforme Tabela V-27. As principais diferenças observadas ocorreram nas estações no entorno da plataforma, em MLZ_1, MLZ_6R, MLZ_7 e MLZ_8, mas também na amostra MLZ_D_7R do gasoduto. Importante ressaltar que os métodos e os limites de detecções utilizados foram semelhantes entre as campanhas (LD = 0,1%, exceto para as três primeiras campanhas, onde o limite de detecção não foi estabelecido).

Tabela V-27 - Análise de variância dos valores de carbonatos e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p , probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1	C1														
ANOVA	C2	X													
$F = 34,941$	C3	X	X												
$P = <0,001$	C4	X	X												
	C5	X	X												
	C6		X	X	X	X									
	C7	X	X		X		X								
	C8		X	X	X	X		X							
	C9		X	X	X	X		X							
	C10		X		X	X									
	C11			X	X	X		X	X		X				
	C12		X	X	X	X		X							
	C13	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X		
	C14	X	X				X		X	X	X	X	X		

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R	C1														
KW	C2														
$H = 38,214$	C3														
$P = <0,001$	C4		X												
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13	X	X												
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 38,829 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 39,410 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R	C1														
KW	C2														
H = 37,724	C3														
P = <0,001	C4		X												
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13		X												
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R	C1														
ANOVA	C2														
F =	C3	X	X												
P =	C4	X	X												
<0,001	C5	X	X												
	C6	X	X	X	X	X									
	C7	X	X		X		X								
	C8	X	X	X	X	X		X							
	C9			X	X	X		X							
	C10	X	X	X	X	X		X							
	C11			X	X	X		X							
	C12	X	X	X	X	X						X			
	C13	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X		
	C14	X	X				X		X	X	X	X	X		

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 ANOVA F = 47,532 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3	X	X												
	C4	X	X	X											
	C5	X	X												
	C6			X	X	X									
	C7	X	X		X		X								
	C8			X	X	X		X							
	C9	X	X		X	X	X		X						
	C10	X	X	X	X	X	X								
	C11			X	X	X		X							
	C12			X	X	X		X							
	C13	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X		
	C14	X	X				X		X	X	X	X	X	X	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 52,011 P = <0,001	C1														
	C2	X													
	C3		X												
	C4	X	X	X											
	C5	X	X												
	C6	X		X	X	X									
	C7	X	X				X								
	C8			X	X	X	X	X							
	C9		X	X	X	X	X	X							
	C10		X		X		X		X						
	C11		X		X	X	X	X							
	C12	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X		
	C13	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	C14	X	X		X		X		X	X			X	X	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R	C1														
KW	C2														
H = 37,120	C3														
P = <0,001	C4		X												
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13		X				X								
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10	C1														
KW	C2														
H = 39,388	C3														
P = <0,001	C4														
	C5														
	C6				X										
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13						X						X		
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1 REP KW H = 30,721 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2 REP KW H = 31,287 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 26,101 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 29,310 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 KW H = 26,970 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7						X								
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13						X								
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 29,811 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7						X								
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12							X							
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 83,222 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4			X											
	C5				X										
	C6			X	X	X									
	C7			X		X	X								
	C8														
	C9			X		X	X								
	C10						X	X		X					
	C11						X			X					
	C12			X	X	X		X		X	X	X			
	C13			X		X	X						X		
	C14				X		X	X		X			X	X	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R KW H = 28,064 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7						X								
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12							X							
	C13														
	C14														

V.3.2 - Carbono Orgânico Total, Matéria Orgânica Total, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Enxofre Total

A composição da matéria orgânica nos sedimentos marinhos é determinada em grande parte pela produtividade biológica, o teor de oxigênio no fundo marinho e a extensão da diagênese do sedimento. O principal parâmetro utilizado para investigar a geoquímica do sedimento é o carbono orgânico total, que está diretamente relacionado à quantidade de matéria orgânica presente. Esses parâmetros refletem o ambiente de deposição do sedimento, pois o grau de preservação da matéria orgânica é determinado pela relação entre fatores físicos, químicos e biológicos. Fatores como disponibilidade de matéria orgânica terrígena e marinha, oxidação do ambiente de deposição e taxas de sedimentação são os principais responsáveis pela quantidade de carbono orgânico que é incorporada nos sedimentos. Por outro lado, esses fatores não determinam completamente o conteúdo de carbono orgânico do sedimento, devido às modificações diagenéticas e à degradação da matéria orgânica (MEYERS *et al.*, 1982).

Os mesmos elementos que constituem a matéria orgânica são importantes componentes dos oceanos, da atmosfera e das rochas. São eles: carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, enxofre e fósforo (SUMMONS, 1993). Além disso, elementos como o nitrogênio e o ferro são considerados limitantes da produção primária dos ecossistemas marinhos.

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 não quantificado (LQ = 0,3 %) nas estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R e $4,00 \pm 0,36$ %, na estação MLZ_6R (Tabela V-28 e Figura V-75). Já a concentração média obtida entre as estações nesta campanha foi de $2,10 \pm 1,27$ %.

Tabela V-29 – Concentrações médias e desvio padrão de carbono orgânico total (%) e matéria orgânica total (%) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Estações	Carbono Orgânico Total (%)		Matéria Orgânica Total (%)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
MLZ_1	3,05	± 0,24	3,67	± 0,21
MLZ_2R	3,20	± 0,31	2,10	± 1,39
MLZ_3	3,39	± 0,33	2,70	± 1,15
MLZ_4	3,39	± 0,01	3,60	± 0,26
MLZ_5R	2,95	± 0,30	2,60	± 1,00
MLZ_6R	4,00	± 0,36	3,13	± 0,38
MLZ_7	3,02	± 0,17	6,90	± 5,12
MLZ_8	2,59	± 0,08	2,43	± 0,25
MLZ_9R2	2,65	± 0,20	2,47	± 0,55
MLZ_10	2,63	± 0,51	3,20	± 0,30
MLZ_D_1REP	0,25	± 0,17	1,37	± 1,36
MLZ_D_2REP	< 0,30	± 0,00	0,90	± 0,17
MLZ_D_3R	< 0,30	± 0,00	0,77	± 0,15
MLZ_D_4R	0,19	± 0,08	1,40	± 0,62
MLZ_D_5R	1,31	± 0,11	2,63	± 0,79
MLZ_D_6R	1,59	± 0,67	3,03	± 1,21
MLZ_D_7R	1,59	± 0,53	5,43	± 1,85
MLZ_D_8R	1,73	± 0,43	3,30	± 0,36

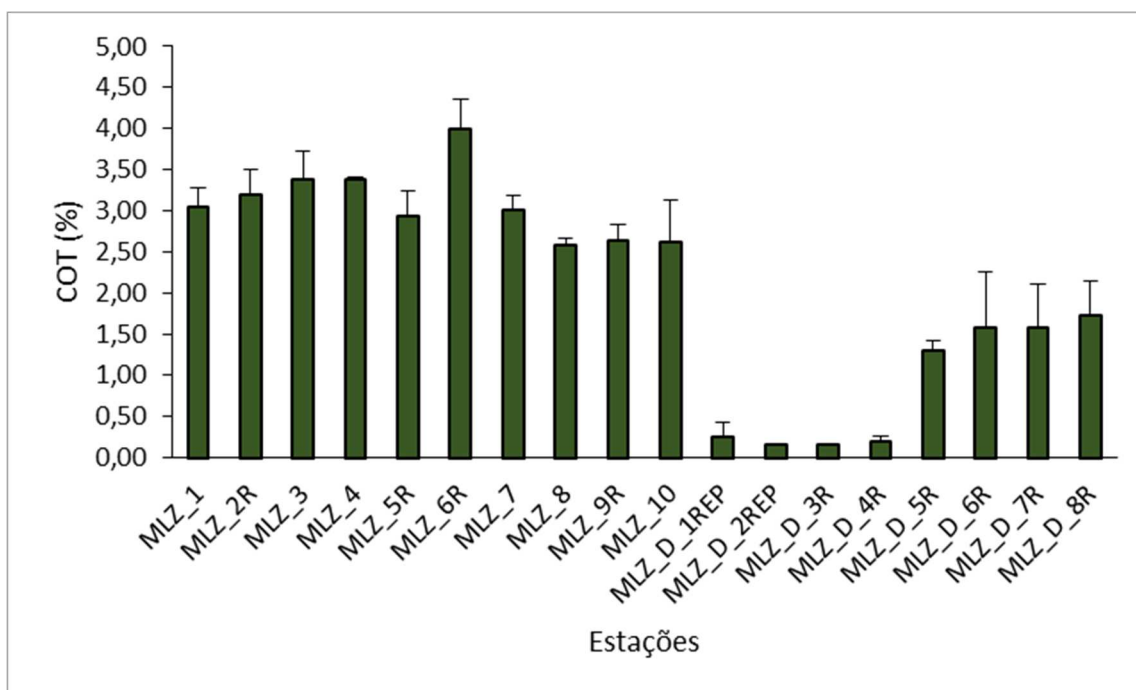


Figura V-75 – Concentração média e desvio padrão de carbono orgânico total nas estações de sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios ± desvio-padrão.

As concentrações de carbono orgânico total apresentaram diferença significativa entre as estações da atual campanha (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). As estações MLZ_1, MLZ_2R, MLZ_3, MLZ_4, MLZ_5R e MLZ_7 diferiram de todas as estações do gasoduto; as estações MLZ_8, MLZ_9R e MLZ_10 diferiram de todas estações do gasoduto, exceto de MLZ_D_8R; a estação MLZ_6R diferiu de MLZ_5R, MLZ_7, MLZ_8, MLZ_9R e MLZ_10 de todas as estações do gasoduto; por fim, as estações do gasoduto MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R e MLZ_D_4R diferiram das demais estações do gasoduto e de MLZ_D_5R, MLZ_D_6R, MLZ_D_7R e MLZ_D_8R. Todas as diferenças *a posteriori* foram significativas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

As concentrações de matéria orgânica total (MOT) variaram entre $0,77 \pm 0,15$ %, na estação MLZ_D_3R, a $6,90 \pm 4,00$ %, na estação MLZ_7, mostrados na Tabela V-31 e na Figura V-76. Já a concentração média obtida entre as estações nesta campanha foi de $2,87 \pm 1,50$ %.

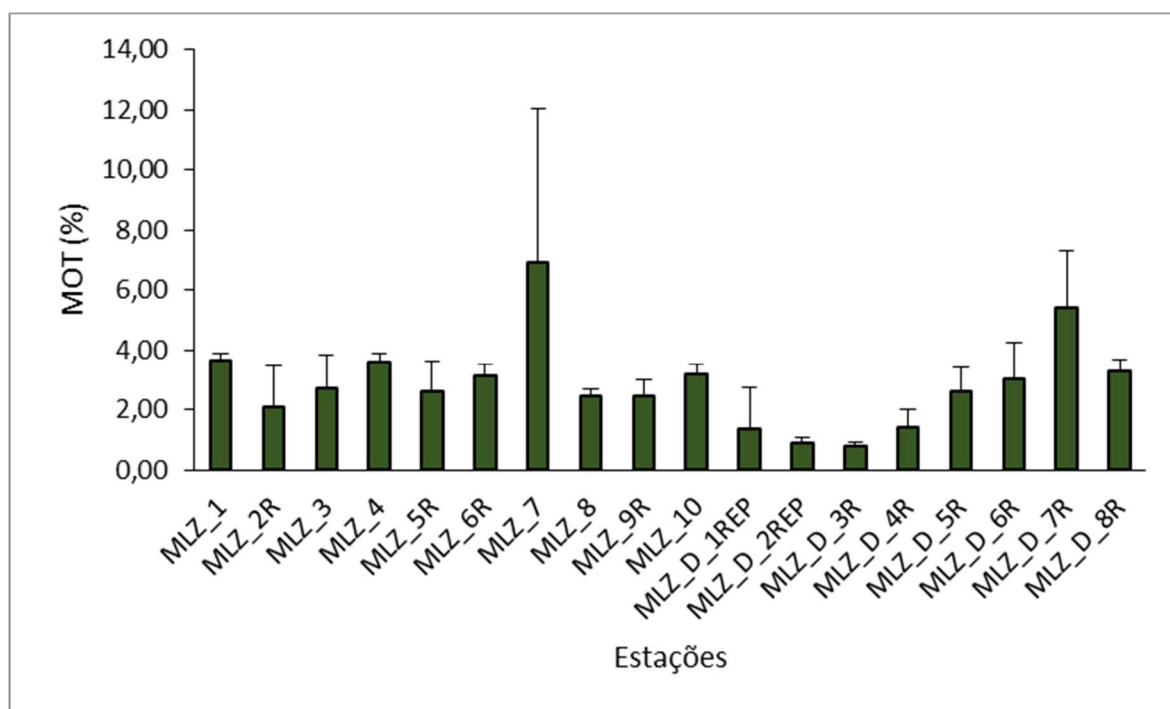


Figura V-76 – Concentração média e desvio padrão de matéria orgânica total no sedimento da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

As concentrações de matéria orgânica total apresentaram diferença significativa entre as estações da atual campanha de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Porém, por meio de um teste aplicado *a posteriori* (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais estações foram as diferenças.

Na Tabela V-31 são apresentadas as concentrações de COT e MOT encontradas nas campanhas anteriores de monitoramento ambiental de Merluza. Segundo Huc (1980, *apud* RASHID, 1985), áreas oceânicas tendem a apresentar concentrações de carbono orgânico inferiores a 1%. Segundo estudo do PCR-BS, as concentrações de COT mais elevadas ocorreram entre 8,03 e 15,3mg/g, nas duas campanhas (inverno e verão) - na plataforma média (75 e 100m) nos transectos A e B e a 100m no transecto C e D (Petrobras, 2002b).

Tabela V-31 – Concentrações de COT (%), MOT (%), N total (mg/kg), P total (mg/kg) e S total (mg/kg) no sedimento amostrado nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Fonte		COT (%)	MOT (%)	N total (mg/kg)	P total (mg/kg)	S total (mg/kg)
C1 MLZ ¹	Min	0,37	0,63	200,85	339,54	1.611,89
	Máx	0,59	1,02	1.301,71	613,73	2.597,45
C2 MLZ ²	Min	0,51	0,89	1.089,29	1.045,49	363,86
	Máx	3,31	5,71	2.424,55	1.428,18	8.898,27
C3 MLZ ³	Min	0,07	0,13	30,99	78,33	840,00
	Máx	1,46	2,51	417,75	858,80	6.780,00
C4 MLZ ⁴	Min	n.d.	n.d.	234,07	42,67	34,00
	Máx	0,27	0,63	887,50	422,33	2.530,00
C5 MLZ ⁵	Min	0,21	2,82	223,63	36,67	447,00
	Máx	1,05	4,34	624,67	67,87	2.130,00
C6 MLZ ⁶	Min	0,21	1,27	467,00	135,00	459,33
	Máx	1,37	2,19	731,17	238,10	3.166,67
C7 MLZ ⁷	Min	0,30	1,07	359,00	72,17	637,67
	Máx	1,70	8,40	1.549,67	878,57	1.410,33
C8 MLZ ⁸	Min	0,49	n.q.	199,15	384,71	891,93
	Máx	0,86	0,36	869,35	536,80	1.597,67
C9 MLZ ⁹	Min	n.q.	0,75	291,70	46,74	724,02
	Máx	1,06	5,33	732,29	403,67	2.355,49

Continua

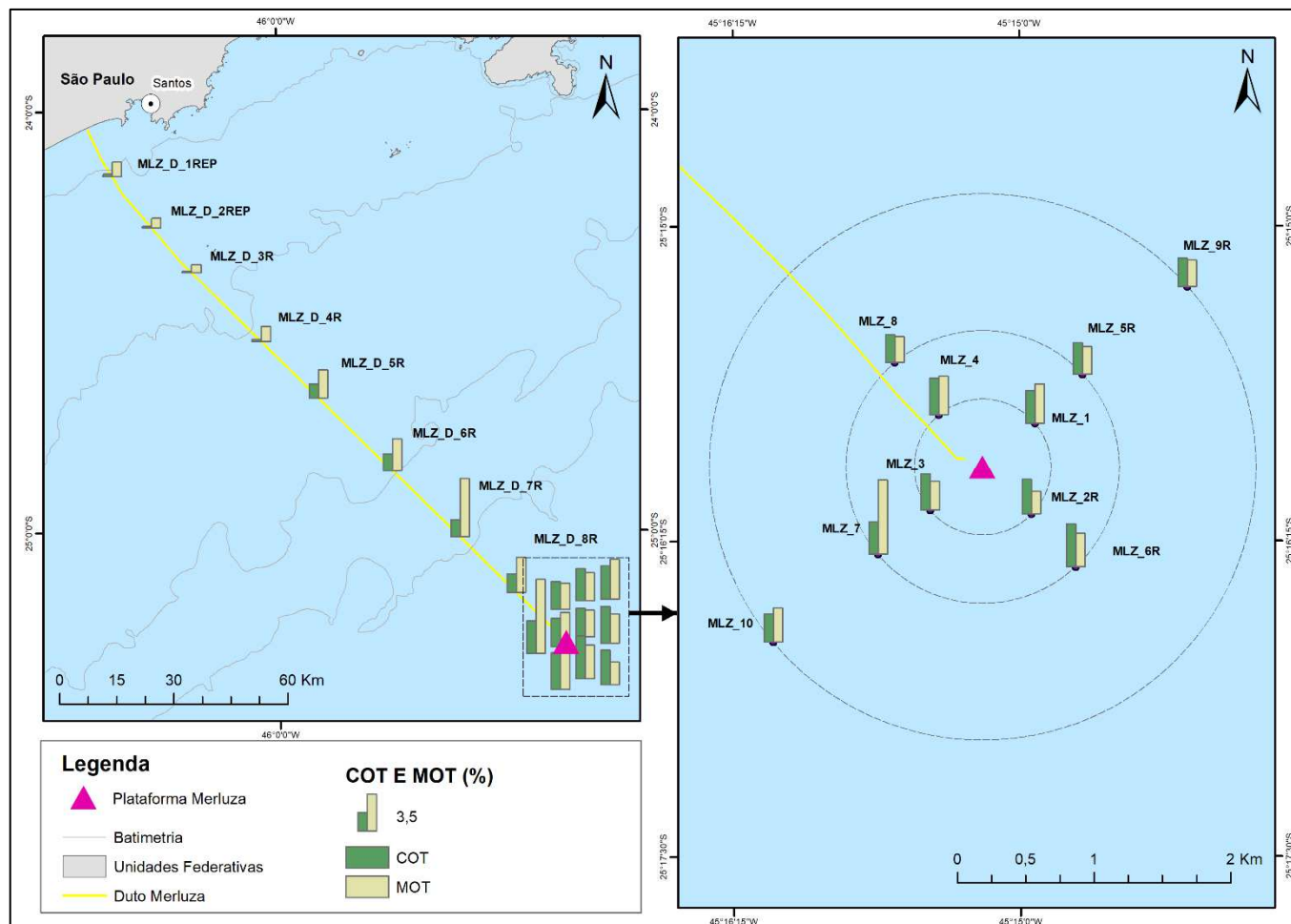
continuação

Fonte		COT (%)	MOT (%)	N total (mg/kg)	P total (mg/kg)	S total (mg/kg)
C10 MLZ ¹⁰	Min	n.d.	0,65	245,84	72,30	280,78
	Máx	0,75	5,17	501,14	608,11	1.812,73
C11 MLZ ¹¹	Min	0,36	0,71	373,49	72,79	136,77
	Máx	1,47	4,80	874,83	602,99	1.363,84
C12 MLZ ¹²	Min	n.q.	1,43	105,13	163,07	154,45
	Máx	5,71	16,50	252,57	231,54	369,41
C13 MLZ ¹³	Min	n.q.	1,40	134,10	119,72	471,16
	Máx	3,65	6,54	398,42	1.173,23	2.146,54

Fonte: 1. Petrobras/Analytical Solutions, 2010 / 2. Petrobras/Analytical Solutions, 2012 / 3. Petrobras/Analytical Solutions, 2013 / 4. Petrobras/Bourscheid, 2014 / 5. Petrobras/Bourscheid, 2015. 6. Petrobras/Bourscheid, 2016. / 7. Petrobras/Bourscheid, 2017 / 8. Petrobras/Bourscheid, 2018 / 9. Petrobras/Bourscheid, 2019a / 10. Petrobras/Bourscheid, 2019b / 11. Petrobras/Bourscheid, 2020 / 12. Petrobras/Bioconsult, 2022; 13. Petrobras/Bioconsult, 2023.

Na Figura V-77 são apresentadas as distribuições espaciais de COT e MOT, evidenciando concentrações crescentes de COT e MOT entre a região costeira e área da plataforma, além de maiores concentrações de MOT na região mais profunda do gasoduto. Tais distribuições indicam relação com a distância da costa e com a profundidade. De acordo com o PCR-BS, foi verificada elevação da concentração de COT da costa até a plataforma, na isóbata 100m (Petrobras, 2022b).

Por fim, não foi possível estabelecer um padrão evidente de distribuição das concentrações de COT e MOT que pudesse ser relacionado com a atividade ou com possíveis influências das estruturas de fundo do Sistema de Merluza.



Legenda: O valor de concentração apresentado refere-se a barra maior. A barra menor representa exatamente a metade da barra maior.

Figura V-77 – Distribuições espaciais das concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica total (%) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na Figura V-78 e Figura V-79 são apresentadas as concentrações de COT obtidas nas estações ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto, respectivamente. É possível verificar que a 2ª campanha mostrou uma variação mais ampla e maior concentração máxima de COT para as amostras ao redor da plataforma, enquanto a décima terceira campanha mostrou maior variação e maior máxima para as amostras ao longo do gasoduto.

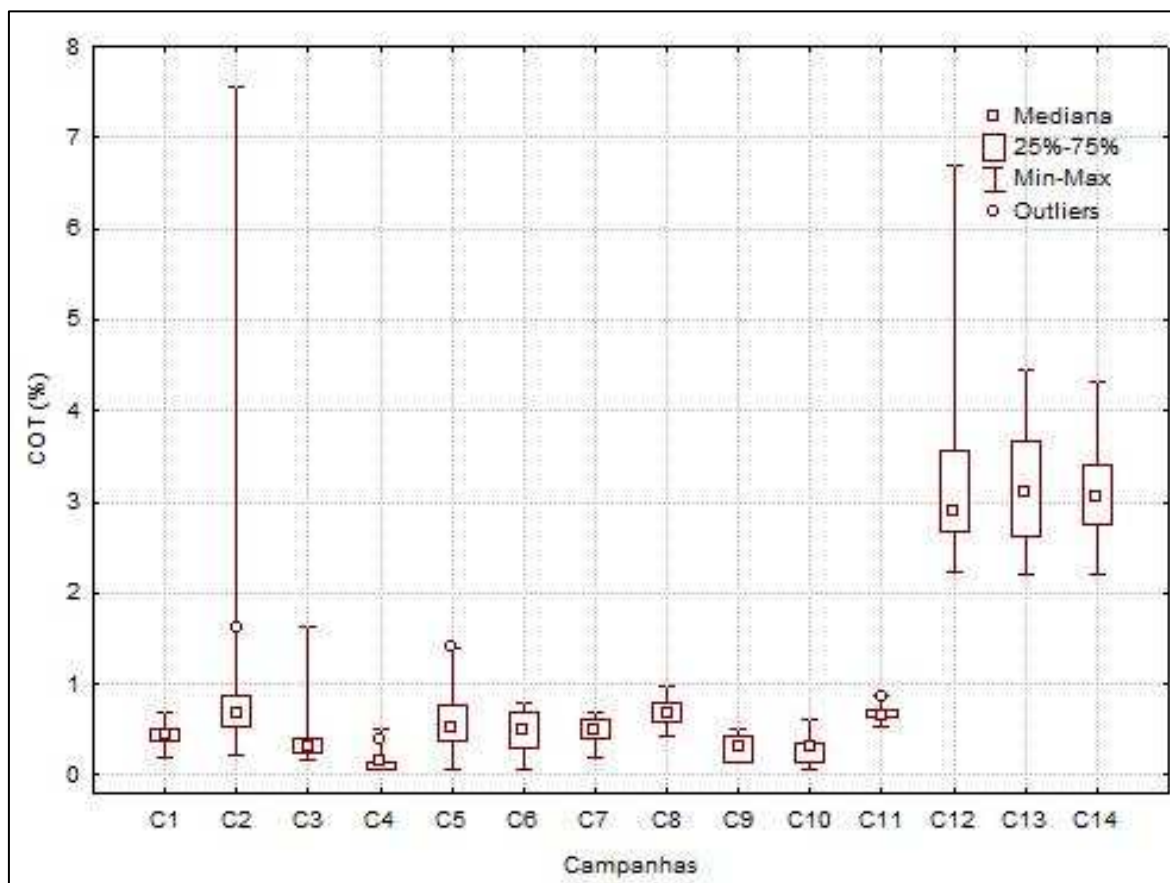


Figura V-78 – Concentrações médias de COT (%) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

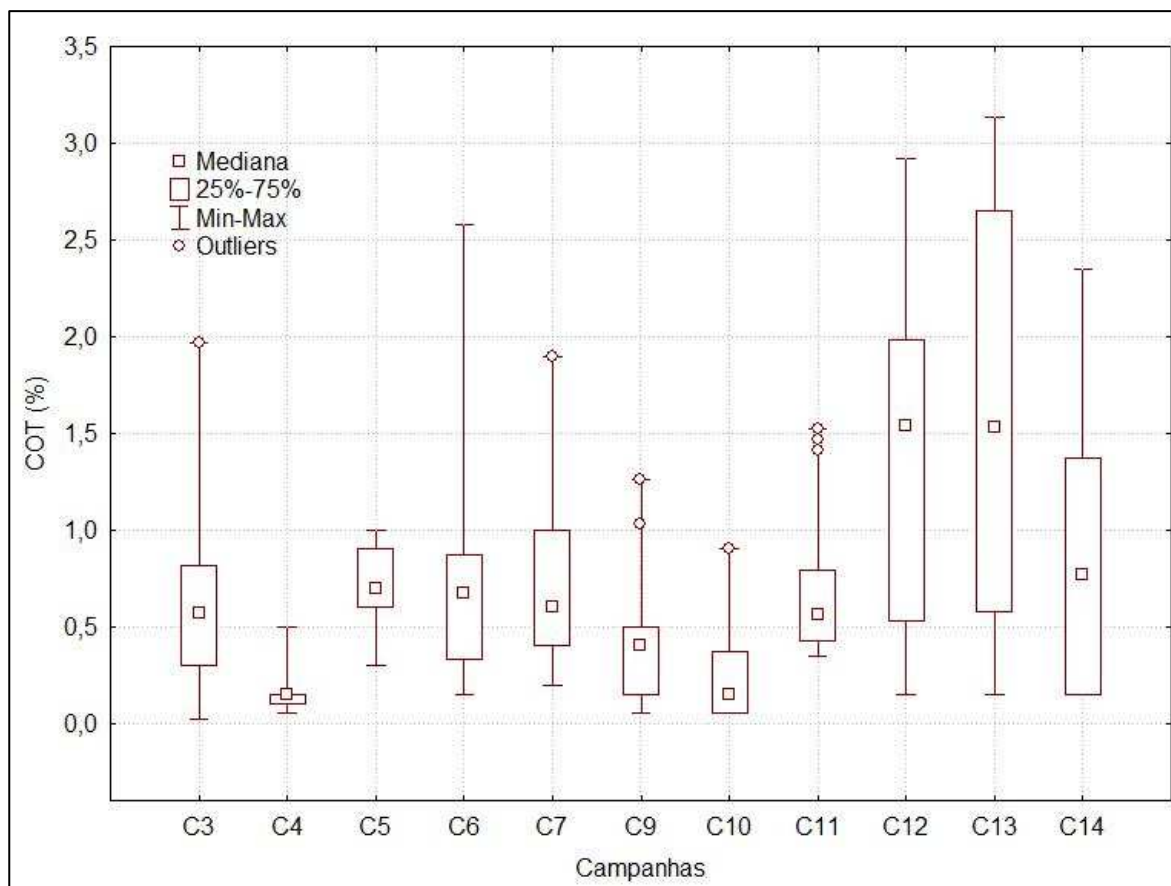


Figura V-79 – Concentrações médias de COT (%) observadas ao longo do gasoduto de Merluza nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa de variância das campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_PMLZ, considerando todas as estações, avaliadas uma a uma, foram detectadas diferenças significativas em relação às concentrações de COT, conforme Tabela V-32.

Para a estação MLZ_D_2REP, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar entre quais campanhas foi observada tal diferença. Para as demais estações, as principais diferenças foram bastante pontuais, sendo verificadas entre os resultados da C8, C11, C12, C13 e C14 em relação às demais campanhas, para as estações no entorno da plataforma, principalmente nas estações MLZ_5R e MLZ_9R. Para as estações ao longo do gasoduto, as principais diferenças ocorreram entre C4, C5, C12, C13 e C14, majoritariamente nas estações MLZ_D_1REP, MLZ_D_4R, MLZ_D_7R e MLZ_D_8R. Importante ressaltar que os métodos e o limite de detecção utilizados variaram entre as campanhas (método de descarbonatação e combustão e LD não

definido nas três primeiras campanhas, oxidação com dicromato de potássio e LD = 0,1% para a quarta, quinta e sexta campanhas, Embrapa (2011) e LD = 0,05% para a sétima campanha, e Embrapa (1997) e LD = 0,1% para a oitava, nona, décima e décima primeira campanhas, e ISP 10694 e LD = 0,1% para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha) e é possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-30 - Análise de variância dos valores de COT e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 35,570 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 34,686 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 36,686 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 32,384 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 199,000 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 34,780 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 36,090 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 31,868 P = 0,003	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R ANOVA F = 36,199 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 36,297 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP ANOVA F= 8,652 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 22,819 P = 0,011	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 29,314 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R ANOVA F = 13,625 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 KW H = 19,607 P = 0,020	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 28,261 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 18,675 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 39,282 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na Figura V-80 e Figura V-81 são apresentadas as médias de concentração de MOT obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza nas campanhas do projeto. É possível verificar que, em ambos os casos, a campanha C12 mostrou uma variação mais ampla de valores. Em ambas as figuras, é possível notar maiores concentrações médias de MOT nas campanhas C12, C7 e C5.

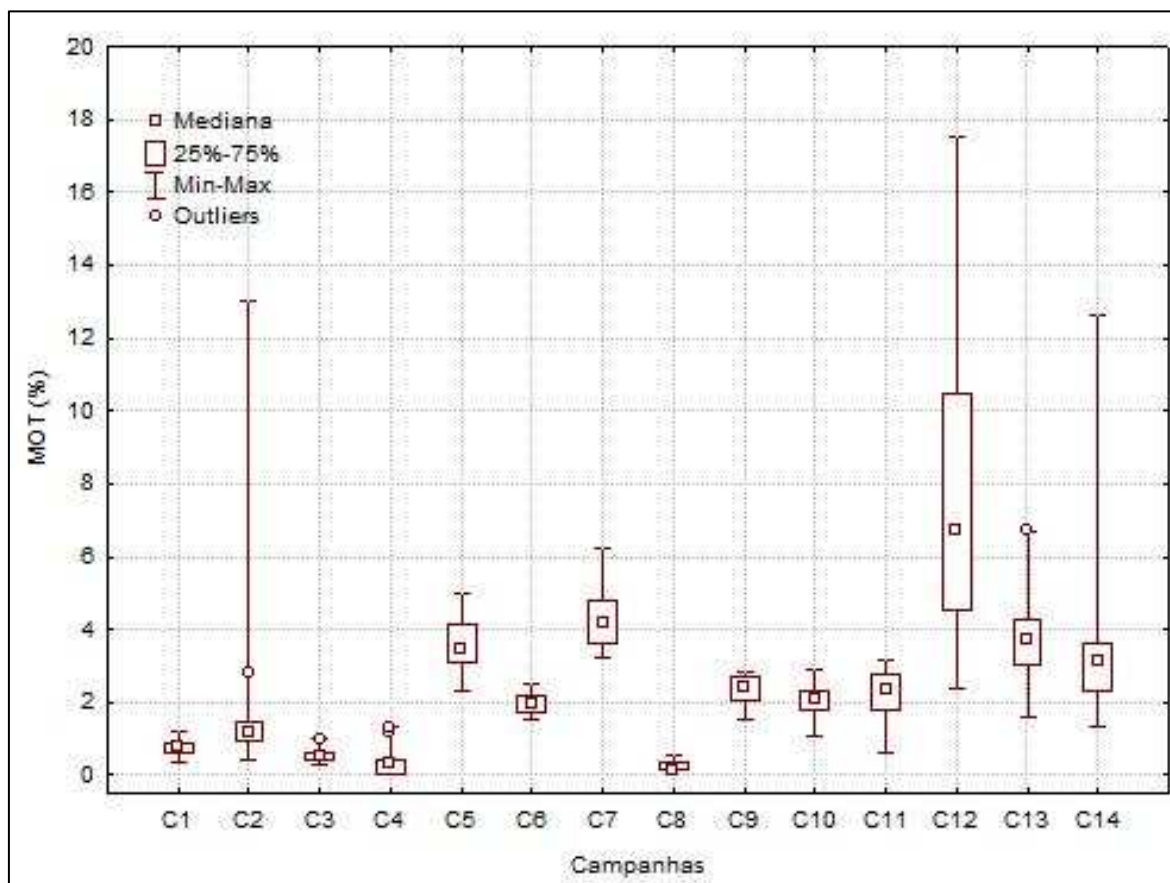


Figura V-80 – Concentrações médias de MOT (%) observadas ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

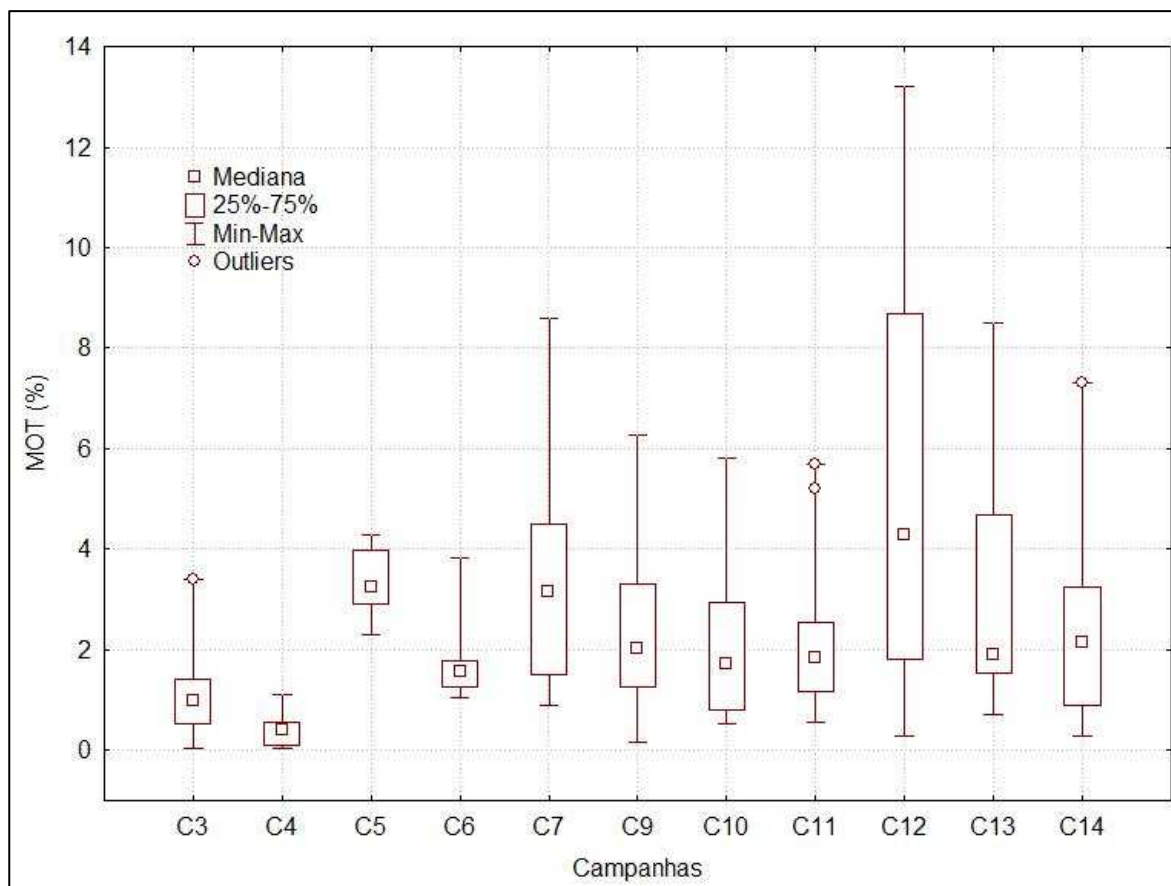


Figura V-81 – Concentrações médias de MOT (%) observadas ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa da variância das estações ao longo das campanhas do projeto, considerando todas as estações, uma a uma, foram detectadas diferenças significativas em relação as concentrações de MOT entre as campanhas, conforme Tabela V-33.

Foram verificadas diferenças bastante pontuais entre as estações ao longo das campanhas, mais frequentes entre as campanhas C4, C5, C7, C12 e C13 para as estações ao longo da plataforma. Nas estações do gasoduto, destacam-se as diferenças mais frequentes entre as campanhas C3, C4, C5, C10, C12, C13 e C14. Importante ressaltar que, embora os métodos tenham sido diferentes (método de diferença de calcinação para as três primeiras campanhas, SMEWW 2540 G (2005) para a quarta campanha, SMEWW 2540 B/C/D para a quinta e sexta campanha, Dean (1974) para a sétima campanha, Strickland & Parsons (1972) para a oitava campanha, e NBR 13600 (1996) para a nona, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha), manteve-se o mesmo valor

de limite de detecção para todas as campanhas ($LD = 0,1\%$), exceto para as três primeiras, em que os valores dos limites não foram informados. De todo modo, não se descarta a possibilidade de que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-33 - Análise de variância dos valores de MOT e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 38,075 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 38,378 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 38,570 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 37,903 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 38,288 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 35,972 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 38,792 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_10 KW H = 36,255 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 38,051 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 36,570 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP ANOVA F = 3,498 P = 0,007	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F = 17,186 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 22,784 P = 0,012	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 24,775 P = 0,006	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 11,437 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 24,583 P = 0,006	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 26,393 P = 0,003	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 111,900 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

As concentrações médias de nitrogênio total das estações da atual campanha de monitoramento variaram entre $3,23 \pm 2,51$ mg/kg (na estação MLZ_7), e $86,80 \pm 5,46$ mg/kg (em MLZ_D_3R) (Tabela V-34 e Figura V-82). Já a concentração média de todas as estações nesta campanha foi de $33,10 \pm 22,33$ mg/kg. As concentrações de nitrogênio apresentaram diferença significativa entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). As estações MLZ_D_3R e MLZ_D_4R diferiram das demais estações, mas não entre si; MLZ_4 e MLZ_9R diferiram das demais, exceto de MLZ_1, MLZ_3, MLZ_10, MLZ_D_6R e MLZ_D_7R; MLZ_6R diferiu das demais estações, exceto de MLZ_3, MLZ_4, MLZ_9R, MLZ_10 e MLZ_D_4R; MLZ_5R diferiu de MLZ_2R, MLZ_7 e MLZ_D_8R; MLZ_7 diferiu de MLZ_8 e MLZ_D_1REP; MLZ_1, MLZ_3, MLZ_10 e MLZ_D_7R diferiram de MLZ_2R, MLZ_7, MLZ_8, MLZ_D_1REP, MLZ_D_5R e MLZ_D_8R; MLZ_D_2REP diferiu de MLZ_2R, MLZ_7, MLZ_D_5R e MLZ_D_8R, e; MLZ_D_6R diferiu de MLZ_2R, MLZ_5R, MLZ_7, MLZ_8, MLZ_D_1REP, MLZ_D_5R e MLZ_D_8R (Tukey $p < 0,05$).

Tabela V-34 – Concentrações médias de nitrogênio total e fósforo total no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14.

Estações	Nitrogênio total (mg/kg)		Fósforo total (mg/kg)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
MLZ_1	31,50	$\pm 1,42$	224,92	$\pm 68,11$
MLZ_2R	9,57	$\pm 2,91$	167,04	$\pm 8,46$
MLZ_3	35,60	$\pm 4,36$	311,31	$\pm 103,77$
MLZ_4	44,37	$\pm 10,08$	191,96	$\pm 30,19$
MLZ_5R	23,27	$\pm 1,51$	171,34	$\pm 24,01$
MLZ_6R	47,87	$\pm 5,41$	133,86	$\pm 11,11$
MLZ_7	3,23	$\pm 2,51$	227,41	$\pm 49,60$
MLZ_8	16,93	$\pm 5,26$	196,66	$\pm 55,69$
MLZ_9R	43,63	$\pm 2,97$	178,51	$\pm 33,56$
MLZ_10	35,63	$\pm 1,32$	243,60	$\pm 139,04$
MLZ_D_1REP	16,80	$\pm 3,82$	73,10	$\pm 9,89$
MLZ_D_2REP	28,90	$\pm 0,46$	162,66	$\pm 12,08$
MLZ_D_3R	86,80	$\pm 5,46$	168,97	$\pm 16,06$
MLZ_D_4R	78,63	$\pm 4,99$	192,09	$\pm 15,25$
MLZ_D_5R	13,23	$\pm 40,07$	173,97	$\pm 24,18$
MLZ_D_6R	36,87	$\pm 3,73$	132,35	$\pm 5,79$
MLZ_D_7R	33,30	$\pm 5,36$	97,90	$\pm 10,55$
MLZ_D_8R	9,67	$\pm 3,25$	130,84	$\pm 22,05$

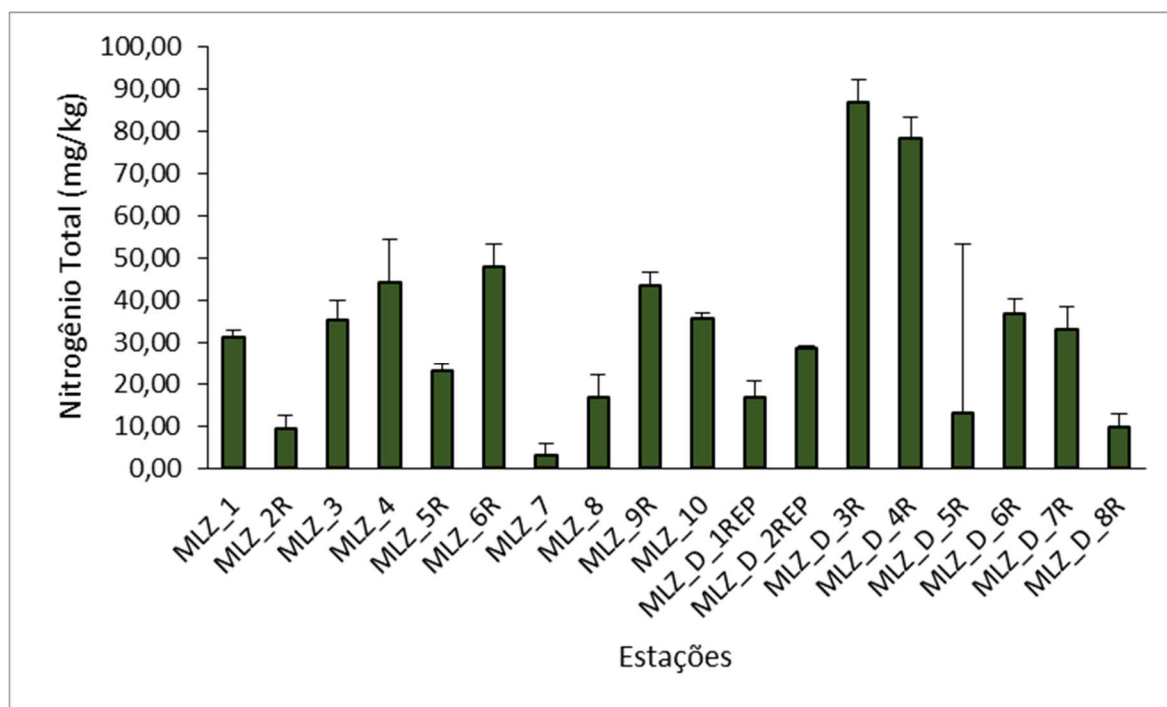


Figura V-82 – Concentração média e desvio padrão de nitrogênio total do sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

A concentração média de fósforo total das estações nesta campanha foi de $176,58 \pm 55,09$ mg/kg, com mínimo de $73,10 \pm 9,89$ mg/kg, em MLZ_D_1REP, e máximo de $311,31 \pm 103,77$ mg/kg, na estação MLZ_3 (Tabela V-35 e Figura V-83). Foram encontradas diferenças significativas entre as estações de coleta (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), sendo que MLZ_3 diferiu significativamente de MLZ_D_1_REP (*Tukey* $p < 0,05$).

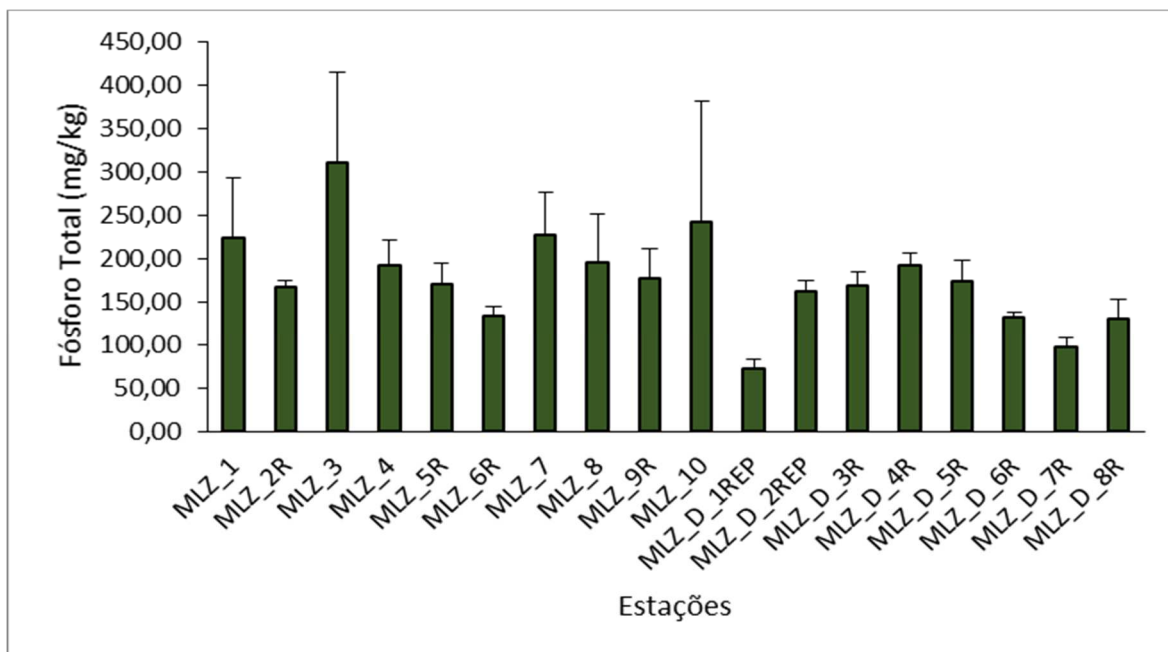
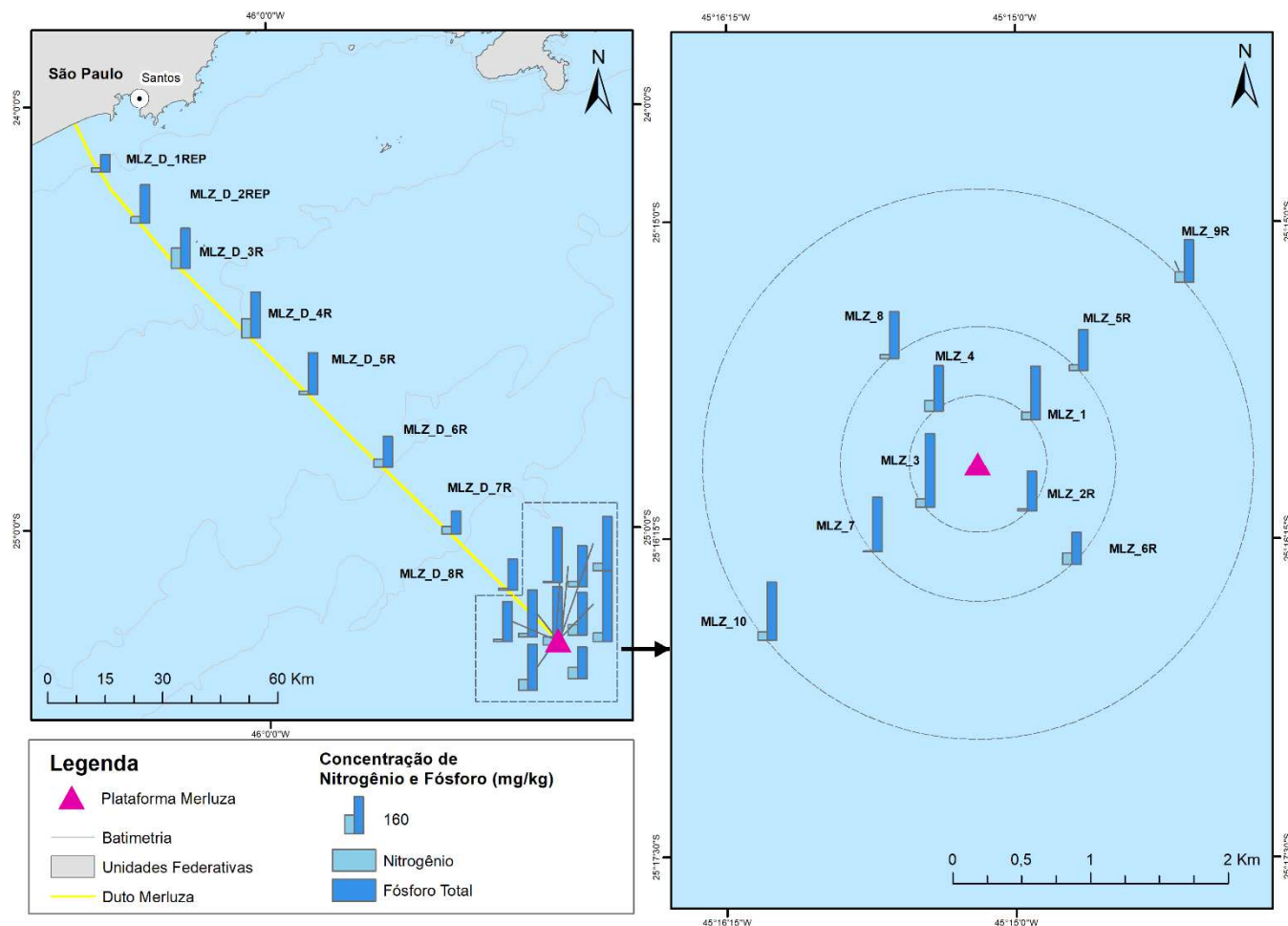


Figura V-83 – Concentração média e desvio padrão de fósforo total no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

Na Figura V-84 é apresentada a distribuição espacial das concentrações de nitrogênio e fósforo total obtidas durante a atual campanha. As concentrações de ambos os parâmetros foram bastante variáveis, sem identificação de um padrão espacial claro. O nitrogênio total apresentou maiores concentrações entre as estações MLZ_D_3R e MLZ_D_4R. Já para fósforo total, verifica-se tendência a maiores concentrações que na região no entorno da plataforma. Em ambos os casos, não foi possível relacionar as concentrações com a atividade ou com possíveis influências das estruturas de fundo instaladas no Sistema de Merluza.

Conforme o PCR-BS (Petrobras, 2022b), o nitrogênio total apresentou valores médios entre 1140 mg/kg e 990mg/kg, e foi observado padrão de aumento das concentrações da costa até a plataforma média (trecho correspondente ao duto de PMLZ-1), diferente do observado neste monitoramento. Já para fósforo total, os valores médios observados durante as campanhas foi entre 8,80 e 9,06 mg/kg inverno e verão, e observaram tendência de aumento das concentrações da costa até a plataforma externa (englobando a região de PMLZ-1), esse resultado se assemelha ao observado nesse estudo, que tendeu a apresentar maiores valores no entorno da plataforma PMLZ-1.



Legenda: O valor de concentração apresentado refere-se à barra maior. A barra menor representa exatamente a metade da barra maior.

Figura V-84 – Distribuição espacial das concentrações de nitrogênio total e fósforo total (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro_PMPR_MLZ_C14.

Os valores de nitrogênio total encontrados na atual campanha foram inferiores aos encontrados nas campanhas anteriores de monitoramento (Tabela V-31).

Na Figura V-85 e Figura V-86 são apresentadas as faixas das concentrações médias de nitrogênio total obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza, respectivamente. É possível verificar que as campanhas C1 e C2 mostraram maiores valores de nitrogênio total para as amostras da plataforma. Já para as amostras do gasoduto, a sétima campanha mostrou as maiores concentrações, bem como a maior faixa de variação. As campanhas C3 e C14 apresentaram as menores concentrações, tanto para as estações do entorno da plataforma quanto do entorno do duto.

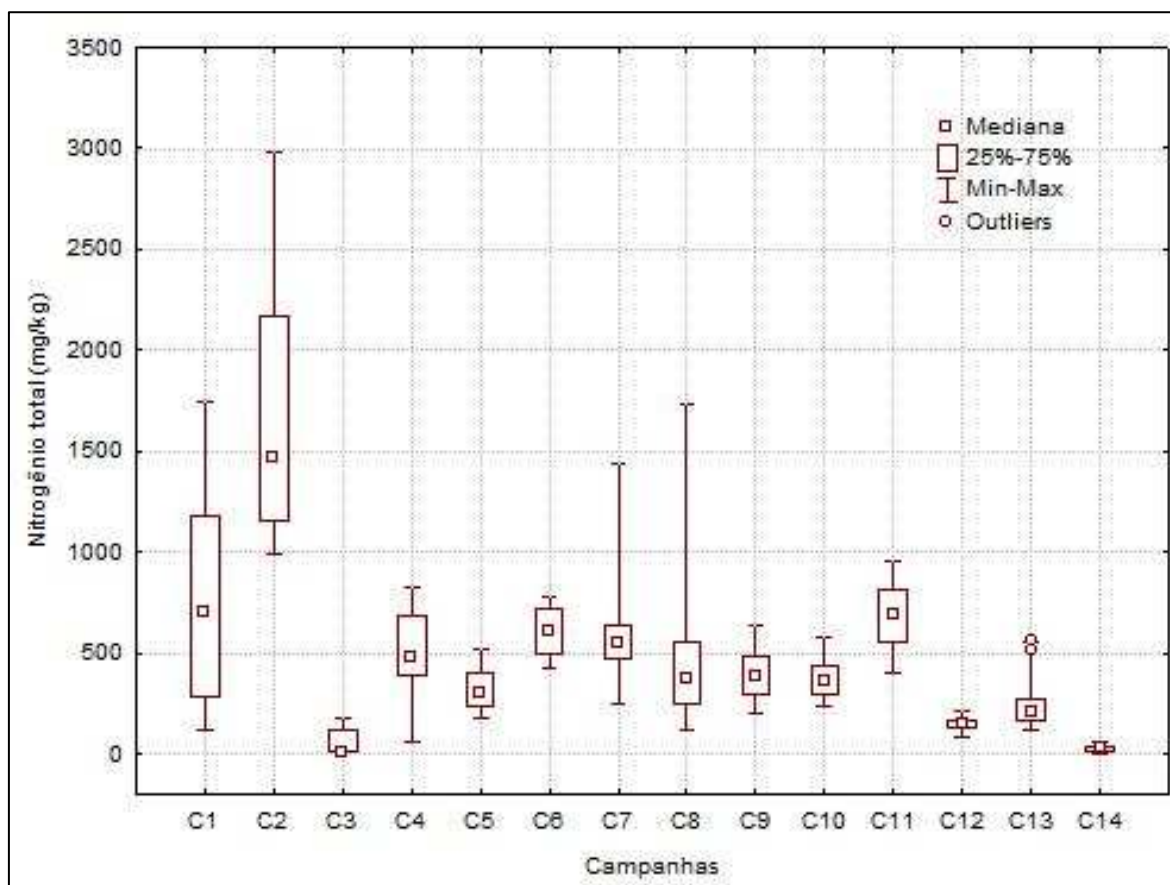


Figura V-85 – Concentrações médias de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

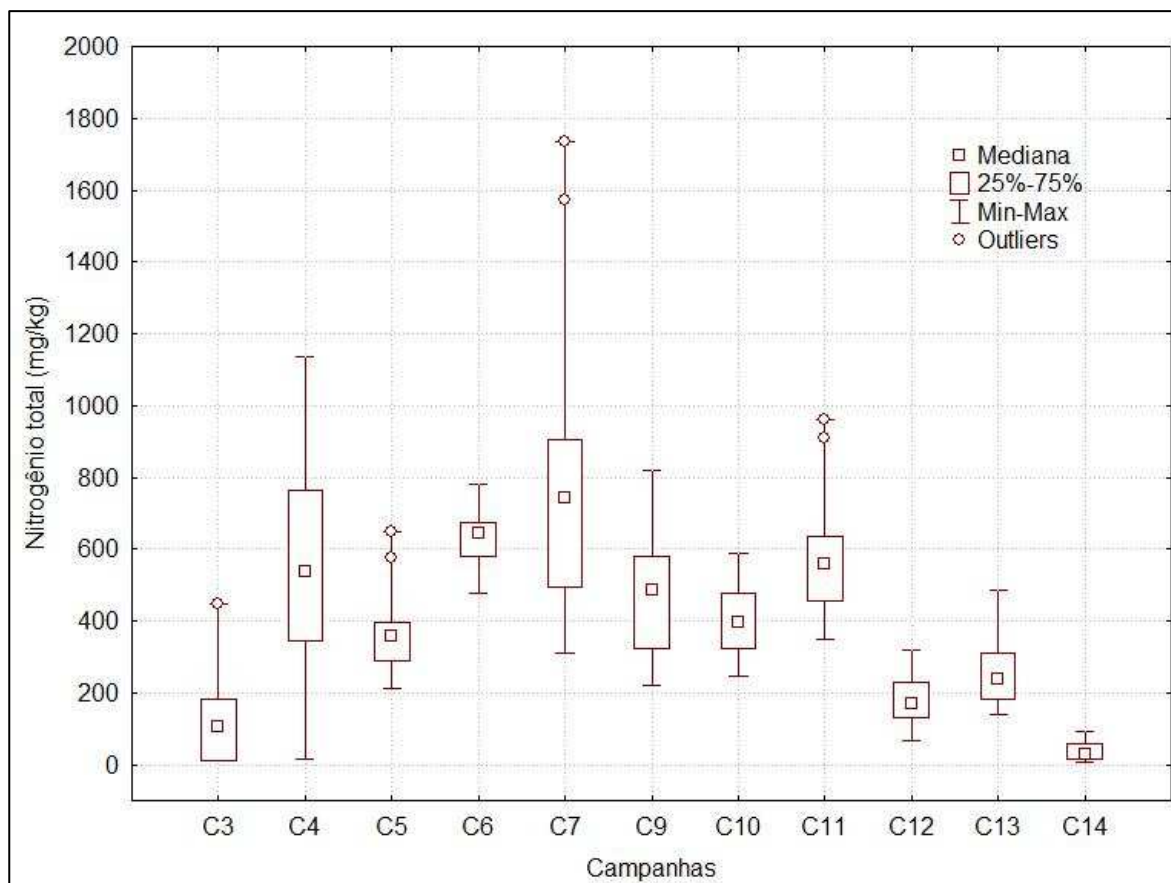


Figura V-86 – Concentrações médias de nitrogênio total (mg/kg) observadas ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa da concentração de nitrogênio total entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-35.

As diferenças foram bastante pontuais entre as campanhas das estações do entorno da plataforma, destacando-se diferenças significativas entre C2 e C14. Para as estações ao longo do gasoduto, foram mais frequentes as diferenças entre C3, C12, C13 e C14 com a maioria das demais campanhas, principalmente nas estações MLZ_D_1REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_6R, MLZ_D_7R e MLZ_D_8R.

Importante destacar que os métodos e os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas (método de descarbonatação e combustão para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 B (2005) para a quarta, sétima, oitava, nona, décima e décima primeira campanha, SMEWW 4500 G (2005) para a quinta e sexta campanha e / LD = 20 mg/kg para as três primeiras campanhas, LD = 30 mg/kg para a quarta, quinta e sexta campanha, LD = 15 mg/kg para a sétima campanha,

LD = 5 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha e LD = 1,25 mg/kg para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha), e é possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo do monitoramento.

Tabela V-35 - Análise de variância dos valores de nitrogênio total e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 33,452 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 35,512 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 36,065 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 36,037 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 33,678 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 34,597 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7	C1														
KW	C2														
H = 37,422	C3														
P = <0,001	C4														
	C5														
	C6														
MLZ_9R	C7														
KW	C8														
H = 35,665	C9														
P = <0,001	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8	C1														
KW	C2														
H = 36,033	C3														
P = <0,001	C4														
	C5														
	C6														
MLZ_10	C7														
KW	C8														
H = 36,157	C9														
P = <0,001	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP ANOVA F = 24,390 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 28,518 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R ANOVA F = 39,689 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 26,065 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
MLZ_D_5 KW H = 23,606 P = 0,005	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F = 27,013 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 42,715 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 25,638 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na Tabela V-36 são apresentadas as concentrações de fósforo total encontradas nas campanhas anteriores do PMAEpro_PMPR_PMLZ. As concentrações de fósforo encontradas na atual campanha estiveram dentro da faixa de variação das campanhas anteriores, aproximando-se dos resultados verificados durante as campanhas C3, C4, C6, C9 e C12. Pellens *et al.* (1998), em um estudo sobre a distribuição de fósforo na plataforma continental interna de Santa Catarina, encontraram concentrações de fósforo total variando entre 40 e 583 mg/kg.

Nas Figura V-87 e Figura V-88 são apresentadas as faixas de concentração de fósforo total obtidas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza, respectivamente. É possível verificar que a campanha C13 registrou elevadas concentrações de fósforo total tanto nas estações da plataforma (Figura V-87), onde também se destaca a campanha C2, quanto nas estações ao longo do gasoduto, onde campanha C3 apresentou a máxima concentração de fósforo (Figura V-88).

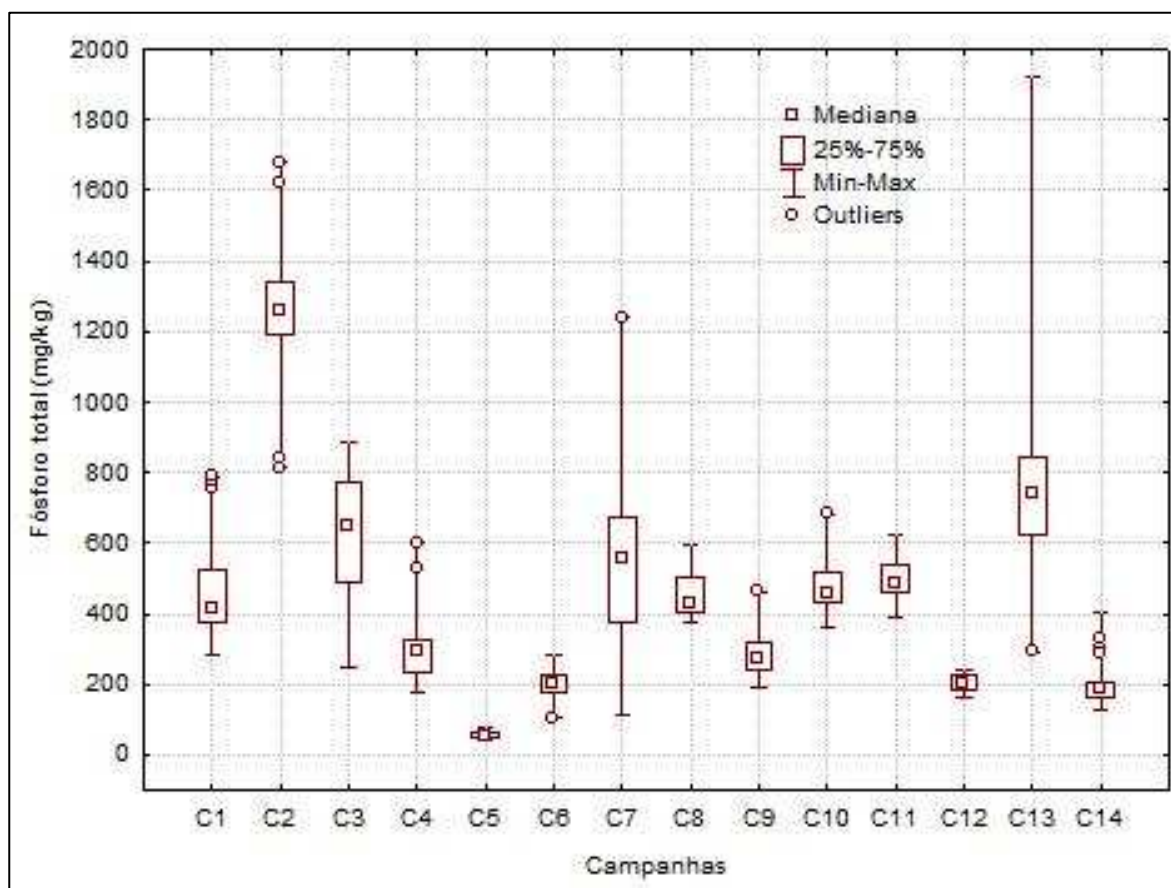


Figura V-87 – Concentrações médias de fósforo total (mg/kg) ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

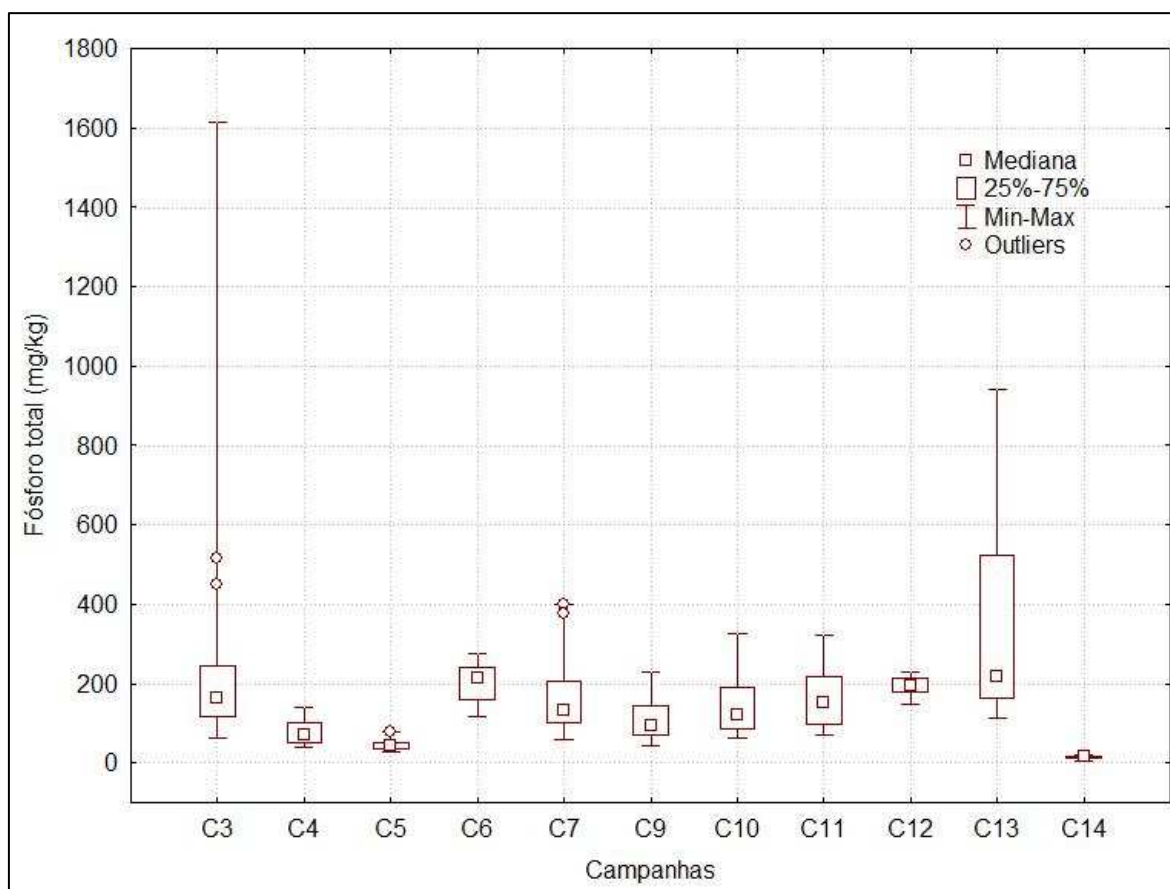


Figura V-88 – Concentrações médias de fósforo total (mg/kg) ao longo do gadosuto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa da concentração de fósforo total entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-36. As diferenças foram majoritariamente pontuais entre as campanhas, tanto nas amostras do entorno da plataforma, quanto no gasoduto. Dentre as amostras do entorno da plataforma, destaca-se as estações MLZ_4 e MLZ_5R, em que as diferenças foram mais frequentes entre C2, C3 e C13 com a maioria das demais campanhas. Nas estações do gasoduto, além das diferenças bastante pontuais entre as estações, destaca-se as diferenças entre C3, C12, C13 e C14 com a maioria das demais campanhas em MLZ_D_4R. É importante ressaltar que os métodos e o limite de detecção utilizados variaram entre as campanhas (LD = 0,5 mg/kg para as três primeiras campanhas, LD = 9 mg/kg para a quarta, quinta e sexta campanha, LD = 2,9 mg/kg para a sétima campanha, LD = 0,23 para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha e LD = 0,3

mg/kg para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha / método EPA 6010C para as quatro primeiras campanhas, SMEWW 4500 P E (2005) para a quinta e sexta campanha, método EPA 6020A para a sétima campanha, método EPA 6020B para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha e EPA 3051A e EPA 6010D para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e EPA 3051A e EPA 6020B para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-36 - Análise de variância dos valores de fósforo total e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 38,285 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5		X												
	C6														
MLZ_7 KW H = 40,158 P = <0,001	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14		X										X		

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 38,227 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5		X												
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13					x									
	C14		X											X	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 37,518 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5		X												
	C6		x												
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12		x												
	C13					x									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 46,671 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3		X												
	C4		X	x											
	C5	x	X	x	x										
	C6	x	X	x											
	C7		X	x		x									
	C8		X			x	x								
	C9	x	X	x											
	C10		X			x	x								
	C11		X			x	x								
	C12	x	X	x				x	x		x	x			
	C13		X		X	X	X	X	x	X			X		
	C14	x	X	x				x	x		x	x		X	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 44,558 P = <0,001	C1														
	C2	X													
	C3		X												
	C4		X	X											
	C5	X	X	X											
	C6	X	X	X											
	C7		X			X	X								
	C8		X			X	X								
	C9	X	X	X				X	X						
	C10		X	X		X									
	C11		X			X	X			X					
	C12	X	X	X				X	X			X			
	C13		X	X		X									
	C14	X	X	X				X	X		X	X			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 38,072 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5		X												
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14		X												

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 39,224 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5		X	x											
	C6														
	C7					x									
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14		X												

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 35,910 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5		X												
	C6														
MLZ_10 KW H = 35,388 P = <0,001	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13					X									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 30,595 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6				x	X									
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13					x									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 29,333 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12					x									
	C13														
	C14					x									

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 28,078 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6				x	x									
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12					x									
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R ANOVA F = 35,901 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4			x											
	C5			x											
	C6				x	x									
	C7			x	x	x									
	C8														
	C9			x			x								
	C10			x		x									
	C11			x	x	x									
	C12			x	x	x	x	x		x	x	x			
	C13				x	x		x		x	x	x	x		
	C14				x	x	x	x		x	x	x			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 KW H = 25,886 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6					x									
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				x	X									
	C14												X		

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 29,412 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				x	X									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 30,624 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5			X											
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13					x									
	C14			X											

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R KW H = 29,305 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5			x											
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				x	X									
	C14														

As concentrações de enxofre total ficaram abaixo do LQ ($< 1,00$ mg/kg) em todas as amostras. Destaca-se que a quantificação das concentrações de enxofre abaixo do limite de quantificação ocorreu devido a mudança das condições analíticas (Anexo X-6). Por essa razão, não foram realizadas análise de variância entre as estações e também não é apresentada figura de distribuição espacial da concentração de enxofre total da área de interesse obtida na atual campanha de monitoramento, uma vez que a variação é inexistente.

Na Tabela V-36, são mostradas as concentrações de enxofre total obtidas nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. As concentrações da atual campanha foram inferiores em relação às demais campanhas.

Na Figura V-89 e Figura V-90 são apresentadas as faixas das concentrações de enxofre total obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto no decorrer do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ, respectivamente. É possível verificar que as campanhas C2 e C3 mostraram maiores valores de enxofre total, para as amostras da plataforma. Já para as amostras do gasoduto, a campanha C3 mostrou as maiores concentrações.

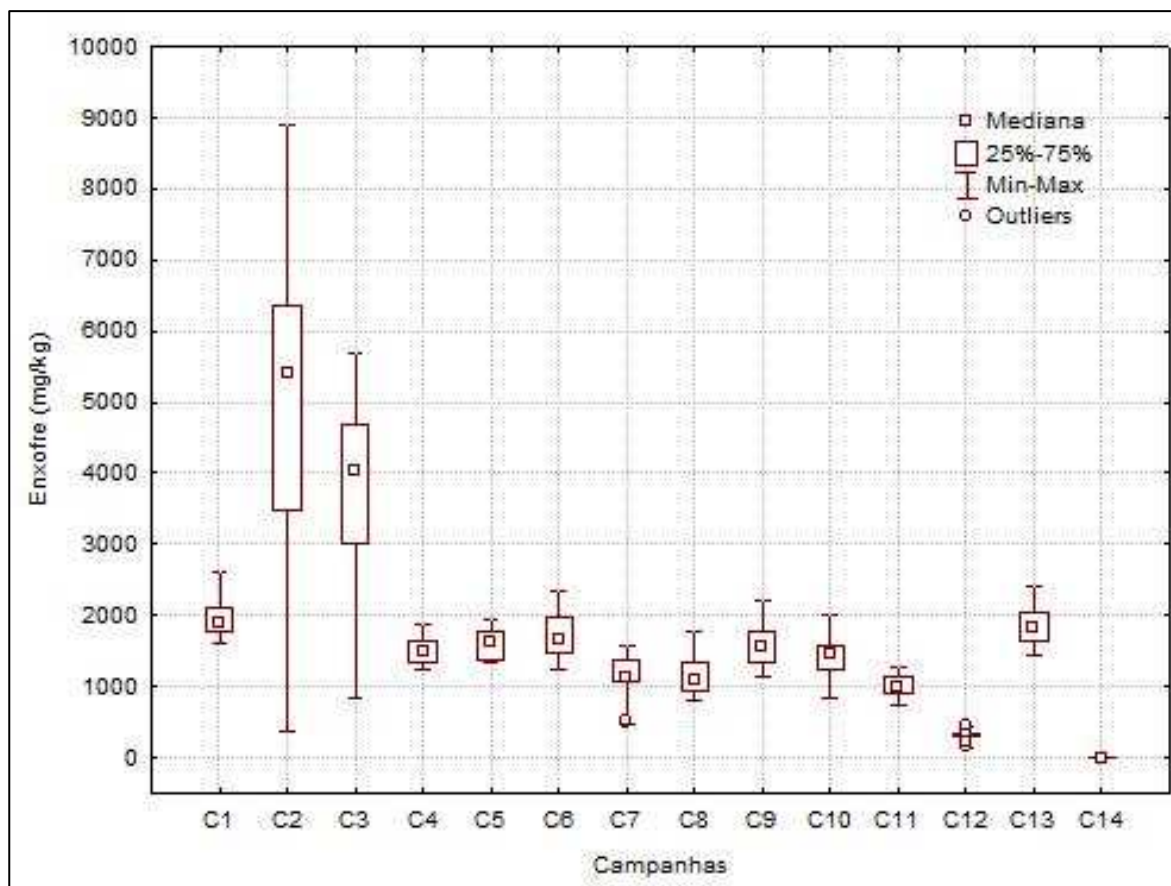


Figura V-89 – Concentrações médias de enxofre total (mg/kg) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

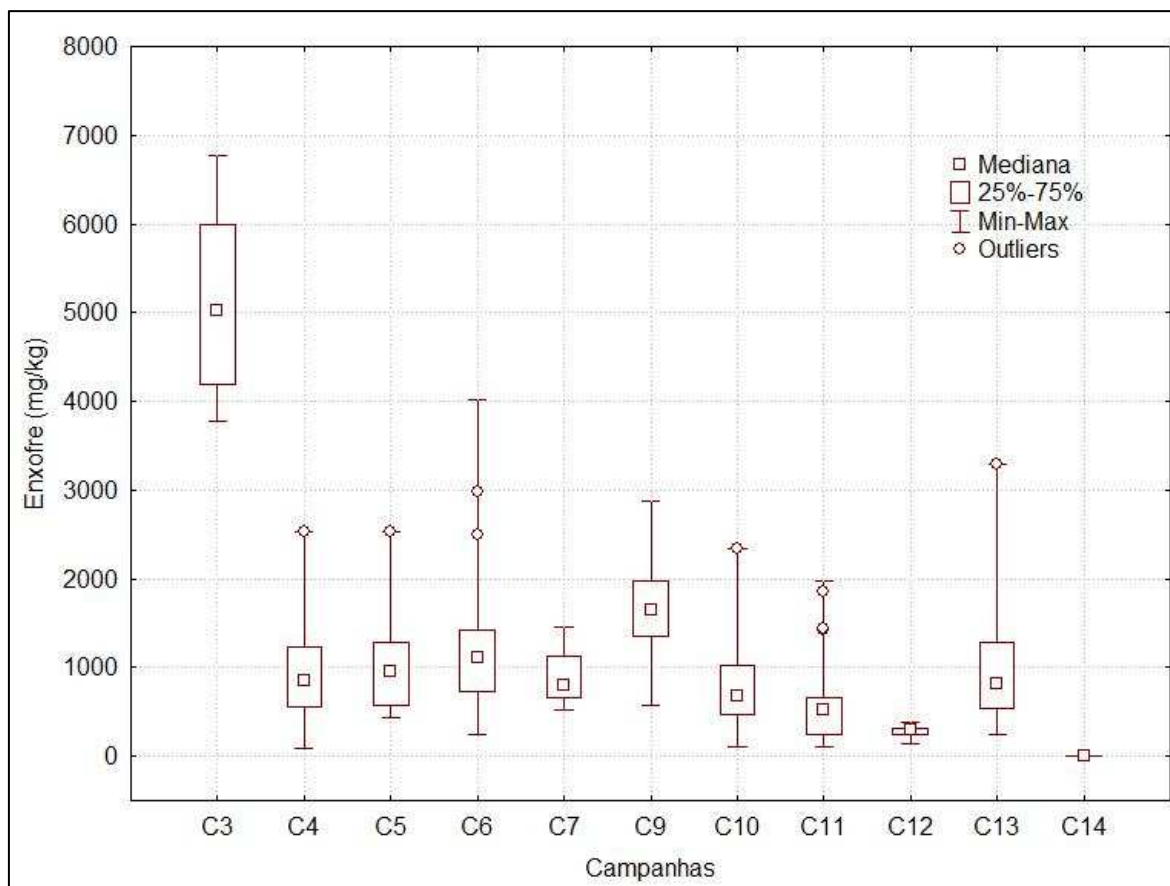


Figura V-90 – Concentrações médias de enxofre total (mg/kg) ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa da concentração de enxofre total entre as campanhas foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-37. As diferenças foram mais frequentes entre C14 com C2 e C3 na maioria das estações do entorno da plataforma, assim como entre C14 com C3 e C9 e entre C3 e C12 na maioria das estações do gasoduto. Ainda entre as amostras do gasoduto, destaca-se a estação MLZ_D_5R que apresentou o maior número de diferenças significativas entre as campanhas. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (método não especificado e LD = 0,001 mg/kg na primeira campanha, combustão e cromatografia e LD nulo na segunda e terceira campanha, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 170 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanhas, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 24 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 24,19 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanhas, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e

LD = 0,5 mg/kg para a décima segunda e décima terceira, e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,5 mg/kg para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-32 - Análise de variância dos valores de enxofre total e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas.. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 28,197 P = 0,008	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 38,372 P = <0,001	MLZ_5R KW H = 38,075 P = <0,001	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
MLZ_3 KW H = 37,522 P = <0,001	MLZ_7 KW H = 38,517 P = <0,001	C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
		C11														
		C12														
		C13														
		C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 39,026 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 32,949 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 39,631 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_9R KW H = 37,596 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 38,031 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 30,145 P = <0,001	MLZ_D_4R KW H = 28,814 P = 0,001	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
		C6														
MLZ_D_2REP KW H = 28,401 P = 0,002	MLZ_D_8R KW H = 29,515 P = 0,001	C7														
		C8														
		C9														
		C10														
		C11														
		C12														
		C13														
		C14														

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 23,422 P = 0,009		C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
		C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
		C11														
		C12														
		C13														
		C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 201,321 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 29,481 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 26,648 P = 0,003	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

V.3.3 - Metais

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

A importância da preservação dos recursos hídricos tem levado à necessidade de monitorar e controlar a contaminação desses ambientes, e os metais estão entre os contaminantes mais tóxicos e persistentes do ambiente aquático. Portanto, suas fontes, transporte e destino precisam ser avaliados (CAMPOS *et al.*, 2002).

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

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

A análise das concentrações de metais é de grande importância, devido ao seu aspecto toxicológico e em função da sua cumulatividade na cadeia alimentar. Um dos metais pesados abundantes no ambiente é o cobre, daí a preocupação em sua

quantificação. Apesar de alguns deles serem essenciais aos seres vivos, como magnésio, ferro, zinco, manganês, cobre, cobalto, molibdênio, e boro, em altas concentrações, geralmente, são tóxicos (SKURIHIN, 1989). Outros metais como mercúrio, chumbo, cádmio, cromo e níquel não tem função biológica conhecida e comumente apresentam toxicidade aos organismos (GREENPEACE, 2006). A toxicidade depende de vários fatores que influenciam a disponibilidade da substância aos organismos, incluindo a fonte, a taxa de emissão, a concentração, o transporte, a fase de desenvolvimento e os processos bioquímicos de cada organismo (ALVES, 1999).

Metal pesado é o nome designado ao grupo de elementos que ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações e apresentam densidade igual ou acima de 5 g/cm^3 (ADRIANO, 1986; EGREJA, 1993; POVINELLI, 1987). Os metais pesados surgem nas águas naturais devido aos lançamentos de efluentes industriais tais como os gerados em indústrias extrativistas de metais, indústrias de tintas e pigmentos e, especialmente, as galvanoplastias, que se espalham em grande número nas periferias das grandes cidades. Além dessas, os metais pesados podem ainda estar presentes em efluentes de indústrias químicas, como as de formulação de compostos orgânicos e de elementos e compostos inorgânicos, indústrias de couros, peles e produtos similares, indústrias de ferro e do aço, lavanderias e indústrias de petróleo. Os metais pesados constituem contaminantes químicos nas águas, pois em pequenas concentrações já acarretam efeitos adversos à saúde (CETESB, 2006). No presente projeto de monitoramento, foram analisados os seguintes metais classificados como metais pesados: chumbo, cádmio e mercúrio. Além disso, o cromo, o zinco, o ferro, o manganês e o níquel, além de serem elementos essenciais no ambiente marinho, são também micro-contaminantes, dependendo de suas concentrações.

Dentre todos os metais analisados (alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel, vanádio e zinco), o ferro e o alumínio apresentaram as mais elevadas concentrações nas amostras. As menores concentrações estiveram relacionadas ao mercúrio e ao cádmio, sendo que o mercúrio não foi quantificado ($LQ = 0,038$) em nenhuma das estações.

A sequência de concentrações observada na presente campanha foi a seguinte: $Al > Fe > Mn > Zn > V > Cr > Ba > Ni > As > Pb > Cu > Cd > Hg$ (Tabela

V-38). Esta sequência segue, de maneira geral, o padrão encontrado nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023).

A concentração média de ferro nas estações amostradas foi de $4925,58 \pm 626,90$ mg/kg, com mínimo de $3654,21 \pm 303,17$ mg/kg em MLZ_D_3R e máximo de $6198,73 \pm 289,11$ mg/kg, em MLZ_D_7R (Figura V-91). Foram verificadas diferenças significativas na concentração de ferro entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). As estações MLZ_D_3R, MLZ_D_6R, MLZ_D_7R e MLZ_D_8R diferiram da maioria das demais estações, MLZ_10 e MLZ_D_5R diferiram de MLZ_5R, MLZ_7 e MLZ_D_2REP, e MLZ_10 ainda diferiu de MLZ_1 (Tukey, $p < 0,05$).

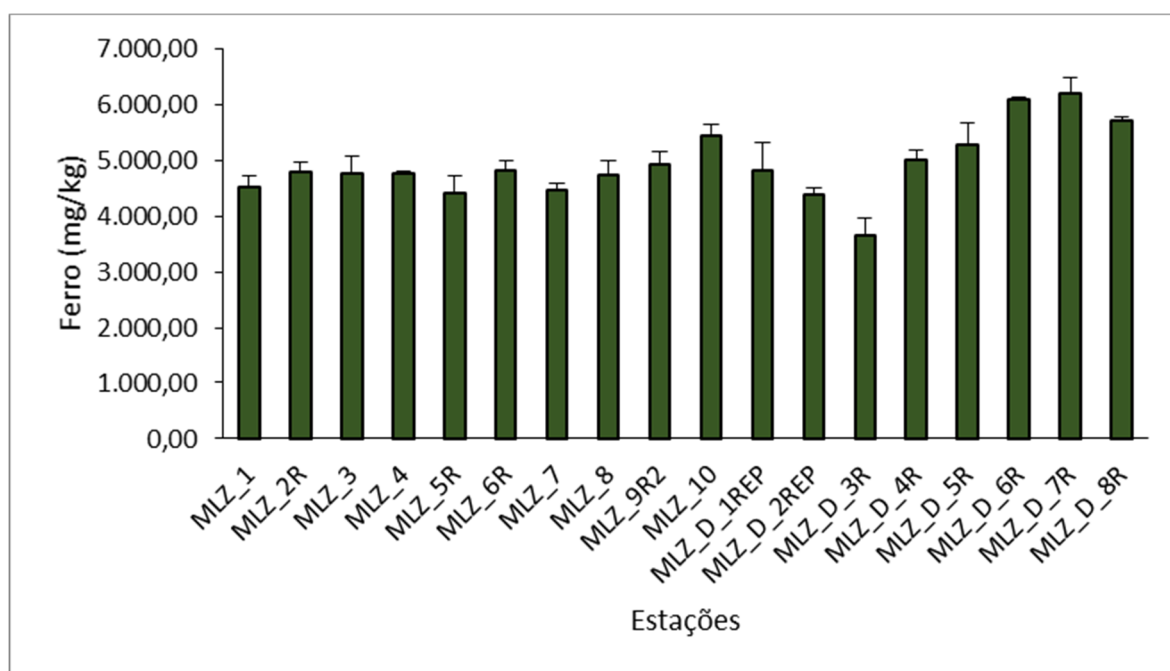


Figura V-91 – Concentrações médias e desvio padrão (mg/kg) de ferro no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

Na atual campanha, as concentrações de alumínio variaram de $12.999,98 (\pm 1.173,20)$ mg/kg (em MLZ_6R) a $42.330,47 (\pm 4.060,16)$ mg/kg (MLZ_D_7R) (Figura V-92). A média entre as estações foi de $25.231,96 (\pm 8.700,60)$ mg/kg e foram observadas diferenças significativas entre as estações (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_7R diferiu significativamente da estação MLZ_6R (Tukey, $p < 0,05$).

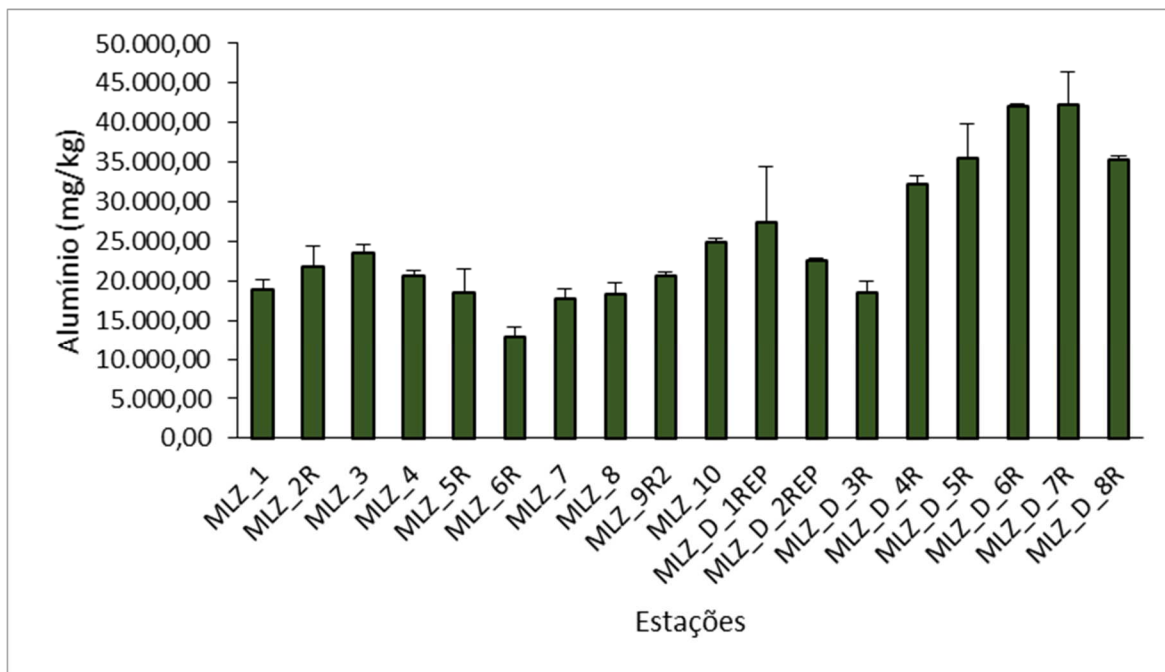


Figura V-92 – Concentrações médias e desvio padrão (mg/kg) de alumínio no sedimento da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

As distribuições espaciais das concentrações de alumínio e ferro são apresentadas na Figura V-93, onde se observa maiores concentrações de ambos os metais nas estações mais profundas do gasoduto, provavelmente em associação aos maiores teores de sedimento fino nesta região. Essa tendência não fica muito clara entre as estações do entorno da plataforma. Em geral, não foi identificado um padrão de distribuição que pudesse ser relacionado com a atividade ou com possíveis influências das estruturas de fundo instaladas no Sistema de Merluza.

Observa-se que no PCR-BS (Petrobras, 2022b), houve tendência de aumento das concentrações de ferro e alumínio ao longo da plataforma externa (faixa do gasoduto), até a isóbata de 100m, e redução da concentração para a isóbata de 150 m.

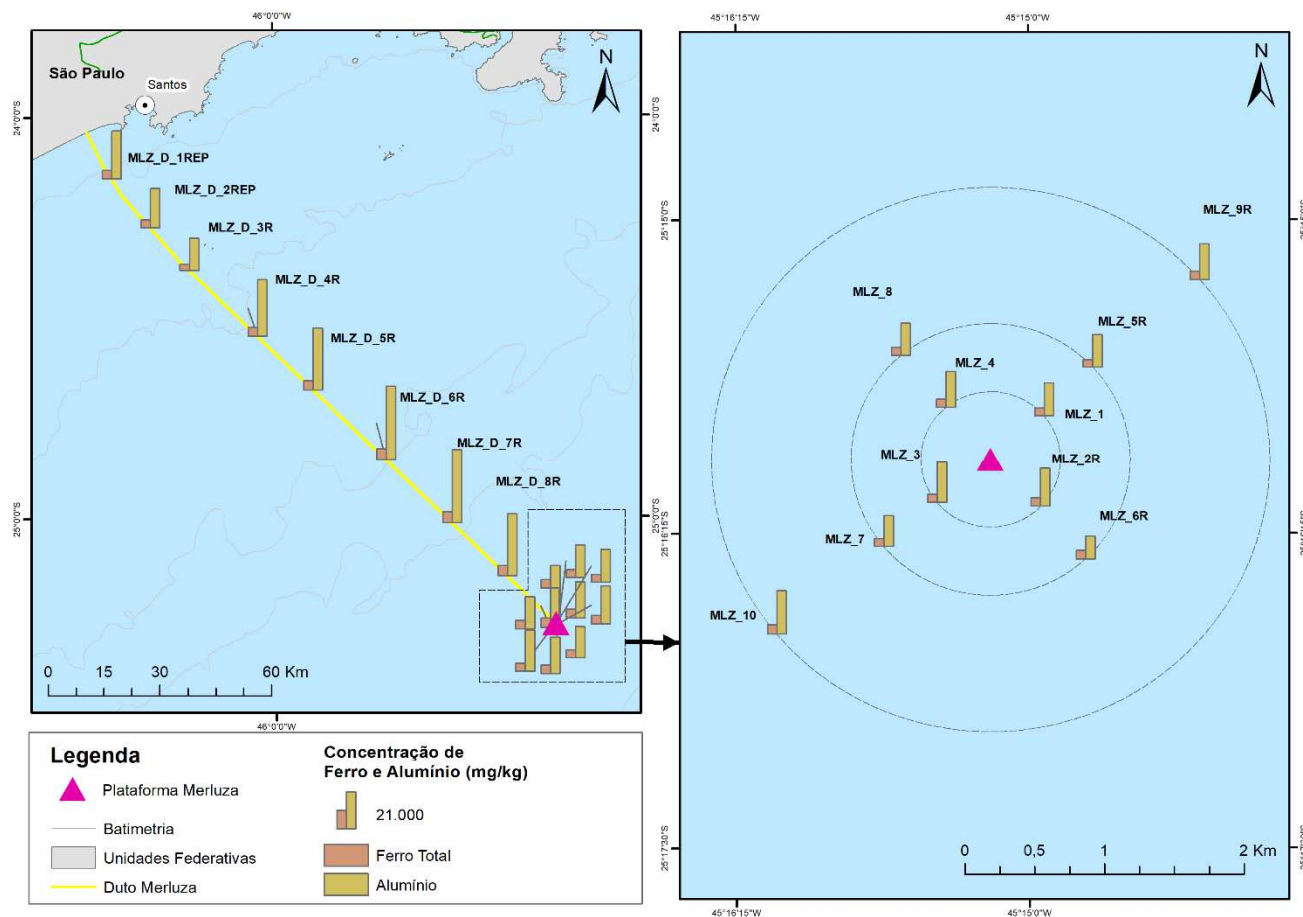


Figura V-93 – Distribuição espacial dos metais ferro e alumínio (mg/kg) no sedimento da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. O valor de concentração apresentado refere-se a barra maior. A barra menor representa exatamente a metade da barra maior. A cor das barras refere-se à distribuição espacial dos metais: ferro (mg/kg) em verde claro e em verde escuro o alumínio (mg/kg).

As concentrações de ferro da atual campanha ocorreram dentro da faixa de variação, embora um pouco inferiores em relação às campanhas anteriores, apresentando uma variação mais semelhante à C12 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023) (Tabela V-38).

Esses resultados também ficaram dentro da faixa de variação observada para os resultados de ferro total no estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022b) que variaram, entre as isóbatas de 25 a 150 m nas proximidades do Sistema de Merluza, entre 263,6 mg/Kg e 127,40 mg/Kg.

Tabela V-38 - Concentrações de metais pesados (mg/kg) no sedimento do PMAEpro-BS PMPR PMLZ. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Fonte		Alumínio	Arsênio	Bário	Cádmio	Cromo	Cobre	Ferro	Mercúrio	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
C1 MLZ ¹	Min	4.224,70	-	19,33	0,07	6,85	3,69	11.920,54	n.d.	244,55	5,74	2,79	17,57	15,76
	Máx	11.422,94	-	77,14	0,14	10,54	6,52	22.194,42	0,22	451,92	7,91	4,42	34,83	29,11
C2 MLZ ²	Min	5.743,13	-	22,22	n.d.	11,34	2,45	10.810,17	n.d.	253,37	5,02	3,86	13,98	13,11
	Máx	10.204,15	-	51,97	n.d.	21,01	6,15	25.538,62	n.d.	709,89	8,94	6,67	35,03	25,12
C3 MLZ ³	Min	2.150,28	-	2,68	n.d.	5,27	0,71	4.502,81	n.d.	47,90	1,74	1,33	4,88	8,77
	Máx	22.390,57	-	49,85	n.d.	32,16	11,21	34.181,64	n.d.	926,71	20,14	11,22	45,00	63,11
C4 MLZ ⁴	Min	750,00	-	1,05	n.d.	4,03	n.d.	2.173,33	n.d.	48,17	1,06	n.d.	2,98	6,72
	Máx	4.096,67	-	30,03	n.d.	12,73	2,35	12.900,00	n.d.	725,00	7,74	3,67	28,37	23,13
C5 MLZ ⁵	Min	959,33	-	1,05	n.d.	3,08	n.d.	2.243,33	n.d.	83,53	0,73	n.d.	3,34	8,87
	Máx	6.400,00	-	18,03	0,20	14,07	2,72	11.443,33	n.d.	1.007,33	10,40	5,03	21,70	34,07
C6 MLZ ⁶	Min	1.646,67	-	0,35	n.d.	4,06	4,20	2.793,33	n.d.	61,53	1,48	1,71	5,13	10,10
	Máx	22.266,67	-	26,33	0,27	34,27	15,33	20.733,33	n.d.	992,33	19,43	7,14	42,70	56,03
C7 MLZ ⁷	Min	614,95	-	1,36	0,02	6,90	0,39	3.225,49	n.q.	88,65	2,07	2,81	3,37	11,76
	Máx	9.981,33	-	24,07	0,14	21,57	15,73	17.285,99	0,06	1.585,37	13,47	10,80	31,59	57,22
C8 MLZ ⁸	Min	5.521,94	-	16,80	n.d.	14,19	1,47	11.008,90	0,11	518,31	5,95	5,31	17,31	10,91
	Máx	8.776,00	-	39,15	0,05	18,30	2,95	15.989,05	0,14	730,73	8,68	7,31	27,50	16,41
C9 MLZ ⁹	Min	1.914,69	-	2,05	n.d.	5,76	n.d.	3.839,85	n.d.	50,58	0,93	2,94	5,42	5,80
	Máx	10.507,23	-	28,33	n.d.	23,69	6,47	19.021,91	n.d.	498,95	14,42	12,63	39,27	38,54
C10 MLZ ¹⁰	Min	1.254,11	-	0,41	n.d.	4,20	n.d.	2.786,23	n.d.	68,39	1,16	2,48	2,71	4,73
	Máx	6.358,60	-	23,28	n.d.	17,14	3,47	14.509,27	n.d.	941,59	8,81	7,56	25,37	21,31
C11 MLZ ¹¹	Min	1.556,17	-	3,36	n.d.	3,87	0,57	2.863,99	n.d.	88,33	1,57	2,16	4,04	4,20
	Máx	18.301,72	-	48,65	n.d.	24,46	6,83	22.131,81	n.d.	1.021,47	14,61	11,82	38,08	31,85
C12 MLZ ¹²	Min	4.440,87	1,25	10,17	0,01	6,33	2,52	5.066,32	n.q.	72,98	4,19	3,71	9,88	12,37
	Máx	6.429,61	1,72	16,17	0,05	8,50	7,25	6.613,04	n.q.	169,34	5,90	5,41	13,52	17,73
C13 MLZ ¹³	Min	4958,11	1,14	5,78	0,017	7,82	2,25	5475,95	<0,038	75,25	3,03	8,76	10,92	11,56
	Máx	36835,00	23,39	258,90	0,155	48,76	11,56	17396,15	<0,038	890,36	21,48	171,23	50,91	52,44

Fonte: 1. Petrobras/Analytical Solutions, 2010 / 2. Petrobras/Analytical Solutions, 2012 / 3. Petrobras/Analytical Solutions, 2013 / 4. Petrobras/Bourscheid, 2014 / 5. Petrobras/Bourscheid, 2015. 6. Petrobras/Bourscheid, 2016. / 7. Petrobras/Bourscheid, 2017 / 8. Petrobras/Bourscheid, 2018 / 9. Petrobras/Bourscheid, 2019a / 10. Petrobras/Bourscheid, 2019b / 11. Petrobras/Bourscheid, 2020 / 12. Petrobras/Bioconsult, 2022 / 13. Petrobras/Bioconsult, 2023.

Nas Figura V-94 e Figura V-95 são apresentadas as faixas das concentrações de ferro obtidas nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ, ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto, respectivamente. É possível verificar maiores valores de ferro nas campanhas C1 a C3, C11 e C13 e menores na C5 e C7 para as amostras ao redor da plataforma. Nas amostras do gasoduto houve maior amplitude de variação nas campanhas C3 e C11, sendo que C11 também apresentou o menor mínimo.

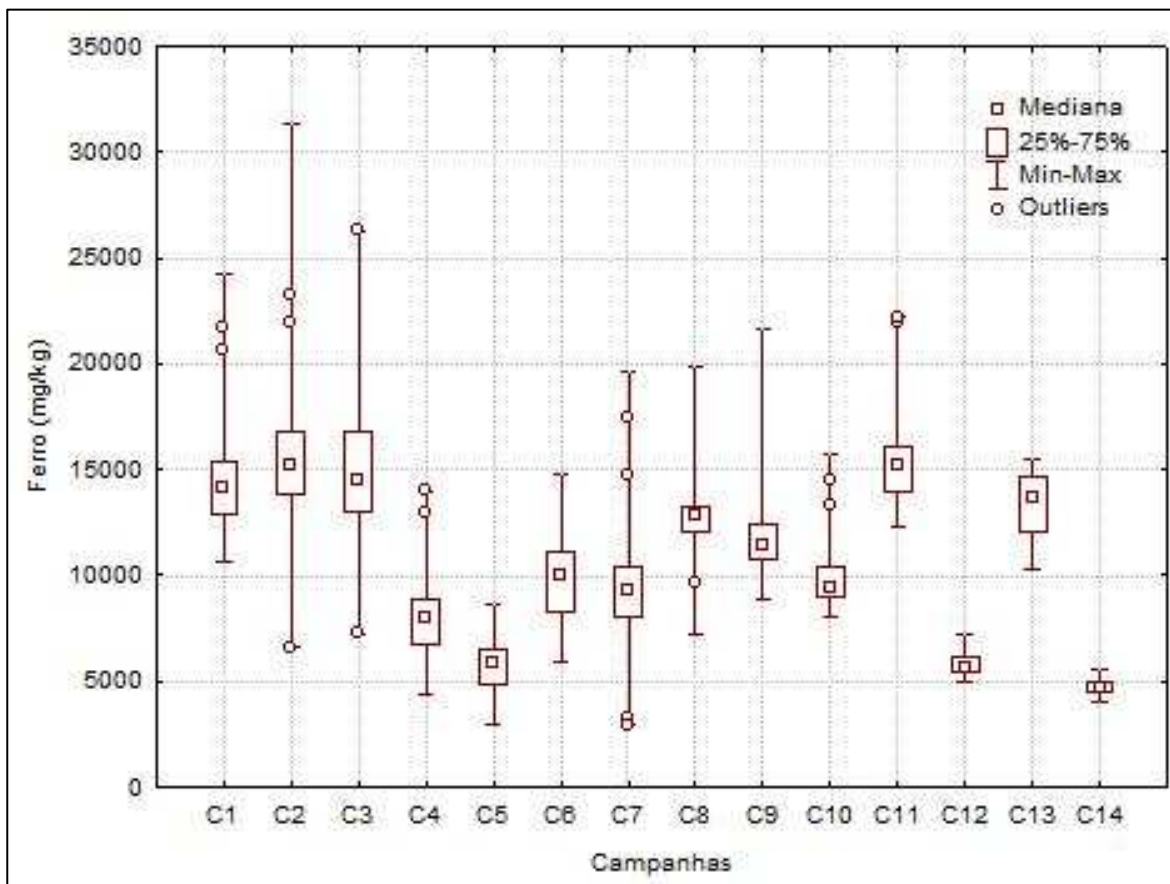


Figura V-94 – Concentrações de ferro (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

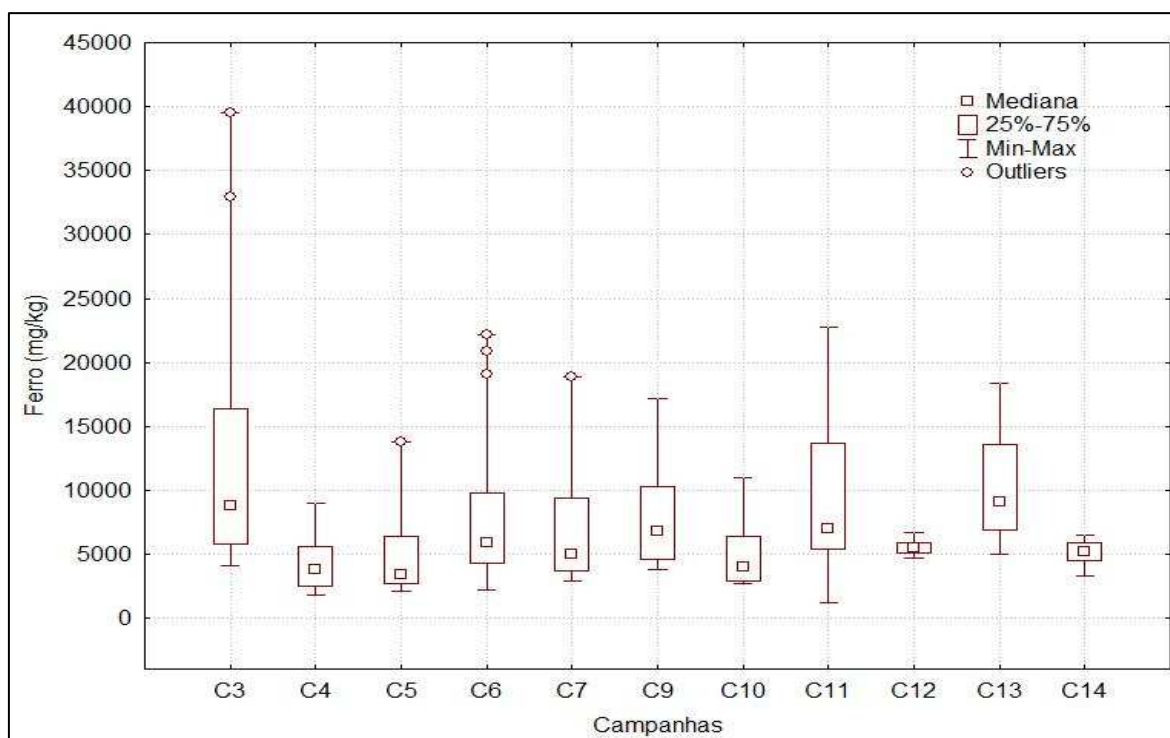


Figura V-95 – Concentrações médias de ferro (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa da concentração de ferro entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-39. Foram verificadas frequentes diferenças entre o grupo formado pelas três primeiras campanhas e o grupo formado pelas campanhas C9, C10, C11, C12, C13 e C14 em relação às demais, principalmente nas estações MLZ_2R, MLZ_8, MLZ_D_2REP, MLZ_D_5R e MLZ_D_6R. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,5 mg/kg nas três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 2,6 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e EPA 6020A e LD = 0,03 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 0,03 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,0278 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,0278 mg/kg para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-39 – Análise de variância dos valores de ferro e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 38,674 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 25,254 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 37,970 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 38,302 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_7 KW H = 37,403 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 37,616 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 37,855 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 55,995 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 35,525 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 35,042 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 29,134 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F = 76,310 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 24,402 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 30,180 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5R ANOVA F = 18,067 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F = 53,545 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 30,859 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R KW H = 30,282 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Nas Figura V-96 e Figura V-97 são apresentadas, respectivamente, as faixas de concentração de alumínio obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. Verifica-se maiores concentrações de alumínio obtidas em C13 e C14, tanto nas estações da plataforma, quanto no gasoduto. Ainda a campanha C13 apresentou a maior amplitude de variação dos dados. As menores concentrações ocorreram em C4, C5 tanto na plataforma, quanto no gasoduto, e também em C7 na plataforma.

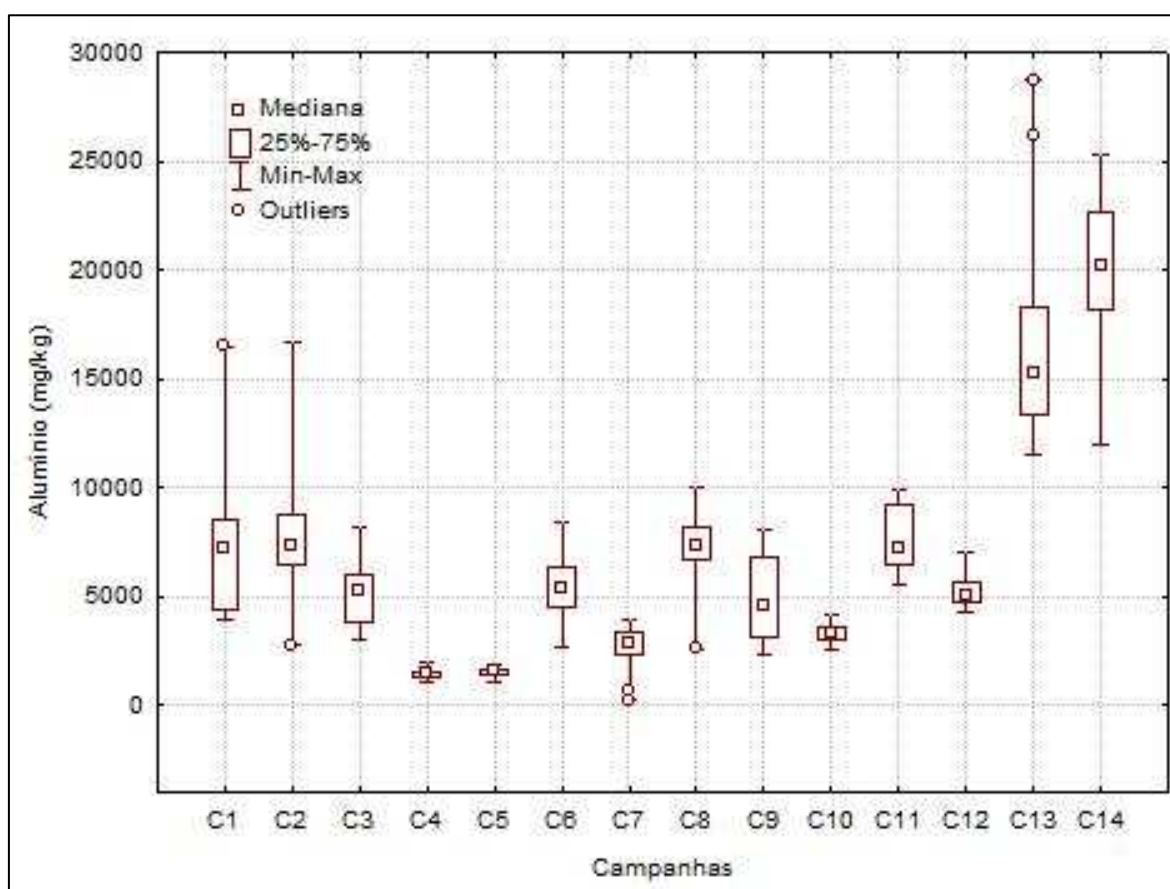


Figura V-96 – Concentrações médias de alumínio (mg/kg) das amostras da plataforma, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

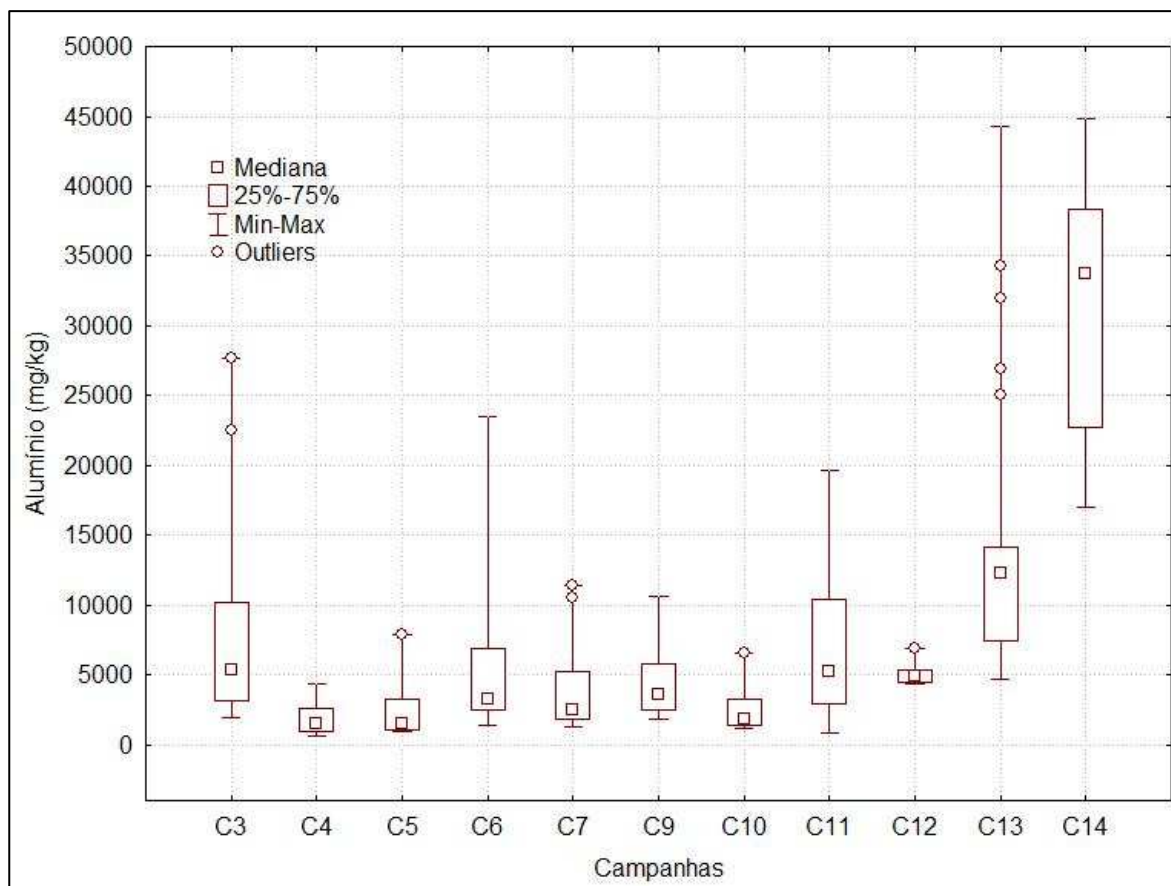


Figura V-97 – Concentrações médias de alumínio (mg/kg) das amostras do gasoduto, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de alumínio entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-40.

Semelhante ao que foi observado para o ferro, foram verificadas frequentes diferenças entre as campanhas C14, C13 e C11 com a maioria das demais campanhas, principalmente nas estações MLZ_1, MLZ_2R, MLZ_4, MLZ_9R, MLZ_D_4R e MLZ_D_8R. Nas demais estações, tanto do entorno da plataforma, quanto do gasoduto as diferenças foram bastante pontuais, com maior frequência entre C4 e C5 diferindo de C13 e C14, principalmente. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C com LD = 0,25 mg/kg para a primeira e terceira campanha, e com LD = 0,5 mg/kg para a segunda campanha, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 6,2 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, EPA 3050B e EPA 6020A e LD = 0,004 mg/kg para a sétima campanha, EPA 3051A e EPA

6020B e LD = 0,004 mg/kg para a oitava, nona, décima, décima primeira campanha e décima quarta, e EPA 3051A e EPA 6010D e LD = 0,004 mg/kg para a décima segunda e décima terceira), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

No PCR-BS (Petrobras, 2022b), foram observadas concentrações de alumínio nas proximidades do Sistema de Merluza variando de 126,5 mg/kg a 29.328,9 mg/kg entre as isóbatas 25 m a 150 m.

Tabela V-40 – Análise de variância dos valores de alumínio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 ANOVA F = 50,478 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3		x												
	C4	x	x												
	C5	x	x												
	C6														
	C7	x	x				x								
	C8			x	x	x		x							
	C9				x	x		x							
	C10		x						x						
	C11			x	x	x	x	x			x				
	C12				x			x				x			
	C13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	C14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 64,391 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4	x	x	x											
	C5	x	x	x											
	C6				x	x									
	C7	x	x	x											
	C8				x	x		x							
	C9				x	x		x							
	C10	x	x						x	x					
	C11				x	x	x	x			x				
	C12											x			
	C13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	C14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 37,815 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14				x	x		x							

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 51,137 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4	x	x	x											
	C5	x	x	x											
	C6		x												
	C7		x												
	C8				x	x		x							
	C9														
	C10		x												
	C11				x	x		x			x				
	C12														
	C13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	C14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 37,009 P = <0,001	MLZ_7 KW H = 36,426 P = <0,001	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
MLZ_6R KW H = 37,261 P = <0,001	MLZ_10 KW H = 35,994 P = <0,001	C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
		C11														
		C12														
		C13				x	x									
		C14				x	x									

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 37,616 P = <0,001		C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
		C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
		C11														
		C12														
		C13				X	x									
		C14				x										

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R ANOVA F = 126,213 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3	X	X												
	C4	X	X	x											
	C5	X	X	x											
	C6	X			x	x									
	C7	X	X				x								
	C8				x	x		x							
	C9	X	X				x		x						
	C10	X	X				x		x						
	C11				X	X		x		x	x				
	C12	X	X		X	X									
	C13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
	C14	X	X	X	x	x	X	x	X	X	X	X	X	X	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 30,980 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_2REP KW H = 31,152 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				X										
	C14				X	X									

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 27,843 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_5 KW H = 27,034 P = 0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14				X	X									

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R ANOVA F = 686,100 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4			x											
	C5			x											
	C6				x	x									
	C7			x											
	C8														
	C9				x										
	C10			x											
	C11				x	x		x			x				
	C12				x	x		x		x	x				
	C13			x	x	x	x	x		x	x	x	x		
	C14			x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 30,660 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				x										
	C14				x	x					x				

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 30,709 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				X										
	C14				x										

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 270,935 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4			x											
	C5			x											
	C6			x											
	C7				x	x									
	C8														
	C9				x										
	C10			x											
	C11				x	x	x	x		x	x				
	C12			x								x			
	C13			x	X	x	x	x		x	x		x		
	C14			x	x	x	x	x		x	x	X	x	X	

A concentração média de manganês nas estações de coleta foi de $314,95 \pm 167,09$ mg/kg, com mínimo de $69,45 \pm 39,59$ mg/kg e máximo de $642,77 \pm 339,79$ mg/kg nas estações MLZ_D_1REP e MLZ_D_7R, respectivamente (Figura V-98). Foram observadas diferenças significativas entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), com MLZ_D_8R diferindo de MLZ_D_1REP e MLZ_D_3R (Tukey, $p < 0,05$).

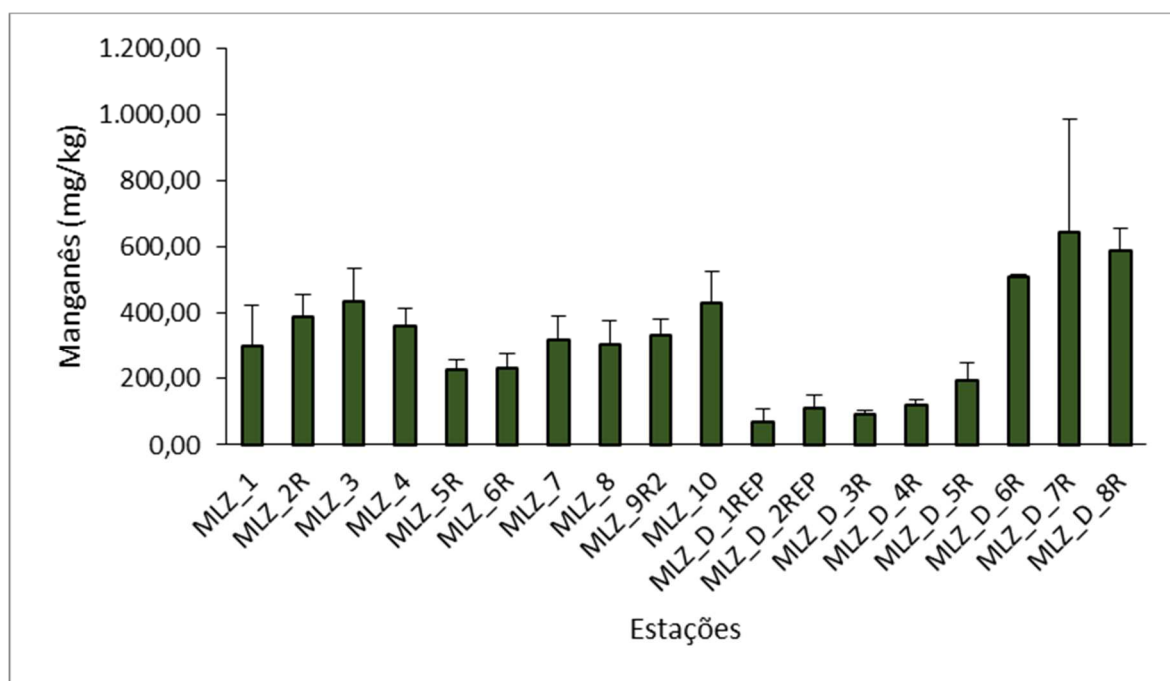
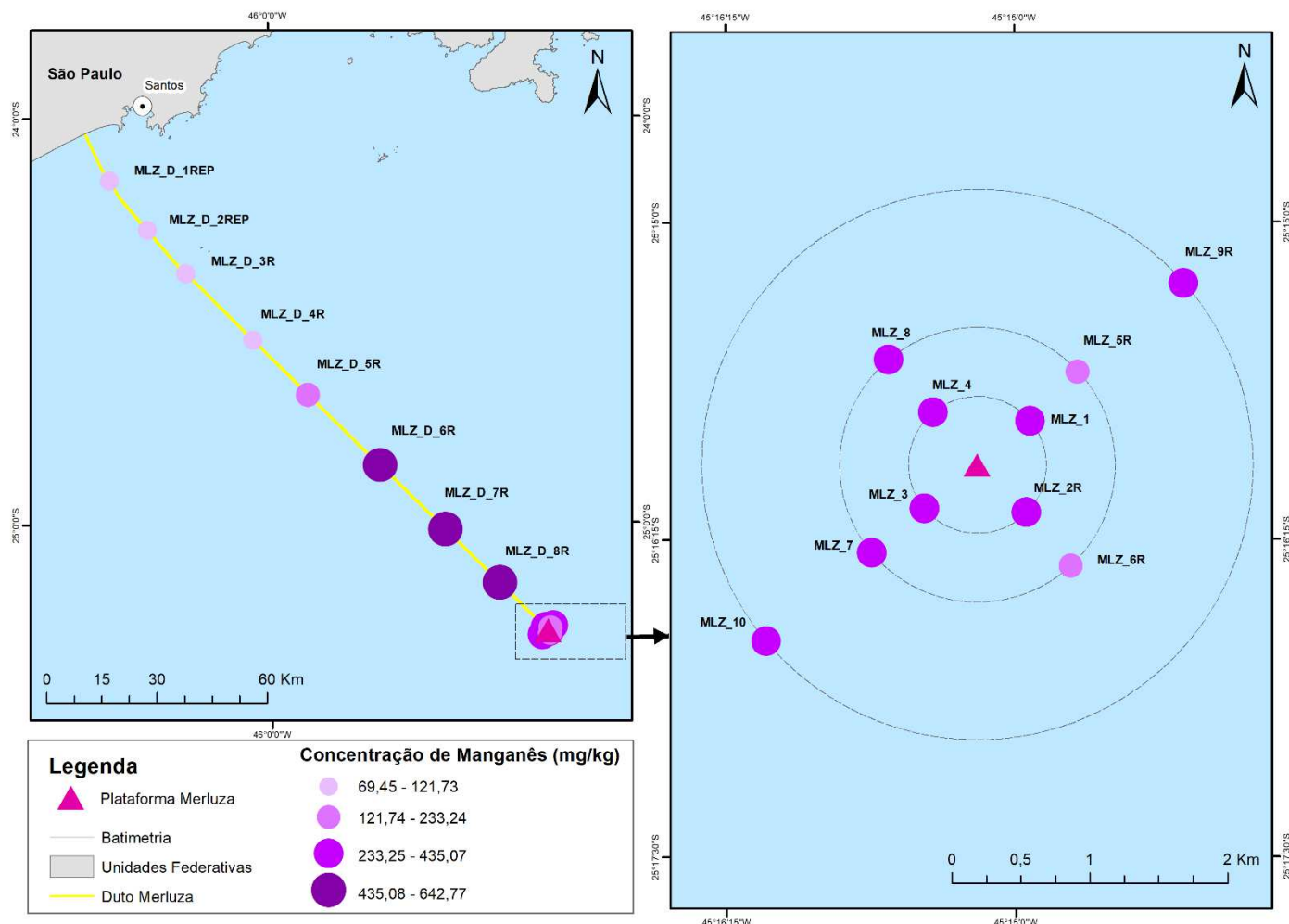


Figura V-98 – Concentrações médias e desvio padrão (mg/kg) de manganês no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

A partir da distribuição espacial das concentrações de manganês apresentada na Figura V-99 percebe-se que houve um aumento das concentrações da costa até as estações mais profundas do duto, com posterior redução das concentrações no entorno da plataforma. Tal distribuição mostra relação com a profundidade ou distância da costa, não sendo identificado um padrão que pudesse ser relacionado com a atividade ou com possíveis influências das estruturas de fundo instaladas no Sistema de Merluza. Assim como nesse monitoramento, foi observado no PCR-BS (Petrobras, 2022b) aumento das concentrações de manganês da costa até as isóbatas mais profundas (de 25 m a 150 m), variando de 8,30 a 1.626,10 mg/kg nas proximidades do Sistema de Merluza.



Nas Figura V-100 e Figura V-101 são apresentadas as faixas das concentrações médias de manganês obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza respectivamente, no PMAEpo-BS_PMPR_MLZ. Para as estações do entorno da plataforma, é possível verificar as campanhas C7 e C13 mostraram maiores intervalos de valores de concentração, enquanto C8, C10, C11 e C13 apresentaram concentrações levemente superiores que as demais campanhas, conforme apresentado na Tabela V-40 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). Já para as estações ao longo do gasoduto, as distribuições foram bastante similares entre as campanhas, destacando-se a campanha C12 com as menores concentrações.

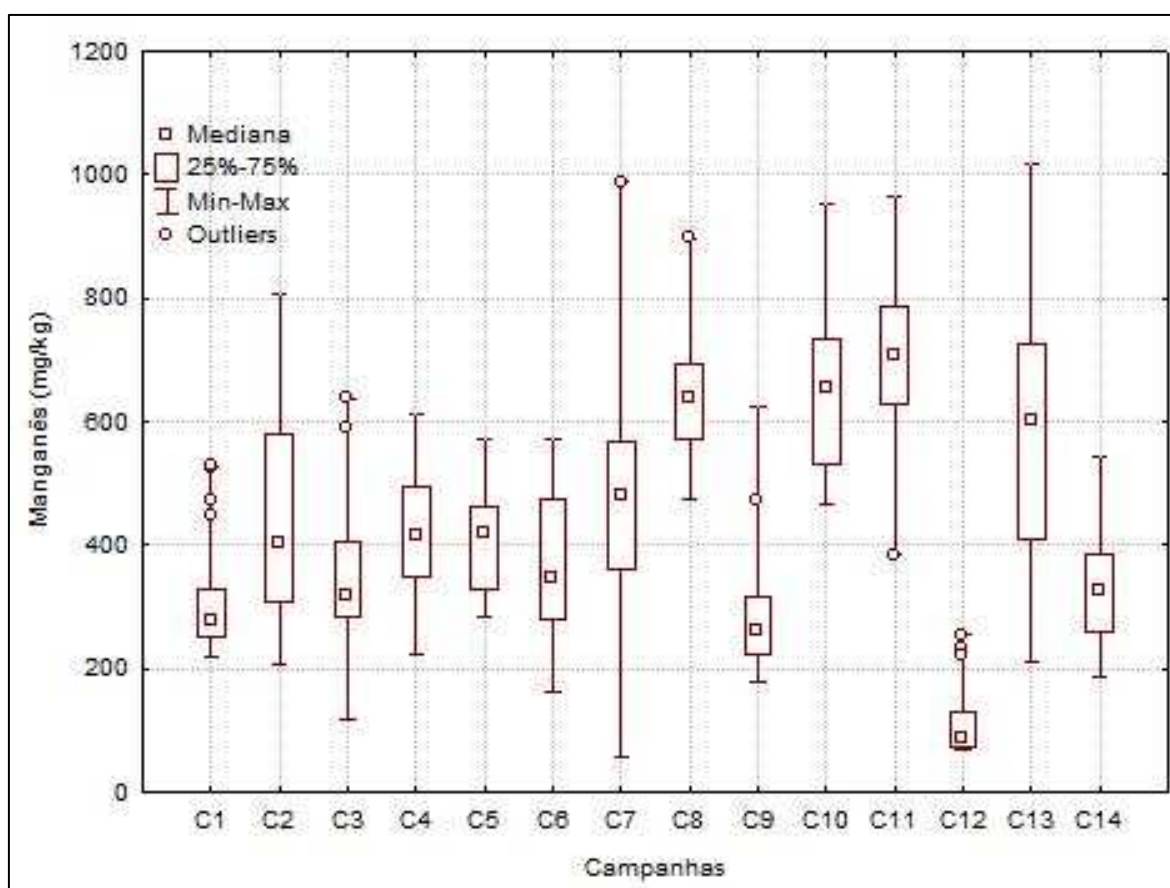


Figura V-100 – Concentrações médias de manganês (mg/kg) observadas na plataforma PMPR_MLZ.

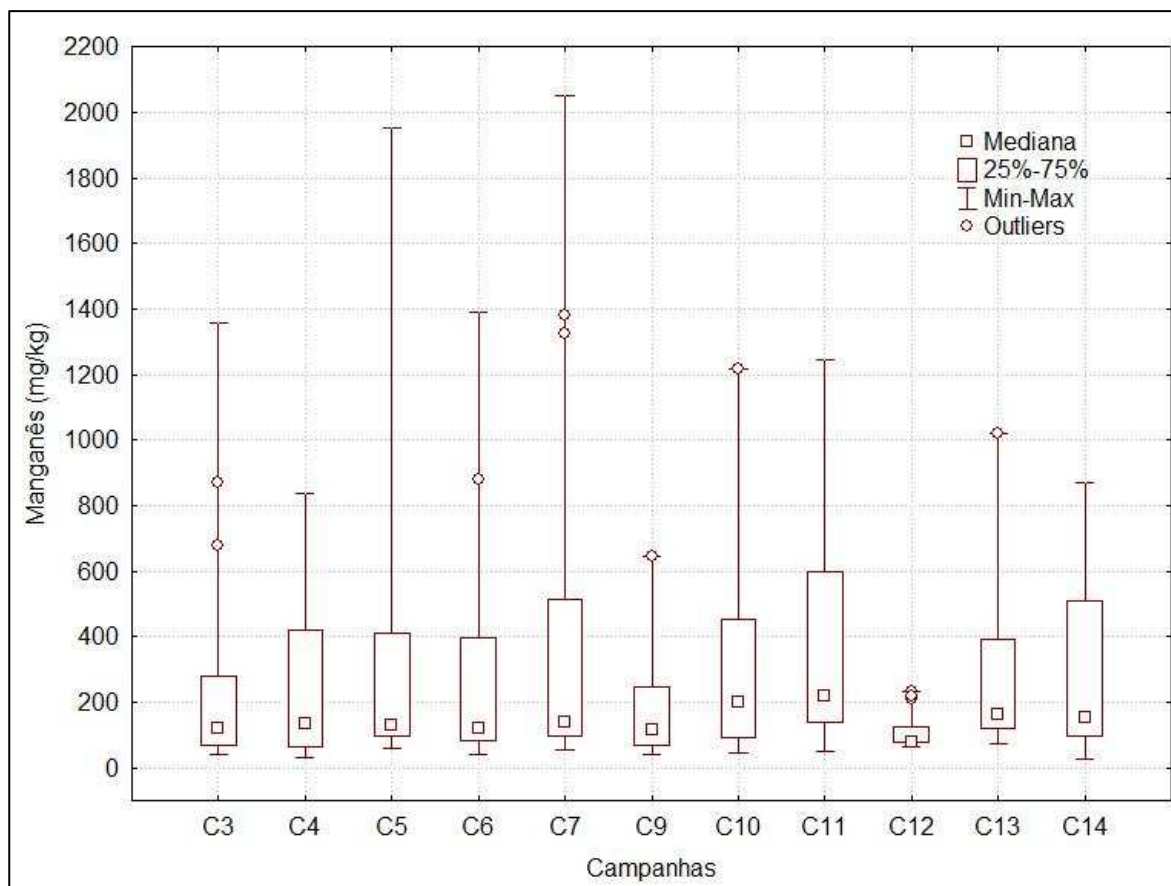


Figura V-101 – Concentrações médias de manganês (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto do PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de manganês entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey, exceto para as estações MLZ_D_1REP e MLZ_D_2REP (Tabela V-41). Para as estações do gasoduto, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R e MLZ_D_6R, embora as análises de variância tenham sido significativas, não foi possível detectar em quais campanhas foram observadas diferenças, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey). As principais diferenças entre as campanhas foram observadas entre as estações do entorno da plataforma, destacando-se as campanhas C7, C8, C10, C11 e C13 diferindo da maioria das demais campanhas. Nas estações do gasoduto, as diferenças foram pontuais, concentradas na campanha C11 em relação às demais, nas estações MLZ_D_5R e MLZ_D_8R, e na campanha C7 em relação à C9 e C12 em MLZ_D_7R. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção utilizados variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,25 mg/kg para as três primeiras

campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 60,2 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 0,001 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 0,001 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha e USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,001 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, e EPA 3051A/EPA 6020B e e LD = 0,001 mg/kg para décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-41 - Análise de variância dos valores de manganês e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadros em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 ANOVA F = 6,839 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8	x													
	C9								x						
	C10	x								x					
	C11	x		x						x					
	C12		x		x	x		x	x		x	x			
	C13														
	C14							x		x	x				

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 17,203 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7	x	x	x											
	C8	x	x	x	x	x	x								
	C9							x	x						
	C10	x	x	x			x			x					
	C11	x	x	x	x	x	x			x					
	C12				x	x		x	x		x	x			
	C13								x			x	x		
	C14							x				x	x		

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 ANOVA F = 8,918 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8	x	x		x	x	x	x							
	C9								x						
	C10	x	x	x	x	x	x	x		x					
	C11									x					
	C12								x		x	x			
	C13		x		x	x	x	x		x			x		
	C14												x		

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 15,463 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8	x			x		x	x							
	C9								x						
	C10	x			x		x	x		x					
	C11	x	x	x	x	x	x	x		x					
	C12		x		x	x			x		x	x			
	C13	x			x		x	x		x			x		
	C14								x		x	x		x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 12,343 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8	x	x	x	x	x									
	C9							x	x						
	C10	x	x	x	x	x	x			x					
	C11	x	x	x	x	x	x			x					
	C12							x	x		x	x			
	C13								x		x	x			
	C14								x		x	x			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R ANOVA F = 14,275 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7	x		x		x									
	C8														
	C9							x							
	C10	x		x		x	x			x					
	C11	x		x		x	x			x					
	C12		x	x	x			x	x	x	x	x			
	C13							x			x	x	x		
	C14		x	x	x			x	x		x	x			

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 ANOVA F = 12,157 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7	x		x		x	x								
	C8	x		x	x	x	x								
	C9							x	x						
	C10	x													
	C11	x		x	x	x	x			x					
	C12		x		x		x	x	x		x	x			
	C13	x		x		x				x			x		
	C14							x	x		x	x		x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 14,350 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10			x						x					
	C11	x		x						x					
	C12		x		x	x	x	x	x		x	x			
	C13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	C14										x	x		x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R ANOVA F = 11,997 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8			x			x	x							
	C9								x						
	C10			x	x	x	x	x		x					
	C11			x	x	x	x	x		x					
	C12		x						x		x	x			
	C13	x	x	x	x	x	x			x			x		
	C14										x	x		x	

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 ANOVA F = 17,889 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4			x											
	C5			x											
	C6														
	C7	x		x			x								
	C8	x		x											
	C9				x			x	x						
	C10	x		x			x			x					
	C11	x	x	x			x			x					
	C12		x		x	x		x	x		x	x			
	C13	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		
	C14			x								x	x		

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP ANOVA F = 1,297 P = 0,291	MLZ_D_3R KW H = 20,371 P = 0,026	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
MLZ_D_2REP KW F = 1,483 P = 0,211	MLZ_D_4R KW H = 23,578 P = 0,009	C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
	MLZ_D_6R KW H = 20,604 P = 0,024	C11														
		C12														
		C13														
		C14														
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 4,573 P = 0,002		C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
		C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
		C11														
		C12														
		C13														
		C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 3,137 P = 0,012	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 5,458 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

As concentrações de bário na presente campanha atingiram valor máximo de $18,35 \pm 2,43$ mg/kg, na estação MLZ_4, e mínimo de $1,37 \pm 0,03$ mg/kg, na estação MLZ_D_1REP (Figura V-2). A média entre as estações foi de $10,02 \pm 5,37$ mg/kg, e foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$), sendo que MLZ_4 diferiu de MLZ_D_1REP e MLZ_D_2REP, e MLZ_1 diferiu de MLZ_D_1REP (Tukey, $P < 0,05$). Os resultados encontrados estiveram bem abaixo dos limites estabelecidos pelo valor de TEL da tabela americana que é 130,10 mg/kg.

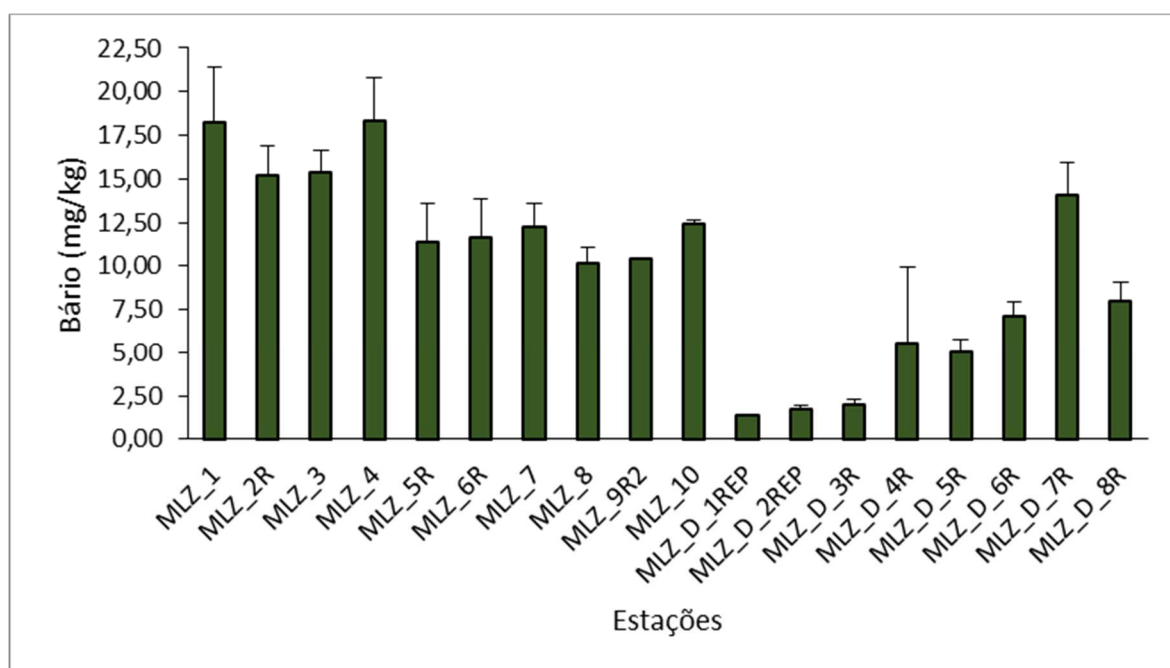


Figura V-102 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de bário no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

As concentrações médias de vanádio na presente campanha variaram entre $4,57 \pm 0,26$ mg/kg, na estação MLZ_D_3R, e $21,21 \pm 2,88$ mg/kg, na estação MLZ_6R, sendo que a média das estações foi de $11,91 \pm 4,73$ mg/kg (Figura V-3). Foram observadas diferenças significativas entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). A estação MLZ_6R diferiu das demais estações, exceto das estações MLZ_1, MLZ_4 e MLZ_8; as estações MLZ_1 e MLZ_4 diferiram de todas as estações do gasoduto, exceto MLZ_D_7R; MLZ_8 diferiu de MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R, MLZ_D_5R e MLZ_D_8R; MLZ_2R, MLZ_5R, MLZ_7 e

MLZ_D_7R diferiram de MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R, MLZ_D_5R; MLZ_3, MLZ_9R e MLZ_10 diferiram de MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R; e MLZ_D_6R diferiu de MLZ_D_3R (Tukey, $p < 0,05$).

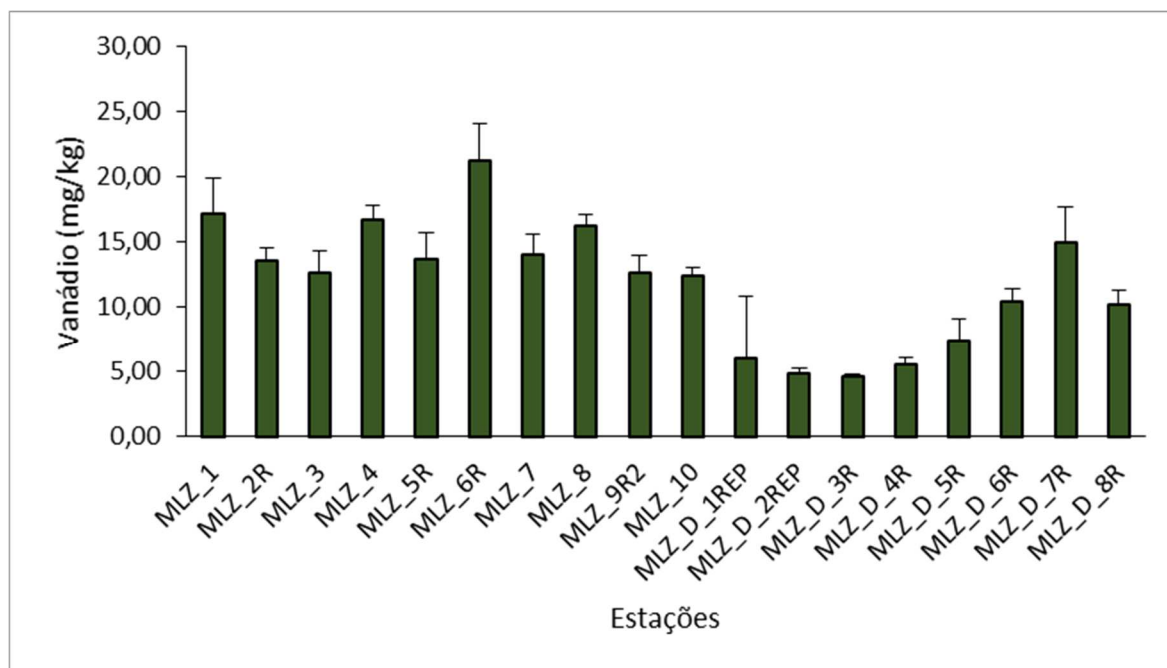


Figura V-103 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de vanádio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A verde laranja representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

A máxima concentração de zinco foi de $28,39 \pm 3,66$ mg/kg, na estação MLZ_D_7R e a mínima concentração foi de $6,61 \pm 0,56$ mg/kg, na estação MLZ_D_2REP, enquanto a média entre as estações foi de $13,73 \pm 4,95$ mg/kg (Figura V-4). Estes valores são uma ordem de magnitude menor que o limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 454/12 para sedimentos marinhos nível 1, de 150 mg/kg. Cabe ressaltar que a CONAMA 454/12 trata do gerenciamento de sedimentos a serem dragados e foi utilizada como referência apenas por não haver legislação específica para o sedimento marinho no Brasil.

As concentrações de zinco apresentaram diferenças significativas entre as estações (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_7R diferiu de MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R (Tukey, $p < 0,05$). Os resultados encontrados estiveram bem abaixo

dos limites estabelecidos pelos valores de TEL, de 124 mg/kg, e PEL, de 271 mg/kg, tanto da tabela canadense quanto da americana (Tabela V-42).

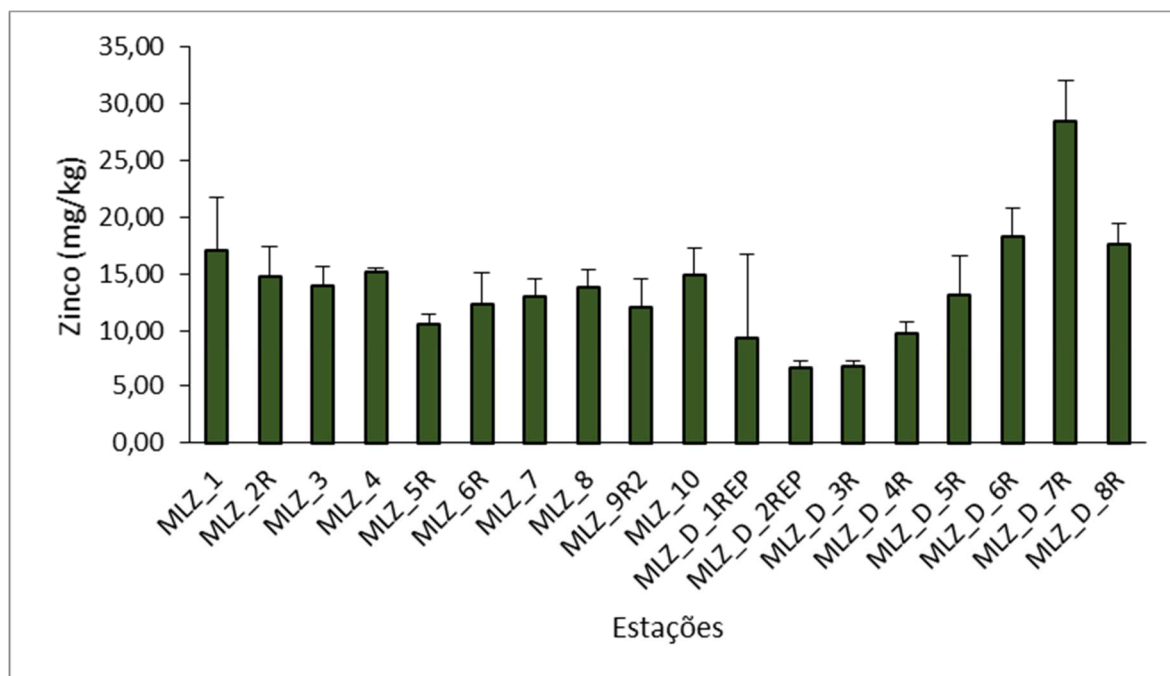
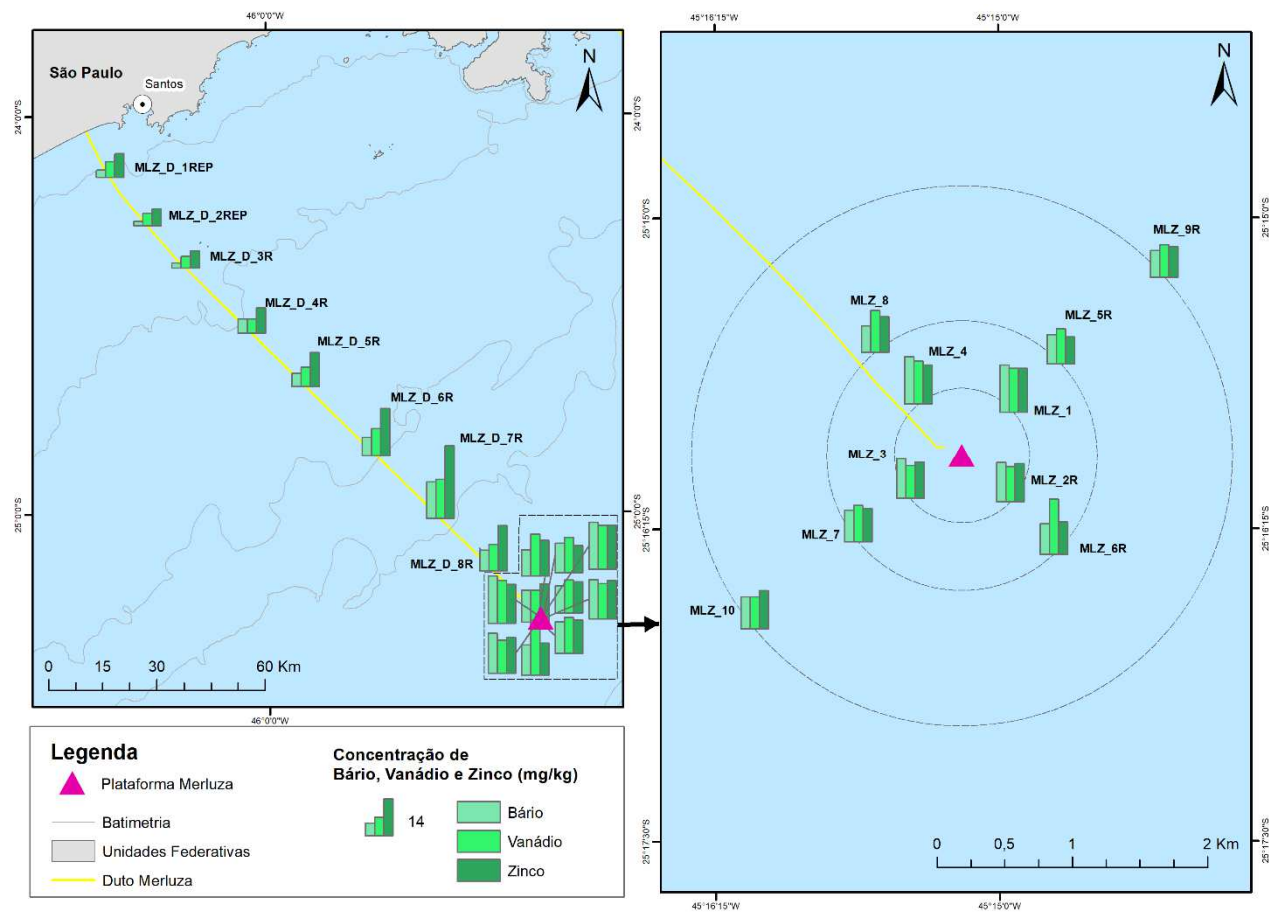


Figura V-104 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de zinco no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

De modo geral, observaram-se maiores concentrações de bário, zinco e vanádio nas estações mais profundas do duto, em provável associação aos sedimentos mais finos que ocorrem nessa área, e ao redor da plataforma (Figura V-105). Embora a mais alta concentração de bário no entorno da plataforma também possa ser relacionada com a presença dos poços de produção (Figura III-10) cuja perfuração utiliza fluidos que contém este elemento em sua composição, deve-se destacar que os poços de Merluza são antigos, com 20 anos ou mais, sendo improvável a persistência dos compostos por tanto tempo. As elevadas concentrações de bário já na região profunda do gasoduto, com maiores concentrações ocorrendo em região que ultrapassa a área de influência dos poços de Merluza, e o comportamento do metal aderente à distribuição das concentrações dos demais metais na área, também indicam a provável ocorrência natural do elemento.

No PCR-BS (Petrobras, 2022b), para as proximidades do Sistema de Merluza, foram observadas concentrações mais elevadas de bário entre as isóbatas de 25 a 100 m, variando de 64,63 a 289,01 mg/kg, durante o inverno/primavera e reduzindo um pouco na isóbata de 150 m, para uma variação entre 13,28 a 32,05 mg/kg, enquanto que durante verão/outono, as concentrações foram mais elevadas, chegando a faixa entre 64,63 e 289,01 mg/kg nas isóbatas de 25 a 150 m, mas com valores mais reduzidos na isóbata de 100m, entre 32,05 e 64,63 mg/kg. Para vanádio, as concentrações foram menores próximas à costa, aumentando nas isóbatas de 75 e 100 m (de 17,57 a 31,72 mg/kg) e reduzindo na isóbata de 150 m (entre 10,93 e 17,57 mg/kg), na campanha de verão/outono. Na campanha de verão/outono, as concentrações de vanádio foram menores ao longo de todas as isóbatas entre 25 e 150 m (entre 0,9 mg/kg a 10,9 mg/kg). Para zinco, as concentrações foram mais baixas durante a campanha de inverno/primavera, variando entre 2,3 e 10,7 mg/kg nas isóbatas de 25 a 75 m, aumentando na isóbata de 100 m para 18,57 a 52,48 mg/kg, e voltando a baixar na isóbata de 150 m. Já na campanha de verão/outono as concentrações de zinco foram mais elevadas em todas as isóbatas, entre 18,57 e 52,48 mg/kg.



Legenda: O valor de concentração apresentado refere-se a barra maior. As barras menores representam exatamente a metade das barras maiores e a barra média também precisa ser descrita

Figura V-105 – Distribuição espacial dos metais bário, vanádio e zinco (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAepro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Nas Figura V-106 e Figura V-107 são apresentadas respectivamente as faixas das concentrações de bário obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza durante o PMAEpro-BS_PMPR-PMLZ. A ampla faixa de variação verificada na 13ª campanha se deve a uma das réplicas da amostra MLZ_3, para a qual se suspeita de contaminação amostral ou analítica, visto a ocorrência em apenas uma das três réplicas que compõem a amostra. Para as concentrações de níquel, também se observou menores concentrações, entre 0,015 e 9,33 mg/kg, nas isóbatas de 25 a 150m em ambas as campanhas, destacando-se apenas uma concentração mais elevada na isóbata de 100 m, variando de 9,33 a 47,73 mg/kg, na campanha de inverno. Destaca-se ainda que na isóbata de 150m, a concentração de níquel variou de 6,8 a 9,33 mg/kg em ambas as campanhas. Excetuando-se este resultado, os dados se apresentam bastante aderentes entre as campanhas para as amostras da plataforma (Figura V-99). Para as amostras do gasoduto (Figura V-100), verifica-se concentrações de bário levemente superiores nas campanhas C11, C12 e C13 (Tabela V-42).

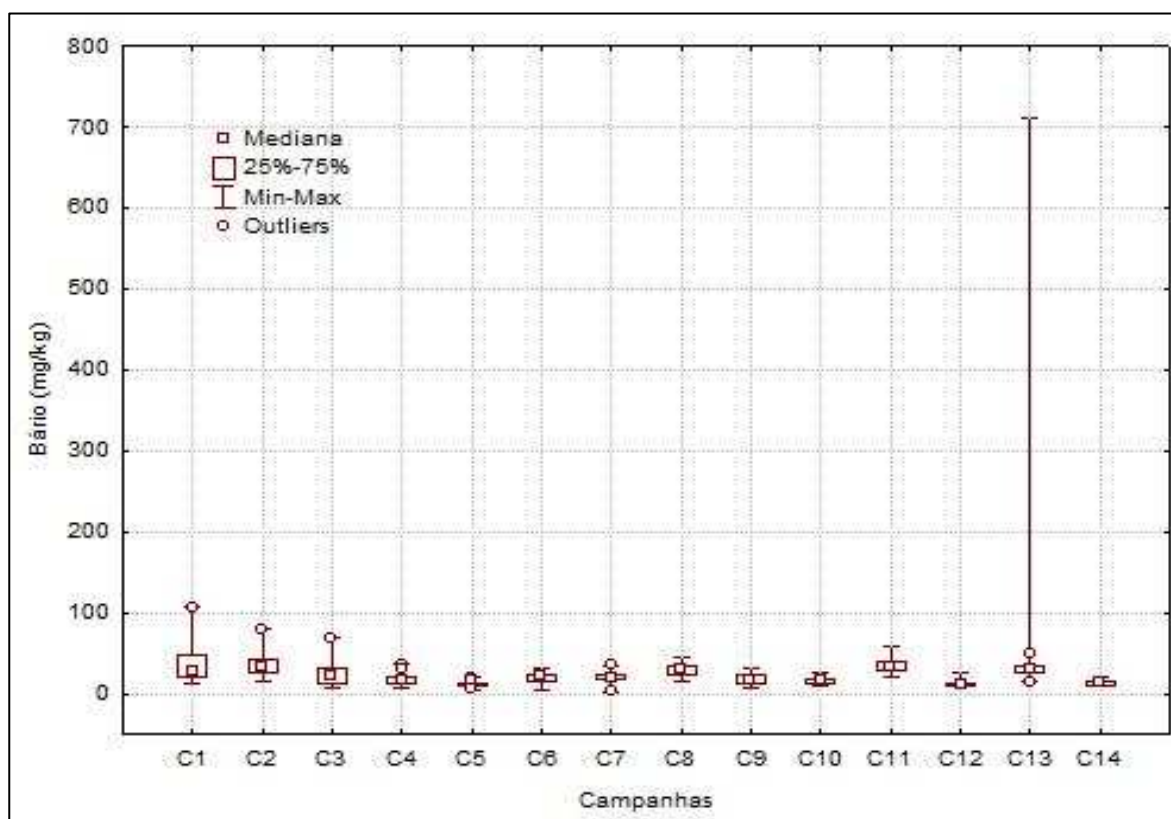


Figura V-106 – Concentrações médias de bário (mg/kg) observadas na plataforma PMPR_MLZ.

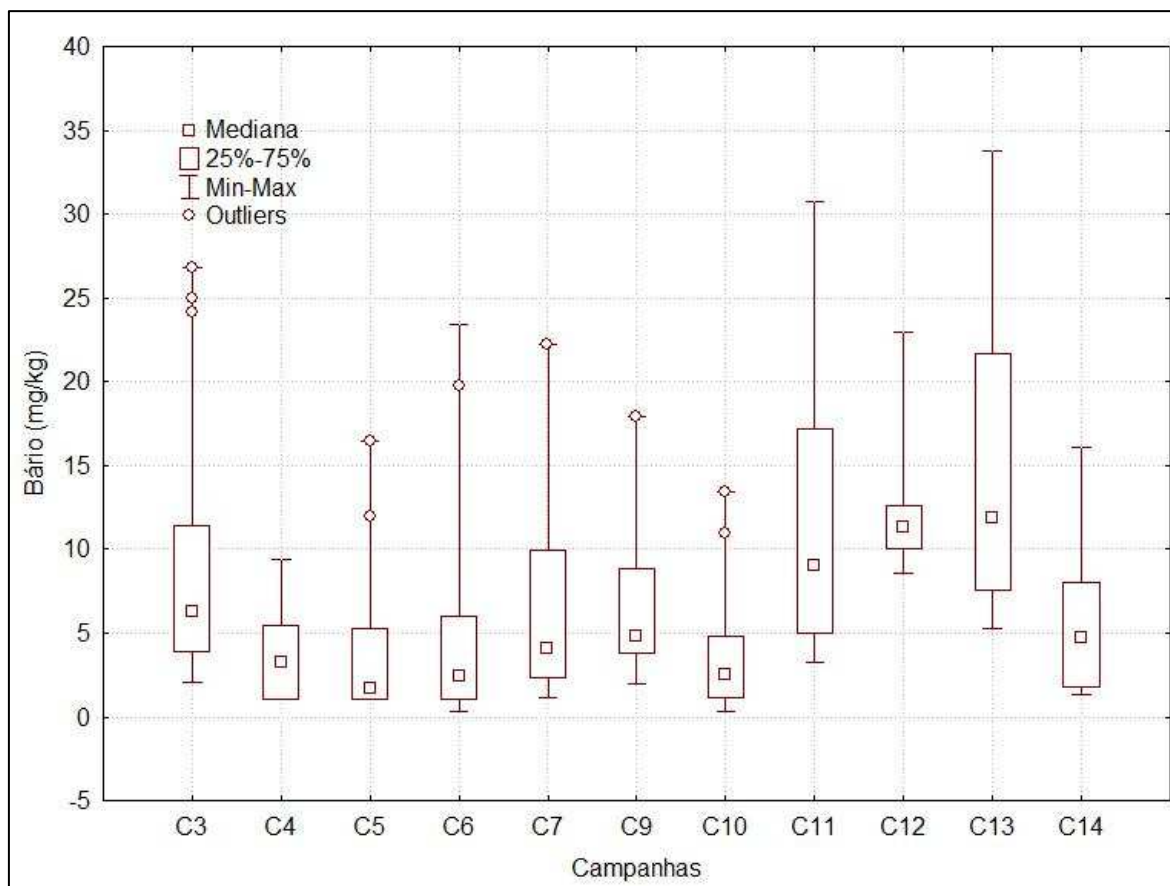


Figura V-107 – Concentrações médias de bário (mg/kg) observadas no gasoduto do PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de bário entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-42. Para a estação MLZ_9R, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença. As diferenças foram mais frequentes entre C1 e C2 com a maioria das demais campanhas, principalmente nas estações MLZ_1, MLZ_4, MLZ_5R e MLZ_7. Ocasionalmente, também foram verificadas diferenças entre C8, C9, C10, C11, C12, C13 e C14. Para as estações ao longo do gasoduto, as principais diferenças foram entre C3, C10, C11, C12 e C13 com as demais campanhas, principalmente em MLZ_D_5, MLZ_D_7R, MLZ_D_8R. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,10 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,7 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A

e LD = 0,003 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 0,003 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,003 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha; e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,003 mg/kg para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-42 - Análise de variância dos valores de bário e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $P < 0,05$. F – fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 ANOVA F = 12,624 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 29,882 P = 0,005	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 33,952 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 12,755 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 7,216 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 34,882 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 ANOVA F = 11,200 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 32,331 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 29,886 P = 0,005	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 36,114 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 29,699 P = < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 27,838 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 29,977 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 29,375 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 55,408 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 28,670 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 35,682 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 24,179 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Nas Figura V-108 e Figura V-109 são apresentadas, respectivamente, as faixas das concentrações de vanádio obtidas nas amostras coletadas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ-. É possível verificar que as concentrações de vanádio da atual campanha, embora dentro da faixa de variação já observada pelo projeto, foram inferiores às concentrações encontradas na maioria das campanhas anteriores, aproximando-se mais dos resultados obtidos nas campanhas C4, C5, C7, C10 e C12 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022) (Tabela V-).

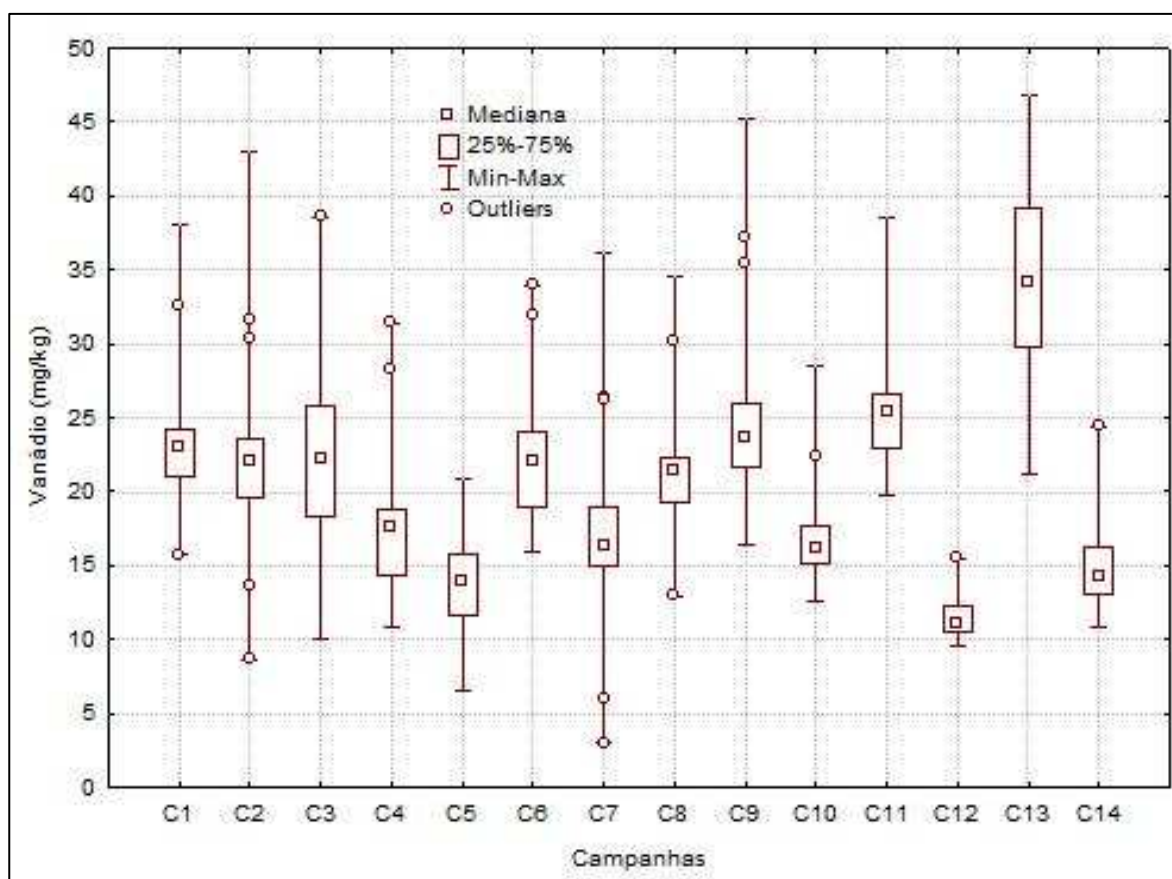


Figura V-108 – Concentrações médias de vanádio (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

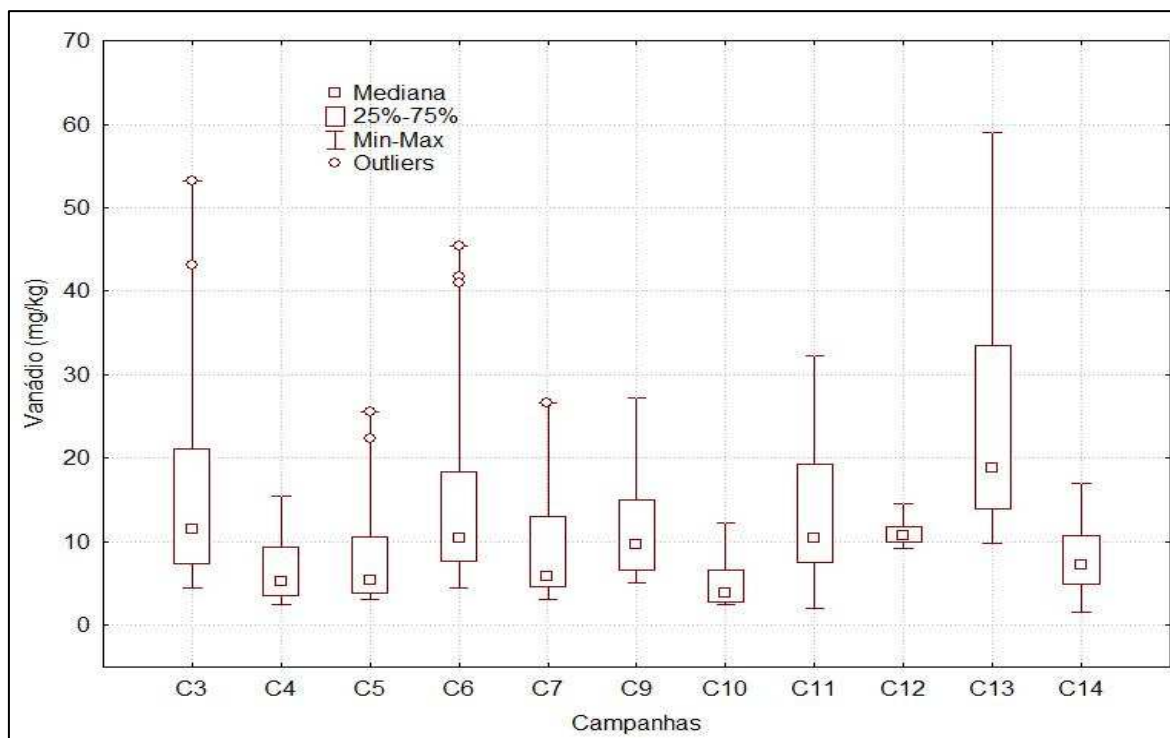


Figura V-109 – Concentrações médias de vanádio (mg/kg) observadas ao longo das amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de vanádio entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-42. As diferenças das campanhas foram variadas entre as estações, sendo mais frequentes entre a C1, C2, C3, C9, C11, C12 e C13 com demais campanhas para as amostras do entorno da plataforma. Para as amostras do gasoduto, foram frequentes as diferenças entre C3, C6, C9, C11 e C13. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,10 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,10 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e EPA 6020A e LD = 0,0001 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 0,0001 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,00007 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,00007 mg/kg para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-43 - Análise de variância dos valores de vanádio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 35,055 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 19,818 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 ANOVA F = 16,820 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 35,761 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 7,567 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R ANOVA F = 15,310 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 36,814 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_9R KW H = 33,778 P = 0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 44,175 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 ANOVA F = 27,517 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 26,151 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_6R KW H = 29,158 P = 0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F = 90,879 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 22,510 P = 0,013	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 30,061 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 15,690 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 41,024 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 28,412 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Nas Figura V-110 e Figura V-111 são apresentadas, respectivamente, as faixas de concentração média de zinco obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto pelo PMAEpro-BS_PMPR-MLZ. É possível verificar que C7 mostrou maiores concentrações para a plataforma, enquanto C3 e C7 mostraram maiores concentrações para o gasoduto (Tabela V-44).

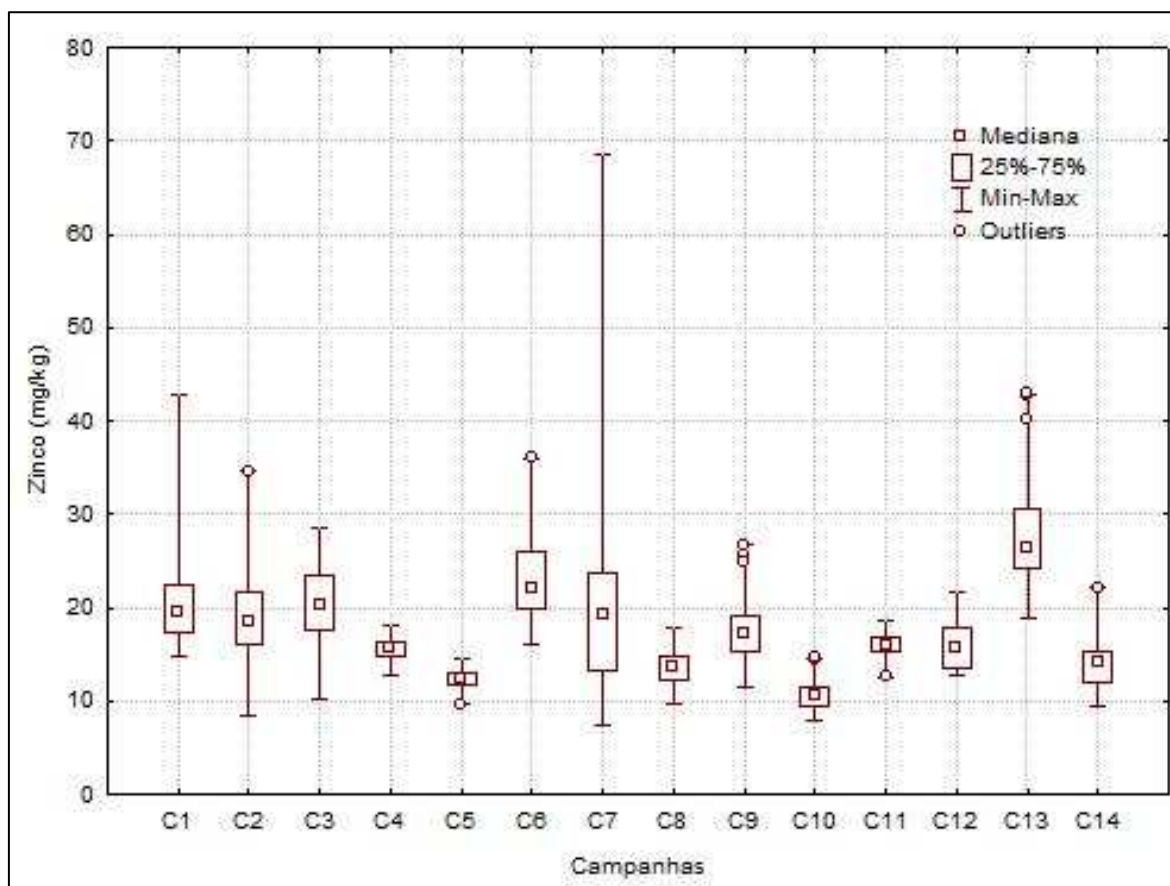


Figura V-110 – Concentrações médias de zinco (mg/kg) nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

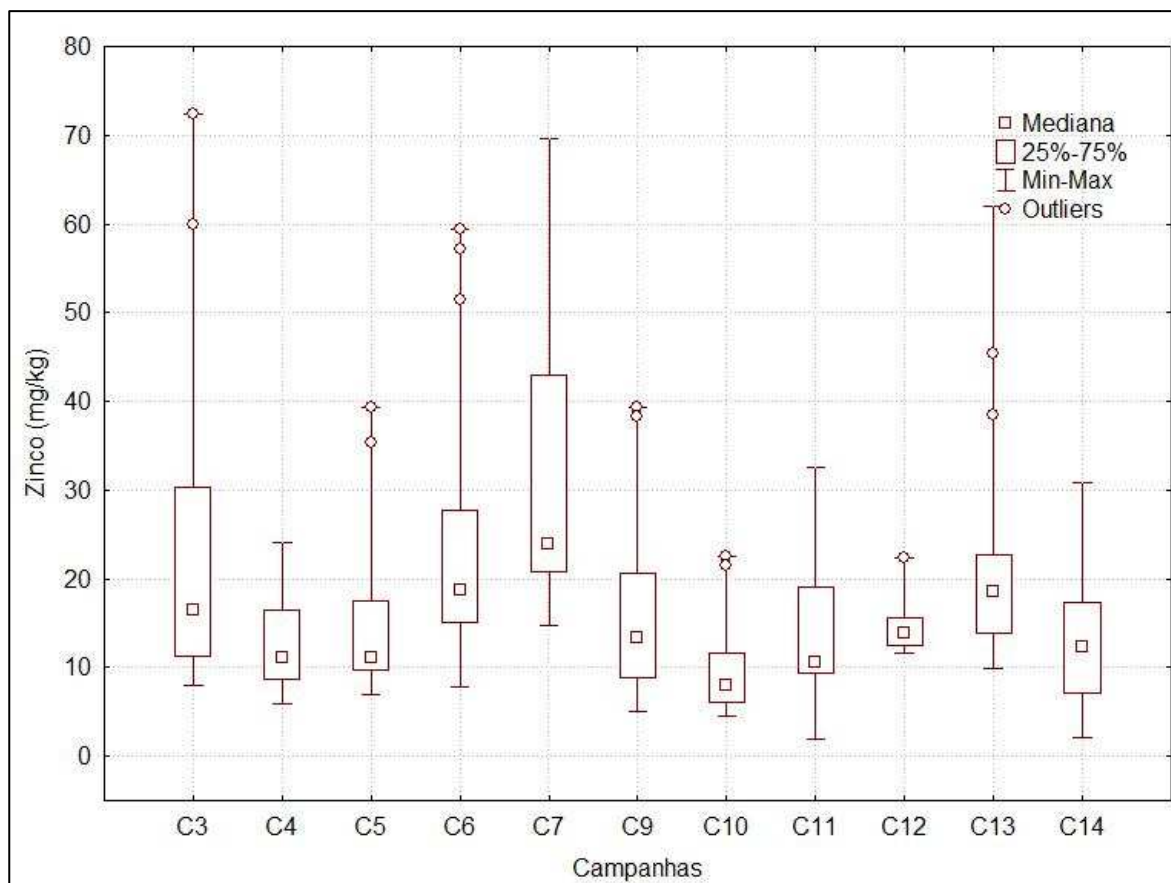


Figura V-111 – Concentrações médias de zinco (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de zinco entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-44. Para as estações MLZ_3 e MLZ_6R, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença.

As diferenças foram mais frequentes para as estações MLZ_5R e MLZ_8, sendo mais comumente constatadas entre C3, C6 e C13 com as demais campanhas. Para as estações ao longo do gasoduto, as diferenças mais frequentes foram em MLZ_D_3R, MLZ_D_5R e MLZ_D_8R, entre C7, C12 e C13 com as demais campanhas. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção utilizados variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,25 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,3 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 0,13 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A

e USEPA 6020B e LD = 0,13 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,125 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,125 mg/kg para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-44 - Análise de variância dos valores de zinco e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 ANOVA F = 3,949 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 23,896 P = 0,032	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 35,537 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 36,906 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_7 KW H = 34,807 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														
	C15														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 8,925 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 34,227 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 28,002 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 35,724 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_10 KW H = 33,694 P = 0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														
	C1														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP KW H = 25,932 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 26,417 P = 0,003	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R ANOVA F = 34,100 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 27,745 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 9,494 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 29,234 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 29,840 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 9,760 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

As concentrações de cromo observadas na atual campanha resultaram em uma concentração média de $10,49 \pm 2,80$ mg/kg, com mínimo de $5,67 \pm 0,46$ mg/kg na estação MLZ_D_3R e máxima de $16,24 \pm 2,55$ mg/kg, na estação MLZ_D_7R (Figura V-2). Houve diferença significativa nas concentrações de cromo entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_7R diferiu das estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R (Tukey, $p < 0,05$). Os resultados encontrados estiveram abaixo dos limites estabelecidos pelos valores de TEL, de 52,30 mg/kg, e PEL, de 160 mg/kg, das tabelas canadense e americana apresentados na Tabela V-45.

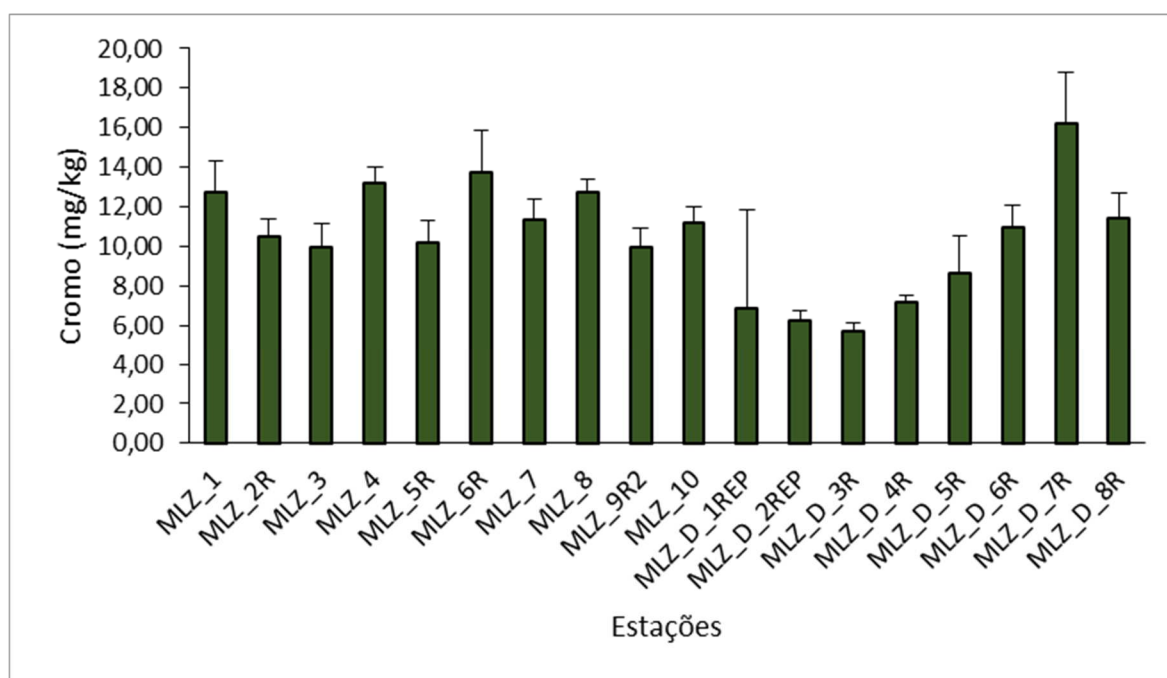


Figura V-112 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de cromo no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

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 e considerando ainda que a região de estudo é uma área oceânica com menores influências antrópicas, era de se esperar que as concentrações fossem bem inferiores aos limites estabelecidos nesta resolução, conforme verificado.

As concentrações de chumbo variaram de $1,72 \pm 0,04$ mg/kg na estação MLZ_D_1REP a $8,13 \pm 0,91$ mg/kg na estação MLZ_D_7R (Figura V-113). A média entre as estações foi de $4,16 \pm 1,35$ mg/kg. Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de chumbo entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_7R diferiu significativamente das demais estações; MLZ_1, MLZ_4, MLZ_6 e MLZ_D_6R diferiram de MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R e MLZ_D_4R; MLZ_D_8R diferiu de MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R; MLZ_2, MLZ_3, MLZ_8 diferiram de MLZ_D_1REP e MLZ_D_3R; e MLZ_5R, MLZ_7, MLZ_9, MLZ_10 e MLZ_D_5R diferiram de MLZ_D_1REP (Tukey, $p < 0,05$). Quando comparados aos valores estabelecidos pela CONAMA nº 454/12, as concentrações de chumbo nas amostras mostraram-se muito abaixo do limite estabelecido para sedimentos marinhos nível 1 (46,7 mg/kg), conforme esperado para a região. Os resultados encontrados também estão abaixo dos limites estabelecidos pelos valores de TEL, de 30,20 mg/kg, e PEL, de 112 mg/kg, das tabelas canadense e americana (Tabela V-45).

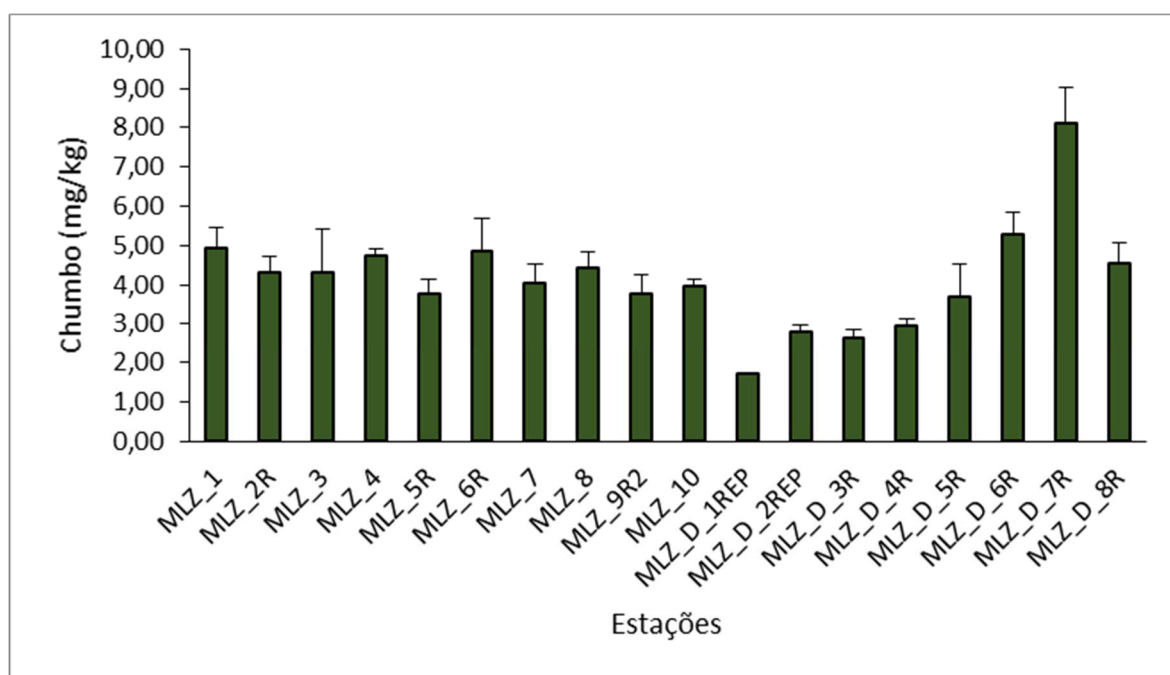


Figura V-113 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de chumbo no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

De modo geral, observou-se maiores concentrações de cromo e chumbo nas estações mais profundas do gasoduto, provavelmente associadas aos sedimentos mais finos do trecho, seguidas pelas estações ao redor da plataforma (Figura V-114).

Segundo o PCR-BS (Petrobras, 2022b), para as proximidades do Sistema de Merluza, as concentrações de cromo tenderam a aumentar da costa, das isóbatas de 25, 50 e 75 m (entre 0,91 e 7,68 mg/kg) para a isóbata de 100 m (entre 9,01 mg/kg a 21,43 mg/kg), voltando a reduzir na isóbata de 150 m (entre 0,91 mg/kg a 6,21 mg/kg), durante ambas as campanhas de verão e inverno. Para as concentrações de chumbo, o estudo observou, entre as isóbatas de 25 e 100 m, maiores concentrações no inverno, variando entre 6,55 e 17,26 mg/kg. No verão, as concentrações variaram entre 0,93 e 5,58 mg/kg.

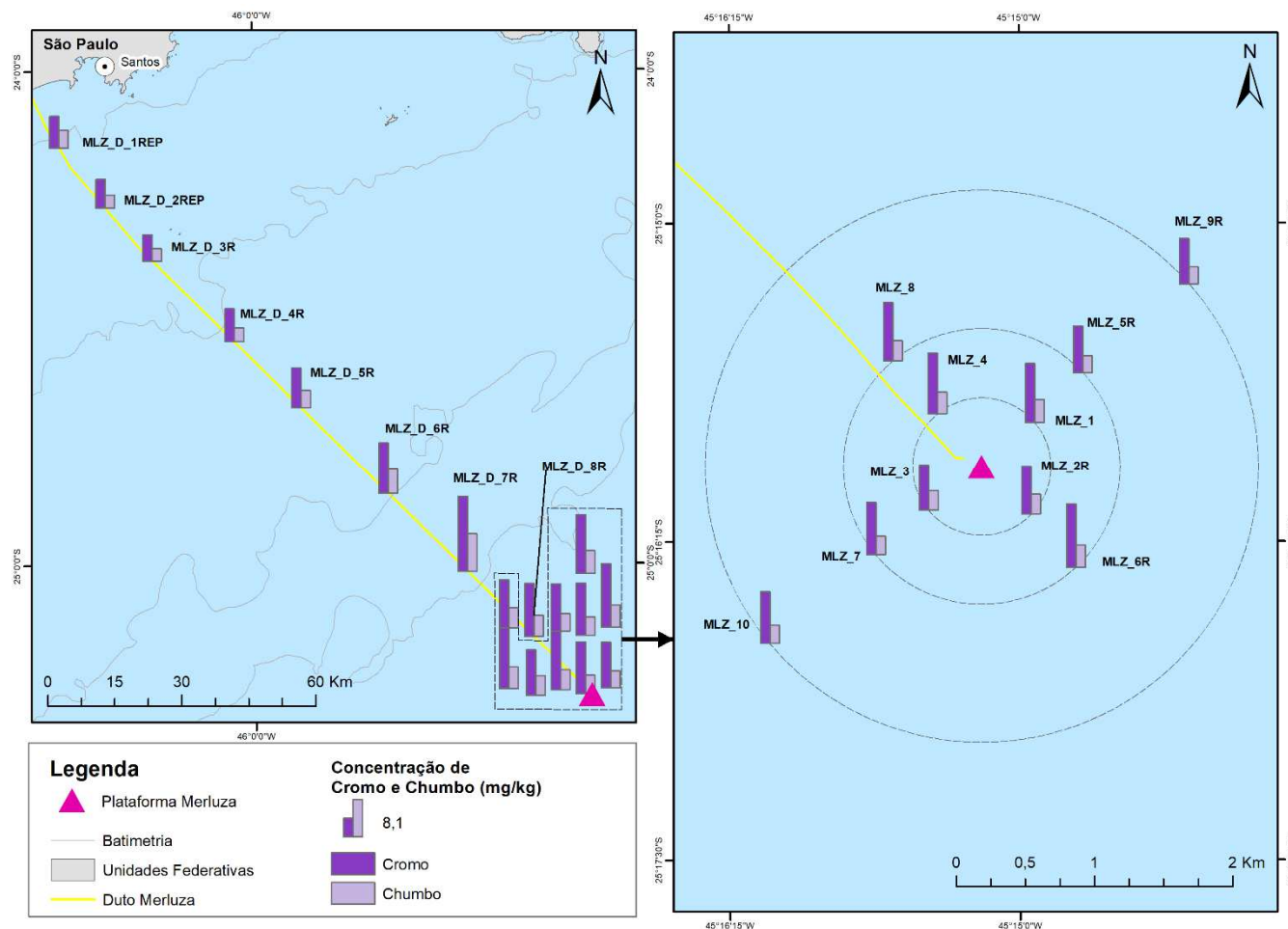


Figura V-114 – Distribuição espacial de cromo e chumbo (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Nas Figura V-115 e Figura V-116 são apresentadas, respectivamente, as faixas de concentração de cromo obtidas nas amostras da plataforma e do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR-MLZ. Excetuando-se a concentração máxima verificada em C13, no entorno da plataforma, e em C6, no gasoduto, observa-se grande aderência na distribuição dos dados entre as campanhas (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022) (Tabela V-45).

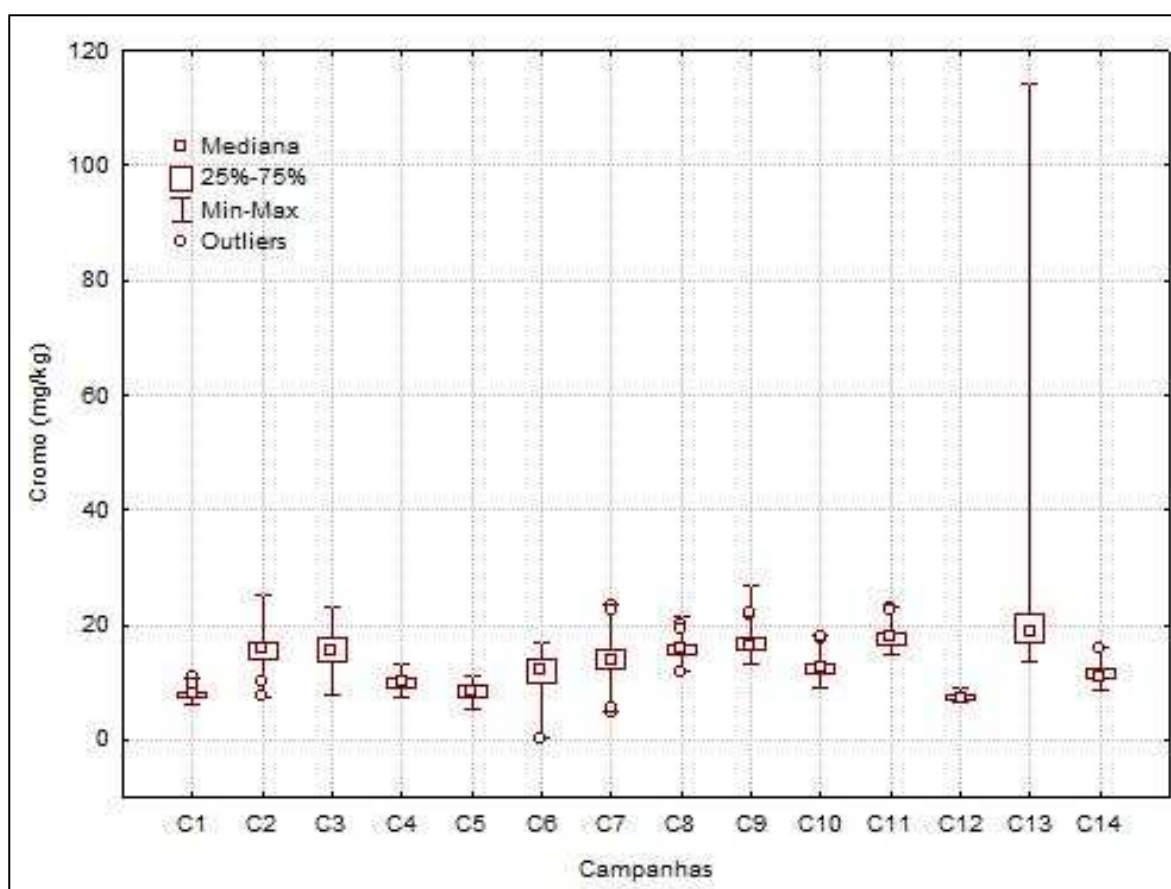


Figura V-115 – Concentrações médias de cromo (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR-MLZ.

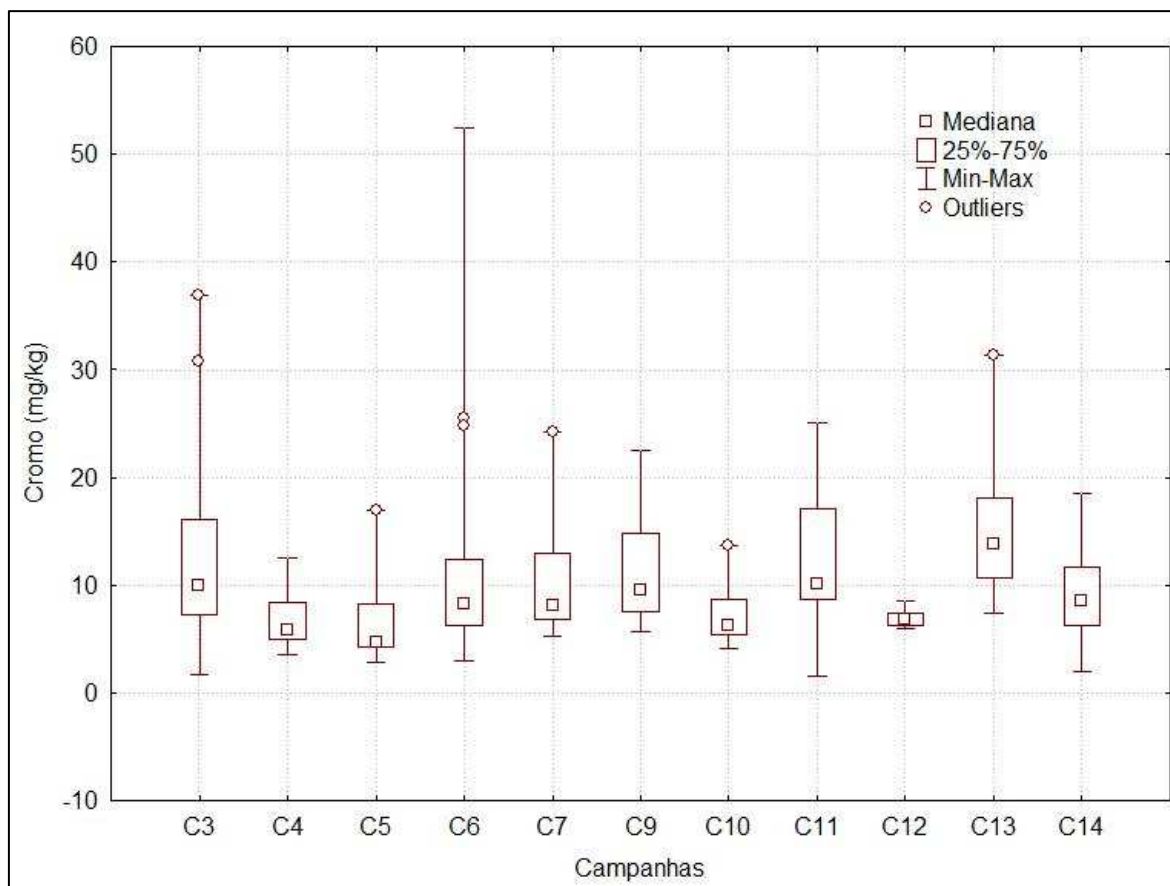


Figura V-116 – Concentrações médias de cromo (mg/kg) observadas nas amostras ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de cromo entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-45.

Para as estações MLZ_3, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar entre quais campanhas foi observada tal diferença. As diferenças foram mais frequentes entre C2, C3, C8, C9, C11 e C13 com as demais campanhas, para as estações do entorno da plataforma, e entre a C6, C9, C11 e C13 em relação as demais campanhas, para as estações ao longo do gasoduto. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,25 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,5 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 0,0006 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 0,0006 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira

campanha, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,0005 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,0005 mg/kg para décima quarta campanha) sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-45 - Análise de variância dos valores de cromo e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 37,633 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 29,922 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 34,205 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 37,024 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 23,430 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R ANOVA F = 19,244 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 36,310 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 60,469 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 33,944 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_1REP KW H = 20,471 P = 0,025	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
MLZ_D_3R KW H = 24,335 P = 0,007	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 35,379 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 27,729 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 29,561 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 10,055 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F = 37,797 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 30,303 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R KW H = 29,210 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na Figura V-117 e Figura V-118 são apresentadas, respectivamente, as faixas das concentrações médias de chumbo obtidas nas amostras coletadas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. É possível verificar que a campanha C13 apresentou concentrações superiores às verificadas anteriormente para as estações do entorno da plataforma e ao longo do gasoduto, com ocorrência de um *outlier* que acarretou ampla faixa de variação no entorno da plataforma durante a campanha C13, e para a qual se suspeita de contaminação amostral ou analítica, dada a ocorrência em apenas uma das três réplicas que compõem a amostra MLZ_3 (justamente a mesma réplica, Sd01, onde também se observou *outlier* para bário). As campanhas C4 e C5 foram as que apresentaram as menores concentrações nas amostras do gasoduto.

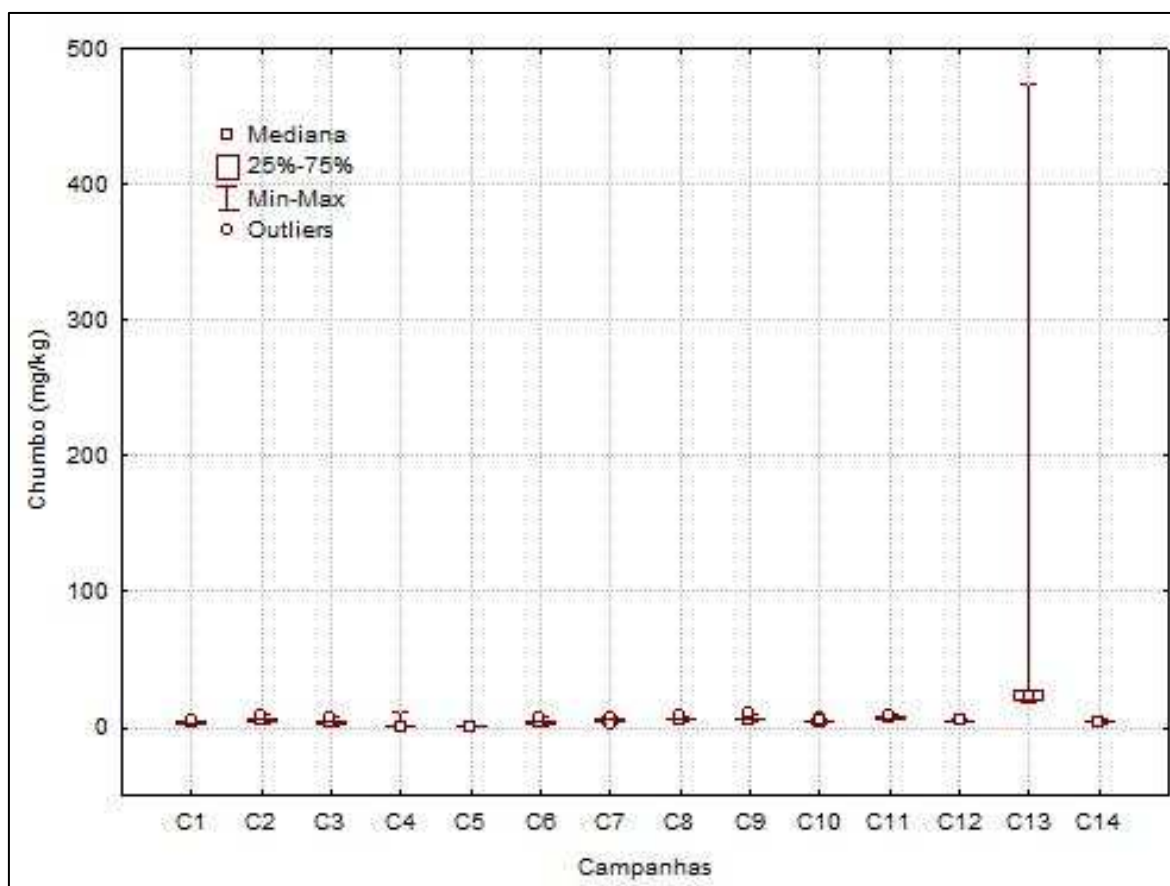


Figura V-117 – Concentrações médias de chumbo (mg/kg) observadas ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

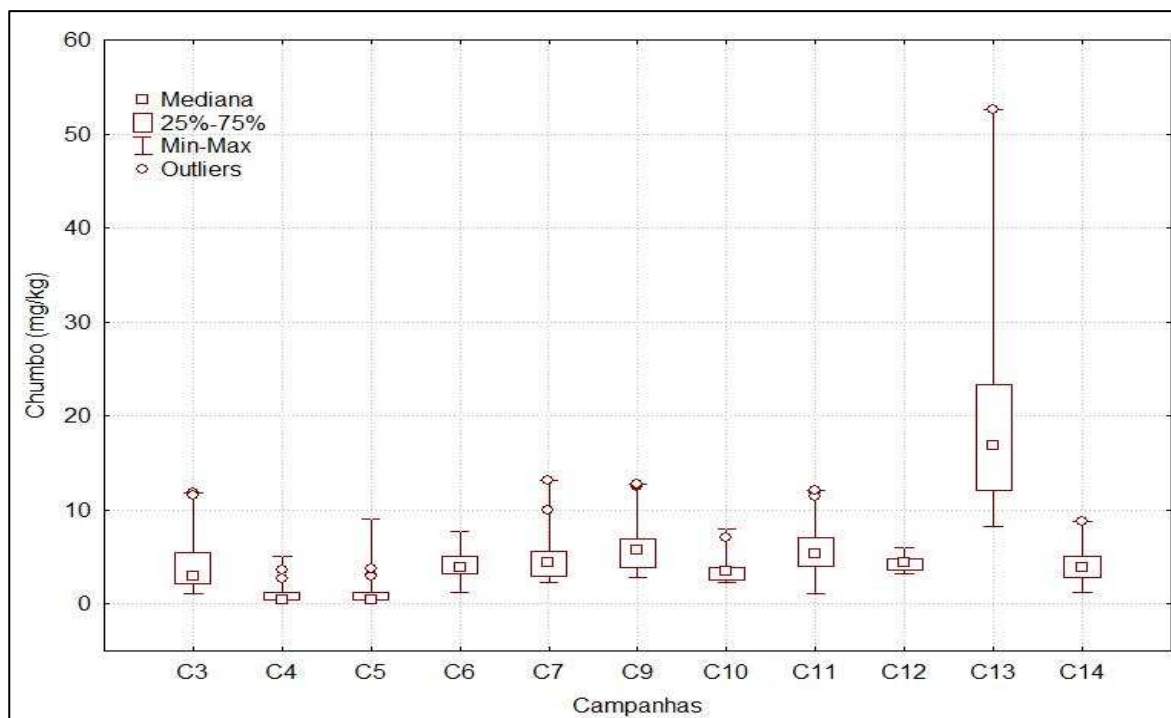


Figura V-118 – Concentrações médias de chumbo (mg/kg) observadas ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de chumbo entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-46. As diferenças foram mais frequentes entre C8, C11 e C13 com as demais campanhas, para as estações do entorno da plataforma, e entre as campanhas C11, C12 e C13 com as demais, para as estações ao longo do gasoduto. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção utilizados variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,1 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C com LD = 0,9 mg/kg para a quarta campanha, e com LD = 0,8 mg/kg na quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD 0,001 mg/kg para a sétima campanha, EPA 3051A e USEPA 6020 B e LD = 0,001 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e EPA 6010D e LD = 0,0010 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,0010 mg/kg para a décima quarta campanha, sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-46 - Análise de variância dos valores de chumbo e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 36,630 P = <0,001	MLZ_4 KW H = 36,287 P = <0,001	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
	MLZ_5R KW H = 36,548 P = <0,001	C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
MLZ_2R ANOVA F = 140,855 P = <0,001	MLZ_2R ANOVA F = 140,855 P = <0,001	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
	MLZ_2R ANOVA F = 140,855 P = <0,001	C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
MLZ_3 KW H = 36,548 P = <0,001	MLZ_3 KW H = 36,548 P = <0,001	C11														
		C12														
		C13														
		C14														
	MLZ_3 KW H = 36,548 P = <0,001	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R	C1														
KW	C2														
H = 38,589	C3														
P = <0,001	C4														
	C5														
MLZ_8	C6														
KW	C7														
H = 38,247	C8														
P = <0,001	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7	C1														
KW	C2														
H = 32,202	C3														
P = 0,002	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R	C1														
KW	C2														
H = 33,330	C3														
P = 0,002	C4														
	C5														
MLZ_10	C6														
KW	C7														
H = 34,622	C8														
P = <0,001	C9														
	C10														
MLZ_D_5	C11														
KW	C12														
H = 26,691	C13														
P = 0,002	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP	C1														
KW	C2														
H = 24,160	C3														
P = 0,007	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 27,771 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12					X									
	C13				X	X									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 29,958 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				X	X									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 28,831 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13					X									
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 29,295 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9				X										
	C10														
	C11														
	C12														
	C13				X										
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 83,934 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4			X											
	C5			X											
	C6				X										
	C7				X	X									
	C8														
	C9				X	X									
	C10				X					X					
	C11				X	X	X				X				
	C12				X					X		X			
	C13			X	X	X	X	X		X	X	X	X		
	C14				X	X								X	

As concentrações médias de níquel variaram entre $1,58 \pm 0,07$ mg/kg na estação MLZ_D_3R, e $11,08 \pm 1,45$ mg/kg na estação MLZ_D_7R. A média entre as estações foi de $5,26 \pm 2,20$ mg/kg (Figura V-119). Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de níquel entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_7R diferiu das estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R (Tukey, $p < 0,05$).

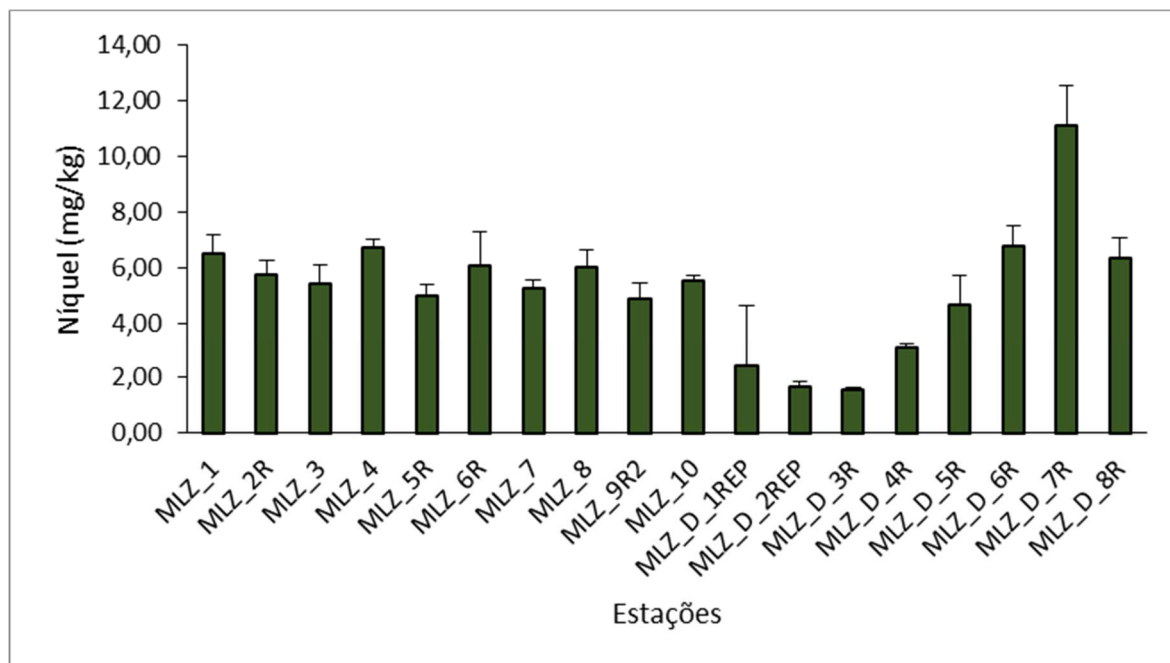


Figura V-119 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de níquel no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

Quando comparadas à concentração limite de níquel de 20,9 mg/kg, para sedimentos marinhos nível 1, estabelecida pela resolução CONAMA nº 454/12, as concentrações encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos e condizentes com o esperado para a região. As concentrações encontradas também foram inferiores aos limites de TEL, de 15,9 mg/kg, e PEL, de 42,8 mg/kg, estabelecidos pela NOAA (Tabela V-53).

As concentrações de cobre variaram entre $0,66 \pm 0,06$ mg/kg na estação MLZ_D_3R e $5,72 \pm 0,82$ mg/kg na estação MLZ_D_7R (Figura V-120). A média entre as estações foi de $2,27 \pm 1,12$ mg/kg. Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de cobre entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_7R diferiu das estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R

(Tukey, $p < 0.05$). Os resultados encontrados estão bem abaixo dos limites estabelecidos pelos valores de TEL, de 18,7 mg/kg, e PEL, de 108 mg/kg, tanto da tabela canadense quanto da americana (Tabela V-47).

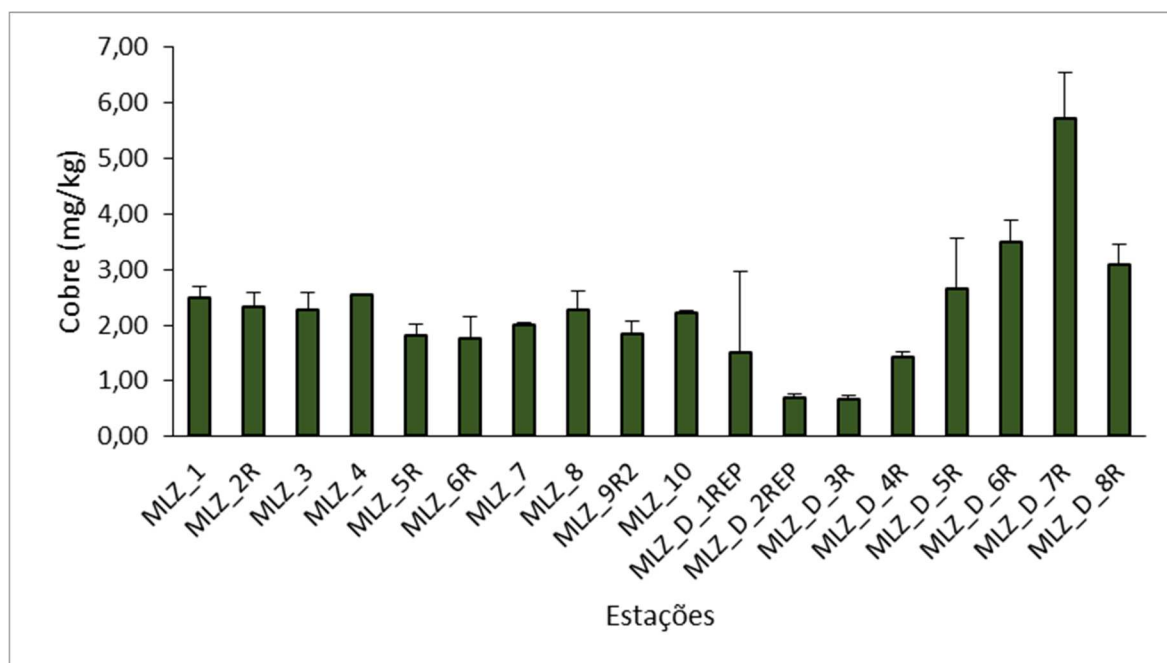
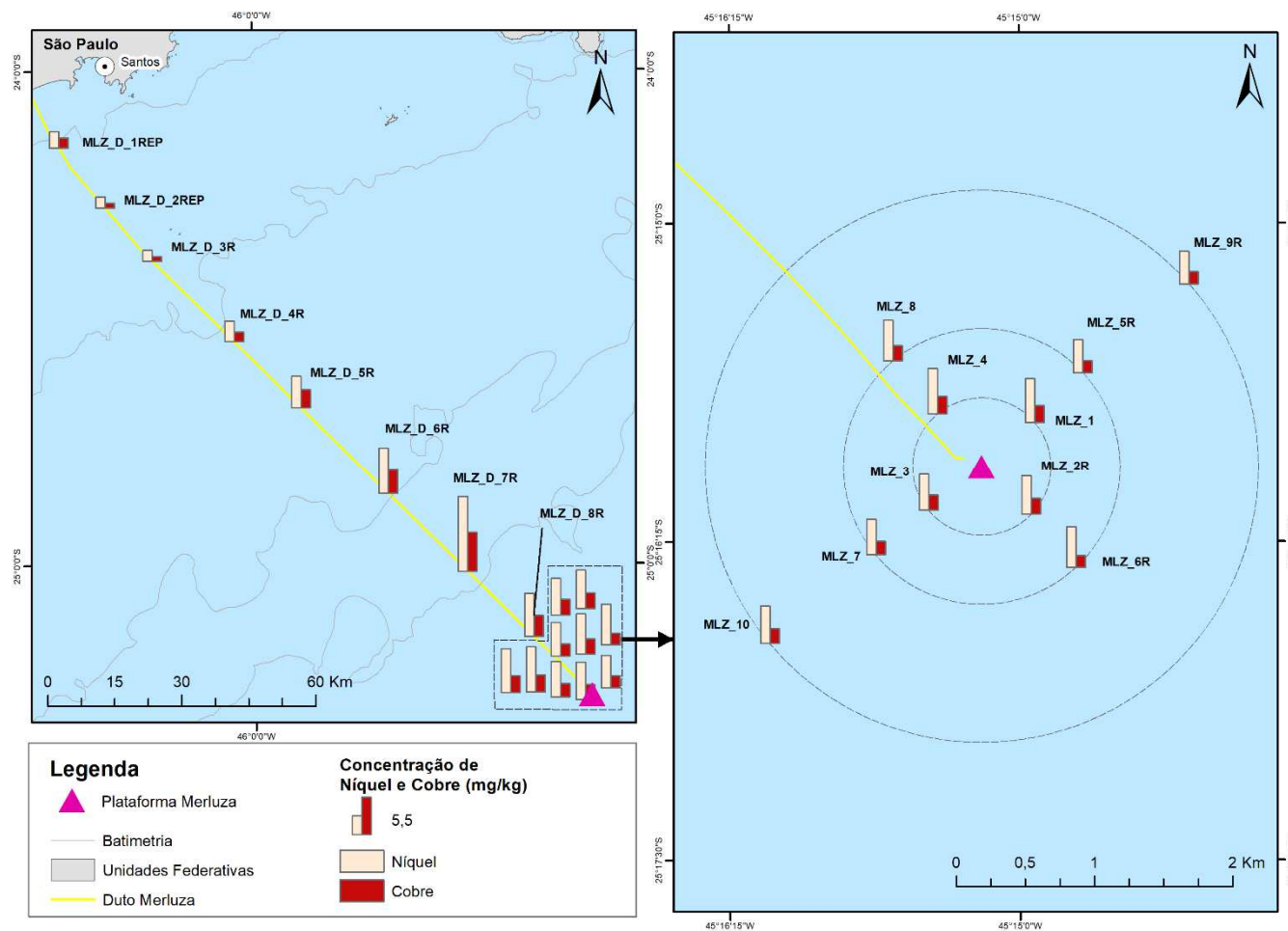


Figura V-120 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de cobre no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

Quando comparadas à concentração limite de cobre de 31 mg/kg, para sedimentos marinhos nível 1, estabelecida pela resolução CONAMA nº 454/12, as concentrações encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos e condizentes como esperado para a região, tendo em vista a referida resolução ser aplicável a áreas passíveis de dragagem, portanto, áreas costeiras e com maiores influências de contaminações antrópicas.

Conforme pode ser observado na Figura V-121, as concentrações de cobre e níquel apresentaram valores crescentes ao longo do gasoduto, com máximo na estação MLZ_D_7R. A última estação do gasoduto e as estações no entorno da plataforma apresentaram concentrações intermediárias. As maiores concentrações se relacionam com os maiores teores de sedimento fino, sem um padrão claro de distribuição das concentrações que possa ser relacionado com as atividades e com as estruturas de fundo do entorno. No PCR-BS (Petrobras, 2022b), para as proximidades do Sistema de Merluza, as concentrações de cobre foram menores

entre as isóbatas de 25 a 150 m, variando de 0,45 a 7,42 mg/kg, em ambas as campanhas. Durante o inverno/primavera, na isobata de 150m, a concentração variou entre 2,7mg/kg a 5,4 mg/kg, e durante o verão/outono, nessa mesma isóbatas, a concentração variou entre 0,45 mg/kg a 2,7 mg/kg. Para as concentrações de níquel, também se observou menores concentrações, entre 0,015 e 9,33 mg/kg, nas isóbatas de 25 a 150m em ambas as campanhas, destacando-se apenas uma concentração mais elevada na isóbata de 100 m, variando de 9,33 a 47,73 mg/kg, na campanha de inverno. Destaca-se ainda que na isóbata de 150m, a concentração de níquel variou de 6,8 a 9,33 mg/kg em ambas as campanhas



Legenda: O valor de concentração apresentado refere-se a barra maior. A barra menor representa exatamente a metade da barra maior.

Figura V-121 – Distribuição espacial dos metais níquel e cobre (mg/kg) nos sedimentos da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Nas Figura V-122 e Figura V-123 são apresentadas, respectivamente, as faixas das concentrações médias de níquel obtida nas amostras coletadas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. É possível verificar que dentre as amostras do entorno da plataforma, a campanha C7 apresentou a maior amplitude de variação dos dados, C6 os menores valores mínimos, C13 apresentou a maior média e C14 manteve-se dentro da faixa de variação das demais campanhas. Nas amostras do gasoduto, as campanhas C3, C6 e C13 apresentaram a maior amplitude de variação dos dados, C12 a menor amplitude de variação e C14 manteve-se dentro da faixa de variação da maioria das amostras (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022) (Tabela V-47).

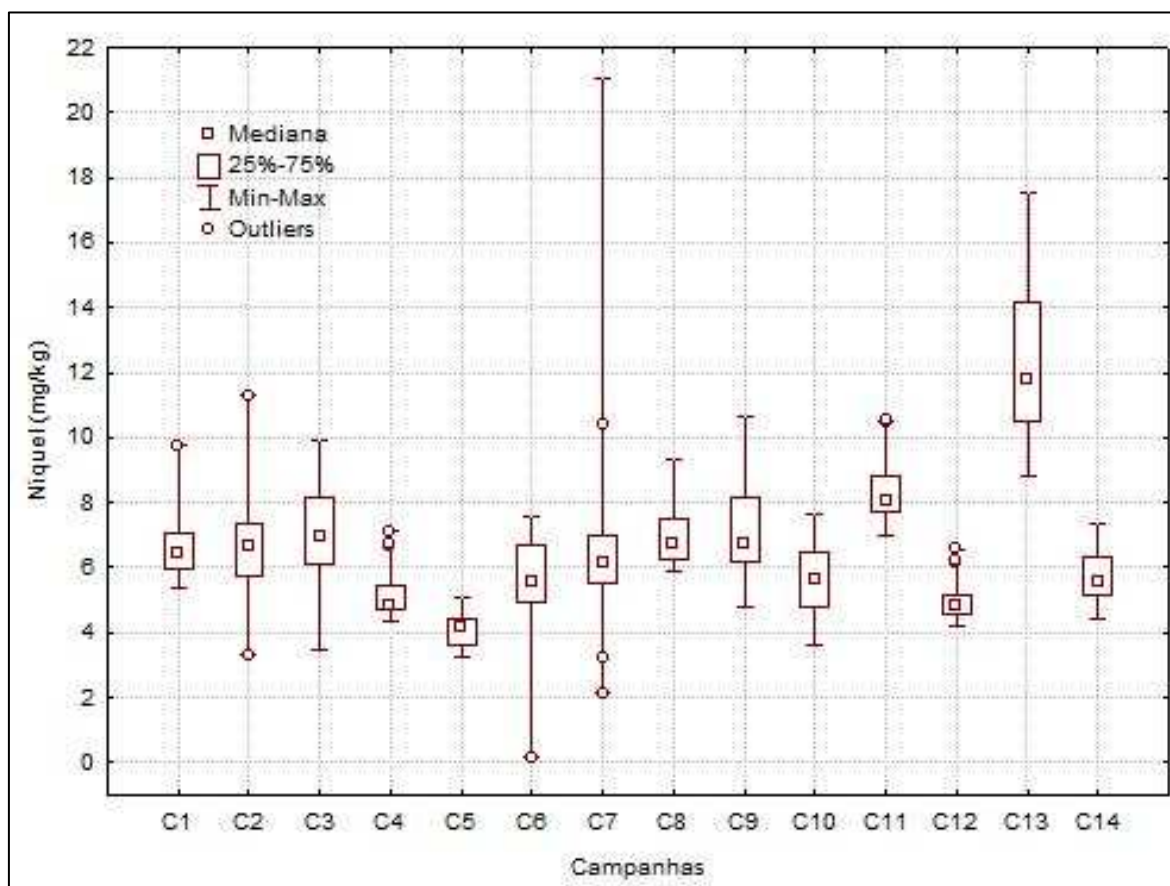


Figura V-122 – Concentrações médias de níquel (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

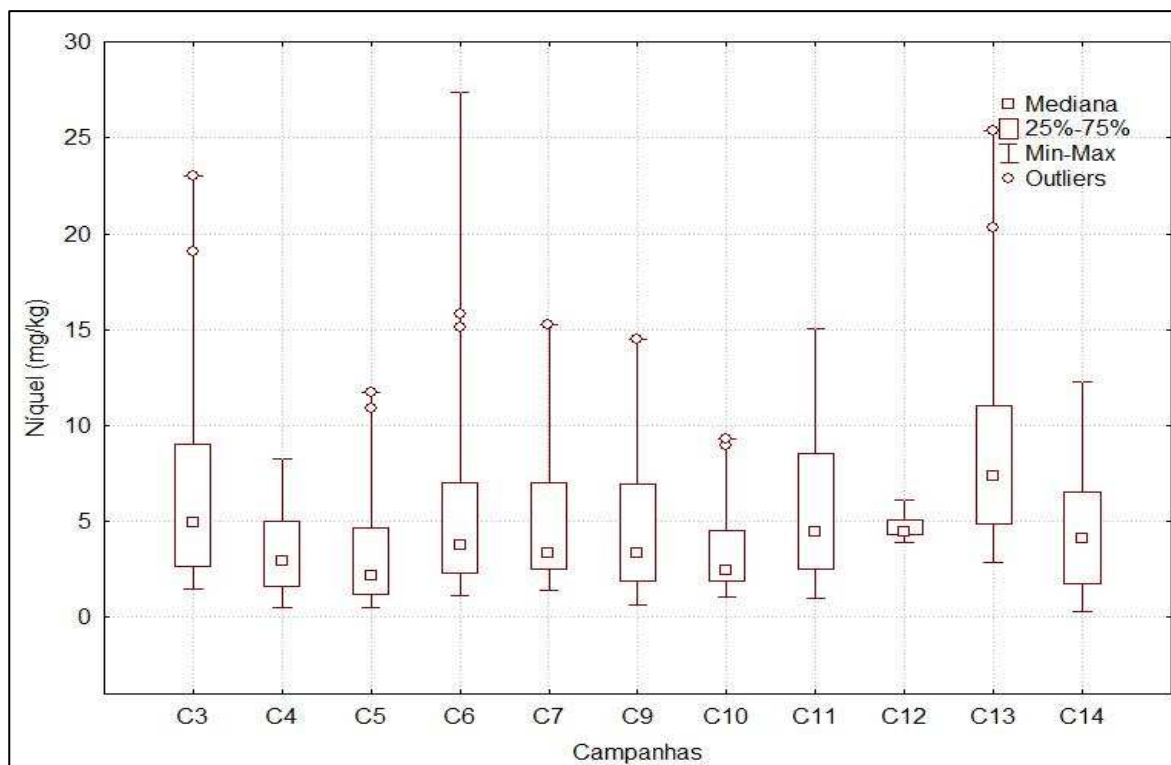


Figura V-123 – Concentrações médias de níquel (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de níquel entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-47. As diferenças foram mais frequentes entre C2, C9, C11 e C13 com as demais campanhas para o entorno da plataforma, e entre C3, C11, C12 e C13 com as demais campanhas para as estações ao longo do gasoduto. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,25 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,3 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 0,0006 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e USEPA 6020B e LD = 0,0006 mg/kg para a oitava, nona e décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e LD = 0,006 mg/kg para a décima segunda e décima terceira campanha, e EPA 3051A / EPA 6020B e LD = 0,0006 mg/kg para a décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-47 - Análise de variância dos valores de níquel e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 32,941 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 17,605 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 36,296 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_1REP KW H = 24,428 P = 0,007	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 16,794 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 7,048 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 35,355 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 32,840 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 32,489 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R ANOVA F = 29,180 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 33,509 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F = 38,375 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 24,298 P = 0,007	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 29,041 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F = 13,619 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F = 30,804 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R KW H = 29,925 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 15,164 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na Figura V-124 e Figura V-125 são apresentadas, respectivamente, as faixas de concentração de cobre obtidas nas amostras coletadas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. De modo geral, as maiores concentrações de cobre foram encontradas em C6 e C13, enquanto a concentração máxima foi encontrada na campanha C7, considerando as estações do entorno da plataforma, e na campanha C6, considerando as estações ao longo do gasoduto (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023) (Tabela V-48). É possível identificar uma tendência de declínio das concentrações de cobre no período compreendido entre C1 e C5, e aumento no período compreendido entre C7 e C9 e entre C10 e C13, mas com variações sempre dentro da faixa verificada para a região.

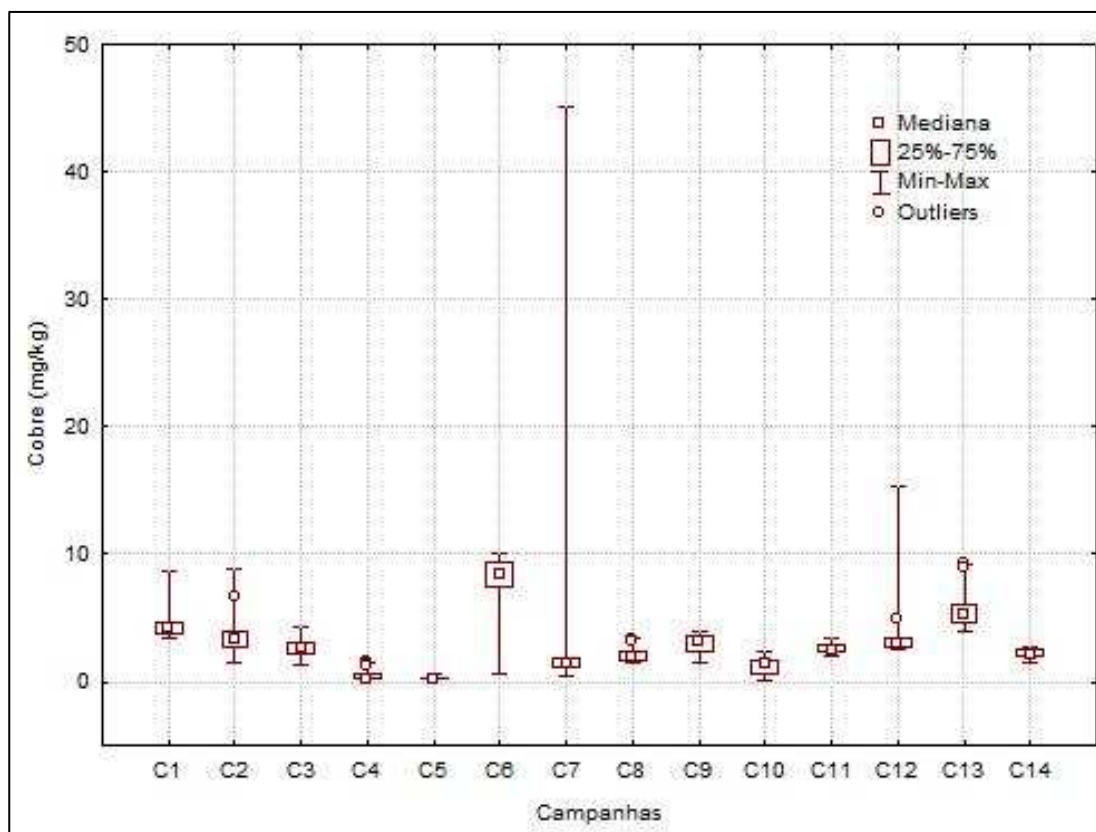


Figura V-124 – Concentrações médias de cobre (mg/kg) observadas nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

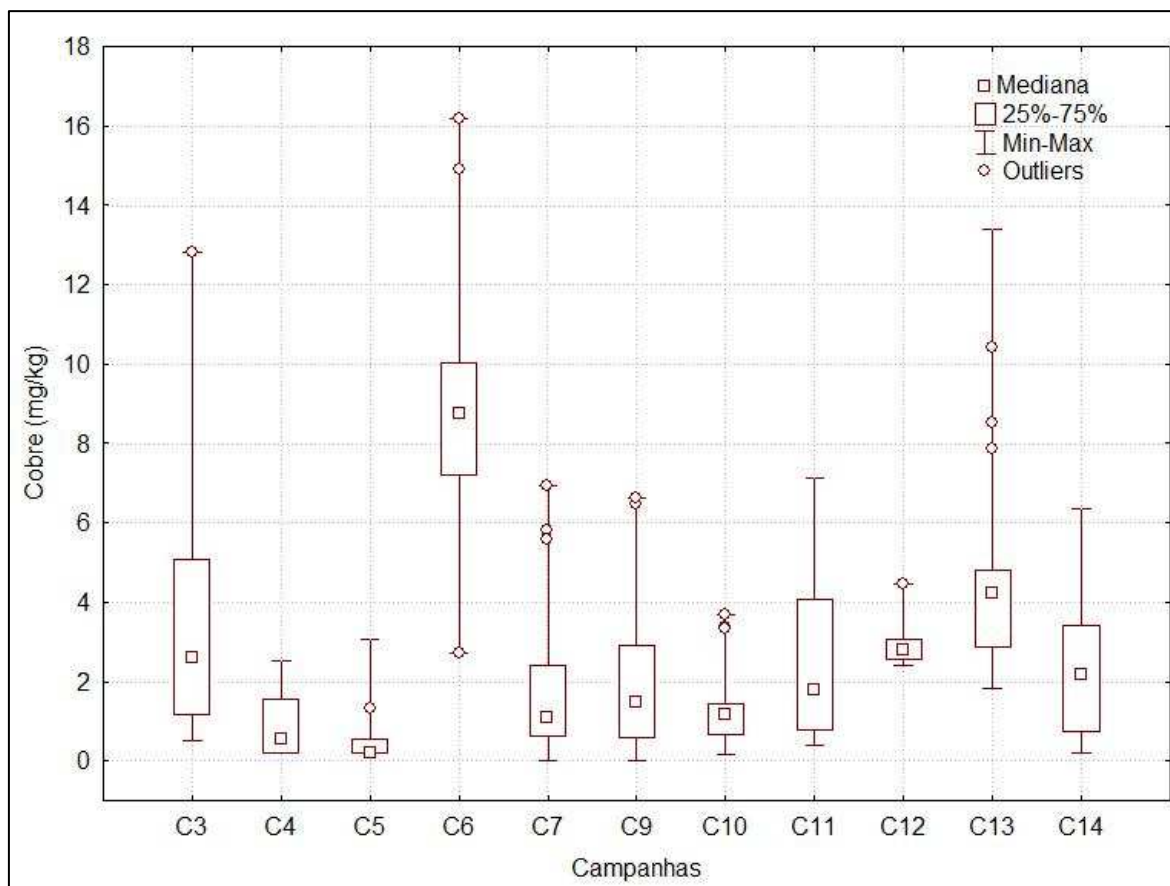


Figura V-125 – Concentrações médias de cobre (mg/kg) observadas nas amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de cobre entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-48.

Para a estação MLZ_D_3R, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença. Para as estações do entorno da plataforma, as principais diferenças foram entre C1, C6 e C13 com as demais campanhas, principalmente em MLZ_5R e MLZ_8. Já para as estações ao longo do gasoduto, as principais diferenças foram entre C3, C6 e C13 com as demais campanhas, principalmente em MLZ_D_7.

É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,05 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,4 mg/kg na quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 0,0016 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e EPA 6020B e LD

= 0,0016 mg/kg para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e EPA 6010D e LD = 0,016 mg/kg para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha), sendo possível que as alterações analíticas e variações dos laboratórios de análise sejam responsáveis por parte das diferenças encontradas ao longo das campanhas.

Tabela V-48 - Análise de variância dos valores de cobre e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1	MLZ_D_1REP	C1														
KW	KW	C2														
H = 37,428	H = 26,443	C3														
P = <0,001	P = 0,003	C4														
		C5														
MLZ_2R	MLZ_D_4R	C6														
KW	KW	C7														
H = 32,472	H = 31,177	C8														
P = 0,002	P = <0,001	C9														
		C10														
MLZ_9R	MLZ_D_8R	C11														
KW	KW	C12														
H = 38,748	H = 30,189	C13														
P = <0,001	P = <0,001	C14														

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3	C1															
KW	C2															
H = 39,324	C3															
P = <0,001	C4															
	C5															
	C6															
	C7															
	C8															
	C9															
	C10															
	C11															
	C12															
	C13															
	C14															

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 39,114 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 32,763 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 37,849 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 34,171 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 75,354 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 34,234 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP KW H = 26,077 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R KW H = 26,758 P = 0,003	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 KW H = 26,976 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R KW H = 30,957 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 80,926 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

As concentrações de arsênio variaram entre $1,26 \pm 0,11$ mg/kg na estação MLZ_D_4R, e $15,09 \pm 1,60$ mg/kg na estação MLZ_6R (Figura V-126). A média entre as estações foi de $4,91 \pm 3,56$ mg/kg. Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de arsênio entre as estações (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A estação MLZ_6 diferiu das estações MLZ_D_1REP e MLZ_D_4R (*Tukey* $< 0,05$). As estações MLZ_1, MLZ_4, MLZ_6R e MLZ_8 apresentaram concentrações acima do limite estabelecido pelo valor de TEL e abaixo do limite de PEL, tanto da tabela canadense quanto da americana (TEL = 7,24 mg/kg e PEL = 41,60 mg/kg). O PCR-BS (Petrobras, 2022b) também chegou a encontrar concentrações de arsênio entre os limites de TEL e PEL, em uma estação localizada próxima à boca da Baía de Guanabara, no inverno, e em uma estação localizada na isóbata de 150 m sobre um transecto perpendicular ao litoral do Paraná, posicionada sobre a mesma feição lamosa que recobre a borda externa da plataforma continental na porção sul da BS e que tem origem nos volumosos aportes continentais da área e regiões adjacentes, estendendo-se desde a Bacia de Pelotas até a área da PMLZ-1. Esta ocorrência foi persistente entre as campanhas de inverno e verão e, muito possivelmente, tem origem em causas naturais, sendo interessante notar ainda que, na porção sul da BS, as maiores concentrações do metal são observadas justamente na borda externa da plataforma, além de algumas estações mais costeiras como provável efeito da drenagem continental local. Ao norte, não se observa acentuada redução das concentrações na plataforma média, o que pode ser resultado do estreitamento da plataforma continental nesta porção da BS.

Quando comparadas à concentração limite de arsênio de 19 mg/kg, para sedimentos marinhos nível 1, estabelecida pela resolução CONAMA nº 454/12, as concentrações encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos e condizentes com o esperado para a região.

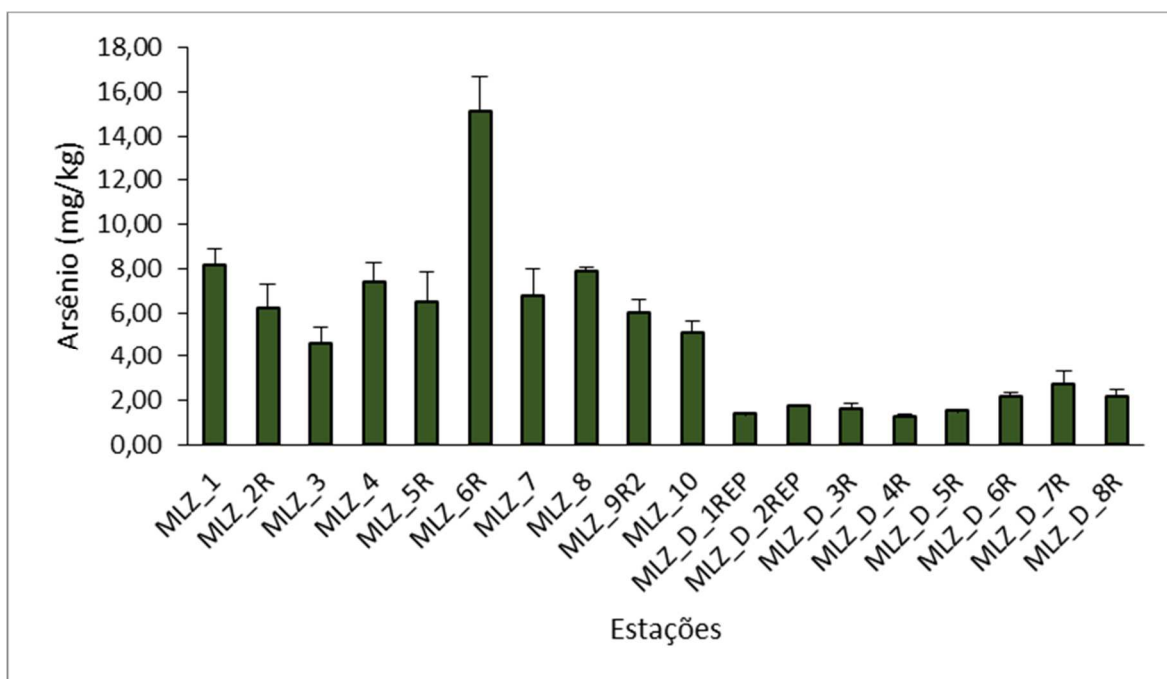
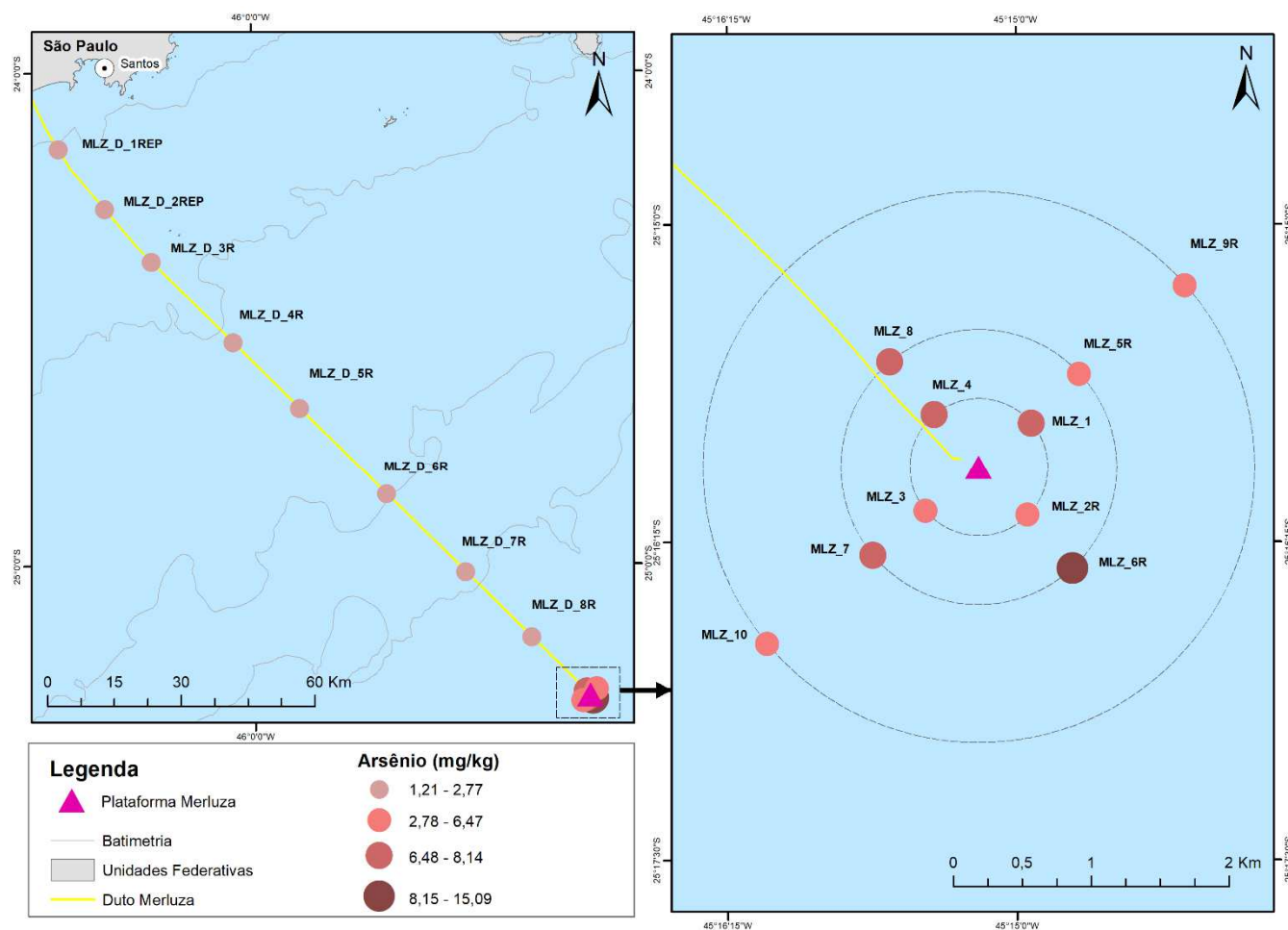


Figura V-126 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de arsênio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

A análise da distribuição espacial das concentrações deste metal (Figura V-127) permitiu verificar padrão homogêneo de baixas concentrações ao longo das estações do gasoduto. Nas estações entorno da plataforma, se observa variabilidade de concentração do metal, não havendo um padrão de distribuição que pudesse ser relacionado com a atividade ou com possíveis influências das estruturas de fundo instaladas. No PCR-BS (Petrobras, 2022b), foram observadas maiores concentrações de arsênio ocorrendo na porção norte da Bacia de Santos. Já na região do Sistema de Merluza, as concentrações variaram entre 0,43 e 1,88 mg/kg, entre as isóbatas de 25 e 100 m, aumentando na isóbata de 150 m, para valores entre 2,37 a 12,06 mg/kg.



Nas Figura V-128 e Figura V-129 são apresentadas as faixas das concentrações de arsênio obtidas nas amostras coletadas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza, respectivamente nas campanhas de monitoramento da fase de operação em que esse parâmetro foi analisado (C12 a C14). É possível verificar que C13 apresentou maiores concentrações em ambas as regiões amostradas, mas principalmente nas estações no entorno da plataforma (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023) (Tabela V-48).

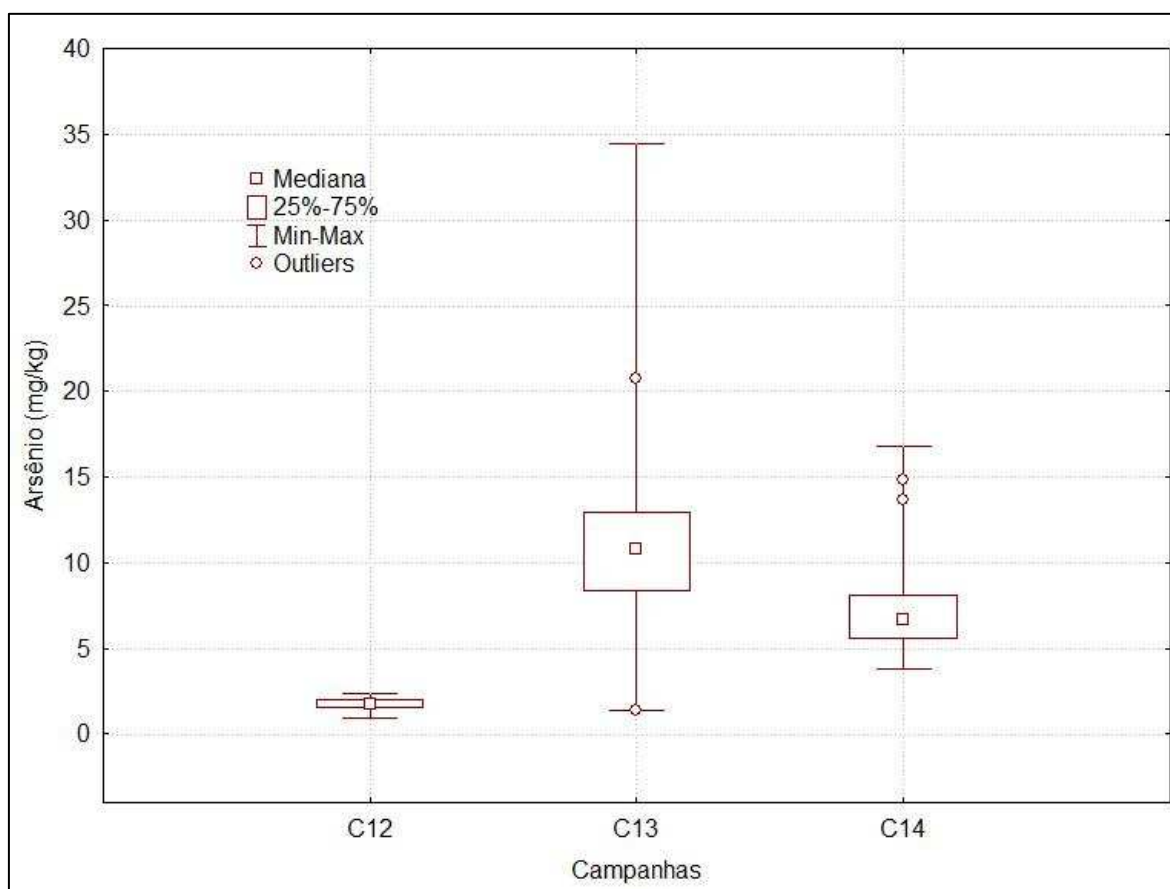


Figura V-128 – Concentrações média de arsênio (mg/kg) nas amostras da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

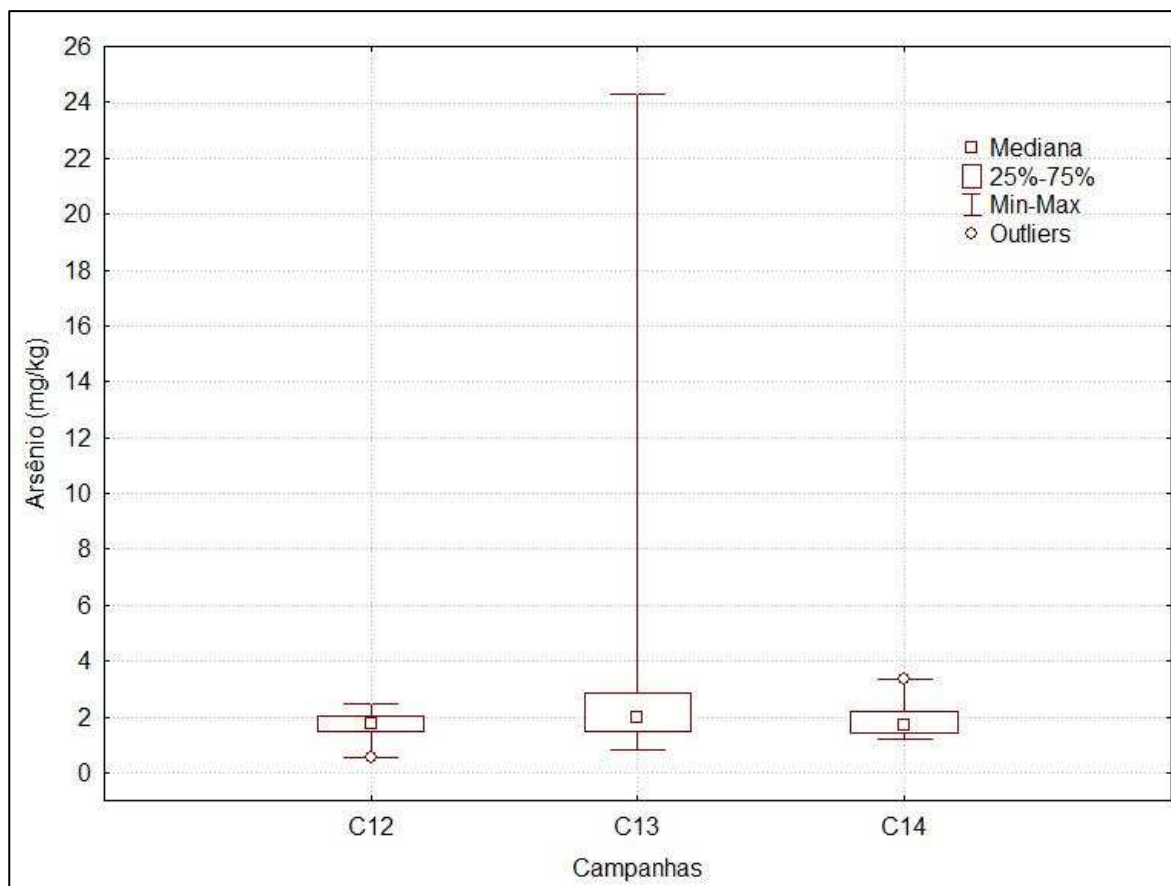


Figura V-129 – Concentrações médias de arsênio (mg/kg) das amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações de arsênio entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas para as estações MLZ_1, MLZ_2R, MLZ_3, MLZ_4, MLZ_7, MLZ_8, MLZ_9R, MLZ_10, MLZ_D_7R e MLZ_D_8R, conforme resultados na Tabela V-49. É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção foram iguais entre as campanhas.

Tabela V-49 – Análise de variância dos valores de arsênio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal-Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

MLZ_1	MLZ_2R	MLZ_3	MLZ_4				MLZ_D_7R		C12	C13	C14
ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA				ANOVA	C12			
F = 52,816	F = 73,836	F = 107,180	F = 178,302				F = 7,355	C13			
<0,001	<0,001	P = <0,001	P = <0,001				P = 0,024	C14			
MLZ_7	MLZ_8	MLZ_10		C12	C13	C14	MLZ_D_8R		C12	C13	C14
ANOVA	ANOVA	ANOVA		C12			ANOVA	C12			
F = 136,435	F = 1624,850	F = 189,448		C13			F = 76,078	C13			
P = <0,001	P = <0,001	P = <0,001		C14			P = <0,001	C14			

As concentrações médias de cádmio variaram entre $0,012 \pm 0,002$ mg/kg na estação MLZ_D_2REP e $0,063 \pm 0,011$ mg/kg na estação MLZ_3 (Figura V-130). A média entre as estações foi de $0,036 \pm 0,014$ mg/kg. Foram observadas diferenças significativas nas concentrações de cádmio entre as estações (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$), em que MLZ_3 diferiu significativamente de MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R. Os resultados encontrados estão abaixo dos limites estabelecidos pelos valores de TEL e PEL da tabela americana (0,68 mg/kg e 4,21 mg/kg, respectivamente).

Quando comparadas à concentração limite de cádmio de 1,2 mg/kg, para sedimentos marinhos nível 1, estabelecida pela resolução CONAMA nº 454/12, as concentrações encontradas estão significativamente abaixo do limite e condizentes com o esperado para a região.

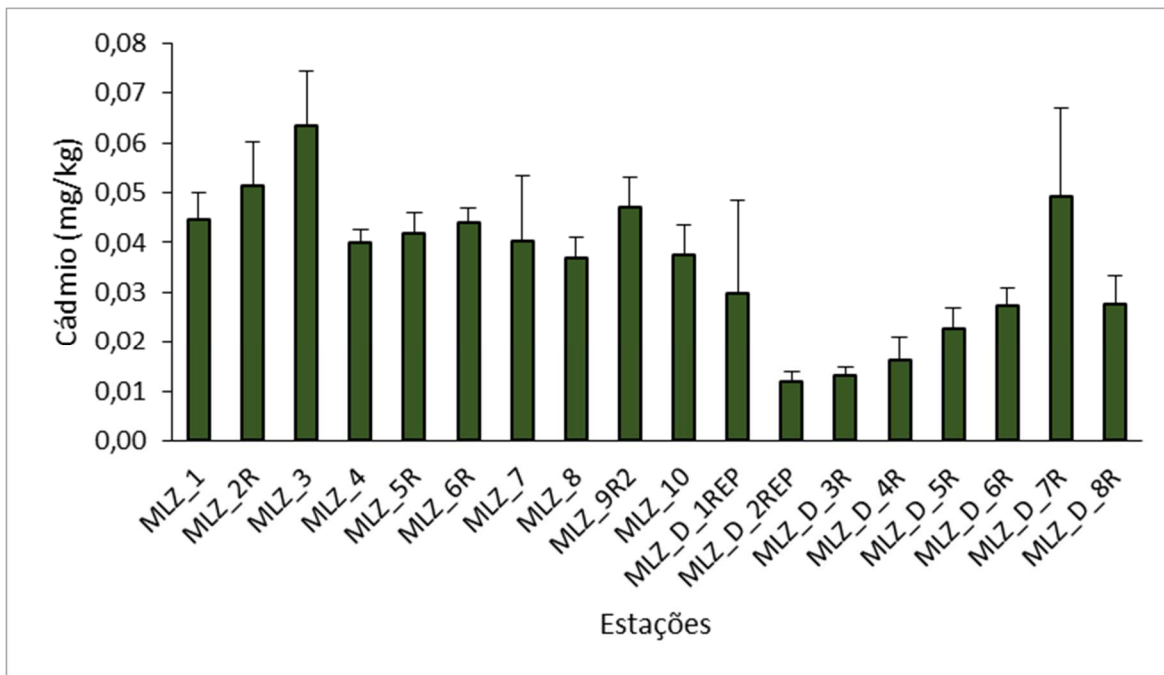


Figura V-130 – Concentração média e desvio padrão (mg/kg) de cádmio no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A barra verde representa os valores médios $\pm$ desvio-padrão.

A análise da distribuição espacial das concentrações deste metal (Figura V-131) permitiu verificar aumento gradual das concentrações entre região costeira e área da plataforma, em associação com o gradiente de profundidade ou distância da costa, sem um padrão de distribuição que pudesse ser relacionado com a atividade ou com possíveis influências das estruturas de fundo instaladas. No PCR-BS (Petrobras, 2022b), as concentrações de cádmio nas proximidades do Sistema de Merluza variaram entre 0,0086 e 0,711 mg/kg na campanha de inverno, e 0,0082 a 0,221 mg/kg na campanha de verão. Essas concentrações apresentaram tendência de aumento das isóbatas mais rasas para as mais profundas na campanha de inverno. Porém, esse padrão não se repetiu na campanha de verão.

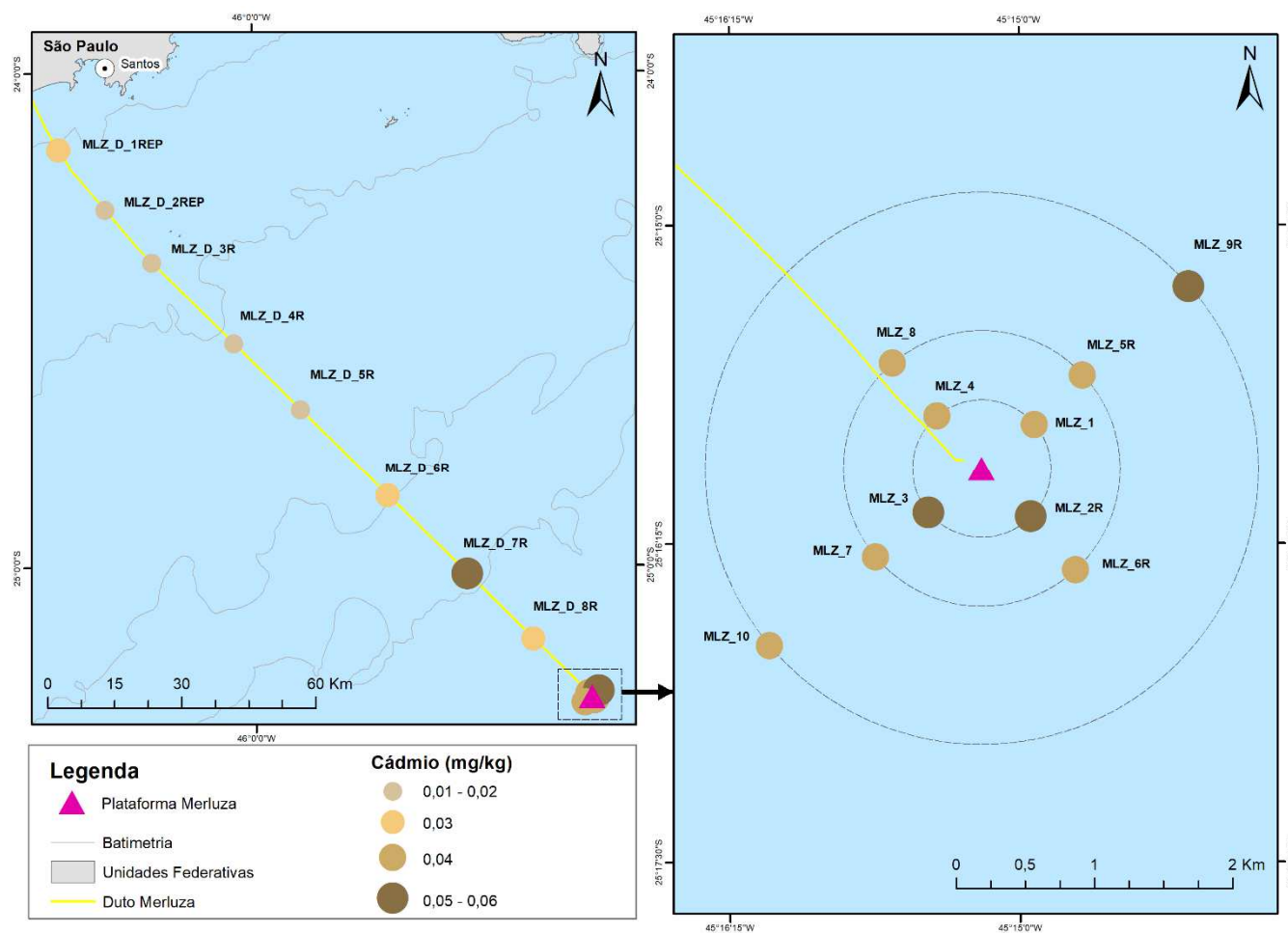


Figura V-131 – Distribuição espacial de cádmio (mg/kg) no sedimento da campanha de monitoramento PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Nas Figura V-132 e Figura V-133 são apresentadas as faixas das concentrações de cádmio obtidas nas amostras coletadas ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. Na região da plataforma, é possível verificar que a C5 e C6 apresentaram as maiores concentrações (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023) (Tabela V-50). Para as estações ao longo do gasoduto, só foram quantificadas concentrações durante as campanhas C7, C12, C13 e C14.

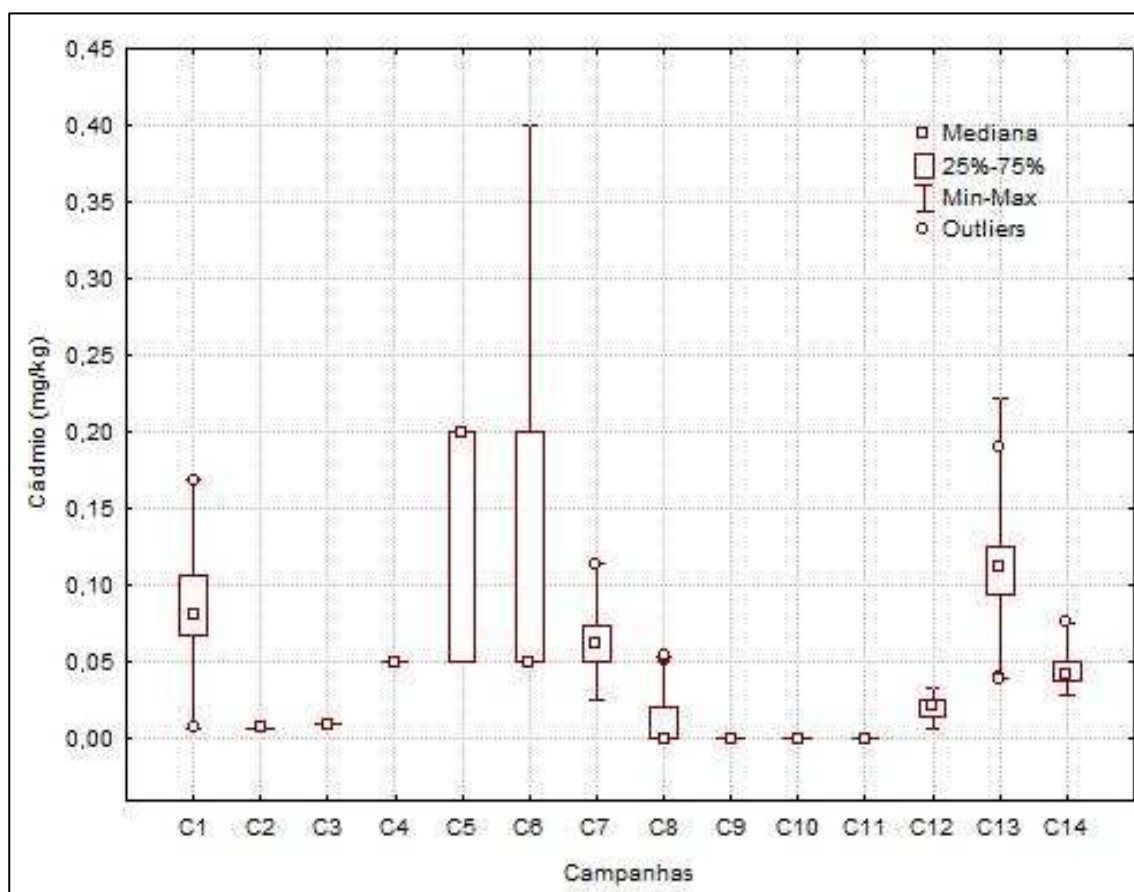


Figura V-132 – Concentrações média de cádmio (mg/kg) nas amostras ao redor da plataforma nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

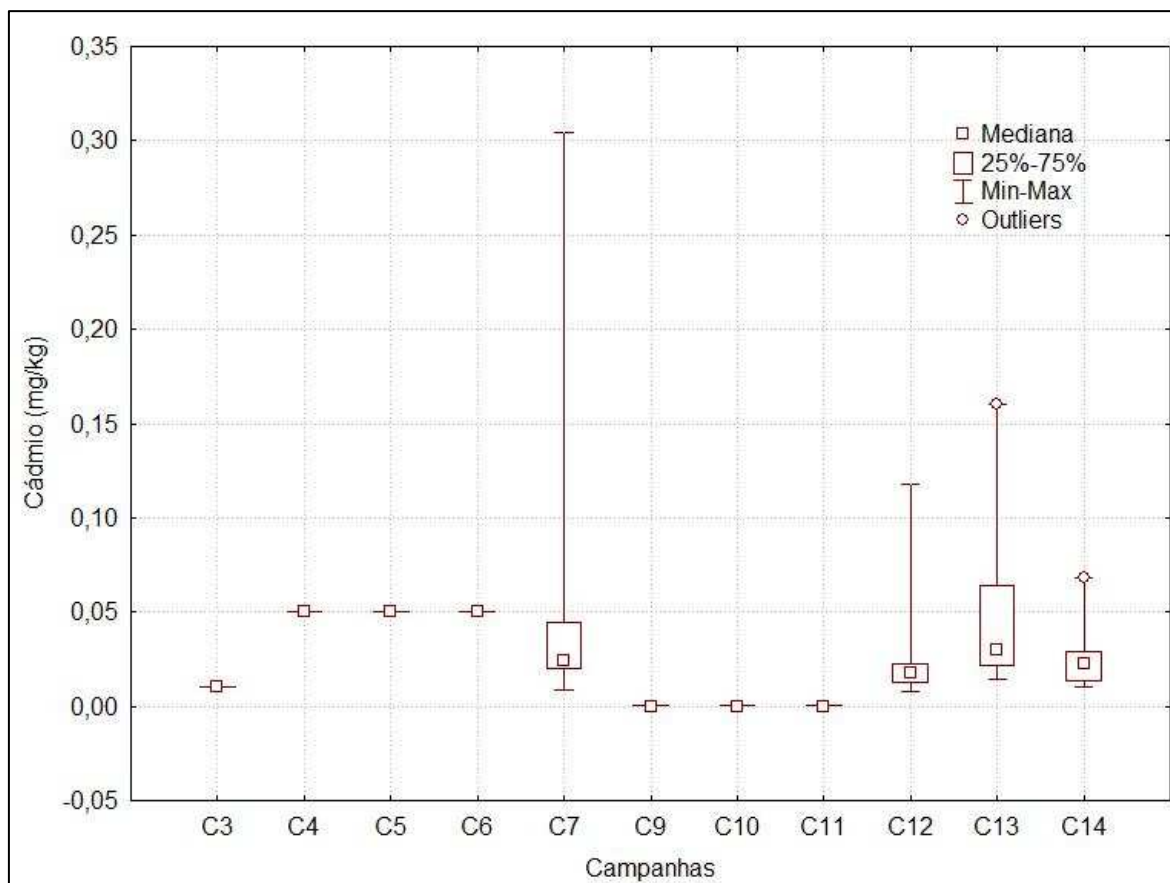


Figura V-133 – Concentrações médias de cádmio (mg/kg) das amostras do gasoduto nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das concentrações médias de cádmio entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-50.

Para as estações MLZ_5R, MLZ_6R, MLZ_7, MLZ_9R, MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R, MLZ_D_5R, MLZ_D_6R e MLZ_D_7R, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença. As diferenças verificadas foram bastante pontuais, sendo observadas diferenças entre as campanhas C5, C6 e C13 com C9, C10 e C11.

É importante ressaltar que os métodos e limites de detecção utilizados variaram entre as campanhas (métodos USEPA 3052 e USEPA 6010C e LD = 0,015 mg/kg para as três primeiras campanhas, USEPA SW846, USEPA 3051A e USEPA 6010C e LD = 0,1 mg/kg para a quarta, quinta e sexta campanha, USEPA 3050B e USEPA 6020A e LD = 0,0003 mg/kg para a sétima campanha, USEPA 3051A e

USEPA 6020B e $LD = 0,0003 \text{ mg/kg}$ para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e USEPA 3051A e USEPA 6010D e $LD = 0,0003 \text{ mg/kg}$ para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha). Assim, e considerando a grande quantidade de valores não detectados de cádmio encontrada ao longo das campanhas, é possível que as diferenças observadas nos testes estatísticos decorreram dos diferentes limites de detecção empregados nas análises laboratoriais.

Tabela V-50 - Análise de variância dos valores de cádmio e resultados do teste de Tukey, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As intersecções marcadas em verde representam $p < 0,05$, ou seja, foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas marcadas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 39,141 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 38,899 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 38,899 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_8R KW H = 30,848 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 38,028 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_8 KW H = 39,784 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 40,776 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

O mercúrio não apresentou concentrações acima do limite de quantificação em nenhuma das estações (LQ = 0,038 mg/kg) da atual campanha. Consequentemente, os resultados encontrados estão abaixo dos limites estabelecidos pelos valores de TEL, de 0,13 mg/kg, e PEL, de 0,7 mg/kg, da tabela americana e da tabela canadense.

Nas campanhas anteriores do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ, houve quantificação de mercúrio apenas nas campanhas C1 e C8, para as estações ao redor da plataforma, e durante a campanha C7, para as estações ao longo do gasoduto. Como a maioria das concentrações foram inferiores aos limites analíticos, não se justifica a realização de testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas, visto que estes apenas indicarão a existência de diferenças entre as campanhas com quantificação e as campanhas sem concentrações dos compostos, ou ainda, entre campanhas que empregaram diferentes limites analíticos.

A Tabela V-52 apresenta as concentrações médias dos metais para cada estação amostrada e os valores de referência de TEL e PEL, segundo os valores das tabelas canadense e americana (Tabela V-52). O índice de qualidade do sedimento por área foi igual a 90, com o índice de qualidade do sedimento por ponto amostral igual a 100 na grande maioria das estações, exceto MLZ_1, MLZ_4, MLZ_6R e MLZ_8, onde variou entre 84 e 88, em virtude dos resultados de As ultrapassando os limites TEL.

Tabela V-52 – Concentração média de metais (mg/kg) da campanha de monitoramento ambiental PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14, valores de referência TEL e PEL, segundo tabela canadense (CAN) e tabela americana (EUA) e índice de qualidade do sedimento por área e por ponto (SeQI_Ponto). Em vermelho, são destacados os resultados que ultrapassaram os limites TEL.

ESTAÇÃO	Al (mg/kg)		As (mg/kg)		Ba (mg/kg)		Cd (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Cr (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Hg (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)		V (mg/kg)		SeQI_Ponto
	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	Média	Desv pad	
MLZ_1	1890	1332,			18,2		0,04				12,7		4518	208,8	<0,0		303,	121,3					17,0		17,1		
	3,29	68	8,14	0,74	7	3,17	5	0,005	2,51	0,20	6	1,56	,34	8	38	-	31	0	6,50	0,67	4,93	0,52	8	4,60	3	2,74	88,00
MLZ_2R	2181	2625,			15,2		0,05				10,4		4783	164,1	<0,0		388,						14,8		13,6		
	9,84	15	6,24	1,06	3	1,62	1	0,009	2,32	0,26	8	0,87	,91	0	38	-	57	69,79	5,71	0,55	4,32	0,39	1	2,56	2	0,93	100,00
MLZ_3	2344	1104,			15,3		0,06						4756	316,9	<0,0		435,						13,9		12,7		
	5,46	57	4,65	0,73	7	1,25	3	0,011	2,29	0,30	9,93	1,24	,79	1	38	-	07	98,44	5,41	0,70	4,32	1,08	2	1,75	0	1,66	100,00
MLZ_4	2071	552,7			18,3		0,04				13,2		4757		<0,0		360,						15,1		16,7		
	1,31	3	7,38	0,92	5	2,43	0	0,002	2,55	0,02	2	0,78	,42	38,05	38	-	64	55,05	6,73	0,26	4,73	0,19	4	0,40	0	1,10	88,00
MLZ_5R	1860	2854,			11,3		0,04				10,2		4399	330,0	<0,0		226,						10,5		13,7		
	5,56	52	6,47	1,41	7	2,25	2	0,004	1,83	0,20	1	1,10	,31	9	38	-	79	29,33	4,96	0,43	3,77	0,36	1	0,95	0	2,03	100,00
MLZ_6R	1299	1173,	15,0		11,6		0,04				13,7		4815	174,6	<0,0		233,						12,3		21,2		
	9,98	20	9	1,60	5	2,21	4	0,003	1,76	0,41	7	2,10	,96	4	38	-	24	43,59	6,04	1,23	4,86	0,81	7	2,71	1	2,88	84,00
MLZ_7	1765	1411,			12,2		0,04				11,3		4448	140,6	<0,0		319,						12,9		13,9		
	4,46	96	6,78	1,19	1	1,34	0	0,013	2,00	0,07	4	1,05	,38	3	38	-	08	70,42	5,25	0,27	4,03	0,49	4	1,61	9	1,63	100,00
MLZ_8	1837	1299,			10,1		0,03				12,7		4723	275,2	<0,0		305,						13,7		16,2		
	7,82	71	7,88	0,19	6	0,95	7	0,004	2,29	0,34	0	0,72	,59	2	38	-	70	72,43	6,02	0,60	4,42	0,40	5	1,55	1	0,87	88,00
MLZ_9R2	2066	402,8			10,4		0,04						4913	230,5	<0,0		333,						12,0		12,6		
	0,80	2	6,00	0,62	5	0,04	7	0,006	1,84	0,22	9,92	0,99	,55	7	38	-	99	48,33	4,85	0,58	3,77	0,48	2	2,52	7	1,26	100,00
MLZ_10	2483	455,7			12,4		0,03				11,2		5446	195,8	<0,0		432,						14,8		12,4		
MLZ_D_1	0,91	8	5,11	0,54	0	0,25	8	0,006	2,22	0,04	0	0,83	,04	0	38	-	44	93,77	5,53	0,17	3,98	0,15	4	2,41	2	0,62	100,00
REP	2748	6878,			0,03		0,03						4810	513,0	<0,0		69,4										
MLZ_D_2	2,07	26	1,39	0,02	1,37	0,03	0	0,019	1,49	1,48	6,87	4,97	,46	3	38	-	5	39,59	2,42	2,22	1,72	0,04	9,28	7,38	6,03	4,80	100,00
REP	2254	393,7			0,01		0,01						4382	113,0	<0,0		111,										
MLZ_D_3	1,80	0	1,73	0,09	1,74	0,23	2	0,002	0,70	0,06	6,26	0,49	,14	5	38	-	68	40,45	1,68	0,17	2,80	0,18	6,61	0,56	4,82	0,40	100,00
R	1851	1417,			0,01		0,01						3654	303,1	<0,0		91,3										
MLZ_D_4	4,94	23	1,65	0,20	2,00	0,31	3	0,002	0,66	0,06	5,67	0,46	,21	7	38	-	5	11,13	1,58	0,07	2,64	0,23	6,76	0,45	4,57	0,26	100,00
R	3231	986,9			0,01		0,01						4997	172,3	<0,0		121,										
MLZ_D_5	8,59	9	1,26	0,11	5,53	4,40	5	0,004	1,43	0,10	7,14	0,41	,15	6	38	-	73	15,93	3,06	0,16	2,97	0,16	9,77	0,94	5,61	0,46	100,00
R	3557	4191,			0,02		0,02						5269	403,7	<0,0		195,										
MLZ_D_6	0,73	47	1,53	0,01	5,03	0,75	3	0,004	2,65	0,91	8,62	1,94	,20	9	38	-	06	54,33	4,67	1,05	3,71	0,82	5	3,37	7,40	1,73	100,00
R	4207	240,3			0,02		0,02				10,9		6080		<0,0		507,										
MLZ_D_7	5,40	7	2,17	0,16	7,15	0,74	7	0,004	3,50	0,39	9	1,11	,17	39,15	38	-	69	8,68	6,77	0,71	5,27	0,57	7	2,53	8	0,98	100,00
R	4233	4060,			0,04		0,04				16,2		6198	289,1	<0,0		642,	339,7	11,0				28,3		14,9		
MLZ_D_8	0,47	16	2,77	0,55	4	1,93	9	0,018	5,72	0,82	4	2,55	,73	1	38	-	77	9	8	1,45	8,13	0,91	9	3,66	8	2,71	100,00
R	3533	475,9			0,02		0,02				11,4		5705		<0,0		590,										
	1,94	8	2,18	0,32	7,98	1,05	8	0,006	3,09	0,37	2	1,26	,18	76,55	38	-	53	63,94	6,34	0,74	4,55	0,52	5	1,92	0	1,07	100,00

Máximo	42330,47	15,09	18,35	0,063	5,72	16,24	6198,73	<0,038	642,77	11,08	8,13	28,39	21,21	-
Mínimo	12999,98	1,26	1,37	0,012	0,66	5,67	3654,21	<0,038	69,45	1,58	1,72	6,61	4,57	-
Média	25231,96	4,91	10,02	0,036	2,27	10,49	4925,58	-	314,95	5,26	4,16	13,73	11,91	-
Desvio Padrão	8700,60	3,56	5,37	0,014	1,12	2,80	626,90	-	167,09	2,20	1,35	4,95	4,73	-
TEL can	-	7,24	-	-	18,70	52,30	-	0,13	-	-	30,20	124,00	-	SeQI_á rea
PEL can	-	41,60	-	-	108,00	160,00	-	0,70	-	-	112,00	271,00	-	
TEL eua	-	7,24	130,10	0,68	18,70	52,30	-	0,13	-	15,90	30,24	124,00	-	90,00
PEL eua	-	41,60	-	4,21	108,00	160,00	-	0,70	-	42,80	112,00	271,00	-	

O fator de enriquecimento foi inferior a 1 em todas as estações e para todos os metais, demonstrando assim que, apesar das flutuações das concentrações observadas ao longo das campanhas, conforme demonstrado nos box-plots, há estabilidade nas proporções dos metais em relação ao alumínio entre o início e a atual campanha de monitoramento. Tal estabilidade dada em função do alumínio, um elemento conservativo nos sedimentos marinhos, demonstra que não há variações provenientes de aportes antrópicos, estando, todos os elementos, sujeitos aos mesmos processos naturais de deposição e remobilização que controlam as concentrações de metais na região. A única exceção verificada foi para o cádmio em MLZ_D_7R, que, no entanto, apresentou enriquecimento pequeno, sendo ainda importante destacar o comportamento distinto dessa estação em relação às demais ao longo do monitoramento, sujeita a maiores concentrações de todos os metais dada a sua composição granulométrica com maior teor de sedimento fino, justamente por estar posicionada sobre uma feição de lama (Tabela V-53). Destaca-se também que a qualidade do sedimento apresentou valores elevados na maioria das estações, conforme acima mencionado, e todos os resultados estiveram em conformidade com os valores estabelecidos por TEL e PEL, tanto da tabela canadense quanto da americana, com exceção de 4 resultados de arsênio situados entre estes dois limites e que, conforme sugerem os resultados do PCR-BS, estariam ligados ao bolsão de lama que recobre a porção sul da borda da plataforma continental da BS, tendo origem natural. Cabe ainda enfatizar que a faixa de valores compreendida entre TEL e PEL constitui uma região de incerteza sobre os efeitos das concentrações observadas sobre a biota, e interpretação dos resultados em relação a tais limites exige cautela, uma vez que os limites não devem ser usados de forma determinística em virtude da complexidade dos ambientes e da possibilidade de variações locais não inicialmente mapeadas pelos dados que subsidiaram a formulação destes indicadores.

Tabela V-53 - 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 ($3 < FE < 5$), valores em verde escuro indicam enriquecimento moderado a severo ($5 < FE < 10$), valores em roxo indicam enriquecimento severo ($10 < FE < 25$), valores em azul indicam enriquecimento muito severo ($25 < FE < 50$) e valores em vermelho indicam enriquecimento extremamente severo ($FE > 50$).

Estações	Bário	Cádmio	Cobre	Cromo	Ferro	Manganês	Níquel	Chumbo	Vanádio	Zinco
MLZ_1	0,20	0,19	0,20	0,60	0,12	0,41	0,36	0,52	0,27	0,28
MLZ_2R	0,15	0,18	0,18	0,58	0,14	0,54	0,33	0,47	0,23	0,30
MLZ_3	0,10	0,31	0,17	0,71	0,16	0,66	0,33	0,63	0,26	0,23
MLZ_4	0,08	0,19	0,18	0,49	0,10	0,38	0,30	0,44	0,21	0,24
MLZ_5R	0,15	0,17	0,13	0,39	0,09	0,24	0,22	0,32	0,17	0,19
MLZ_6R	0,26	0,14	0,20	0,57	0,09	0,22	0,35	0,48	0,27	0,27
MLZ_7	0,11	0,18	0,13	0,32	0,08	0,27	0,22	0,31	0,16	0,15
MLZ_8	0,17	0,17	0,18	0,52	0,10	0,32	0,30	0,49	0,23	0,22
MLZ_9R	0,13	0,23	0,17	0,50	0,14	0,36	0,29	0,41	0,21	0,26
MLZ_10	0,12	0,14	0,14	0,38	0,11	0,44	0,24	0,36	0,18	0,20
MLZ_D_1REP	0,05	0,60	0,14	0,17	0,10	0,14	0,12	0,07	0,09	0,11
MLZ_D_2REP	0,08	0,14	0,11	0,10	0,10	0,27	0,10	0,15	0,08	0,08
MLZ_D_3R	0,07	0,15	0,09	0,12	0,09	0,19	0,11	0,23	0,11	0,09
MLZ_D_4R	0,16	0,21	0,10	0,11	0,09	0,20	0,10	0,17	0,09	0,09
MLZ_D_5R	0,12	0,34	0,15	0,14	0,09	0,23	0,14	0,23	0,11	0,12
MLZ_D_6R	0,16	0,72	0,18	0,19	0,10	0,45	0,20	0,26	0,13	0,16
MLZ_D_7R	0,29	2,60	0,27	0,27	0,10	0,37	0,29	0,38	0,18	0,24
MLZ_D_8R	0,16	0,65	0,17	0,15	0,08	0,33	0,17	0,22	0,13	0,13

V.3.4 - 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 à 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 & QUINN, 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 emissões 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 quantificadas concentrações de HPA's, HTP's, n-alcanos e MCNR em nenhuma das estações da presente campanha de monitoramento. Na Tabela IV-10 são apresentados os limites de quantificação dos métodos. Estes resultados indicam que não há indícios de contaminação por estes compostos nas estações amostradas durante a atual campanha.

A análise dos hidrocarbonetos na região de estudo mostra que os sedimentos apresentam concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) que variam entre 0,02 e 289,84 mg/kg nas campanhas anteriores (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). A partir da campanha C5, não foram mais detectadas nem quantificadas concentrações de HTP's na área monitorada (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). As concentrações de hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA's) foram observadas somente na campanha C1 e variaram entre 0,0039 e 0,0247 mg/kg, conforme Petrobras/Analytical Solutions (2010). Os parâmetros mistura complexa não resolvida (MCNR) e n-alcanos, salvo raras exceções, também apresentaram concentrações sempre abaixo do limite de detecção dos métodos de análise. Concentrações detectáveis de MCNR foram verificadas durante as campanhas C1 e C4, com valores entre 10,34 e 245,30 mg/kg (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014) e concentrações de n-alcanos apresentaram valores entre 11,55 e 65,23 mg/kg na campanha C4 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). O estudo realizado por Petrobras/Analytical Solutions (2002), na Bacia de Santos, encontrou concentrações de HTP's entre não detectado e 10,83 mg/kg.

Como a maioria das concentrações de HPA's, de HTP's, de n-alcanos e de MCNR não foram quantificadas ao longo das campanhas deste monitoramento, não se justifica a realização de testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.5 - MACROFAUNA BENTÔNICA

A comunidade bentônica é formada pelo conjunto de 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).

Os indivíduos bentônicos podem ser classificados de acordo com seu modo de vida em vágéis (com mobilidade, de vida livre) ou sésseis (sem mobilidade, vivem fixos ao substrato). Além disso, existe uma categorização desse grupo de acordo com o tipo de hábito alimentar, possuindo organismos heterotróficos, conhecidos como zoobentos e autotróficos, também conhecidos como fitobentos. (COUTINHO & ZALNOM, 2002; SOARES-GOMES *et al.*, 2009).

Os organismos bentônicos são classificados de acordo com seu tamanho. No presente trabalho, a comunidade alvo foi o Macrobentos. Dentro desse contexto, Esteves, Leal e Callisto (2011) determina a seguinte classificação:

- Microbentos (< 0,3 mm): composto por indivíduos pequenos como protozoários, gastrotríquios e rotíferos;
- Mesobentos (0,3 a 0,8 mm): normalmente são harpaticóides, ostrácodes, nematoides, copépodos e pequenos anelídeos;
- Macrobentos (> 1,0 mm) são aqueles organismos visíveis a olho nu, principalmente moluscos, anelídeos, larvas de insetos e crustáceos (anfípodes, isópodes e decápodes).

V.5.1 - Macrozoobentos

A distribuição espacial da fauna benthica de praias, do entre marés ao sublitoral, é particularmente sensível a mudanças naturais e induzidas nos sedimentos. Os invertebrados infaunais, pelo tipo de vida no interior de fundos inconsolidados, são

os organismos mais bem adaptados a viver sob características físicas rigorosas. Poliquetas, moluscos e crustáceos, pela frequência de ocorrência e abundância, constituem grupos característicos nestes ambientes (REISE, 1985).

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).

As alterações causadas no ambiente propiciam mudança gradual da comunidade bentônica, com o aparecimento de espécies oportunistas, alterando a abundância e a diversidade natural do sistema (NESTLERODE & DIAZ, 1998). Um grande número de estudos têm demonstrado mudanças na estrutura de comunidades bêmicas, quando relacionados a gradientes de poluição e variáveis ambientais (WARWICK & CLARKE, 1993). Os efeitos do enriquecimento orgânico, concentração de oxigênio dissolvido, salinidade, granulometria e profundidade, proporcionam o estabelecimento de padrões de distribuição espacial dos organismos (MASSOUD *et al.*, 1996).

As comunidades bentônicas de sedimentos inconsolidados têm sido usadas efetivamente nos programas de monitoramento ambiental, para detectar perturbações antropogênicas (FIORI, 2000), pois os sedimentos acumulam os poluentes, criando condições favoráveis para se medir regularmente os efeitos de determinados impactos ou alterações que o ecossistema venha a sofrer (KENNISH, 1998).

Segundo análise feita no PCR-BS (Petrobras, 2022c), a comunidade bentônica se caracterizou pela distribuição dos táxons em três zonas no talude (400-700 m, 1000-1300 m e 1900 m) correspondendo ao talude superior, médio e inferior, respectivamente, e a zonation na área do Platô de São Paulo (2200-2400 m). De acordo com esses autores, a zonation encontrada foi principalmente explicada por diferenças na quantidade de matéria orgânica no sedimento (carbono orgânico total e feopigmentos) assim como características do sedimento (teor de carbonato) e

secundariamente pela temperatura, sendo esta variável considerada um “proxy” das diferenças de massas d’águas que se alternam ao longo do talude.

V.5.1.1 - Avaliação da Amostragem

Em virtude da metodologia diferente nas três primeiras campanhas realizadas para o monitoramento da atividade de Merluza, que consideraram as conchas vazias de moluscos na contagem de organismos, foram considerados na avaliação de amostragem somente os dados a partir da quarta campanha da fase de operação (C4 a C14). Assim, ao todo, foram utilizados os dados das 567 réplicas coletadas e analisadas nestas 11 campanhas (54 em cada campanha, exceto C8, com 30 réplicas, coletadas apenas nas estações da plataforma, e C12, com 51 réplicas, uma vez que não houve coleta em uma das estações, por inexequibilidade). Na atual campanha, foram encontrados 26 novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas consideradas na análise evidencia que 42,16% do total de taxa obtido foi coletado nas primeiras 54 réplicas, isto é, durante uma única campanha de monitoramento (Figura V-134), no caso, a quarta campanha, aqui considerada a primeira. Estes dados apontam para um adequado esforço amostral, garantindo a caracterização de grande parte dos taxa presentes na comunidade local em um único evento amostral. Durante as campanhas posteriores, o incremento do número de taxa varia de 1,89%, equivalente ao incremento de sete taxas em C11 a 17,30%, equivalente ao incremento de 64 taxas em C12.

O maior incremento verificado para campanha C12 provavelmente se relaciona com a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas, o que pode ter ocasionado diferenças na identificação de alguns organismos. Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, verifica-se que as diferenças analíticas das campanhas C12 e C13 também influenciaram a curva, de modo que a distribuição real esteve abaixo da esperada nas réplicas da quinta até as primeiras réplicas da

décima terceira campanha, quando os pontos dos dados reais estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife (Figura V-134). Como a curva é calculada para estimar a evolução dos dados com base no total de registros, visando uma progressão contínua e predizível, ela não é capaz de refletir as alterações de ordem analítica que constituíram as condições de obtenção dos dados. Os trechos de maior estabilidade da curva, entre C5 e C11 e entre C13 e C14, evidenciam a importância e adequação do esforço amostral realizado em cada uma das campanhas de monitoramento da atividade de Merluza, não sendo esperado um incremento significativo no número de espécies diante do aumento do esforço amostral, estando os incrementos relacionados a variações de ordem analítica.

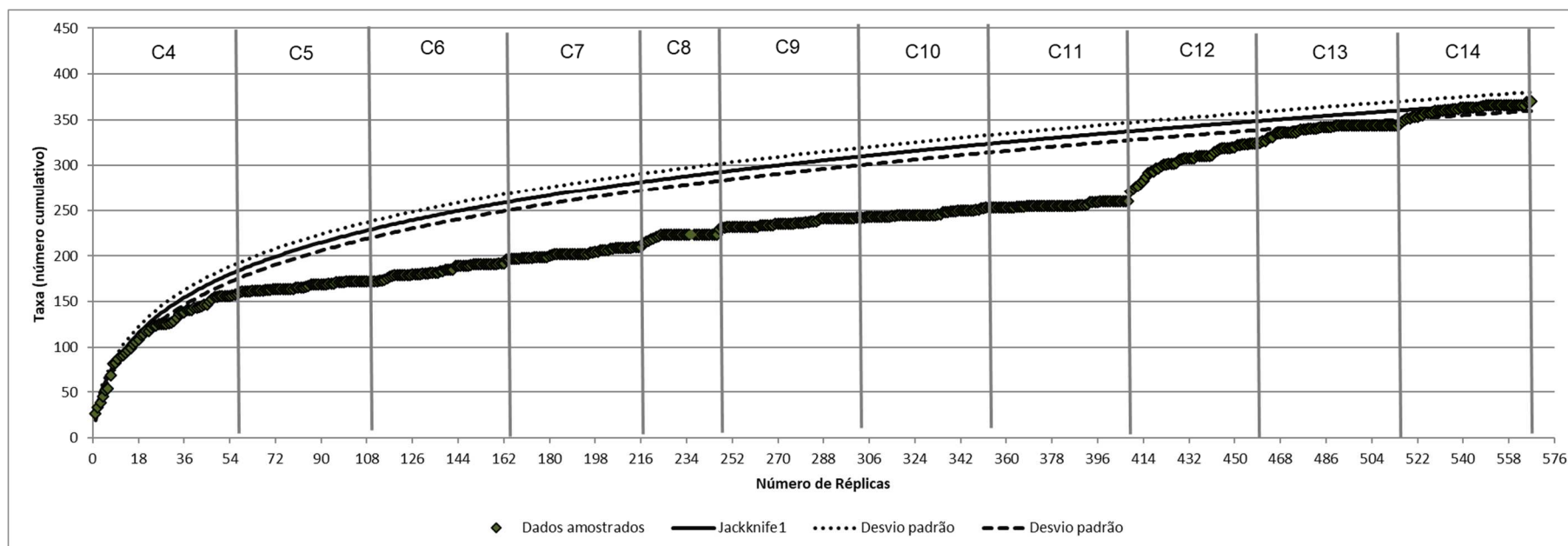


Figura V-134– Taxa (número cumulativo) de organismos macrobentônicos encontrados ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.5.1.2 - *Análise Qualitativa*

Os seguintes 13 filos foram identificados nas amostras da atual campanha: Annelida, Arthropoda, Brachiopoda, Echinodermata, Mollusca, Nemerta, Sipuncula, Chordata, Cnidaria, Porifera, Priapulida, Platyhelminthes e Kinorhyncha. A maioria desses filos foram registrados nas campanhas anteriores do monitoramento da atividade de Merluza (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). O filo com maior número de taxa foi Annelida, com 47 taxa, seguido Mollusca, com 35 taxa, Arthropoda, com 34 taxa e Chordata e Cnidaria, com 2 taxa (Figura V-135). Esses grupos se destacaram em relação aos demais que tiveram riqueza de 1 táxon cada (Brachiopoda, Echinodermata, Nemertea, Sipuncula, Porifera, Priapulida e Platyhelminthes). Vale ressaltar que os organismos pertencentes a Platyhelminthes, Priapulida, Kinorhyncha, Sipuncula, Nemertea, Porifera e Echinodermata não foram identificados. Por este motivo, o resultado desses grupos não pôde ser descrito com grande precisão. A listagem dos taxa é apresentada no Anexo X-43.

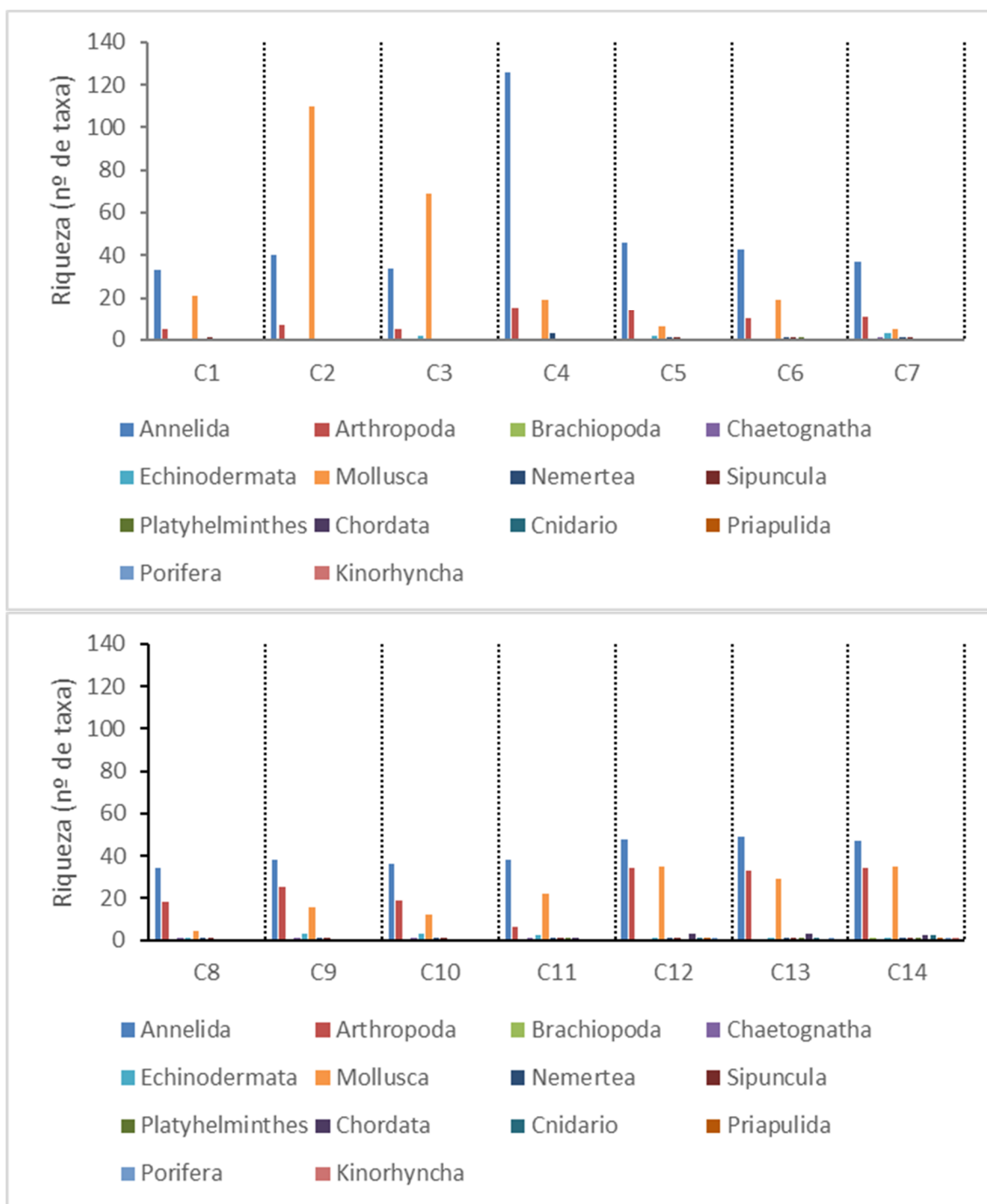


Figura V-135 – Riqueza (nº de taxa) de taxa dos filos macrobentônicos ao longo do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

A dominância de anelídeos na comunidade bentônica de substrato inconsolidado é bem documentada na literatura. Nas campanhas de monitoramento realizadas no local, esses organismos, com destaque para os poliquetas, foram descritos como o grupo dominante nas comunidades bentônicas em quase todas as campanhas, com exceção de C2 e C3, que contabilizaram conchas vazias, indicando Mollusca como o grupo dominante (Figura V-135).

Os organismos da Classe Polychaeta distinguem-se dos outros anelídeos pela presença de duas projeções laterais em cada segmento, os parapódios, que são providos de cerdas. Apresentam capacidade de construir tubos e até mesmo galerias, onde vive o animal. Sua importância foi notada em praticamente todos os ecossistemas bentônicos e habitam, em sua maioria, as camadas superficiais do substrato participando assim na movimentação, reciclagem e aeração das camadas superficiais destes mesmos sedimentos. Possuem alto potencial reprodutivo e representam aproximadamente um terço do número total de espécies do zoobentos (AMARAL *et al.*, 2004).

O filo Arthropoda possui grande importância nas comunidades bentônicas, sendo comum serem fortemente representados 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).

O filo Mollusca, bastante representativo na atual campanha, é um dos maiores filos de invertebrados em número de espécies e a classe Bivalvia está entre uma das mais bem representadas no ambiente marinho bentônico (DIAZ & PUYANA, 1994; RUPPERT *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2007).

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, PITOMBO e PAIVA, 2009), conforme observado nos dados da atual campanha, assim como nas campanhas anteriores deste projeto de monitoramento (Petrobras/Analytical Solutions (2010, 2012, 2013), Petrobras/Bourscheid (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020) e Petrobras/Bioconsult (2022).

Alguns outros filos, como Echinodermata, Sipuncula, entre outros, são descritos na literatura como presentes nas comunidades bentônicas. Esses filos são reconhecidamente menos ricos na área de estudo (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022) bem como nas comunidades bentônicas marinhas de maneira geral (SOARES-GOMES *et al.*, 2009; LANA *et al.*, 1996).

V.5.1.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-5 são apresentados os valores de riqueza (n° de taxa), densidade (ind/m^2), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade bentônica encontrada na atual campanha. Já na Tabela V- são apresentados os registros das campanhas de monitoramento anteriores da atividade de Merluza. A amostragem da comunidade bentônica nas estações de coleta registrou um total de 129 taxa, dentre os quais, 9 foram identificados a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 6 a nível de classe, 1 a nível de subclasse, 3 a nível de ordem, 4 a nível de subordem, 1 a nível de superfamília, 78 a nível de família, 14 a nível de gênero e 12 a nível de espécie.

A riqueza média (unidade) de organismos bentônicos acumulada nas estações da atual campanha foi de $35,02 \pm 5,03$ taxa e variou entre $24,33 \pm 1,53$ na estação MLZ_D_1REP a $44,67 \pm 2,08$ taxa na estação MLZ_4 (Tabela V-55).

Tabela V-55 - Valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/m²), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade macrobentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

	Riqueza média (nº de taxa)		Densidade (ind/m²)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
MLZ_1	33,00	9,17	4.550,00	1.297,11	4,33	0,36	0,87	0,02
MLZ_2R	38,33	5,03	9.233,33	2.116,80	4,48	0,42	0,85	0,05
MLZ_3	34,00	2,00	6.558,33	526,98	4,38	0,14	0,86	0,02
MLZ_4	44,67	2,08	10.366,67	2.350,71	4,41	0,21	0,81	0,04
MLZ_5R	38,67	5,86	6.591,67	1.712,15	4,46	0,18	0,85	0,05
MLZ_6R	41,67	3,79	8.258,33	1.480,36	4,64	0,21	0,86	0,02
MLZ_7	32,67	3,51	3.741,67	450,92	3,98	0,56	0,80	0,09
MLZ_8	39,33	4,04	14.416,67	1.926,35	4,10	0,17	0,78	0,02
MLZ_9R	33,00	6,56	10.208,33	2.865,13	4,37	0,55	0,87	0,06
MLZ_10	36,33	11,93	12.541,67	6.575,40	3,82	0,43	0,75	0,07
MLZ_D_1REP	24,33	1,53	2.750,00	390,51	3,58	0,32	0,78	0,06
MLZ_D_2REP	33,00	2,65	7.850,00	1.284,77	3,36	0,32	0,67	0,05
MLZ_D_3R	40,67	4,73	24.500,00	5.981,69	3,90	0,12	0,73	0,03
MLZ_D_4R	35,00	3,61	3.533,33	579,51	4,17	0,30	0,82	0,05
MLZ_D_5R	34,00	4,58	3.716,67	926,80	4,37	0,18	0,86	0,03
MLZ_D_6R	32,00	9,54	2.533,33	1.685,29	4,44	0,31	0,90	0,03
MLZ_D_7R	26,67	6,66	2.000,00	482,18	4,18	0,35	0,89	0,01
MLZ_D_8R	33,00	2,65	7.475,00	822,72	3,60	0,18	0,71	0,05
Mínimo	24,33		2.000,00		3,36		0,67	
Máximo	44,67		24.500,00		4,64		0,90	
Média	35,02		7.823,61		4,14		0,81	
Desvio padrão	5,03		5.486,33		0,36		0,07	

Como pode ser observado na Tabela V-56 e Figura V-139, os valores de riqueza registrados na atual campanha foram elevados, mas se encontram na faixa de variação já verificada para o local nas campanhas de monitoramento anteriores deste projeto.

Tabela V-56 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade macrobentônica nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

	Riqueza média (nº de taxa)		Densidade (ind/m²)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C1 MLZ¹	18,67	30,33	347,00	529,00	3,66	4,43	0,72	0,83
C2 MLZ²	19	47,33	4.733,33	22.525,00	1,05	1,37	0,79	0,87
C3 MLZ³	18,67	39,67	13.666,67	38.233,33	4,63	5,68	0,83	0,94
C4 MLZ⁴	3	23,67	233,33	5.108,33	0,79	2,87	0,64	1,00
C5 MLZ⁵	4	11,67	150,00	616,67	1,22	2,40	0,83	0,98
C6 MLZ⁶	6,33	15,33	233,33	1.008,33	1,54	2,22	0,81	0,97
C7 MLZ⁷	9,67	25,33	958,33	6.175,00	1,34	2,87	0,59	0,92
C8 MLZ⁸	17,33	32,67	1.716,67	4.633,33	2,56	2,86	0,78	0,91
C9 MLZ⁹	8	30	491,67	4.350,00	1,96	3,00	0,77	0,96
C10 MLZ¹⁰	14	27,67	816,67	3.758,33	2,22	2,95	0,81	0,91
C11 MLZ¹¹	26,67	26,67	1.266,67	5.308,33	2,11	2,88	0,68	0,93
C12 MLZ¹²	20,67	40,33	1.475,00	7.900,00	2,75	4,75	0,62	0,93
C13 MLZ¹³	28,33	40,33	3.233,33	12.191,67	3,55	4,72	0,74	0,90

Fonte: 1 = Petrobras/Analytical Solutions (2010), 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2013), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018); 9 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022); 13 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-136 e Figura V-137 são apresentadas as riquezas médias de taxa obtidas nas amostras coletadas respectivamente ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza, nas 14 campanhas da fase de operação. Os maiores valores de riqueza média foram observados em C2, C3, C12, C13 e C14, para as estações do entorno da plataforma, e em C3, C12, C13 e C14, para as estações ao longo do gasoduto. É possível ainda notar distinção no comportamento dos dados para os grupos formados pelas campanhas C1 a C3, C4 a C6, C7 a C11 e C12 e C13, representativa das alterações laboratoriais ocorridas ao longo do projeto.

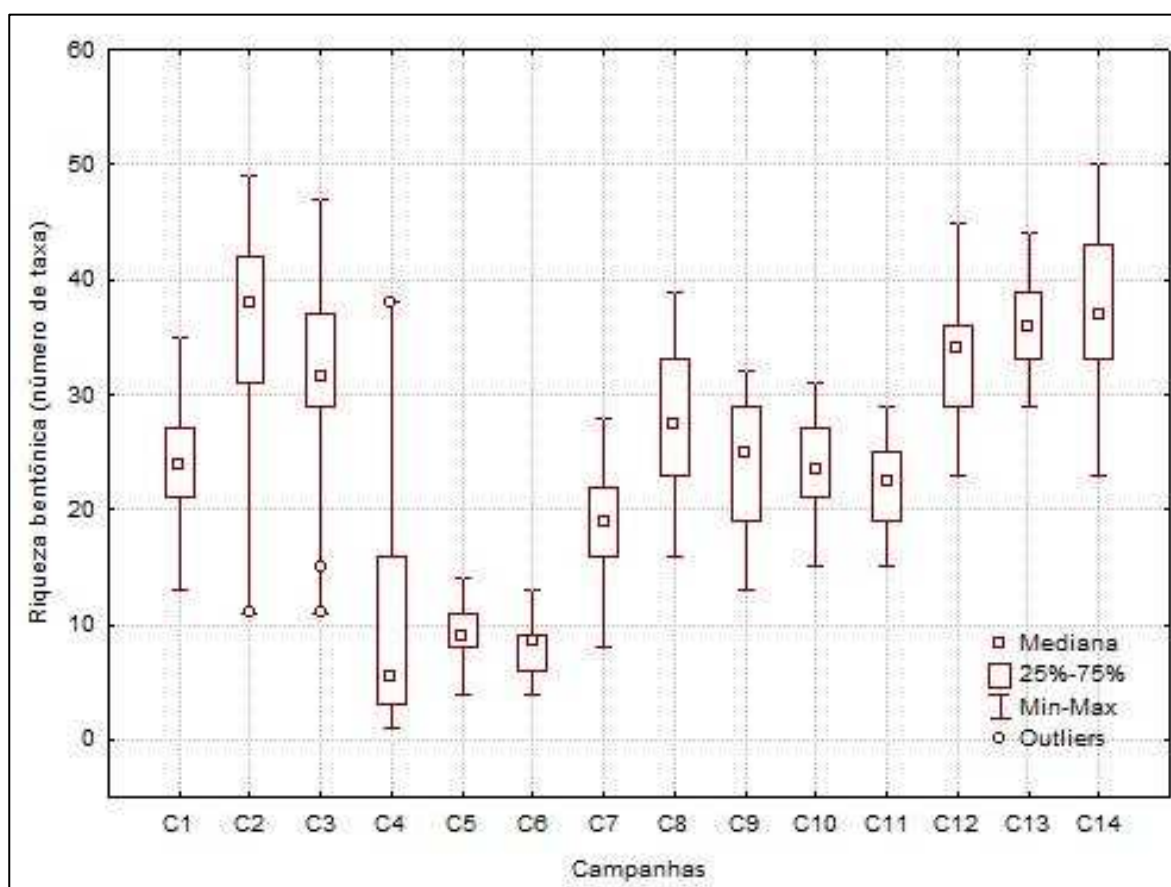


Figura V-136 –Riqueza macrozoobentônica média (n° de taxa) das amostras de sedimento ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

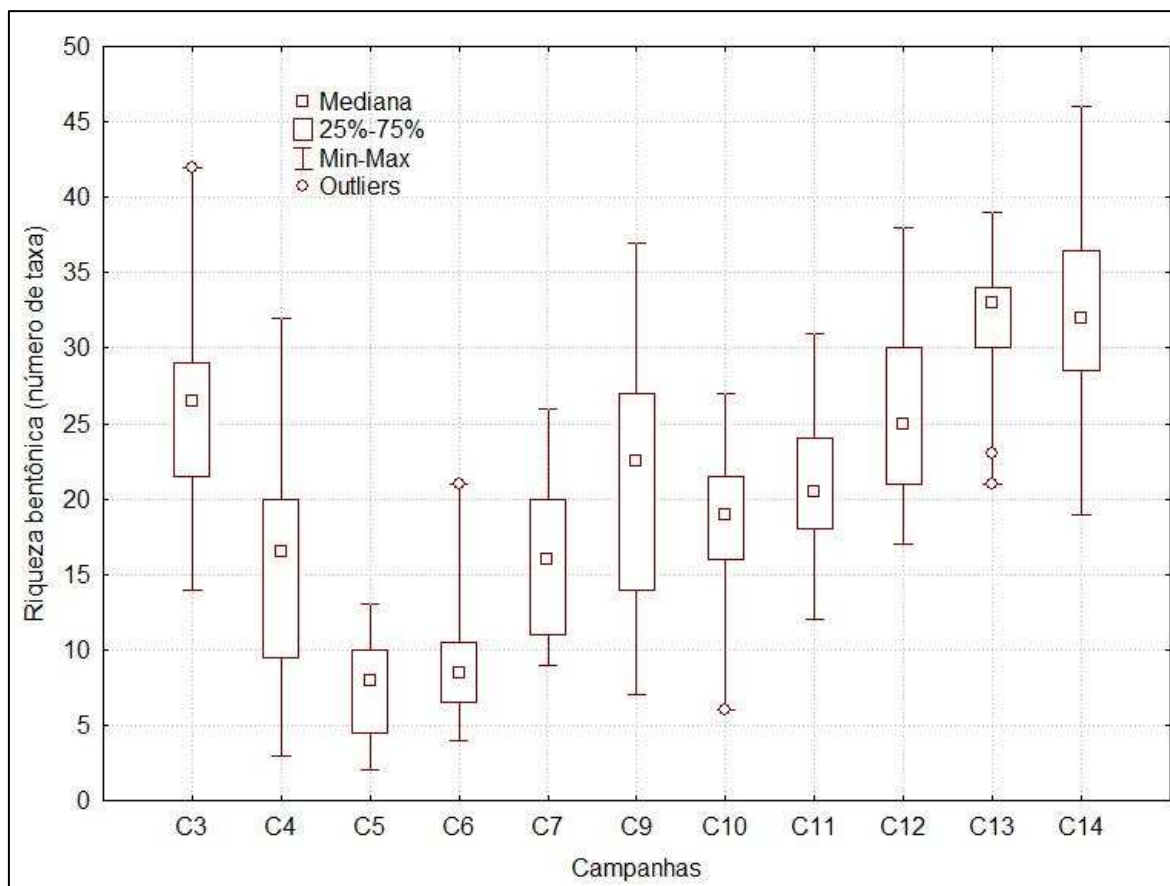


Figura V-137 –Riqueza macrozoobentônica média (n° de taxa) encontrada nas amostras de sedimento ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das riquezas macrozoobentônicas entre as estações, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-. Para a estação MLZ_5R, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível identificar entre quais campanhas ocorreram as diferenças. Para as demais estações, pode-se observar que houve diferença pronunciada entre o bloco formado pelas campanhas C4 a C6 com as demais campanhas, notadamente C11 a C14.

Assim, e considerando os grupos formados pelas campanhas, conforme descrito acima, é possível que as diferenças observadas nos testes estatísticos decorram, ao menos em parte, da mudança de laboratórios, entre a terceira e a quarta, entre a sexta e a sétima e entre a décima primeira e décima segunda campanhas, e da identificação e contabilização de conchas sem conteúdo mole durante as três primeiras campanhas.

Tabela V-57 - Análise de variância e resultados do Teste de Tukey dos valores de riqueza da macrofauna bentônica, estação a estação, encontrados durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 ANOVA F = 12,442 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 24,446 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 ANOVA F = 19,671 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 38,960 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 29,345 P = 0,006	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R ANOVA F = 17,623 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 ANOVA F = 12,394 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 ANOVA F = 22,063 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R ANOVA F = 5,324 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 32,749 (P = 0,002)	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP ANOVA F=7,919 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F= 11,831 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R ANOVA F = 9,107 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R ANOVA F = 14,801 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F=8,481 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F = 10,298 P < 0,001)	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F= 15,599 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F= 9,661 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

A densidade média de organismos macrobentônicos na atual campanha foi de $7.823,61 \pm 5.486,33$ ind/m², variando de $2.000,00 \pm 482,18$ ind/m² na estação MLZ_D_7R a $24.500,00 \pm 5.981,69$ ind/m² na estação MLZ_D_3R (Tabela V-56). Na Tabela V- são apresentados os valores de densidade obtidos em campanhas anteriores do projeto. Pode-se observar que os valores atuais são ligeiramente elevados em comparação às demais campanhas, principalmente quando se desconsidera as campanhas iniciais que contabilizaram conchas vazias. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-4.

Na Figura V138 e Figura V-139 são apresentadas respectivamente as densidades médias de macrofauna obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza. A terceira campanha apresentou maior densidade média em relação às demais campanhas, assim como maior variação nos valores, tanto nas amostras da plataforma, onde foi seguida pelos dados da segunda campanha (Figura V-138), como ao longo do gasoduto, onde foi seguida pelos dados da décima quarta campanha (Figura V-139).

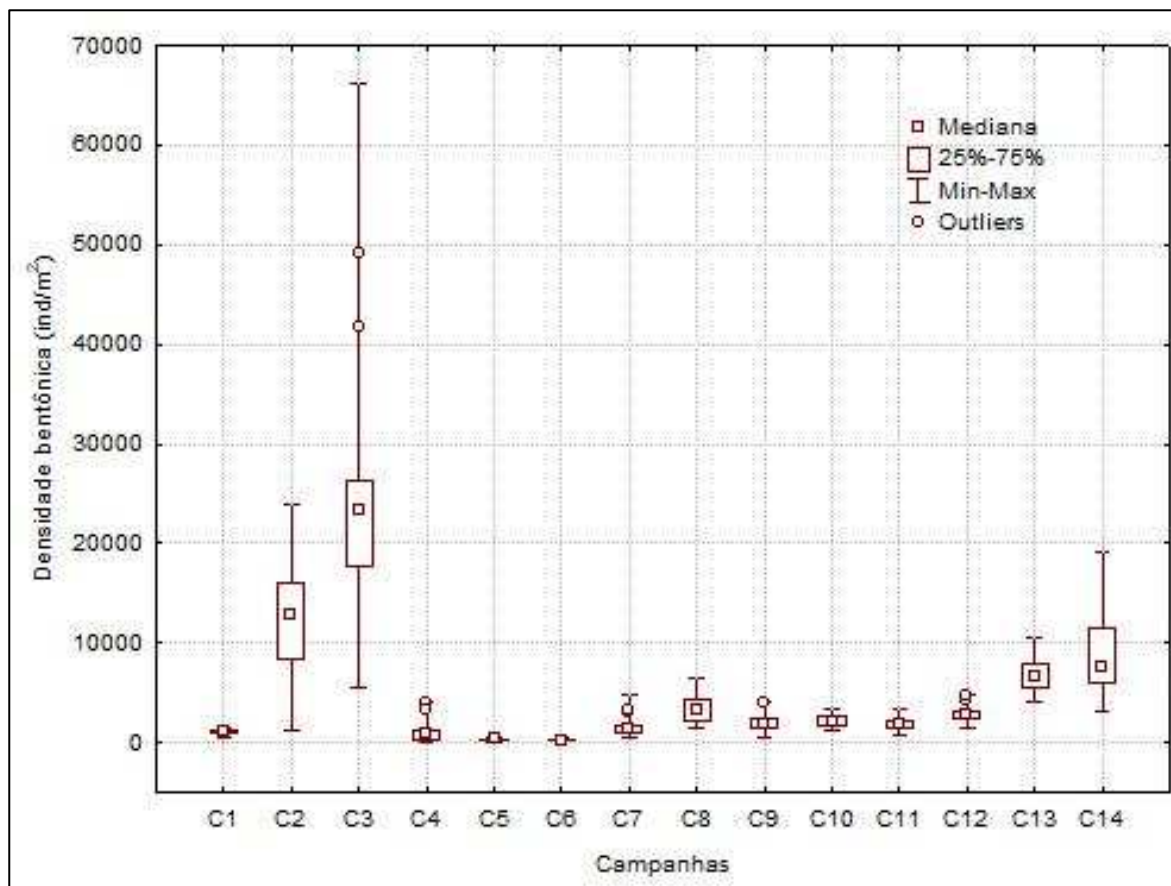


Figura V-138 – Densidades médias (ind/m²) macrozoobentônicas encontradas ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

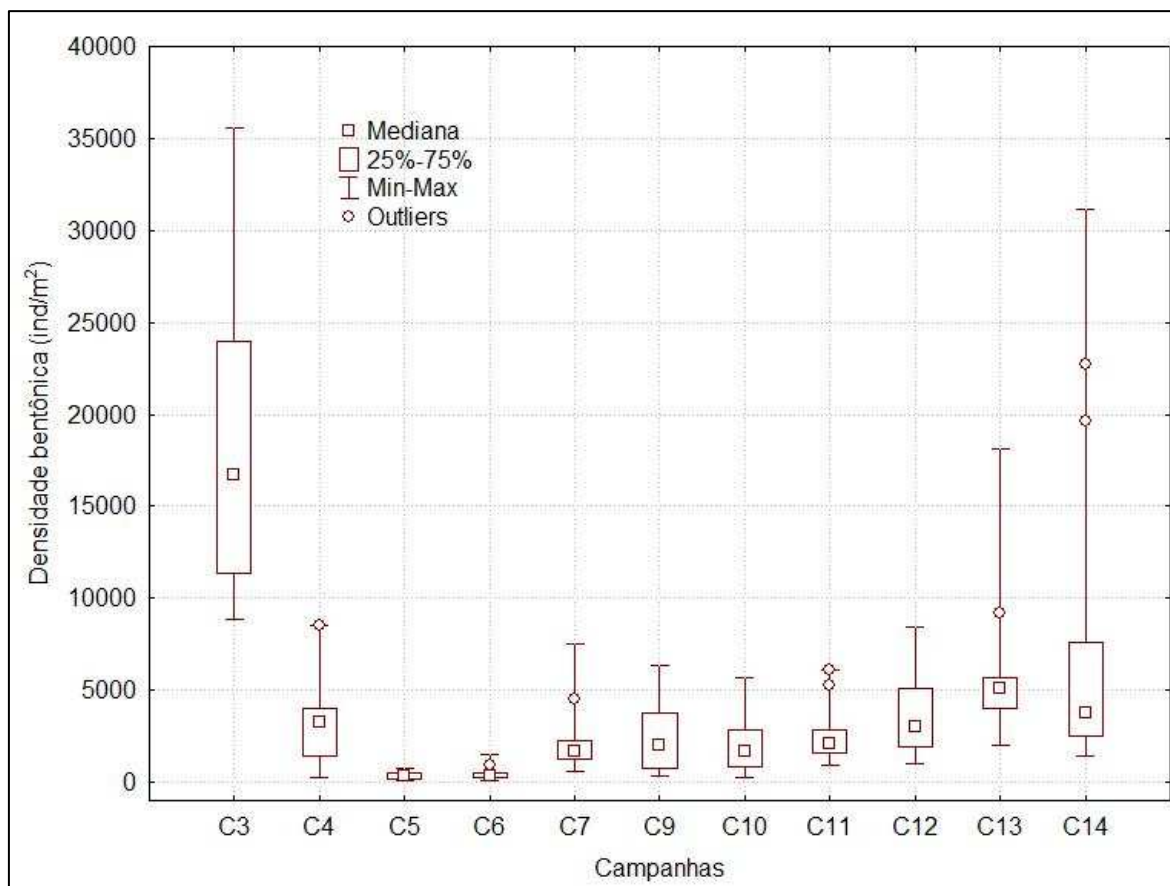


Figura V-139 – Densidades médias (ind/m²) macrozoobentônicas encontrados ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das densidades médias macrozoobentônicas entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-58, sendo essas diferenças mais frequentes entre C3 e C4, C5 e C6. Também foram verificadas diferenças entre C3 e C14 com a demais campanhas em MLZ_D_3R. É possível que as diferenças observadas nos testes estatísticos decorram, ao menos em parte, da mudança de laboratórios, entre a terceira e a quarta campanhas, e da identificação e contabilização de conchas sem conteúdo mole durante as três primeiras campanhas.

Tabela V-58 – Análise de variância e resultados do Teste de Tukey dos valores de densidade da macrofauna bentônica, estação a estação, encontrados durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 37,957 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R KW H = 37,981 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_7 KW H = 36,844 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 37,304 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 38,329 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_5R KW H = 38,272 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
MLZ_8 KW H = 36,913 P = <0,001	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 39,108 P = <0,001	MLZ_D_5 KW H = 25,467 P = 0,002	C1														
		C2														
		C3														
		C4														
		C5														
MLZ_D_1REP KW H = 28,139 P = 0,002	MLZ_D_6R KW H = 31,980 P = <0,001)	C6														
		C7														
		C8														
		C9														
		C10														
MLZ_D_2REP KW H = 29,921 P = <0,001	MLZ_D_8R KW H = 30,003 P = <0,001	C11														
		C12														
		C13														
		C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 36,370 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_10 KW H = 35,337 P = <0,001	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R ANOVA F = 15,979 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R KW H = 27,638 P = 0,002	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
MLZ_D_7R KW H = 28,279 P = 0,002	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														
	C1														

Annelida, além de apresentar maior número de taxa também apresentou a maior densidade de macrozoobentos monitorados, registrando média de $3.939,81 \pm 3.493,98$ ind/m² (Figura V-140). Os outros grupos obtiveram valores inferiores. Arthropoda obteve média de $2.200,00 \pm 1.402,66$ ind/m². Já Mollusca obteve $1.180,56 \pm 1.243,04$ ind/m². Echinodermata e Nemertea apresentaram densidades médias de $214,35 \pm 340,65$ e $192,59 \pm 105,75$ ind/m², respectivamente. Sipuncula apresentou densidade média de $51,85 \pm 43,49$, Chordata e Platyhelminthes média de $13,89 \pm 23,22$ e $13,89 \pm 44,74$, respectivamente. Os demais grupos registraram as menores densidades médias: Cnidario $8,33 \pm 24,92$; Porifera $4,17 \pm 9,15$; Priapulida $2,31 \pm 5,58$, Brachiopoda e Kinorhyncha $0,93 \pm 3,93$ ind/m², respectivamente.

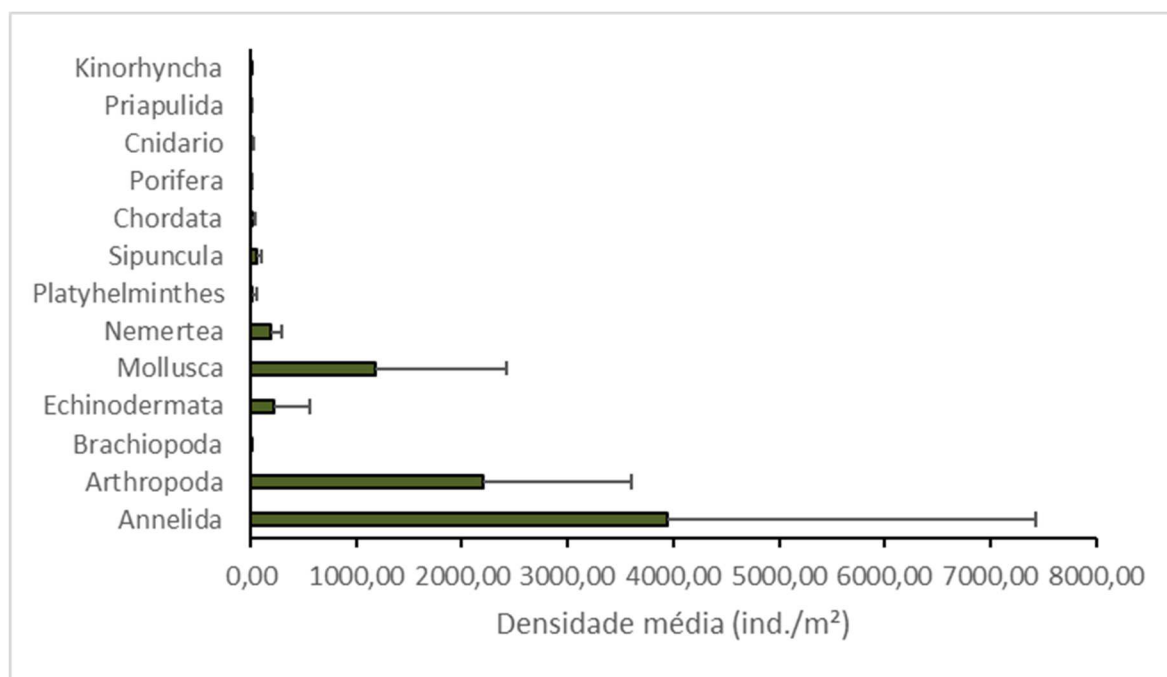


Figura V-140 – Densidade média macrozoobentônica (ind/m²) da atual campanha do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. A barra verde representa a densidade média dos filos $\pm$ desvio-padrão.

Annelida, Arthropoda e Mollusca costumam ser os três principais filos da comunidade bentônica. Mollusca foi o filo que se destacou no monitoramento da atividade de Merluza ao longo das três primeiras campanhas e Annelida se destacou na demais campanhas de monitoramento realizadas para a atividade de Merluza (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013;

PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023). Entretanto, mesmo para as campanhas em que os moluscos dominaram em densidade de organismos, é provável que este resultado não seja real dada a contabilização das conchas vazias dos organismos deste filo nas referidas campanhas, o que altera tanto a contribuição relativa dos diversos filis encontrados, bem como os valores de densidade verificados nestas campanhas, muito superiores aos das demais.

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).

A diversidade média de organismos bentônicos foi de $4,14 \pm 0,36$ bits/ind na atual campanha, variando de $3,36 \pm 0,32$ bits/ind na estação MLZ_D_2REP a $4,64 \pm 0,21$ ind/m² na estação MLZ_6R. Já a equitabilidade média foi de $0,81 \pm 0,07$ variando de $0,67 \pm 0,05$ na estação MLZ_D_2REP a $0,90 \pm 0,03$ na estação MLZ_D_6R Tabela V-56. Na Tabela V- são apresentados os valores de diversidade e de equitabilidade registrados em campanhas anteriores da atividade de Merluza. Pode ser observado que os valores registrados na atual campanha são próximos dos resultados verificados em C12 e C13, e que os dados dessas três campanhas são superiores aos valores registrados anteriormente.

Na Figura V-141 e Figura V-142 são apresentadas, respectivamente, as diversidades de macrofauna obtidas nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza. Notam-se valores levemente inferiores entre C4 e C6, enquanto que os valores mais elevados de diversidade foram observados entre C12 e C14.

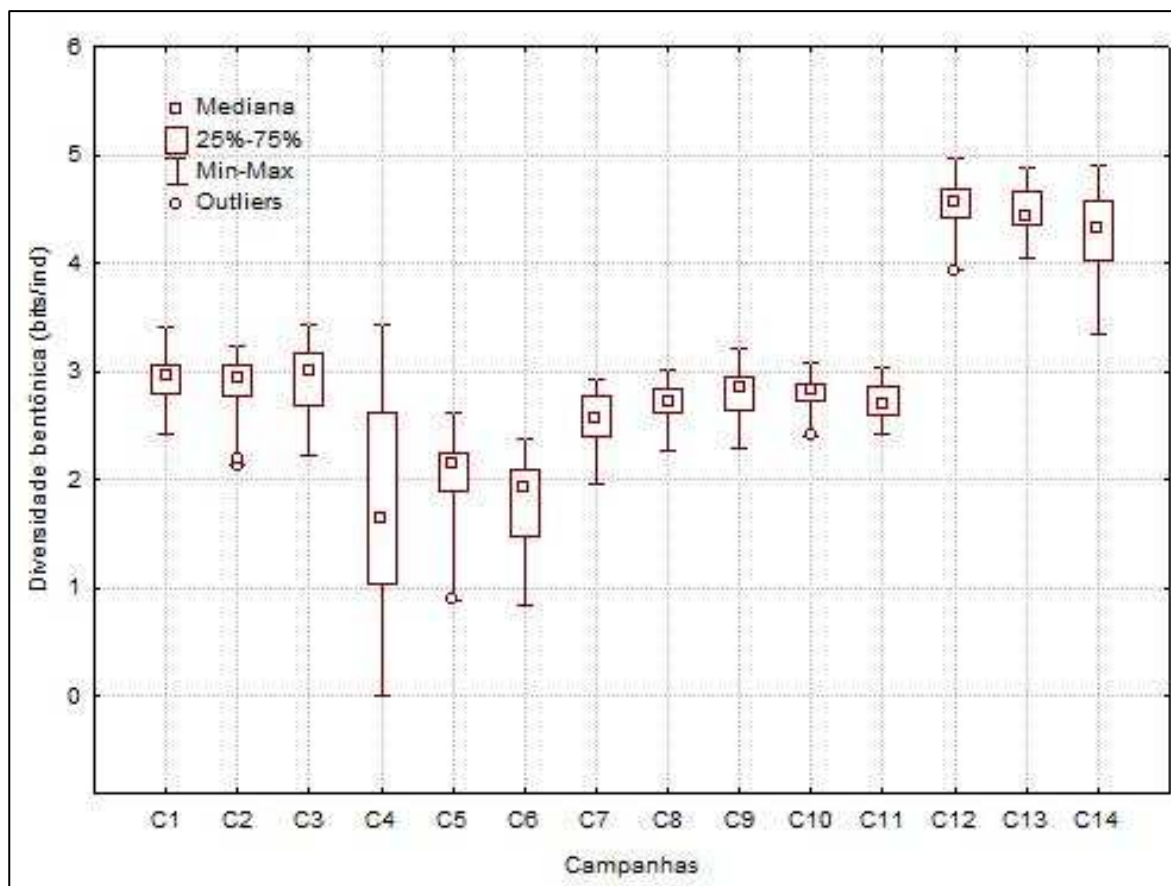


Figura V-141 - Diversidades (bits/ind) macrozoobentônica encontradas ao redor da plataforma do PMPR_MLZ.

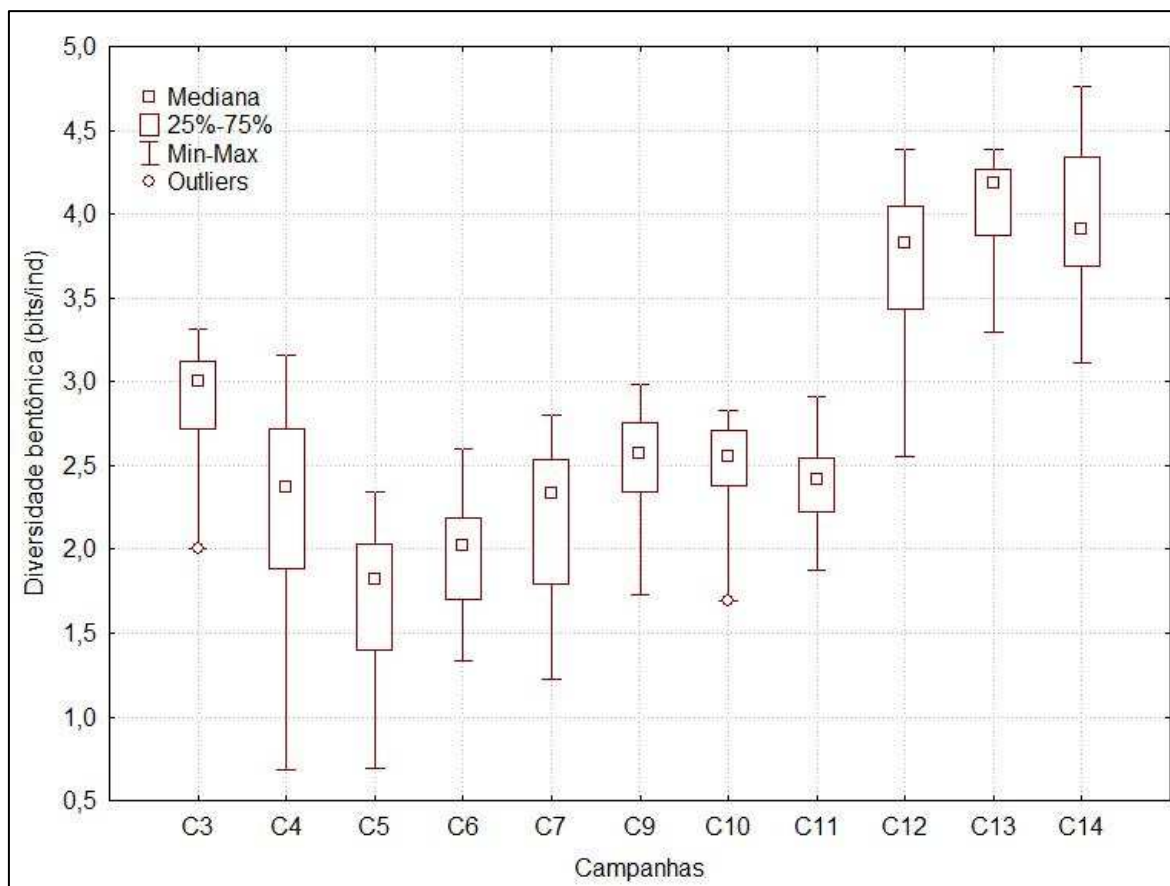


Figura V-142 - Diversidades (bits/ind) macrozoobentônicas encontradas ao longo do gasoduto do PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das diversidades macrozoobentônicas entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-59, sendo as diferenças encontradas mais frequentes entre o grupo formado por C12, C13 e C14 com as demais campanhas, principalmente em relação às campanhas C4, C5 e C6.

Tabela V-59 Análise de variância e resultados do Teste de Tukey dos valores de diversidade da macrofauna bentônica, estação a estação, durante as campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_1 KW H = 36,584 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 37,328 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 KW H = 35,481 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 KW H = 35,802 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R KW H = 32,564 P = 0,002)	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R KW H = 35,281 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_7 KW H = 35,676 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_8 KW H = 38,116 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_9R KW H = 30,635 P = 0,004	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 35,658 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_1REP ANOVA F =20,908 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_2REP ANOVA F = 19,610 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_3R ANOVA F =20,607 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R ANOVA F =20,427 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_5 ANOVA F =31,260 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F =35,874 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_7R ANOVA F = 47,448 P < 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R KW H = 27,087 P = 0,003	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

Na Figura V-143 e Figura V-144 são apresentadas, respectivamente, os valores de equitabilidade obtidos nas amostras ao redor da plataforma e ao longo do gasoduto de Merluza. Apesar da quarta campanha apresentar a maior variação dos valores para esse parâmetro, as campanhas apresentaram valores de equitabilidade média muito semelhantes e sempre bastante elevados, tanto nas amostras da plataforma como do gasoduto.

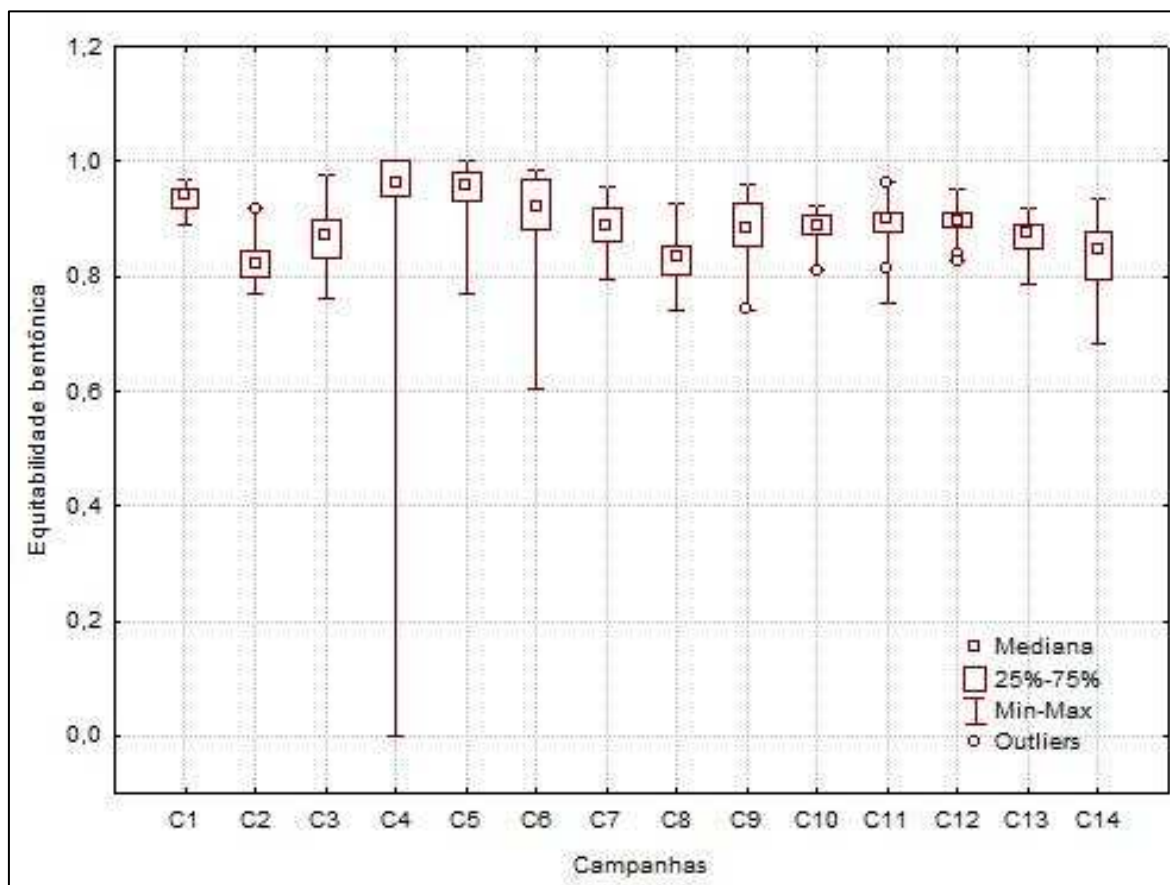


Figura V-143 - Equitabilidades macrozoobentônicas encontradas ao redor da plataforma de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

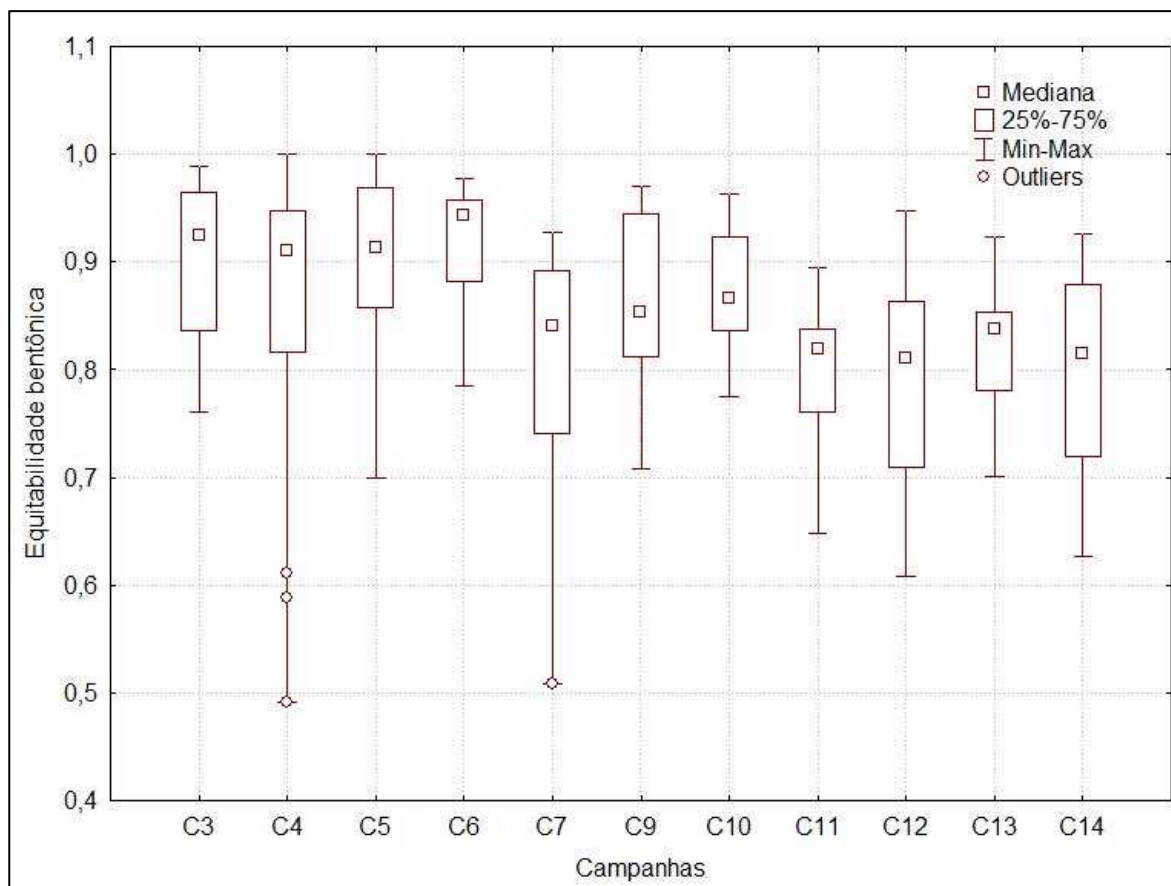


Figura V-144 – Equitabilidades médias macrozoobentônicas encontradas ao longo do gasoduto de Merluza, nas campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_MLZ.

Na análise comparativa das equitabilidade médias macrozoobentônicas entre as campanhas, foram detectadas diferenças significativas entre campanhas para a maioria das estações, exceto nas estações MLZ_8 (ANOVA, $F = 0,982$, $p = 0,491$), MLZ_9R (KW, $H = 15,078$, $p = 0,303$) e MLZ_D_7R (ANOVA, $F = 2,078$, $p = 0,073$) conforme resultados de variância e teste de Tukey apresentados na Tabela V-. Para as estações MLZ_1, MLZ_7, MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R e MLZ_D_5R, apesar das diferenças significativas encontradas, a partir de um teste *a posteriori* (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foi observada tal diferença. Para as demais estações, não houve um padrão nas diferenças, verificando-se diferenças bastante pontuais, com destaque para C4 e C5, com maiores diferenças em relação às demais campanhas nas estações MLZ_2 e MLZ_3R, respectivamente, e para C2 e C8 na estação MLZ_6R.

Observa-se a diferenciação entre o grupo formado por C4, C5 e C6 com o grupo formado por C2, C8 e C14 em MLZ_4, bem como maior diferenciação de C11

em relação às demais campanhas em MLZ_D_4R e MLZ_D_6R, e de C14 na estação MLZ_D_8R.

Por fim, ressalta-se que, embora todas as campanhas tenham utilizado os mesmos critérios para o cálculo dos indicadores biológicos, é possível que haja diferenças entre as campanhas decorrentes do menor nível taxonômico encontrado pelos diferentes laboratórios que executaram as análises em cada uma das campanhas. É importante considerar ainda, o fato das três primeiras campanhas da fase de operação terem contabilizado as conchas vazias de moluscos na contagem de organismos, enquanto nas demais campanhas só foram contabilizadas e identificadas as conchas que apresentaram conteúdo.

Tabela V-60 – Análise de variância dos valores de equitabilidade da macrofauna bentônica, estação a estação, obtidos durante o PMAEpro-BS_PMPR_MLZ. $p < 0,05$. F - fator estatístico de ANOVA, H – fator estatístico de Kruskal–Wallis; p, probabilidade de cada teste. As estações não exibidas nos quadros abaixo não apresentaram diferenças estatísticas entre as campanhas. Os quadrados em cinza foram incluídos para que a mesma análise comparativa não seja apresentada de maneira duplicada.

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_2R ANOVA F = 3,953 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_3 ANOVA F = 4,128 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_4 ANOVA F = 6,215 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_5R ANOVA F = 3,113 P = 0,006	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_6R ANOVA F = 4,246 P = 0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_10 KW H = 27,707 P = 0,010	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_4R ANOVA F = 5,611 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_6R ANOVA F = 6,072 P = <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
MLZ_D_8R ANOVA F = 6,609 P <0,001	C1														
	C2														
	C3														
	C4														
	C5														
	C6														
	C7														
	C8														
	C9														
	C10														
	C11														
	C12														
	C13														
	C14														

V.5.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Bentos

Os valores de riqueza total entre as estações foram bastante variáveis (Figura V-145). Na estação MLZ_D_1REP foi registrada a menor riqueza total de taxa ($n = 42$), enquanto a maior riqueza total foi observada em MLZ_4 ($n = 62$). A riqueza total média foi de $53,22 \pm 5,56$ taxa. Foram observadas diferenças significativas de riqueza de taxa entre as estações (ANOVA, $p < 0,05$), entre MLZ_4 com MLZ_D_1REP e MLZ_D_7R (Tukey $< 0,05$).

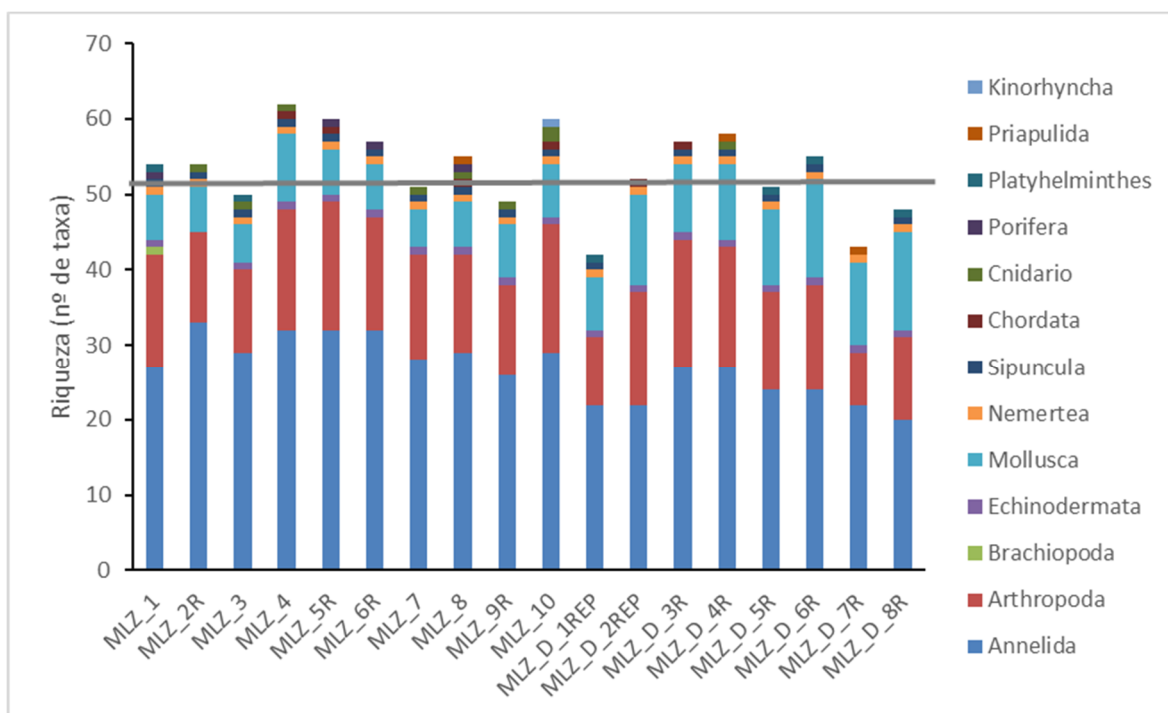


Figura V-145 – Riqueza macrobentônica total (número de taxa) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média das estações.

Em todos os pontos amostrais, anelídeos foi o grupo dominante, seguido pelo filo Arthropoda e Mollusca. Nemertea foi registrado em todas as estações, sempre com 1 taxón. Os demais grupos não ocorreram em todas as estações. Sipuncula e Echinodermata também registraram 1 taxón nas estações em que ocorreram, sendo que Sipuncula não ocorreu apenas em MLZ_D_2REP e MLZ_D_7R, já Echinodermata não ocorreu apenas em MLZ_2R. A distribuição dos filos demais filos foi bastante variada não seguindo um padrão entre as estações (Figura V-146).

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/BIOCONSULT, 2022). Os grupos com riqueza predominante identificados na atual campanha foram similares aos grupos identificados no PCR-BS (Petrobras, 2022c) para plataforma da Bacia de Santos, que apresentou uma macrofauna bentônica composta principalmente por poliquetos, crustáceos peracáridos e moluscos bivalves.

Ao redor da plataforma, foram observados maiores valores de riqueza nas estações MLZ_4R, MLZ_5R e MLZ_10 e menores valores nas estações MLZ_3, MLZ_7, MLZ_9R. Nas estações do gasoduto, houve tendência de aumento da riqueza da costa para estações mais profundas até MLZ_D_4R, com posterior decréscimo até MLZ_D_7R (Figura V-49). No entanto, deve-se destacar que este padrão não tem significância estatística, havendo grande homogeneidade dos dados encontrados.

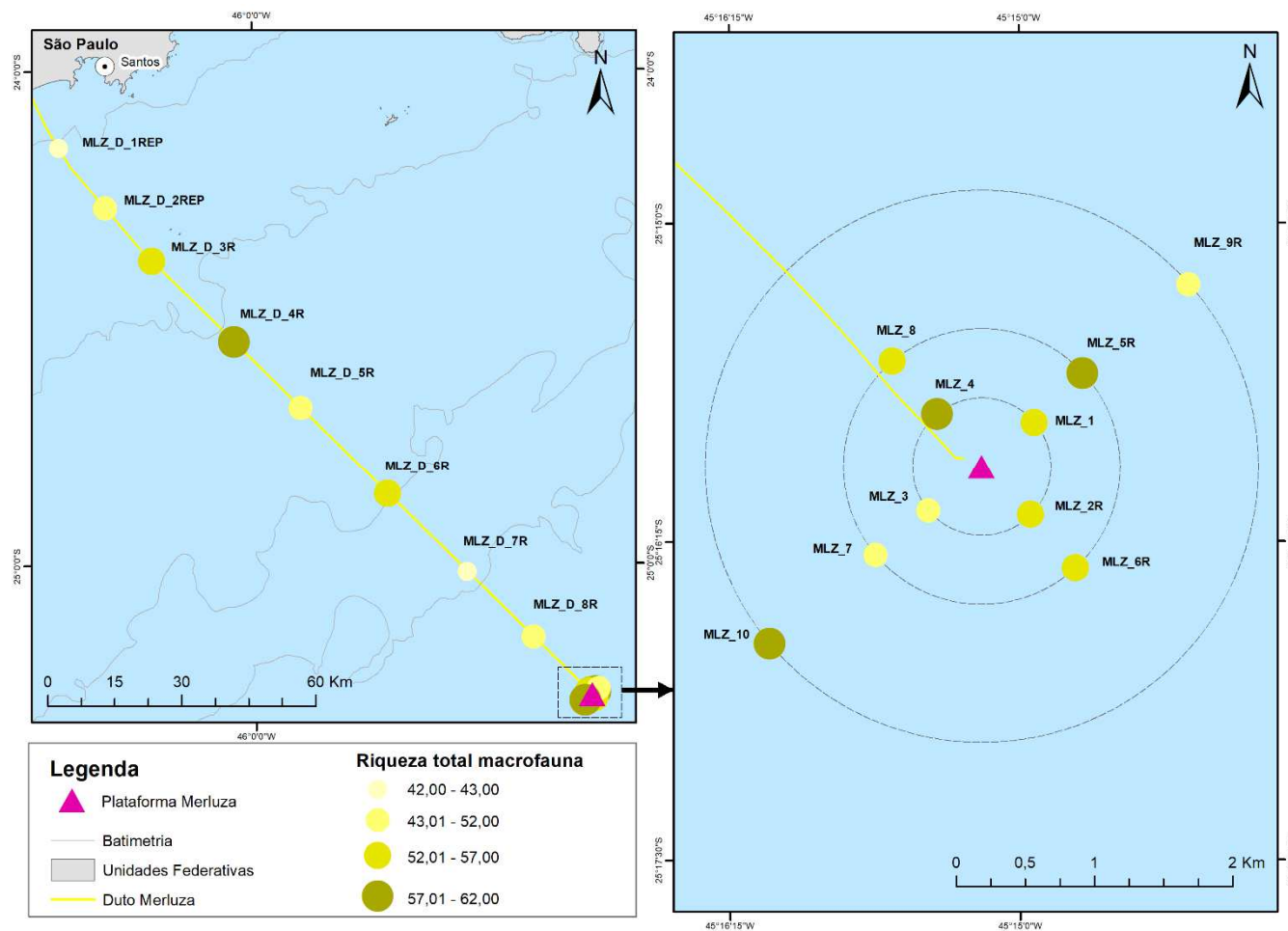


Figura V-146— Distribuição espacial da riqueza da macrofauna bentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

A Figura V-147 apresenta os valores de densidade de cada estação amostrada na presente campanha. Foi encontrada grande variação para esse índice ecológico, com a maior densidade verificadas na estação MLZ_D_3R e as menores densidades verificadas em estações do gasoduto: MLZ_D_1REP, MLZ_D_4R, MLZ_D_5R, MLZ_D_6R e MLZ_D_7R, sendo que a estação MLZ_7 também apresentou valor bem abaixo das demais estações da plataforma e próximo aos valores mínimos encontrados nas estações do gasoduto. Foram encontradas diferenças significativas entre as estações de coleta (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A estação MLZ_D_3R diferiu da estação MLZ_D_1REP, MLZ_D_6R e MLZ_D_7R (*Tukey*, $p < 0,05$).

Assim como para a riqueza, a contribuição dos grupos nas densidades das estações de amostragem foi relativamente similar, devido a grande abundância de anelídeos em todas as amostras, representando aproximadamente 50% da densidade total, seguido pelos artrópodos, com 28%. Os outros filos, que apresentaram densidades menores, variaram aleatoriamente nas estações devido aos tamanhos populacionais menores (Figura V-0).

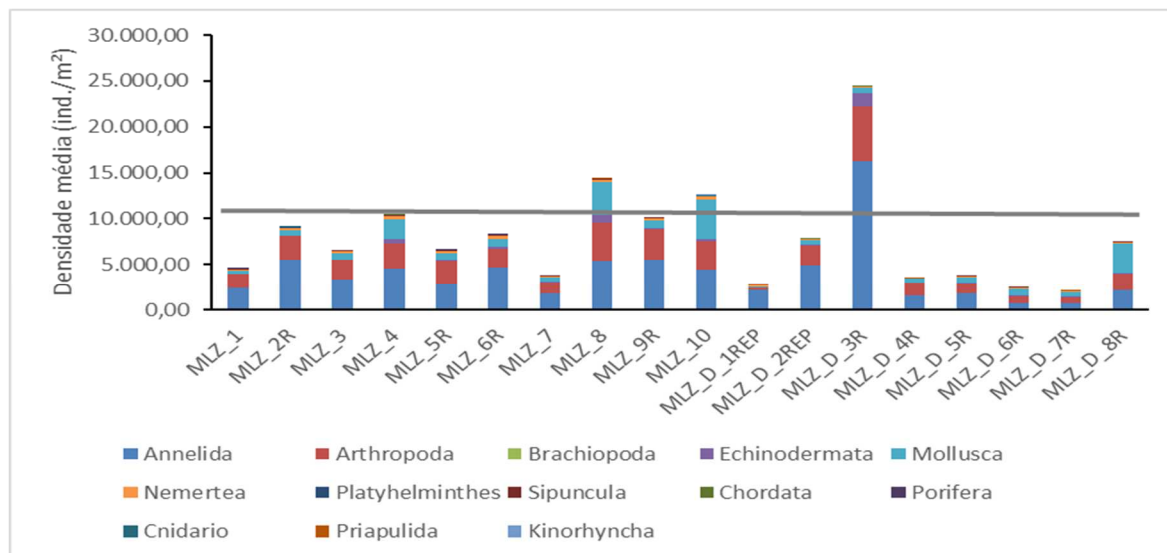


Figura V-147 – Densidade média macrozoobentônica (ind./m²) nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. A linha cinza representa a média das estações.

No entorno da plataforma, os maiores valores de densidade foram encontrados sobre a radial NW da malha, e nas estações a 2.000 m da unidade (Figura V-148). Ao longo do duto, foi verificada maior densidade na estação MLZ_D_3R.

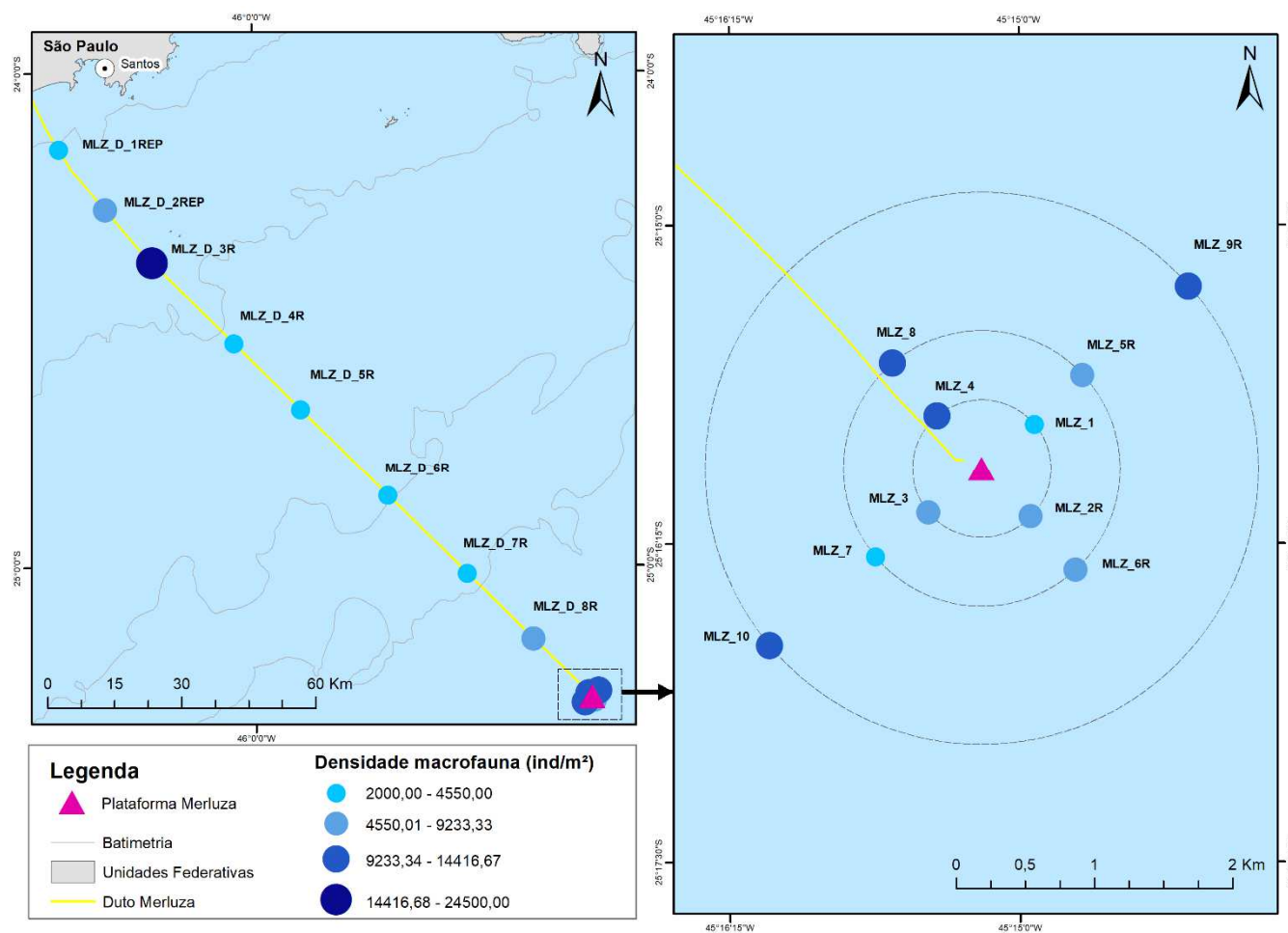


Figura V-148 – Distribuição espacial da densidade média (ind/m²) da macrofauna bentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

O índice de Shannon (H') de diversidade da macrofauna bentônica apresentou valores elevados em todas as estações, sendo que o menor valor registrado foi de $3,36 \pm 0,32$ em MLZ_D_2REP (Figura V-149). Foram encontradas diferenças significativas entre as estações amostrais (ANOVA, $p < 0,05$). A estação MLZ_6R diferiu das estações MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP e MLZ_D_8R (Tukey, $p < 0,05$).

Os valores de equitabilidade foram elevados e bastante similares entre a maioria das estações de coleta do monitoramento, com exceção das estações MLZ_8, MLZ_10, MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R e MLZ_D_8R, que registraram equitabilidade abaixo de 0,80. Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de equitabilidade (ANOVA, $p < 0,05$). A estação MLZ_6R diferiu das estações MLZ_10, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R e MLZ_D_8R (Tukey, $p < 0,05$).

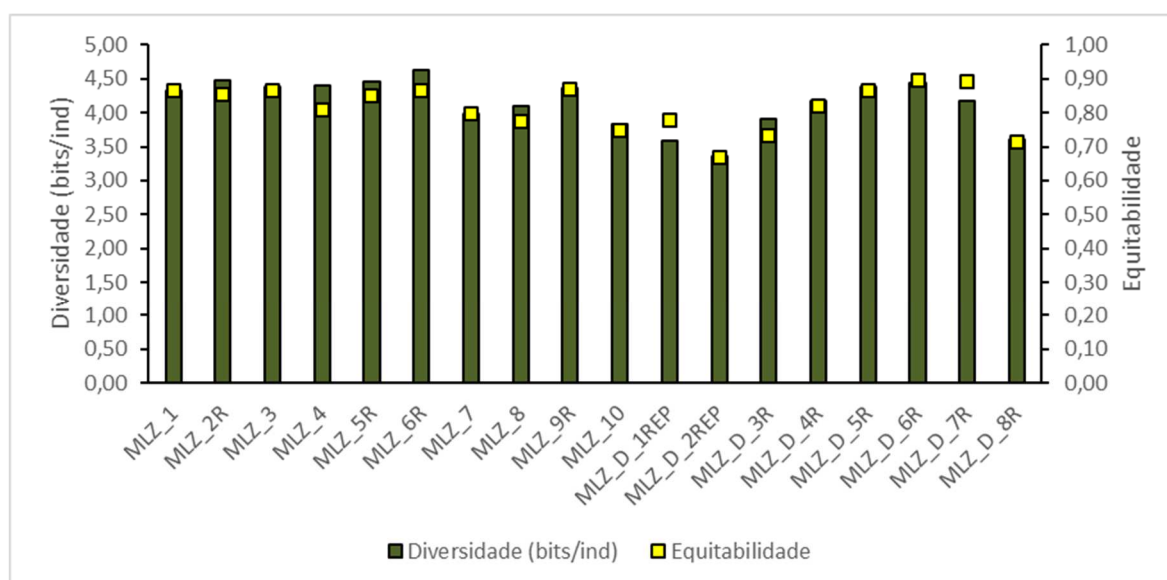
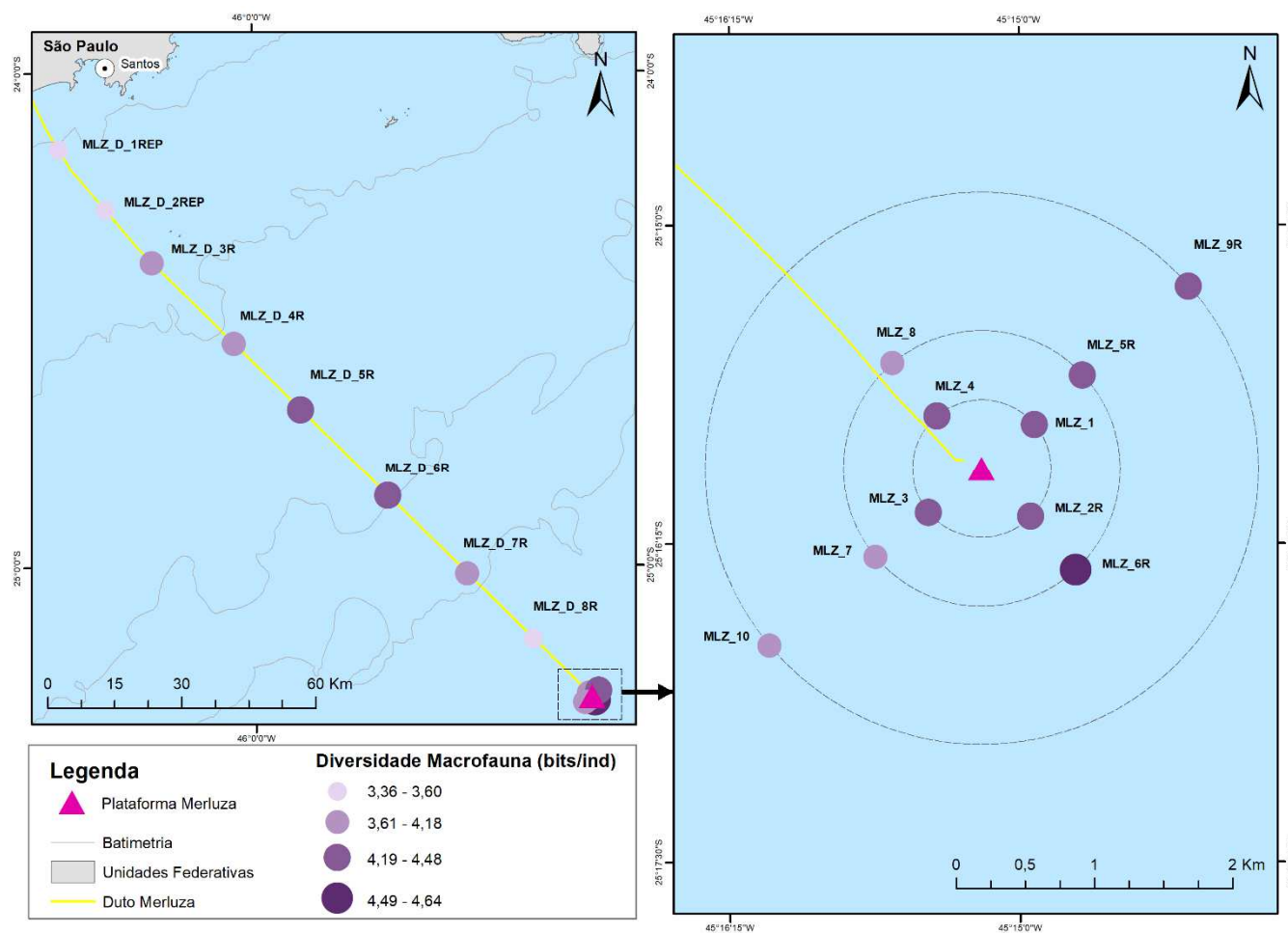


Figura V-149 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade macrozoobentônica nas estações da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

A diversidade e a equitabilidade apresentaram valores elevados na maioria das estações, sendo levemente menores nas estações mais costeiras do gasoduto com gradual aumento em direção às estações no entorno da plataforma (Figura V-150 e Figura V-151).



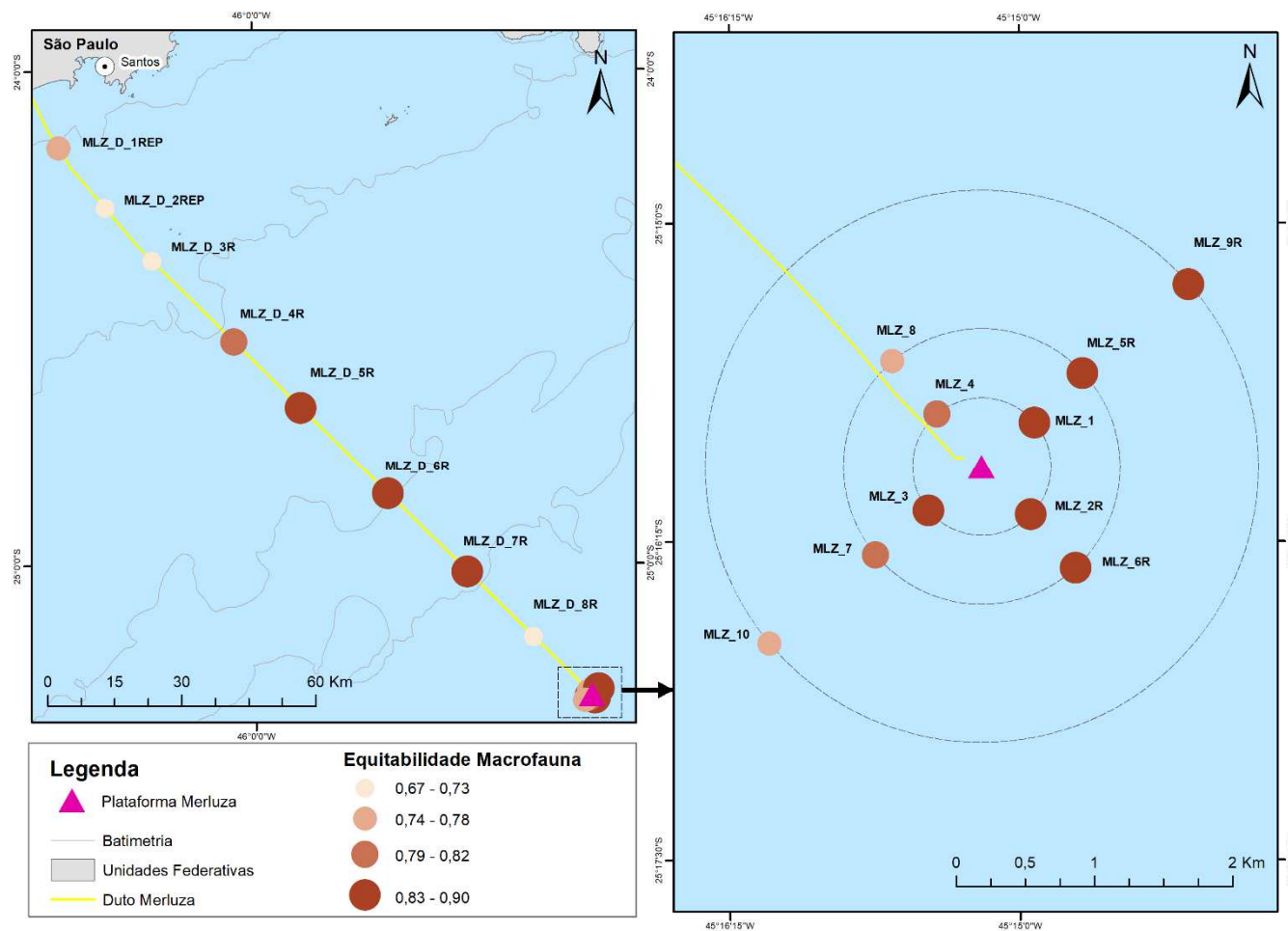


Figura V-151 – Distribuição espacial da equitabilidade da macrozoobentônica na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

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 alta diversidade e alta equitabilidade na maioria das estações.

O valor da razão da riqueza entre crustáceos e poliquetas foi igual a 0,72, indicando a predominância de poliquetas em relação aos crustáceos nesse ambiente. Nas campanhas anteriores deste monitoramento, o valor da razão da riqueza entre crustáceos e poliquetas foi igual a 0,15, 0,18, 0,15, 0,12, 0,30, 0,23, 0,30, 0,53, 0,66, 0,53, 0,16, 0,71 e 0,67, respectivamente, indicando predominância de poliquetas ao longo de todo o monitoramento, inclusive durante a primeira campanha, demonstrando, portanto, que a maior ocorrência de taxa de poliquetas é uma característica preponderante na região ao longo do monitoramento (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022, 2023).

V.5.1.5 - *Análise de Cluster*

A análise de *Cluster* agrupa pares de objetos mais similares entre si, reunindo-os em função de similaridades decrescentes, facilitando o reconhecimento de amostras com características semelhantes. Na atual campanha, o *Cluster* (Figura V-152) mostrou similaridades variando entre 58 e 97%, indicando média a grande similaridade entre a maioria das amostras. Com 58% de similaridade, ocorreu a formação de dois grupos compostos, separando a estação MLZ_D_3R das demais, possivelmente devido aos maiores valores de densidade registrados em MLZ_D_3R. Já a maior similaridade, de 97%, foi encontrada entre as estações MLZ_7 e MLZ_D_5R, que apresentaram densidade média muito semelhantes, além de valores muito próximos de riqueza, e equitabilidade registrados entre essas estações. Nota-se, pelo agrupamento, que as estações ao redor da plataforma compartilharam entre si similaridades superiores a 80%, embora as estações

MLZ_D_2REP, MLZ_D_4 e MLZ_D_5R do gasoduto também tenham composto este agrupamento. A maior dispersão das estações do gasoduto na ordenação do agrupamento é coerente com a maior variabilidade esperada para estas estações, dispostas ao longo de uma grande região que atravessa desde a área costeira até a porção média da plataforma continental, enquanto que as estações da plataforma se encontram concentradas num raio de até 2 km. Estas condições também foram observadas na análise de MDS (Figura V-153). A análise de escalonamento multidimensional (MDS) é uma técnica não métrica que permite a visualização da matriz da distância entre objetos em um espaço reduzido, preservando as distâncias entre eles (MELO & HEPP, 2008; SCHOLTEN & CALDEIRA, 1997).

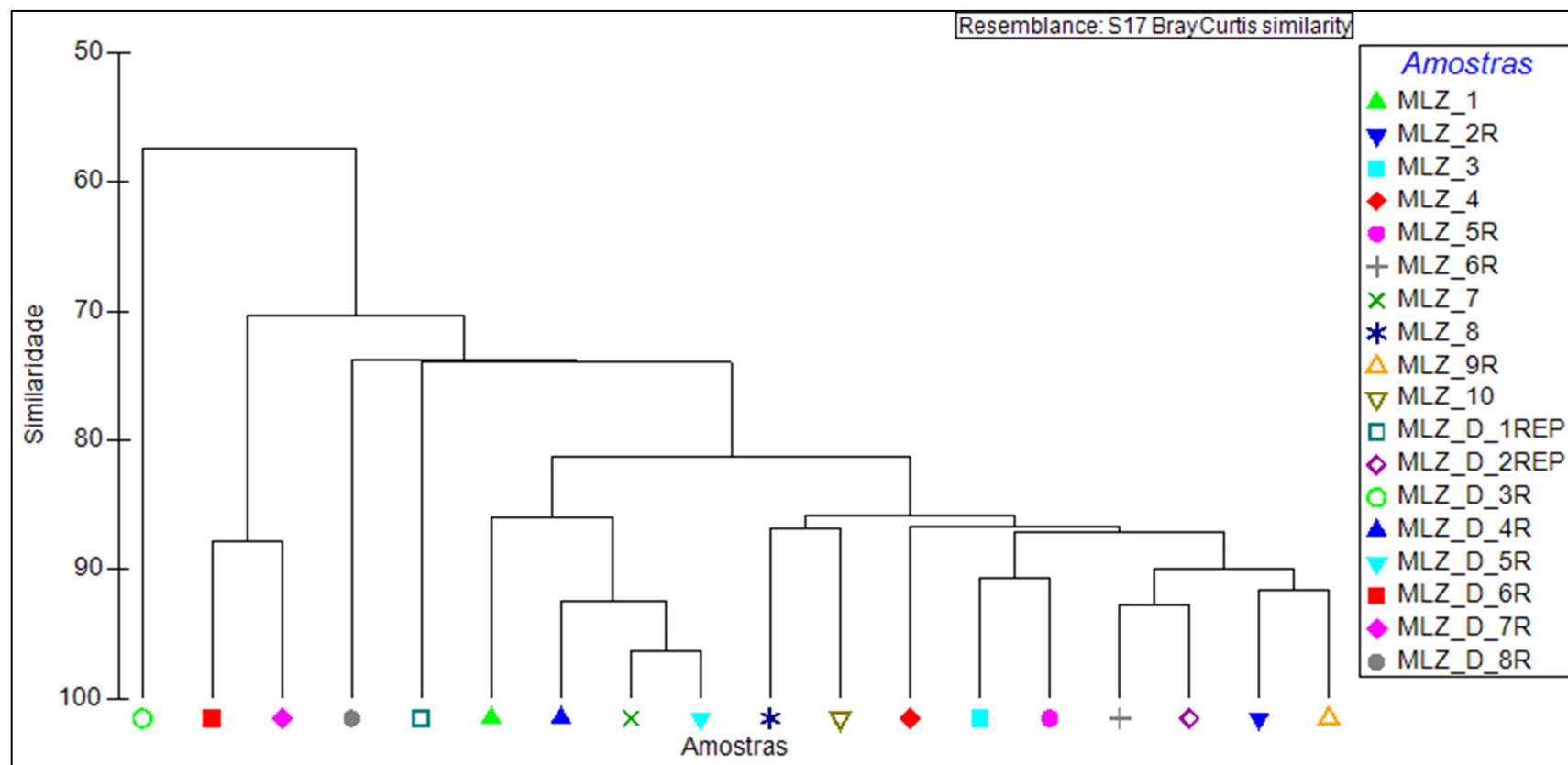


Figura V152 - Dendrograma de agrupamento (Cluster) do macrozoobentos nas estações de sedimento na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

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

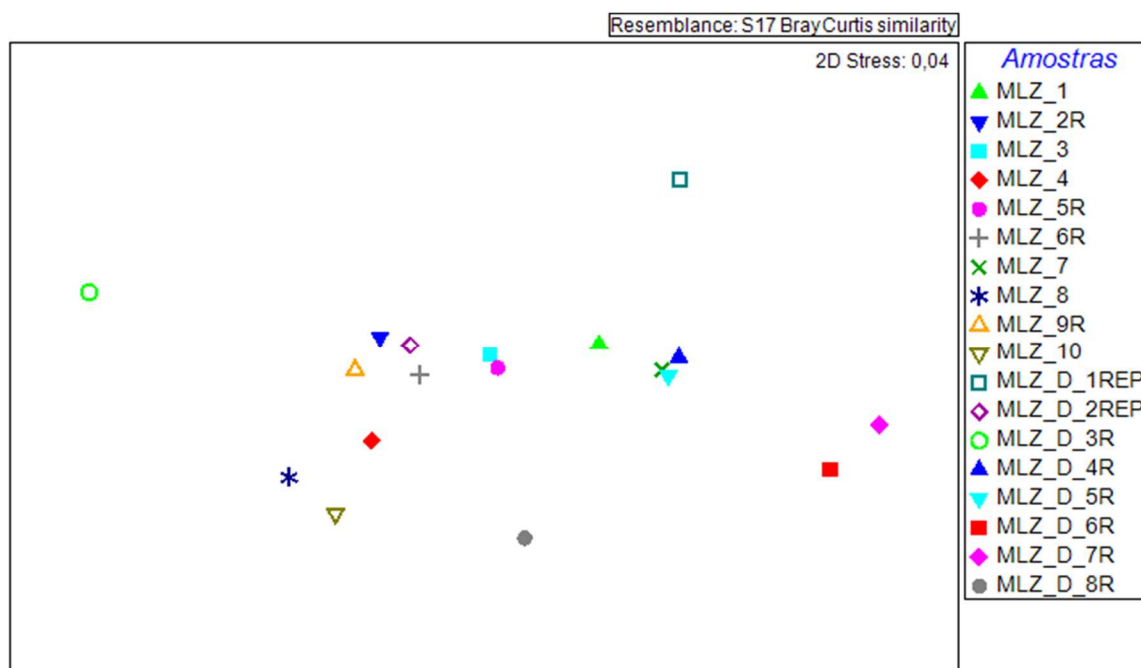


Figura V-1953 - Escalonamento multidimensional (MDS) do macrozoobentos das estações na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

VI - ANÁLISE INTEGRADA

A seguir são apresentadas as análises integradas dos resultados das variáveis bióticas e abióticas no ambiente pelágico e bentônico da 14ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza e Lagosta, Bacia de Santos.

VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO

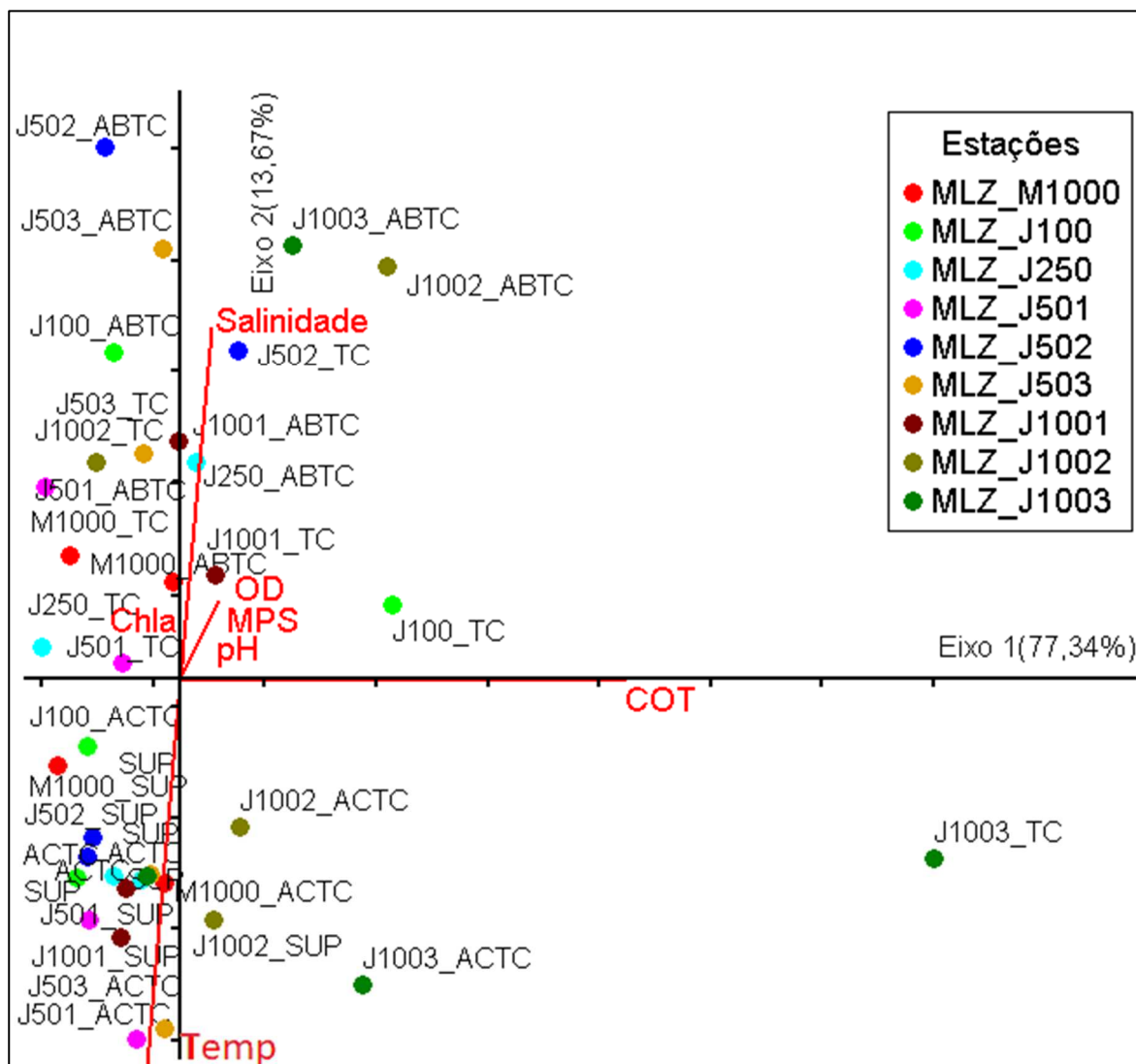
VI.1.1 - Variáveis Ambientais

Na análise de componentes principais (ACP), realizada para avaliar a distribuição, no espaço bidimensional, de todas as amostras em relação às suas características oceanográficas (Figura VI.1-1), observa-se uma explicação de 91,01% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 77,34% de explicação e o segundo com 13,867%.

De maneira geral, a distribuição das amostras não foi significativa ($p < 0,05$) para ambos os eixos da ACP. Dessa forma, considerou-se a avaliação dos autovalores sugerida por Jackson (1993), que considera um eixo possível de interpretar, quando o autovalor observado para um eixo é maior do que o autovalor calculado (*"brockenstick"*). Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,003 e 0,000 respectivamente, e o calculado de 0,001 e 0,001, respectivamente. Portanto, apenas o eixo 1, com o autovalor observado maior que o calculado foi significativo para interpretações. Assim, a distribuição das amostras em resposta às variações ambientais e biológicas do ambiente pelágico foram interpretadas apenas para esse eixo.

As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Nesse caso, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,53. Isso permite uma interpretação mais confiável sobre a contribuição de determinada variável para todas as dimensões do espaço da ACP.

Nesse contexto, a distribuição das amostras, ao longo do eixo 1 foi influenciada, principalmente, pelo COT ($r=0,99$), com as amostras com maiores concentrações de COT dispostas na porção positiva do eixo 1, variando de 1,02 mg/L, em MLZ_J1001_ABTC, a 2,62 mg/L, em MLZ_J1003_TC. Já as amostras dispostas na porção negativa do eixo apresentaram as menores concentrações, variando de 0,81 mg/L em MLZ_J250_TC a 1,007 mg/L, em MLZ_M1000_ABTC.



Legenda: SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina; COT = carbono orgânico total, MPS = material particulado em suspensão, OD = oxigênio dissolvido.

Figura VI.1-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Embora a distribuição das amostras ao longo do eixo 2 não tenha sido significativa, verifica-se que a temperatura ($r=-0,93$), relacionada à porção negativa do eixo e a salinidade ($r=0,88$), relacionada à porção positiva do eixo, tenderam a separar as amostras mais superficiais (SUP e ACTC), com maiores temperaturas e menores salinidade, das mais profundas (TC ABTC), com menores temperaturas e maiores salinidades.

As demais variáveis ambientais não apresentaram correlações significativas com o eixo da ACP, pois não apresentaram distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,53.

Por fim, destaca-se que fósforo total, nitrato, nitrito, n-amoniaco, silicato, sulfetos, fenóis, HPA, HTP, n-alcanos, MCNR e BTEX, apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção e/ou abaixo do limite de quantificação em todas as amostras e, portanto, não foram incluídos nas análises integradas do ambiente pelágico.

VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico

A correlação de *rank de Spearman* realizada entre os indicadores biológicos de fitoplâncton e as variáveis ambientais apresentou duas correlações negativas significativas, entre densidade fitoplanctônica e salinidade e OD, e uma correlação positiva significativa, entre densidade e temperatura (Tabela VI.1-1).

Tabela VI.1-1 – Correlação de rank de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica (densidade, riqueza, diversidade e equitabilidade) e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Correlações significativas estão destacadas em vermelho $p < 0,05$.

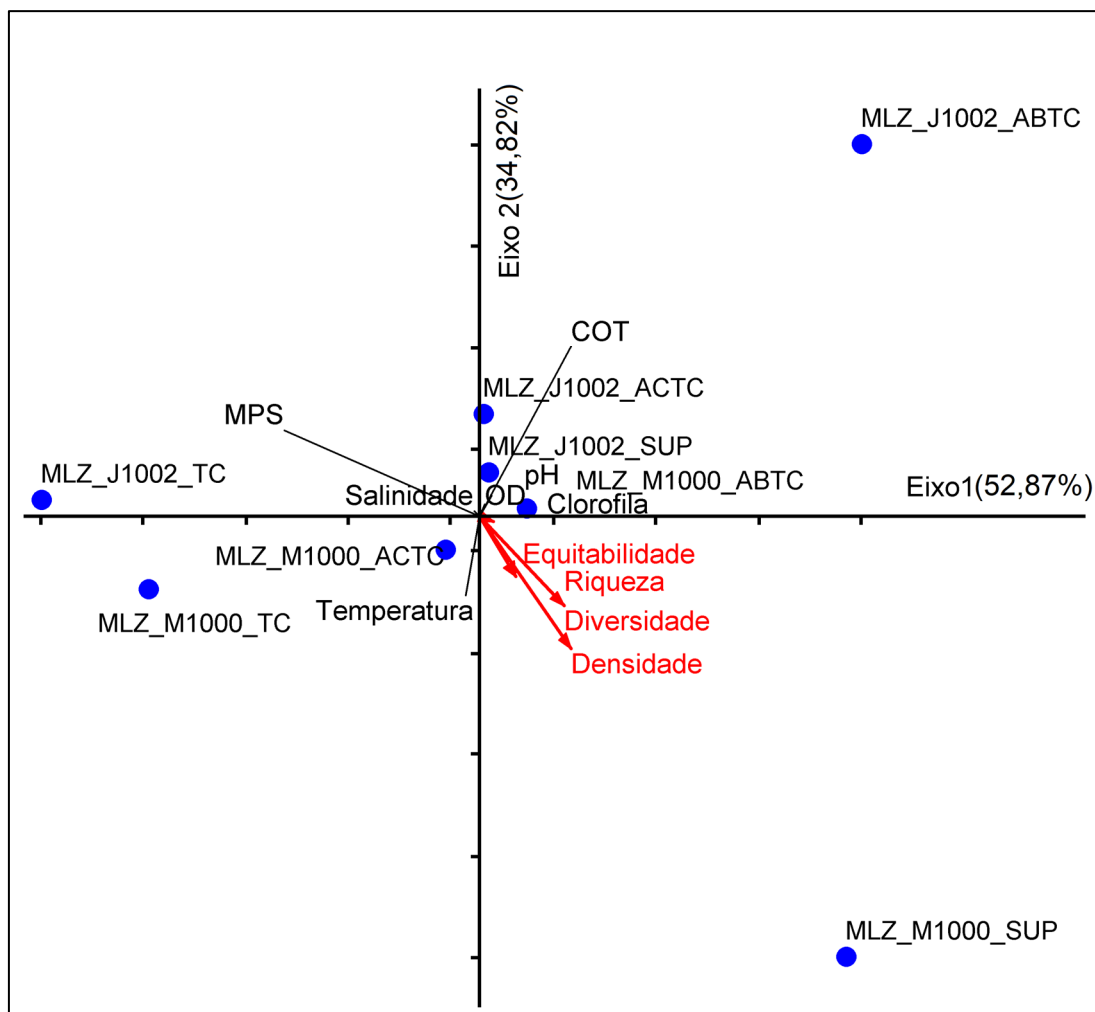
	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitabilidade
Temperatura	0,86	0,29	-0,36	0,21
Salinidade	-0,87	-0,38	0,18	-0,23
OD	-0,76	-0,48	0,14	-0,55
pH	-0,43	0,15	0,08	0,11
MPS	-0,41	-0,31	-0,26	-0,65
Clorofila a	0,18	0,48	-0,61	0,20
COT	-0,07	-0,28	-0,29	0,07

Legenda: COT, carbono orgânico total; OD, oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão.

A Análise de Componentes Principais (ACP) (Figura VI.1-2), realizada para os dados físico-químicos e de fitoplâncton das estações MLZ_M1000 e MLZ_J1002, explicou 87,69% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 52,87% de explicação e o segundo com 34,82%.

A distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos ($p > 0,05$). Dessa forma, foram considerados os autovalores observados e calculados (“broken-stick”), conforme sugerido por Jackson (1993). Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,002 e 0,001 respectivamente, e o calculado de 0,001 em ambos. Portanto, apenas o eixo 1, com o autovalor observado maior que o calculado, foi significativo para interpretações.

As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD, *et al.*, 2011). Nesse caso, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,53. Isso permite uma interpretação mais confiável sobre a contribuição de determinada variável para todas as dimensões do espaço da ACP.



Legenda: SUP = superfície; ACTC – acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina; COT = carbono orgânico total, MPS = material particulado em suspensão, OD = oxigênio dissolvido.

Figura VI.1-2 – Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP, para os dados da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

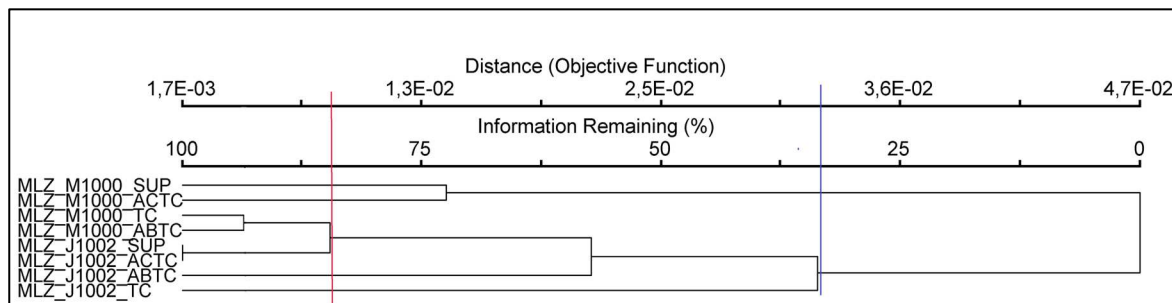
A distribuição das amostras ao longo do eixo 1 foi influenciada, principalmente, pela concentração do MPS, variável correlacionada negativamente com o eixo 1 ($r=-0,94$). Nesse contexto, as amostras MLZ_M1000_ACTC e TC e MLZ_J1002_TC, distribuídas na porção negativa do eixo 1, apresentaram maiores concentrações de MPS (0,93, 1,1 e 1,2 mg/L, respectivamente), tendendo a correlacionarem-se negativamente, com diversidade ($r=0,45$) e densidade fitoplanctônica ($r=0,47$). As demais amostras, distribuídas na porção positiva do eixo 1, tenderam a apresentar menores concentrações de MPS (variando de 0,58 em MLZ_M1000_SUP a 0,78 mg/L em MLZ_J1002_ABTC) e correlações positivas com

os indicadores ecológicos da comunidade fitoplanctônica, especialmente com com densidade e diversidade. Embora a distribuição das amostras ao longo do eixo 2 não tenha sido significativa, vale destacar a correlação significativa do COT ($r=0,83$), com a porção positiva desse eixo, destacando-se as amostras MLZ_J1002_SUP, MLZ_J1002_ACTC e MLZ_J1002_ABTC com as maiores concentrações desse parâmetro, tendendo a se correlacionar negativamente com densidade ($r=-0,57$) e diversidade ($r=-0,47$), nesse eixo.

As demais variáveis ambientais não apresentaram correlações significativas com os eixos da ACP, pois não apresentaram distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,53.

Além da ACP, duas outras análises foram realizadas, visando complementar ainda mais a análise dos dados e avaliar a distribuição espacial das amostras do ambiente pelágico em relação às variáveis ambientais e fitoplanctônicas. Assim foram realizadas uma análise de agrupamento (*cluster*) e uma análise de escalonamento multidimensional (MDS).

O agrupamento avaliou quais e o quanto as unidades amostrais estão próximas entre si, considerando suas características ambientais e biológicas. Nesta análise (Figura VI.1-3), observa-se a formação de dois grupos (linha azul) com 33,6% de similaridade, separando as amostras MLZ_M1000_SUP e MLZ_M1000_ACTC das demais, devido, principalmente, à menor salinidade e igual diversidade fitoplanctônica nessas amostras. Considerando maior similaridade, 84,6% (linha vermelha), observa-se o grupo formado entre MLZ_M1000_ABTC, MLZ_J1002_ACTC, MLZ_J1002_SUP e MLZ_M1000_TC, devido principalmente aos valores intermediários de densidade e riqueza fitoplanctônica.

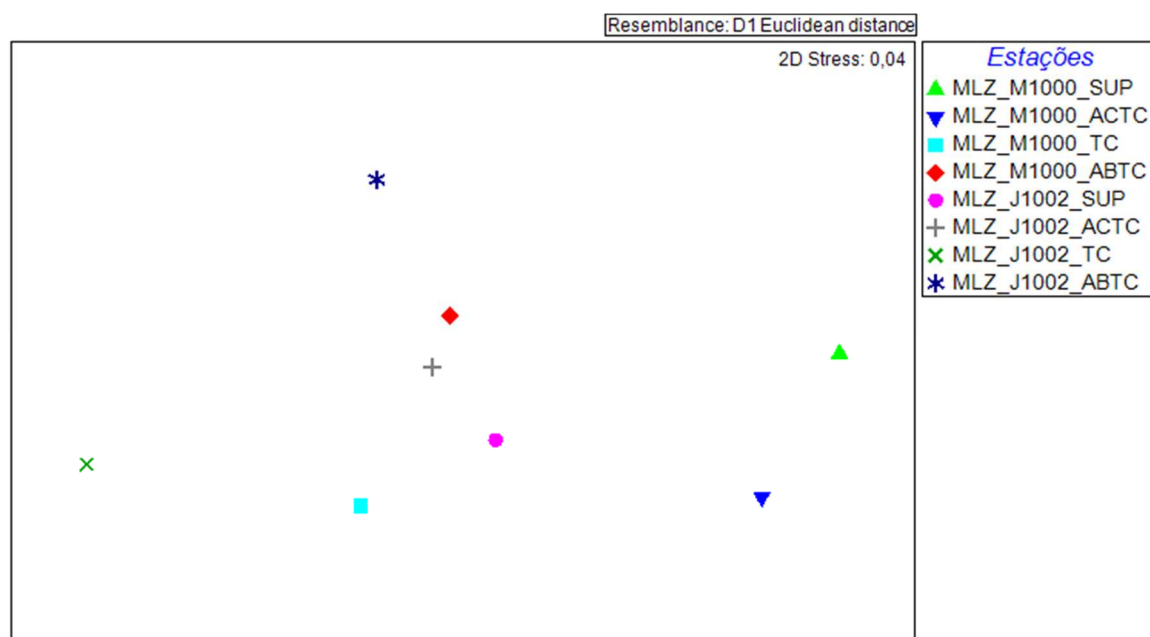


Legenda: SUP = superfície; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina.

Figura VI.1-3 – Análise de agrupamento das diferentes amostras de fitoplâncton da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Com relação à MDS, essa análise é indicada a dados não-normais ou em escalas arbitrárias, descontínuas, ou de outra forma questionável (McCUNE & MEFFORD, 2011). Na MDS realizada obteve-se uma boa confiabilidade, com valor de stress satisfatório (0,04). Valores abaixo de 0,1 provêem uma boa representação dos dados originais (CLARKE, 1993).

O resultado observado para a MDS (Figura VI.1-4), foi bastante semelhante ao observado no agrupamento, destacando a maior semelhança entre as amostras MLZ_M1000_ABTC, MLZ_J1002_ACTC, MLZ_J1002_SUP e MLZ_M1000_TC.



Legenda: SUP, coleta na superfície; TC, coleta na termoclina; ABTC, coleta abaixo da termoclina.

Figura VI.1-4 – Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica da PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

A comunidade fitoplanctônica representa os maiores produtores de biomassa em ecossistemas aquáticos, tendo grande importância na regulação do clima global e, portanto, para a vida na Terra (RICHA *et al.*, 2014). Contribuem, com grande expressividade, para as cadeias alimentares aquáticas, para a produção de grandes quantidades de oxigênio atmosférico e para assimilação de carbono através da fotossíntese, ganhando maior destaque que as algas maiores e visíveis (GARRISON, 2011). Essa comunidade é composta por organismos fotossintetizantes unicelulares e a diversidade de grupos fitoplanctônico marinhos,

inclui as diatomáceas e os dinoflagelados, como grupos mais proeminentes (GARRISON, 2011; HUGHES *et al.*, 2013). E essa mesma tendência foi observada nesse monitoramento, no qual os principais taxa identificados nas amostras são representantes dos filos Bacillariophyta (diatomáceas) e Myzozoa (dinoflagelados) (GUIRY & GUIRY, 2021), mas também outros filos como, por exemplo, Cyanobacteria e Haptophyta com contribuições muito mais discretas.

O fitoplâncton varia espacial e temporalmente, sendo frequentemente influenciado por variáveis físico-químicas do ambiente e interações biológicas. Diversos fatores ambientais tais como a temperatura da água, intensidade luminosa, concentração de CO₂, disponibilidade de nutrientes, turbidez, MPS, salinidade, acidificação, radiação, concentração de matéria orgânica, e interações biológicas, exercem pronunciados efeitos à sua estrutura, dinâmica e, conseqüentemente, em sua produtividade (FRANCO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011, RICHA *et al.*, 2014).

Nesse atual monitoramento, o MPS foi o principal parâmetro relacionado a variação da distribuição das amostras, correlacionando-se negativamente com diversidade e densidade fitoplanctônica, principalmente. As relações de menor concentração de MPS e maior diversidade e densidade ocorreram, principalmente, em MLZ_M1000_SUP e MLZ_J1002_ABTC.

O MPS tem a propriedade de reduzir a transparência da água e com isso a penetração de luz na coluna d'água, afetando o crescimento, a atividade e a produtividade fitoplanctônica, dessa forma influenciando seus números (REYNOLDS, 2006; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011). A comunidade fitoplanctônica compõe organismos fotoautotróficos que vivem a maior parte do seu ciclo de vida nas zonas pelágicas de oceanos, lagos, tanques e reservatórios, e que são fortemente influenciados pela quantidade e qualidade da intensidade luminosa (REYNOLDS, 2006; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011). Dessa forma, a concentração de MPS na coluna d'água influencia a penetração de luz e, conseqüentemente o crescimento fitoplanctônico. Além disso, cabe destacar que o MPS pode ter origem inorgânica ou orgânica, sendo um detrito disponível para ser decomposto pelo fitoplâncton ou podendo representar biomassa planctônica. Em regiões costeiras a concentração de partículas em suspensão frequentemente está associada a presença do séston

(biomassa viva e detritos planctônicos), de partículas inorgânicas em suspensão e de matéria orgânica dissolvida, enquanto em regiões oceânicas, com águas mais oligotróficas, o séston tende a ser o principal componente (KIRK, 1994).

Nesse estudo, também se observou correlações significativas da densidade fitoplanctônica com a temperatura (correlação positiva), e com OD e salinidade (correlações negativas). A temperatura da água é uma variável que tem grande influência sobre a distribuição vertical do fitoplâncton, pois atua diretamente sobre a atividade dos organismos, especialmente sobre a reprodução e sobre os movimentos intrínsecos e, indiretamente, através da alteração da densidade da água (ESTEVES, 2011). Além disso, a salinidade também pode limitar a solubilidade do OD (quanto maior salinidade, menor a solubilidade do OD), sendo que o OD também é influenciado pela temperatura da água (quanto mais fria, maior solubilidade de OD) (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009; LEVINTON, 2009, ESTEVES, 2011). Ainda sobre o OD, as algas do plâncton são as principais responsáveis pela presença de oxigênio dissolvido na água. Contribuem com a produção de grandes quantidades de oxigênio atmosférico e para assimilação de carbono através da fotossíntese (GARRISON, 2011).

As características ambientais e biológicas tendem a influenciar, direta e indiretamente, a dinâmica de outros níveis tróficos e vice-versa. Como no caso do zooplâncton e ictioplâncton, que possuem um papel importante na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, atuando principalmente na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (ESTEVES, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017) e, cujas relações dessas comunidades com as características ambientais serão exploradas a seguir.

VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico-Químico

A análise dos dados bióticos e abióticos do ambiente pelágico para zooplâncton e ictioplâncton foi realizada a partir da confecção e interpretação de tabelas e gráficos (Tabela VI.1-2; Figura VI.1 a Figura VI.1-20).

Tabela VI.1-2 – Indicadores biológicos das comunidade zooplanctônicas e ictioplanctônicas e das variáveis ambientais da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

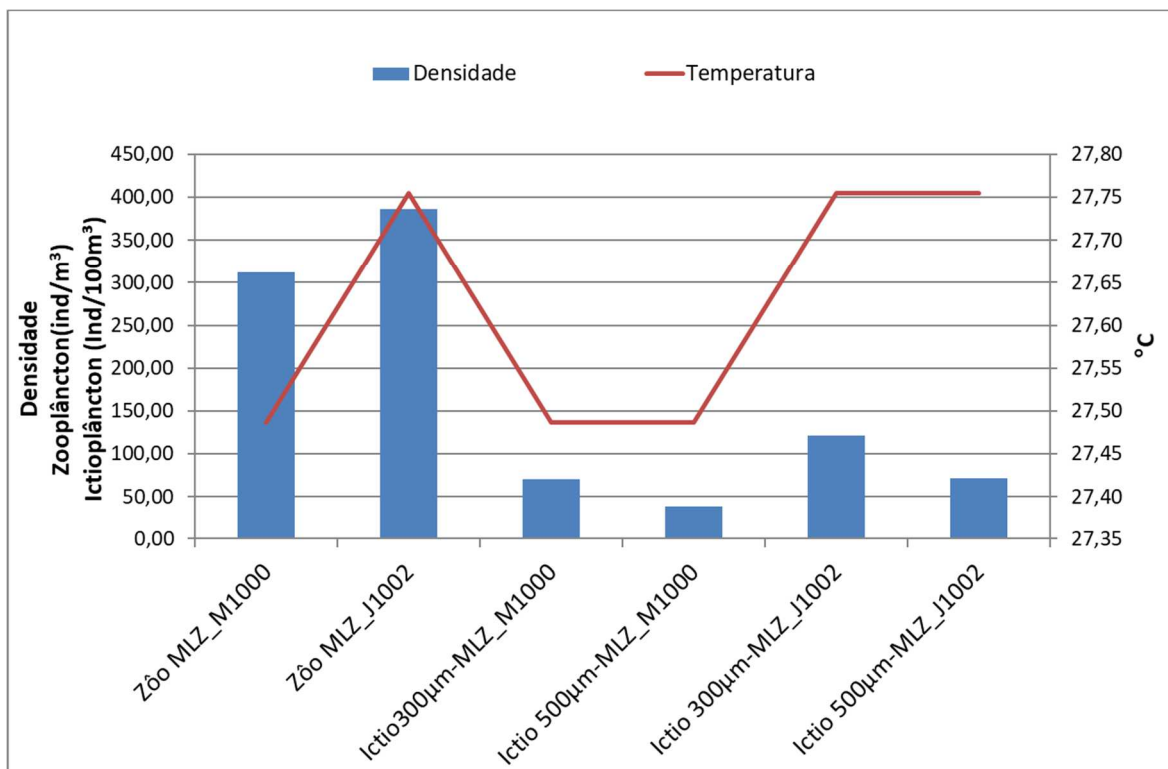
		Zooplâncton		Ictioplâncton			
		M1000 VER	J1002 VER	M1000 OBL 300µm	M1000 OBL 500µm	J1002 OBL 300µm	J1002 OBL 500µm
Densidade (ind/m ³)	Zoo	311,97	386,21	70,32	38,53	121,15	71,12
Ictio (ind/100m ³)							
Riqueza		31,00	38,00	11,00	7,00	13,00	13,00
Diversidade (bits/ind)		3,28	3,60	1,59	1,52	1,74	1,63
Equitatividade		0,66	0,69	0,77	0,85	0,75	0,71
Temperatura (°C)		27,49	27,76	27,49	27,49	27,76	27,76
Salinidade (‰)		35,93	35,88	35,93	35,93	35,88	35,88
OD (mg/L)		7,08	7,01	7,08	7,08	7,01	7,01
pH		8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33
MPS (mg/L)		0,87	0,94	0,87	0,87	0,94	0,94
Clorofila a (mg/L)		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
COT (mg/L)		0,90	1,11	0,90	0,90	1,11	1,11

Legenda: OD, oxigênio dissolvido, MPS, material particulado em suspensão, COT, carbono orgânico dissolvido.

Através do monitoramento da comunidade zooplanctônica, se observa maiores valores de densidade, riqueza, diversidade e equitabilidade em MLZ_J1002 e menores em MLZ_M1000. Destaca-se que os maiores valores dos índices ecológicos da comunidade, em MLZ_J1002, ocorreram juntamente com maior temperatura, maior concentração de MPS e COT. Salienta-se que não houve ampla variação dos parâmetros ambientais entre essas amostras (Tabela VI.1-2 e; Figura VI.1 a Figura VI.1-20).

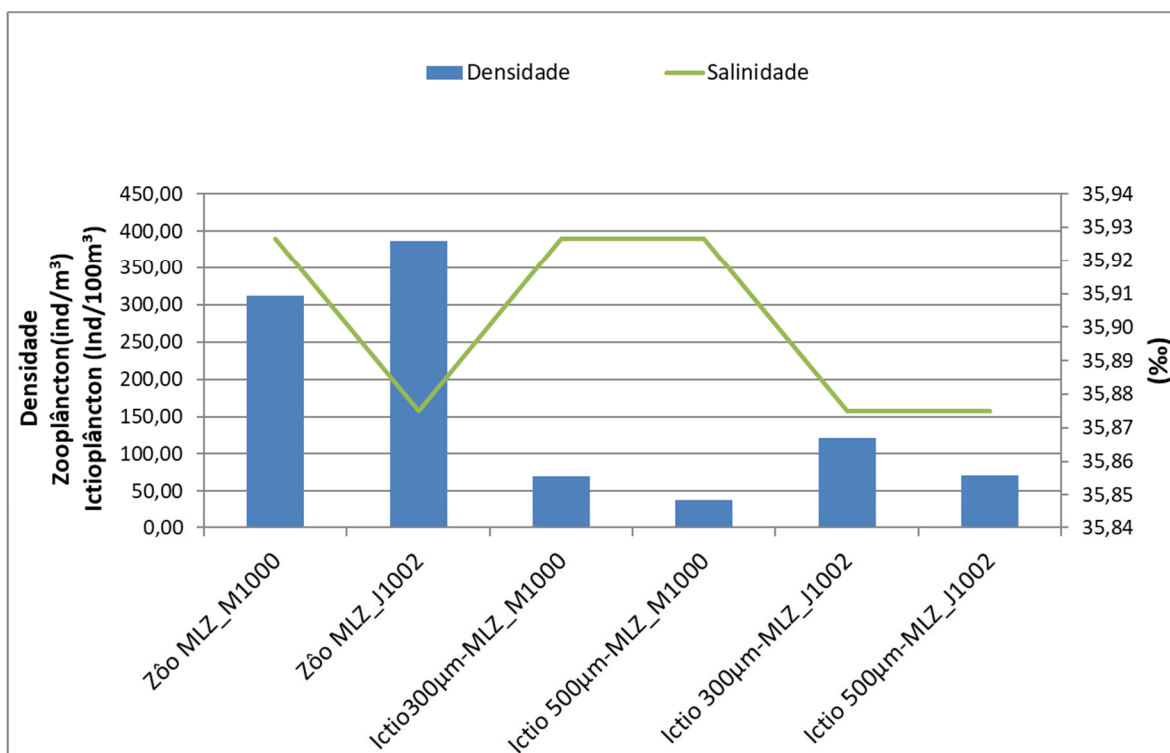
Em relação à comunidade ictioplanctônica, destaca-se a maior densidade, riqueza e diversidade ocorreram em MLZ_J1002 na malha de 300 µm e a maior equitabilidade ocorreu na mesma estação, em malha de 500 µm, juntamente com maior temperatura, maior concentração de MPS e COT (Tabela VI.1-2 e; Figura VI.1 a Figura VI.1-20).

Os dados obtidos e as análises aqui realizadas não permitem estabelecer uma relação causal de significância estatística entre os parâmetros abióticos e indicadores biológicos.



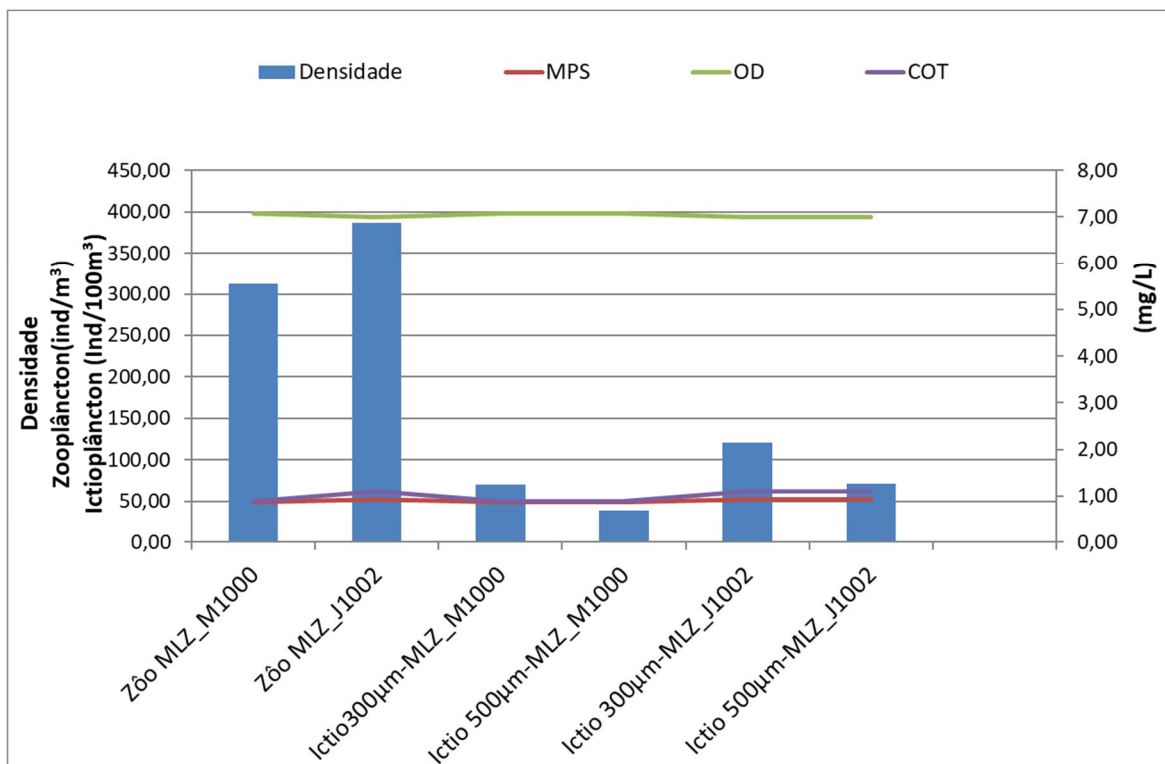
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-5 – Relação da temperatura com a densidade total zooplânctônica e ictioplânctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



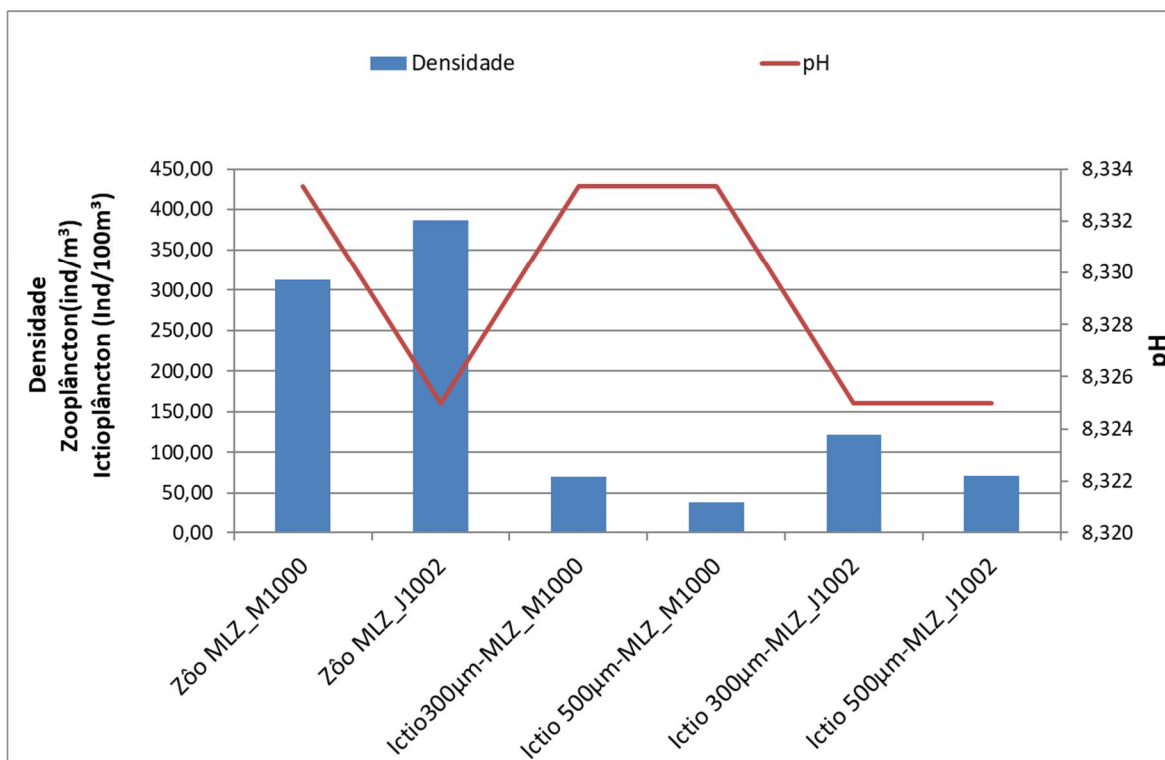
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-6 – Relação da salinidade com a densidade total zooplânctônica e ictioplânctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



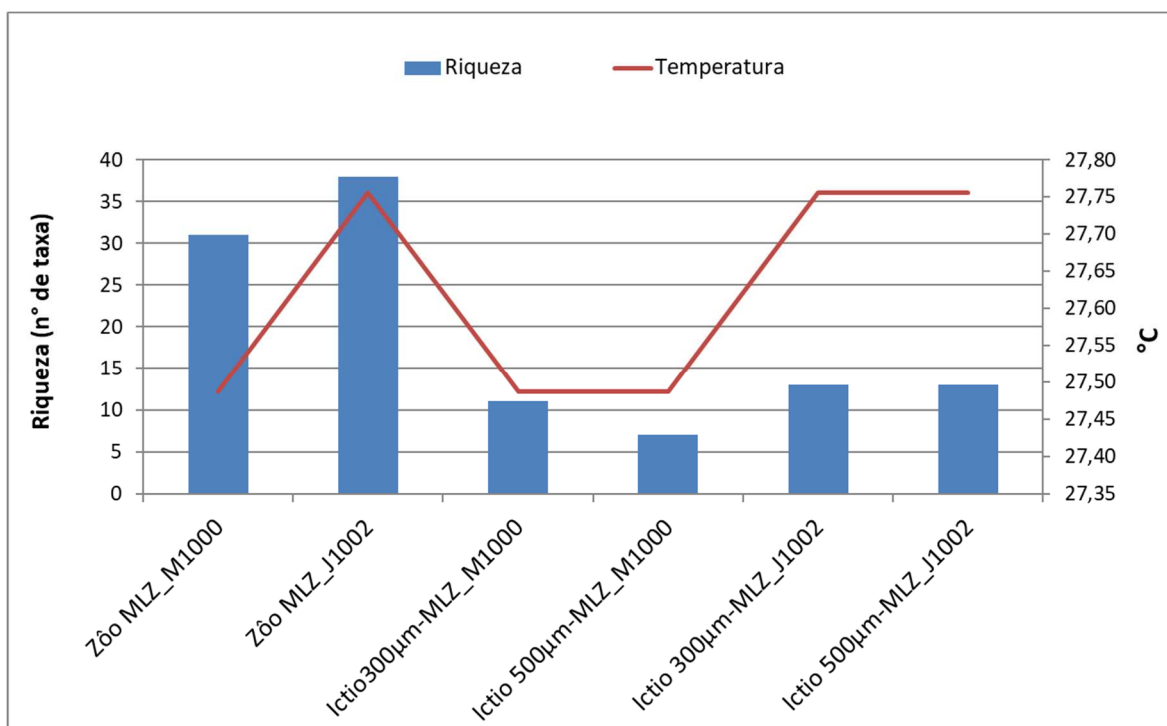
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-7 – Relação de MPS, OD e COT com a densidade total zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



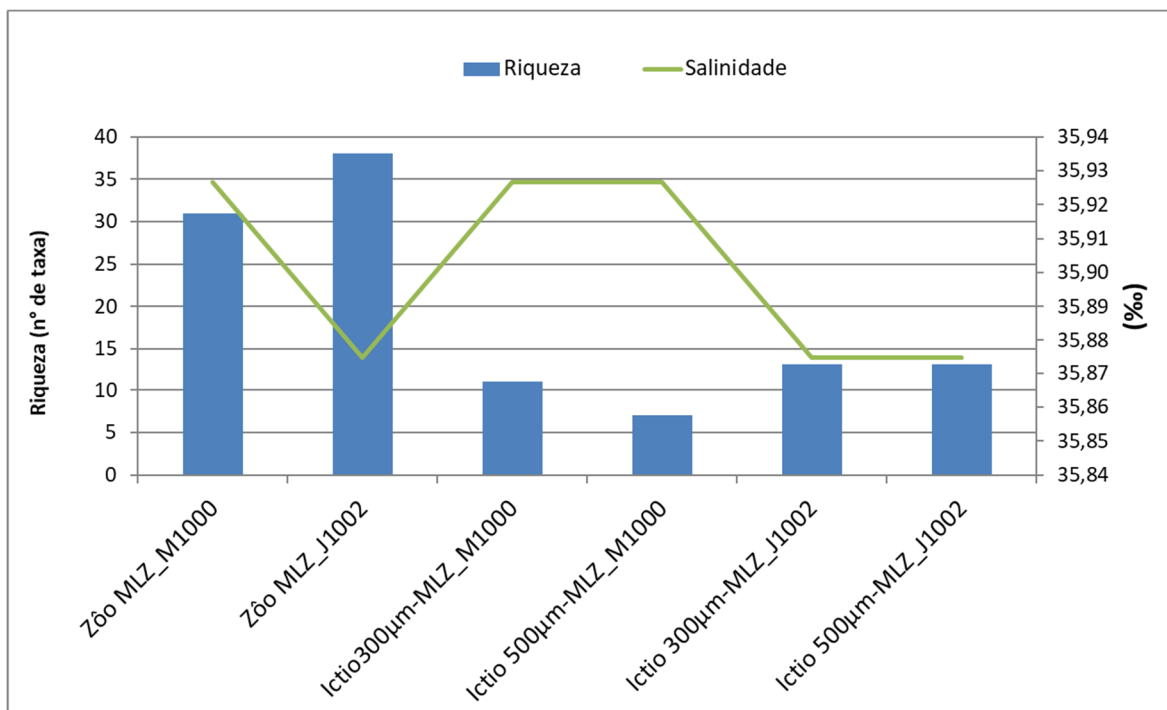
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-8 – Relação de pH com a densidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



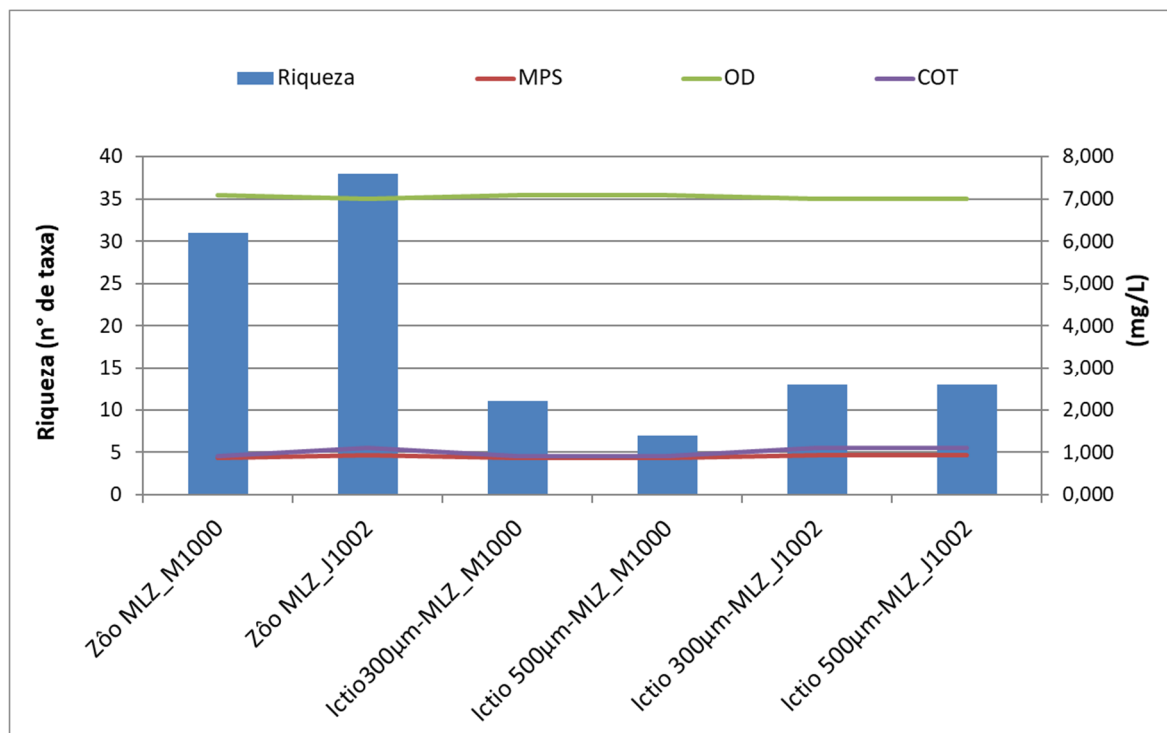
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica

Figura VI.1-9 – Relação da temperatura com a riqueza zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



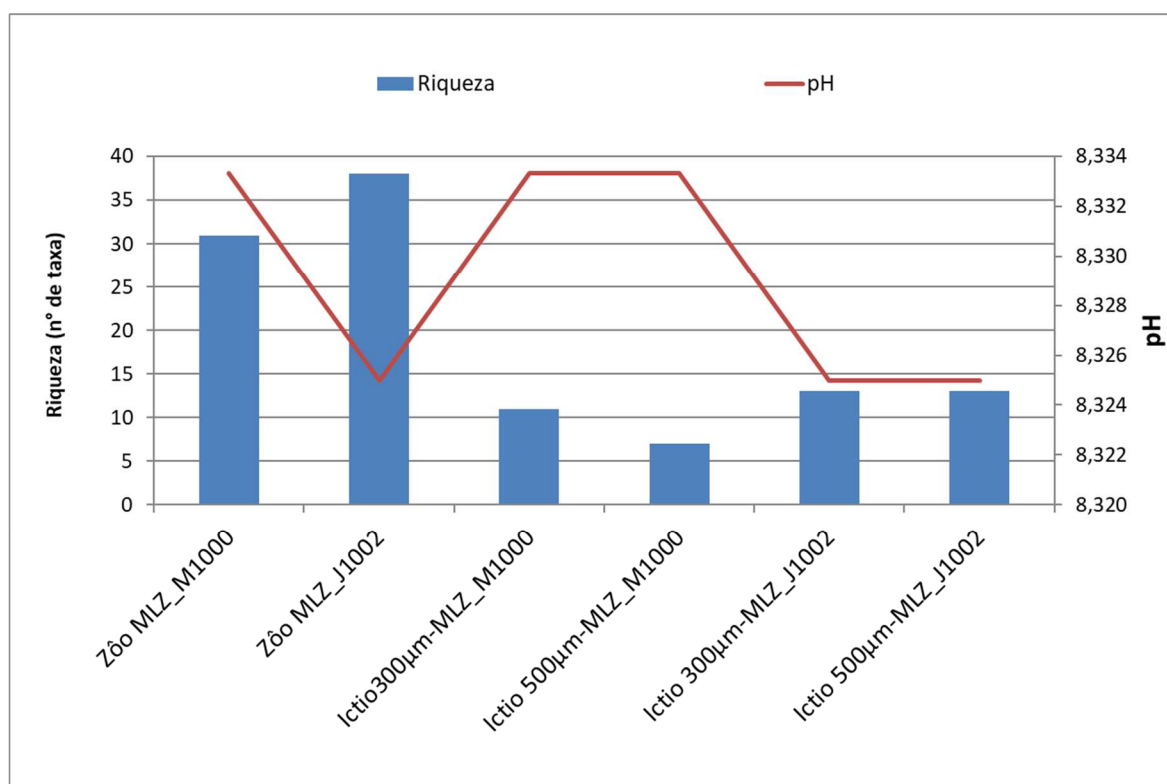
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.10- – Relação da salinidade com a riqueza zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



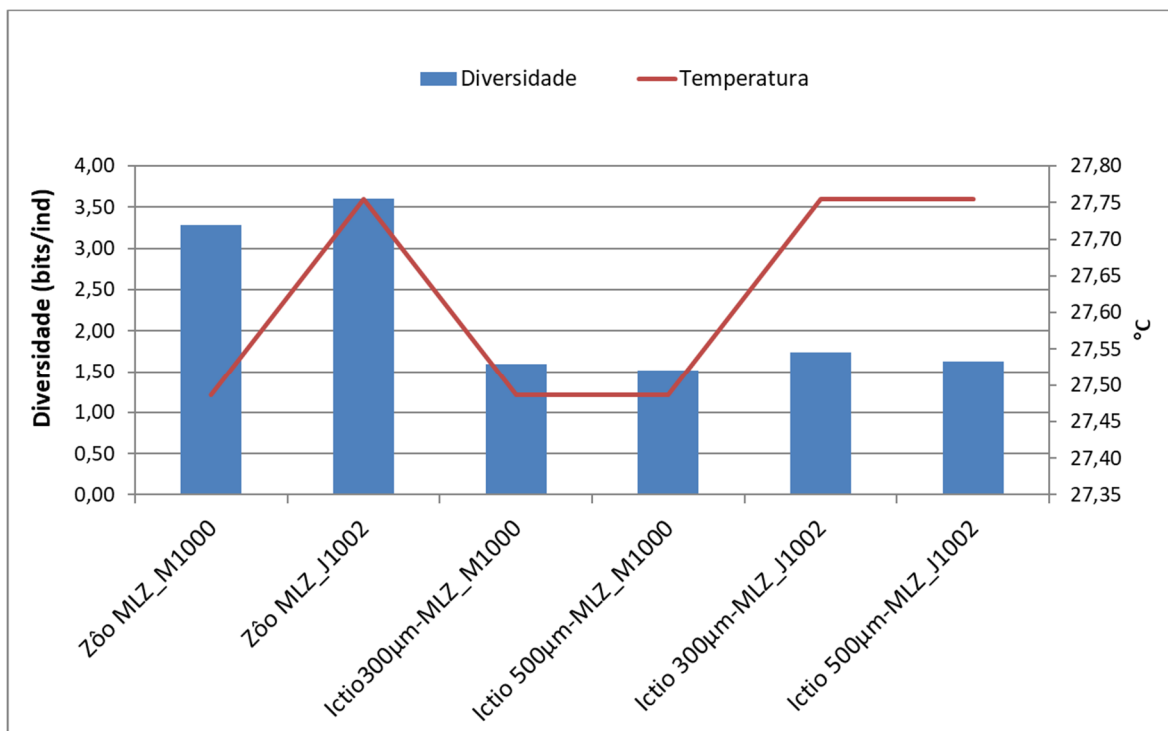
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-11 – Relação de MPS, OD e COT com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14).



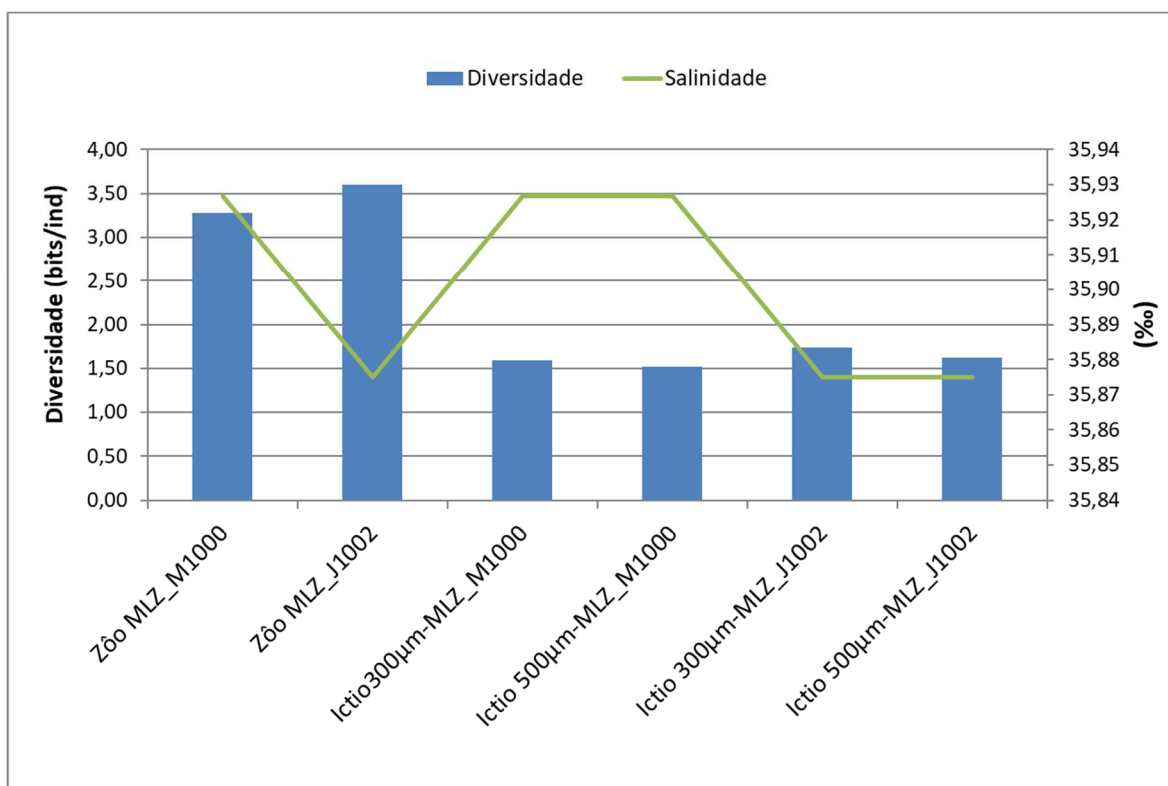
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-12 – Relação de pH com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



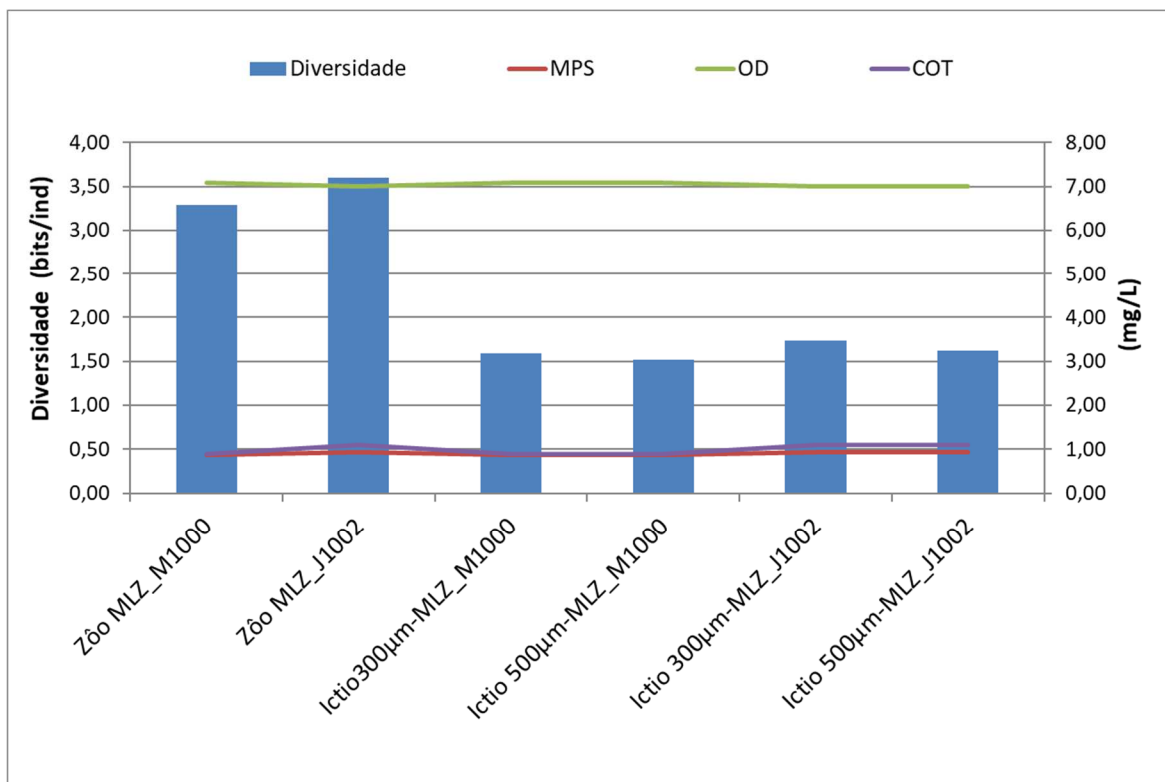
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-13 – Relação da temperatura com a diversidade (bits/ind) zooplânctônica e ictioplânctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



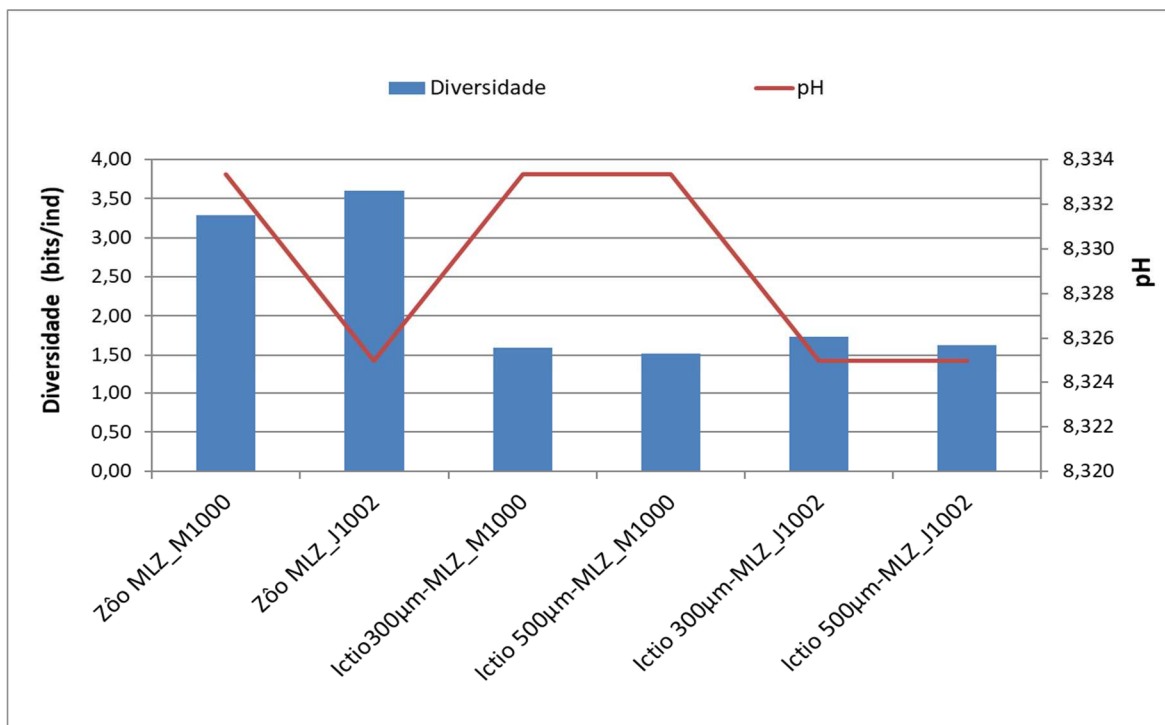
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-14 – Relação de salinidade com a diversidade zooplânctônica e ictioplânctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



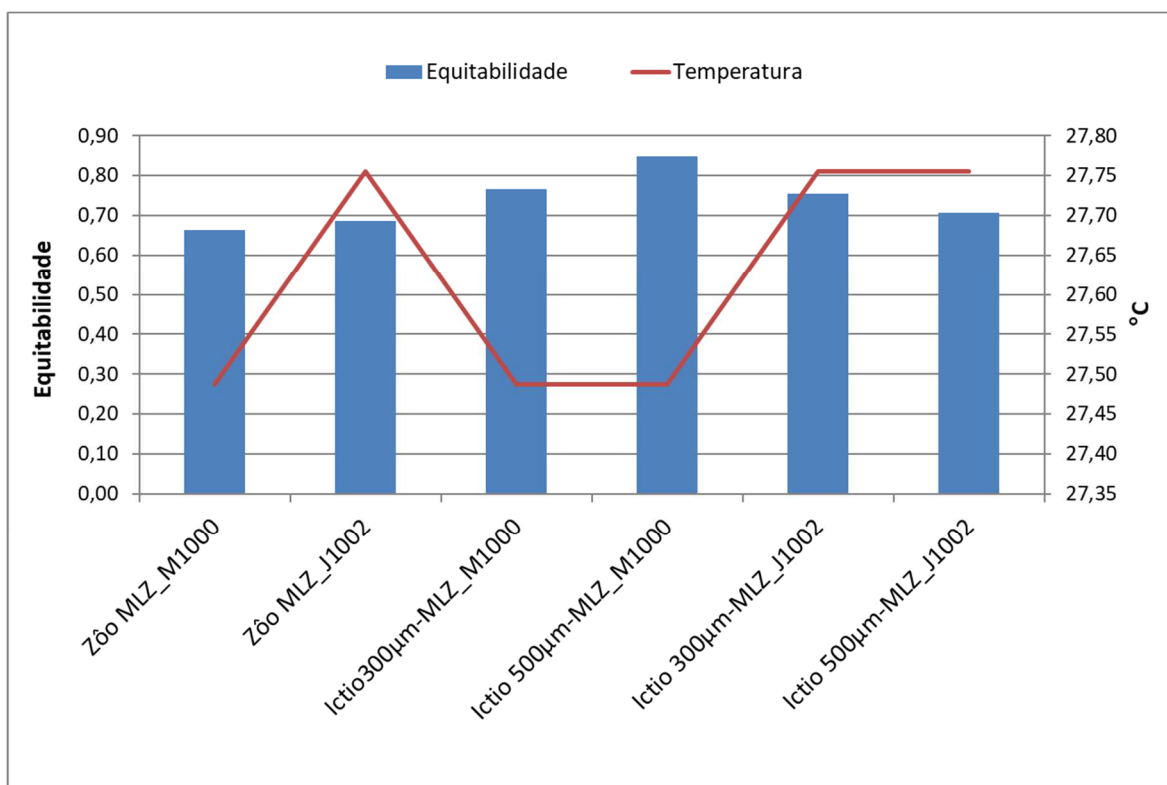
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-15 – Relação do MPS, OD e COT com a diversidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



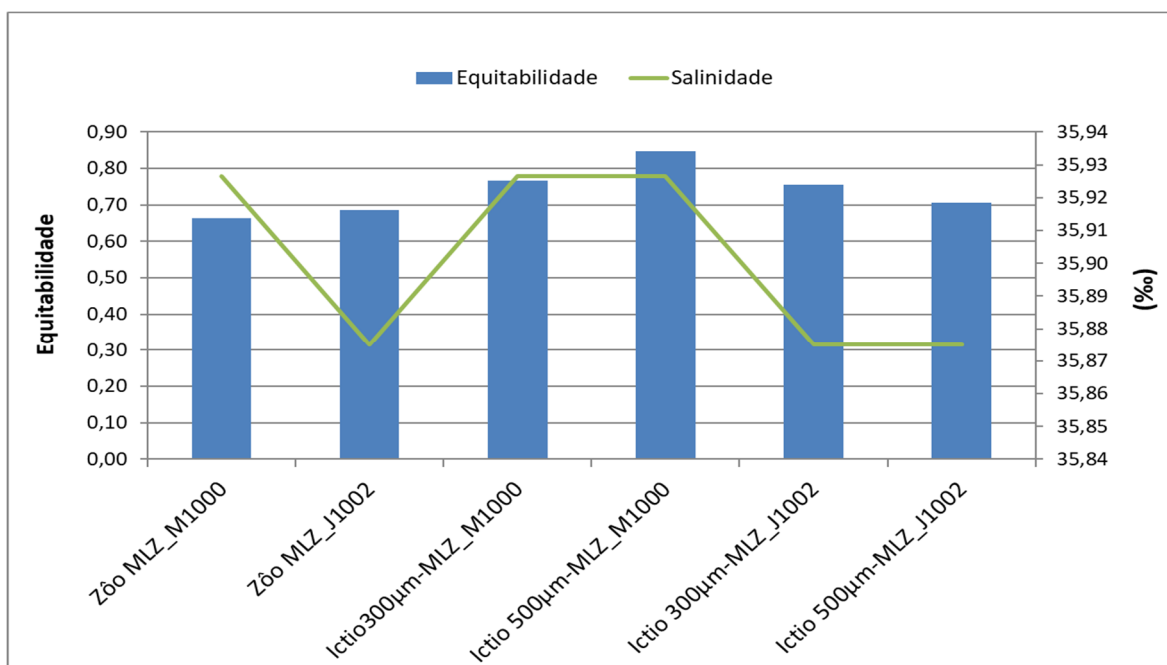
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-16 – Relação de silicato com a diversidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



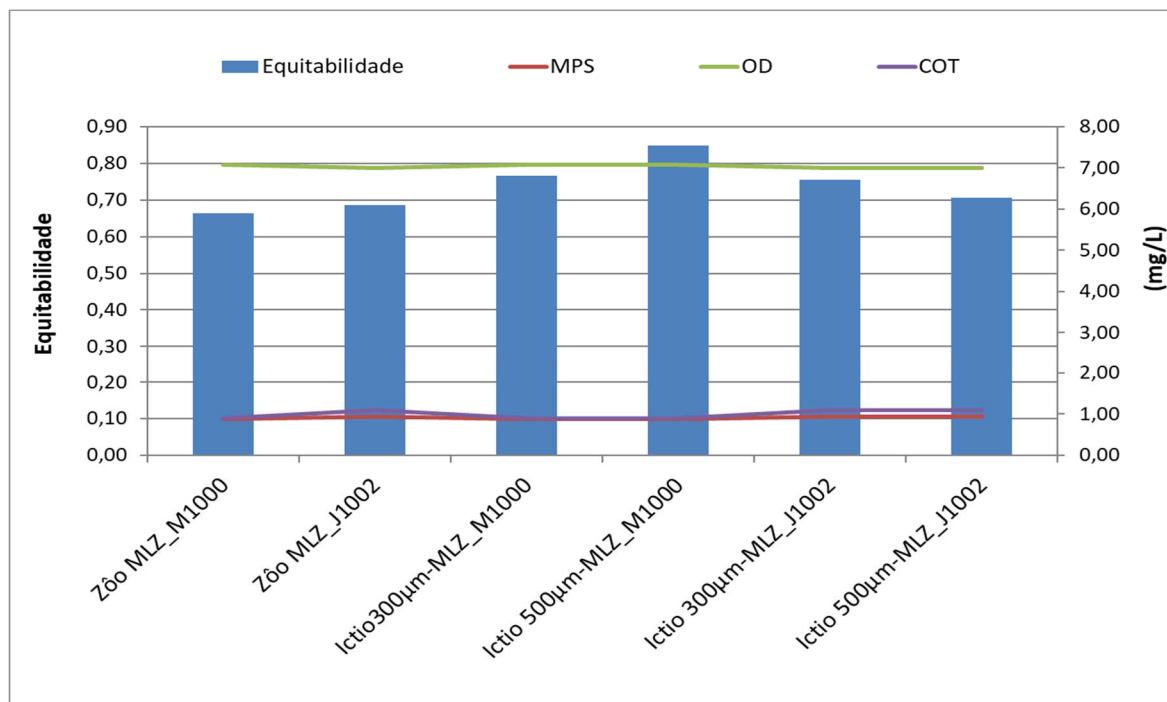
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-17 – Relação da temperatura com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_C14.



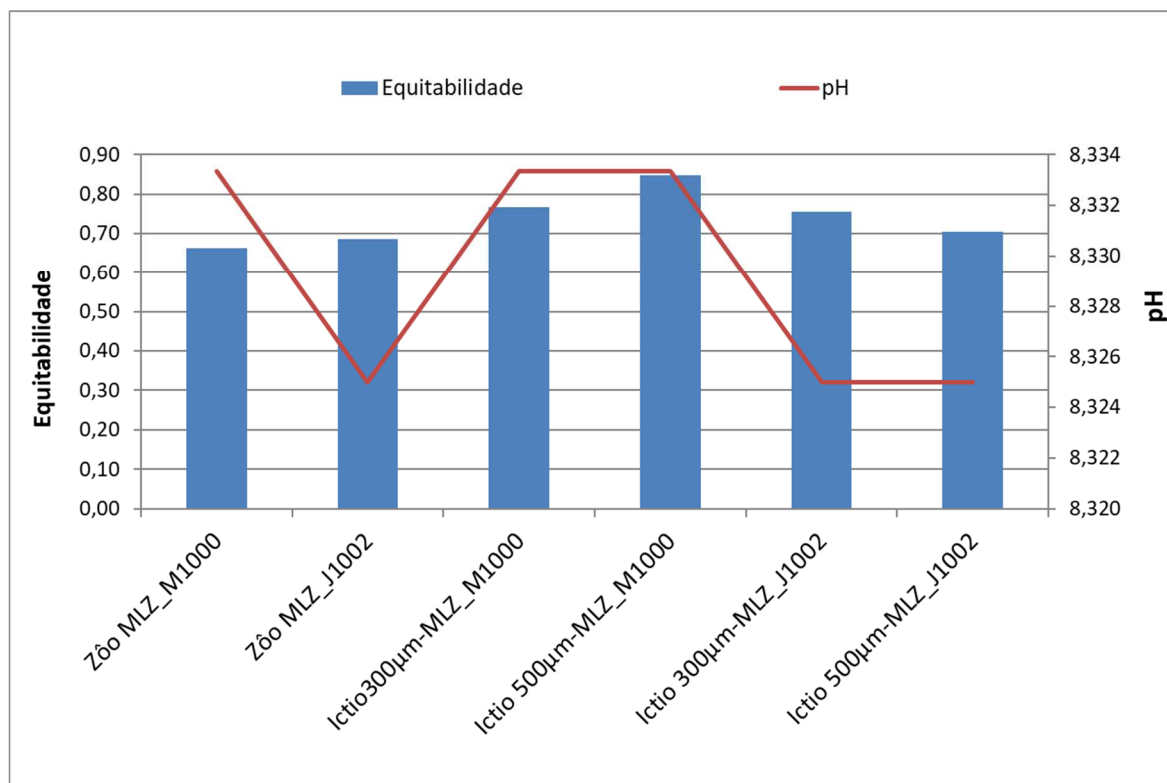
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-18 – Relação da salinidade com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-19 – Relação do MPS, OD e COT com a equitabilidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.



Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-20 – Relação de pH com a equitabilidade zooplancônica e ictioplancônica da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

O zooplâncton marinho compreende uma assembléia filogenética e funcionalmente diversa de consumidores protistas e metazoários que ocupam vários níveis tróficos em teias alimentares pelágicas, tendo grande importância para a dinâmica ecossistêmica aquática. Essa rede complexa de interações bióticas e abióticas, conduzem a variabilidade temporal e espacial do zooplâncton, em termos de produção-pastejo, ciclagem de nutrientes, exportação e eficiência de transferência de nutrientes para níveis tróficos mais elevados (BEAUGRAND *et al.*, 2003; STEINBERG & LANDRY, 2017).

A variedade de zooplâncton nos oceanos é surpreendente, representando os mais numerosos consumidores primários do oceano (GARRISON, 2011). Apresentam íntima relação com grupos fitoplanctônicos, dada sua relação de pastejo, principalmente com cianobactérias, diatomáceas, dinoflagelados entre tantos outros fitoplâncton. E juntamente com a comunidade ictioplanctônica, compõem importantes componentes do sistema, constituindo elos estruturadores das cadeias alimentares (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008), atuando principalmente na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (ESTEVES, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017). Sendo assim, mudanças na estrutura da comunidade, em termos de composição de espécie e abundância podem influenciar os ciclos biogeoquímicos e os fluxos de energia nos ecossistemas aquáticos (MITRA *et al.*, 2014).

No atual monitoramento, destaca-se que a diversidade zooplanctônica variou entre 3,28 e 3,59 bits/ind e, portanto, a comunidade pode ser considerada em equilíbrio com boa diversidade, segundo Magurran (1988). Essa autora indica que comunidades com valores de índice de Shannon-Weiner abaixo de 1,5 ou 2 apresentam baixa diversidade e tendem ao desequilíbrio, ao passo que com valores acima de 5 representam comunidades com grande diversidade. Contudo a equitabilidade zooplanctônica foi média, entre 0,66 e 0,68, não indicando boa uniformidade na distribuição das abundâncias de espécies na comunidade (MAGURRAN, 2003). A comunidade ictioplanctônica, apresentou baixa diversidade, em todas as amostras, variando entre 1,51 e 1,73 bits/ind. Em termos de equitabilidade, os valores variaram entre 0,70, considerado médio, em MLZ_J1002 malha de 500µm até 0,85, em MLZ_M1000 malha de 500 µm, sendo que valores próximos a 1 indicam certa uniformidade na distribuição das

abundâncias de espécies para essa comunidade (MAGURRAN, 2003), nessa amostra.

Para essas comunidades, fatores ambientais são importantes causas de ajustes bióticos, promovendo variações nos seus números, que ocorrem direta ou indiretamente em resposta às variações ambientais em ecossistemas tropicais (PINTO-COELHO, 1999; TAYLOR *et al.*, 2002; HAYS *et al.*, 2005). Fatores ambientais tais como a temperatura (CHEN *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2018), salinidade (NEUMANN-LEITÃO *et al.*, 2018), correntes marinhas (SMETI *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2018) são importantes parâmetros influenciando a estrutura, a dinâmica e a distribuição espacial das comunidades de zooplâncton e, conseqüentemente, suas relações com outros elos das cadeias alimentares, como a comunidade fitoplanctônica, ictioplanctônica e a ictiofauna, representando para essa última importante recurso alimentar.

Embora a exploração dos dados indique a relação entre alguns indicadores biológicos das comunidades zooplanctônica e ictioplanctônica e algumas variáveis ambientais, não é possível estabelecer relação causal e significância estatística entre os parâmetros abióticos e indicadores biológicos analisados.

Finalmente, as características ambientais do ecossistema aquático influenciam a distribuição das comunidades planctônicas (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009), devido a sua capacidade de resposta às variações ambientais de pequena a grande escala, conduzindo a padrões de distribuição e dispersão em escala temporal e espacial. Isso torna tais comunidades importantes indicadores de mudanças no ambiente, portanto a compreensão das variações espaciais e temporais entre essas comunidades e suas interações com o ambiente é de extrema importância e questão central para a ecologia (WILLIAM *et al.*, 1993), fornecendo uma noção vital sobre a saúde do sistema e os potenciais impactos.

VI.2 - AMBIENTE BENTÔNICO

VI.2.1 - Relações dos Indicadores Biológicos de Macrozoobentos com o Ambiente

VI.2.1.1 - Relações entre Granulometria, Matéria Orgânica e Nutrientes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos

A Tabela VI.2-1 é apresentada a correlação de *rank* de Spearman dos dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes, com os dados de macrozoobentos. Foram identificadas 11 correlações positivas significativas: a densidade correlacionou-se positivamente com seixo, grânulo e AG; a riqueza correlacionou-se positivamente com seixo, grânulo, AG, AMG e AM; e a diversidade com COT, grânulo e AMG. Também foram identificadas 12 correlações negativas significativas: densidade e riqueza com silte, argila e mediana; diversidade e equitabilidade com AF, AMF e mediana (Tabela VI.2-1).

Tabela VI.2-1 – Correlação de Spearman entre dados de granulometria e matéria orgânica e nutrientes e dados de diversidade, equitabilidade, riqueza e densidade de macrozoobentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Correlações significativas estão destacadas em vermelho $p < 0,05$.

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitabilidade
MOT	-0,25	-0,19	0,20	0,35
COT	0,23	0,36	0,65	0,37
Carbonato	0,37	0,22	0,05	0,01
NT	0,23	0,38	0,18	0,21
PT	0,31	0,32	0,05	-0,04
Seixo	0,59	0,47	0,42	0,13
Grânulo	0,62	0,65	0,54	0,15
AMG	0,43	0,52	0,59	0,30
AG	0,57	0,64	0,35	0,04
AM	0,33	0,48	0,36	0,09
AF	-0,02	-0,07	-0,66	-0,68
AMF	-0,33	-0,45	-0,75	-0,50
Silte	-0,62	-0,51	-0,14	0,20
Argila	-0,56	-0,51	-0,18	0,17
Mediana	-0,54	-0,56	-0,54	-0,15

Legenda: AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina; SG: silte grosso; SM: silte médio; SF: silte fino; SMF: silte muito fino; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total.

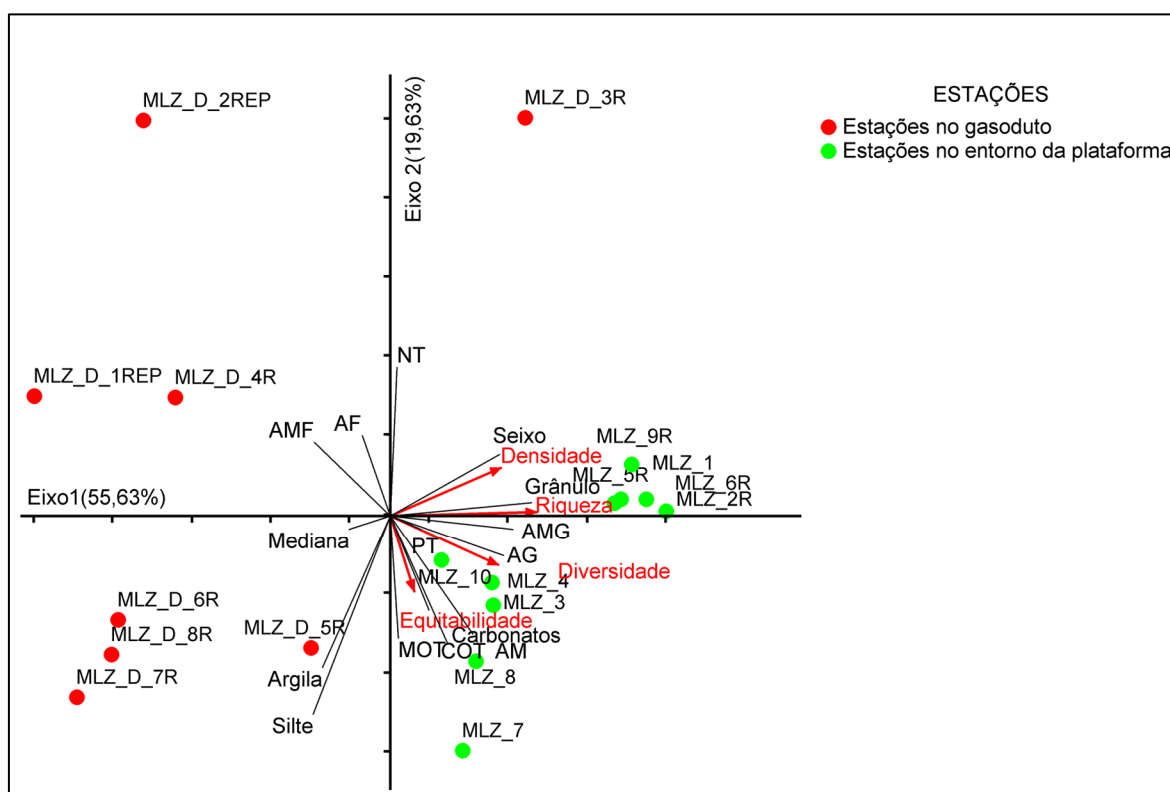
Na ACP realizada com estes mesmos dados, Figura VI.2.1-1, os dois primeiros eixos da análise explicaram 75,26% da variação dos dados, sendo que o primeiro eixo explicou 55,63% e o segundo explicou 19,63%. As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Nesse caso, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,37. Isso permite uma interpretação mais confiável sobre a contribuição de determinada variável para todas as dimensões do espaço da ACP. Além disso, foram também consideradas as variáveis que apresentaram as correlações mais fortes com os eixos da ACP.

A distribuição das amostras foi significativa apenas ao longo do eixo 1 da ACP ($p=0,001$), onde a correlação positiva significativa de grânulo, AMG e AG indicam maior influência destas variáveis granulométricas na distribuição das amostras sobre o eixo, juntamente com a correlação positiva de densidade, diversidade e riqueza bentônica. Assim, observa-se a separação das amostras do entorno da plataforma, distribuídas na porção positiva do eixo 1, correlacionando-se

positivamente com grânulo ($r=0,99$), AMG ($r=0,97$) e AG ($r=0,86$) tendendo a correlacionarem-se positivamente com os índices ecológicos de densidade ($r=0,59$), riqueza ($r=0,68$) e diversidade ($r=0,58$). As amostras do gasoduto apresentaram relações inversas, estando dispostas na porção negativa do eixo 1.

Embora a distribuição das amostras ao longo do eixo 2 não tenha sido significativa, verifica-se silte ($r= -0,72$) e argila ($r=-0,68$) correlacionados com a porção negativa desse eixo, separando as amostras da região mais profunda do gasoduto (amostras MLZ_D_5R, MLZ_D_6R, MLZ_D_7R, MLZ_D_8R) das demais amostras dispostas na porção positiva, correlacionada com concentrações mais elevadas de NT ($r= 0,52$), com destaque para as estações MLZ_D_2REP e MLZ_D_3R, mais costeiras.

As demais variáveis ambientais não apresentaram correlações significativas com os eixos da ACP, pois não apresentaram distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,37.



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

Figura VI.2.1-2 – Análise de componentes principais entre as variáveis ambientais (granulometria, matéria orgânica e nutrientes) e os indicadores biológicos de macrozoobentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

VI.2.1.2 - *Relações entre Contaminantes e os Indicadores Biológicos de Macrozoobentos*

Através da correlação de *rank* de Spearman, realizada entre os metais e os indicadores biológicos bentônicos, foram detectadas 6 correlações positivas significativas, a saber: entre diversidade e bário, cádmio e vanádio, e; entre equitabilidade e cádmio, chumbo e níquel. Também ocorreram duas correlações negativas significativas, entre densidade e riqueza bentônica e alumínio (Tabela VI.2.1.2-3).

Tabela VI.2.1-2 – *Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos dos macrozoobentos e os contaminantes nos sedimentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14. Valores em vermelho indicam correlações significativas ($p < 0,05$).*

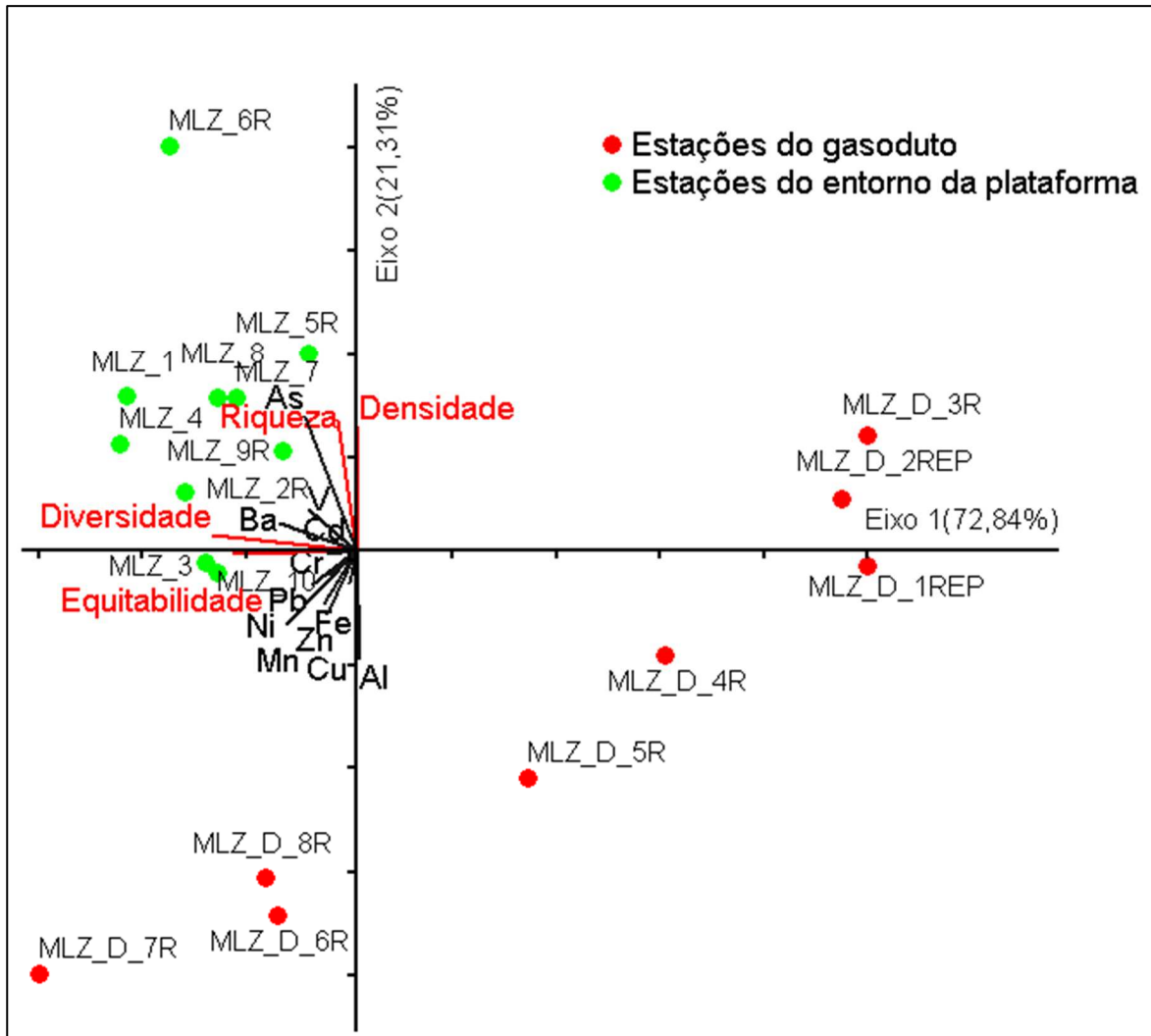
	Densidade	Riqueza Total	Diversidade	Equitabilidade
Alumínio	-0,60	-0,54	-0,16	0,17
Arsênio	0,40	0,40	0,46	0,22
Bário	0,14	0,23	0,50	0,40
Cádmio	-0,01	0,00	0,54	0,58
Chumbo	-0,14	-0,04	0,46	0,55
Cobre	-0,30	-0,24	0,30	0,44
Cromo	-0,01	0,10	0,34	0,33
Ferro	-0,41	-0,34	0,10	0,40
Manganês	-0,08	-0,18	0,25	0,36
Níquel	-0,14	-0,04	0,42	0,47
Zinco	-0,20	-0,18	0,27	0,42
Vanádio	0,09	0,25	0,55	0,44

Na sequência, uma ACP foi realizada para verificar a distribuição das amostras em função da concentração dos contaminantes e dos índices ecológicos da comunidade de macrozoobentos. Nessa ACP, os dois primeiros eixos explicaram 94,15% da variação, sendo 721,84% e 21,31% relativos ao primeiro e segundo eixo, respectivamente (Figura VI.2.1-3). As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados foram avaliadas considerando-se a distância *d* ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Dessa forma, foram consideradas, como

significativamente relacionadas aos eixos, apenas as variáveis com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,41.

A distribuição das amostras foi significativa ($p=0,001$) apenas no eixo 1. Ao longo deste eixo, a distribuição das amostras foi influenciada significativamente por bário e manganês. Nesse contexto, as amostras do trecho mais costeiro do gasoduto MLZ_D_1REP, MLZ_D_2REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R e MLZ_D_5R se separaram das demais, estando dispostas na porção positiva do eixo 1, correlacionando-se negativamente, principalmente, com bário ($r=-0,96$) e manganês ($r=-0,90$), mas também apresentando fortes correlações negativas com a maioria dos metais: arsênio ($r=-0,72$), cádmio ($r=-0,79$), cobre ($r=-0,76$), cromo ($r=-0,95$), níquel ($r=-0,94$), chumbo ($r=-0,87$), zinco ($r=-0,83$) e vanádio ($r=-0,94$), e relacionando-se negativamente, principalmente com diversidade ($r=-0,59$) e equitabilidade bentônica ($r=-0,54$). As demais amostras apresentaram padrão oposto. A distribuição das amostras ao longo do eixo 2 não foi significativa e tampouco apresentou correlações fortes com qualquer metal sobre esse eixo, exceto alumínio ($r=-0,98$), que acarretou uma distribuição mais afastada das estações mais profundas do gasoduto na porção negativa deste eixo.

É interessante destacar também que esta ACP (Figura VI.2-3) preserva o mesmo padrão de distribuição das amostras verificado na ACP que avaliou a relação entre os indicadores ecológicos da macrofauna bentônica e os dados de granulometria, matéria orgânica e nutrientes (Figura VI.2-2), segregando 3 grandes grupos entre as amostras de acordo com a distribuição geográfica delas, sendo um grupo formado pelas estações mais costeiras, outro grupo, pelas estações mais profundas do gasoduto, com alguma mobilidade da estação MLZ_D_5R, que se encontra numa posição central do gasoduto, entre estes dois grupos, e o terceiro grupo com as estações da plataforma. Esta segregação e os resultados convergentes das ACPs indicam que a distribuição de todos os parâmetros é governada pelos mesmos aspectos ambientais, relacionados a distância da costa e profundidade das estações, para os quais pode-se citar, por exemplo, aportes continentais, regime hidrodinâmico, nível das ondas etc.



Legenda: Al, alumínio; As, arsênio; Ba, bário; Cd, cádmio; Cu, cobre; Pb, chumbo; Cr, Cromo; Fe, ferro; Mn, manganês; Ni, níquel; S, enxofre; V, vanádio; Zn, zinco.

Figura VI.2.1-3 – Análise de componentes principais entre os metais e os indicadores biológicos de macrozoobentos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

VI.2.2 - Distribuição das Amostras em Função das Variáveis Ambientais e Biológicas

Com o objetivo de verificar a distribuição espacial das amostras de sedimento em relação às variáveis ambientais e biológicas, foram realizadas duas análises: uma de agrupamento, e outra de escalonamento multidimensional. No dendrograma gerado pela análise de *cluster* (Figura VI.2.2-4), as amostras foram separadas em 2 grandes grupos que compartilham 0% de similaridade entre si, com

distinção dirigida pela composição granulométrica das amostras e pela densidade bentônica. Um grupo foi formado pelas estações do entorno da plataforma juntamente com a estação MLZ_D_3R, que apresentam maiores contribuições de frações mais grosseiras do sedimento (cascalho, AMG, AG e AM) e maiores densidades de bentos. As estações do entorno da plataforma compartilham 58,1% de similaridade entre si (linha vermelha), distinguindo-se da estação MLZ_D_3R, com a qual compartilham cerca de apenas 20% de similaridade. Essa distinção ocorre em função das menores concentrações de COT, de sedimento fino e de metais e dos maiores valores de densidade bentônica verificados nesta estação do gasoduto.

Já o outro grupo é formado pelas demais estações do gasoduto, que compartilham cerca de 40% de similaridade entre si, percentual a partir do qual começa a haver distinção entre as estações do trecho mais raso e do mais profundo, também em resposta às diferenças de granulometria e concentrações de metais entre estas duas regiões.

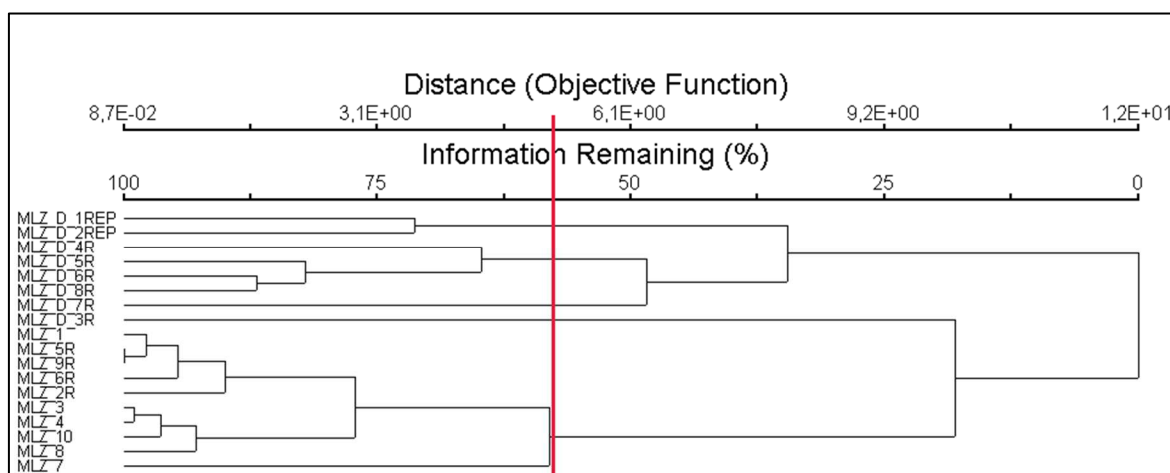


Figura VI.2.2-4 – Análise de agrupamento, relacionando dados ambientais e bióticos da campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

A análise de escalonamento multidimensional apresentou um valor de stress satisfatório de 0,05 (CLARKE, 1993). Os resultados dessa análise corroboram os padrões de distribuição das amostras verificados tanto no cluster (Figura VI.2-4) quanto nas ACPs (Figura VI.2-2 e Figura VI.2-3), evidenciando a similaridade entre as amostras do entorno da plataforma, e uma maior dispersão das amostras do gasoduto, correspondente a própria distribuição geográfica dos pontos amostrais,

que se distribuem ao longo da plataforma continental, desde a área costeira até a isóbata de 10 m (Figura VI.2.2-5).

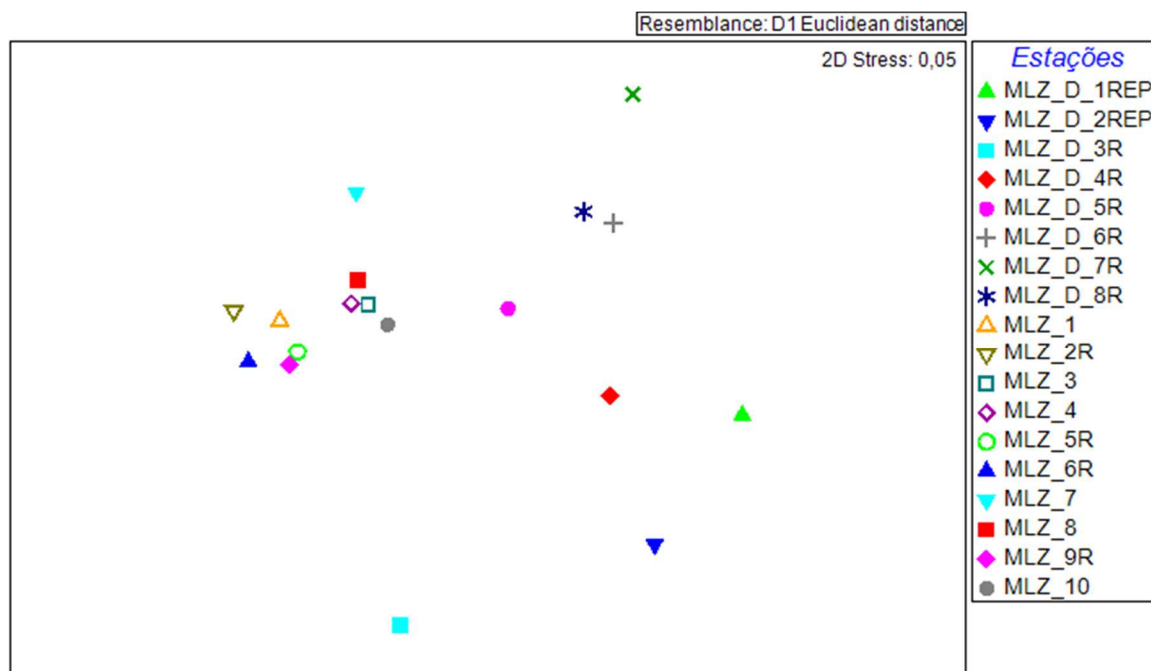


Figura VI.2.2-5 – Análise de Escalonamento Multidimensional das variáveis ambientais e biológicas na campanha PMAEpro-BS_PMPR_MLZ_C14.

Organismos bentônicos em sistemas marinhos desempenham importantes funções na ciclagem de nutrientes, oxigenação do sedimento e decomposição da matéria orgânica (BREMNER, 2005). Eles apresentam íntima e obrigatória ligação com o fundo/assoalho oceânico, apresentando diferentes hábitos de vida nesse ambiente de fundo e utilizando-o como abrigo, proteção, para atividades de alimentação e reprodução (GRAY & ELLIOT, 2009). Desse modo, a composição e distribuição de macroinvertebrados bentônicos é diretamente afetada pelo tipo de substratos, e pelas características ambientais e granulométricas do sedimento (VITOUSEK, 1990; PEREIRA & SOARES-GOMES *et al.*, 2009; SOUZA-FILHO & SOUZA-FILHO, 2021). Portanto, alterações das características físicas e químicas do sedimento podem refletir em mudanças na diversidade e abundância da fauna bentônica e, conseqüentemente, na estrutura dessa comunidade, em diferentes escalas espaciais e temporais.

As características ambientais, tais como granulometria, concentração de nutrientes e matéria orgânica no sedimento são importantes fatores contribuindo para a variação espacial das comunidades bentônicas, influenciando sua distribuição, dispersão, persistência, dinâmica e estrutura (ALLAN, 2004; PEREIRA & SOARES-GOMES *et al.*, 2009; ESTEVES, 2011, KUN *et al.*, 2019). Sabe-se que a disponibilidade e a qualidade de nutrientes, assim como a composição e qualidade do sedimento são importantes fatores hospedando comunidades de invertebrados restritos aos substratos, que diferem em biomassa, densidade, riqueza e diversidade (VITOUSEK, 1990; KUN *et al.*, 2019).

Os fatores ambientais relacionados ao tipo de sedimento e concentração de matérias orgânicas e nutrientes, assim como a concentração de metais influenciam a estrutura da comunidade bentônica, que apresentam estreita relação com o sedimento que habitam (GRAY *et al.*, 2002). Nesse monitoramento, foram identificadas várias correlações significativas entre os índices ecológicos da comunidade bentônica e as características ambientais e de metais com os indicadores biológicos das comunidades bentônica. Em termos ambientais, as correlações positivas incluíram COT e granulometria grossa e média. Também ocorreram correlações negativas, envolvendo densidade, riqueza, diversidade e equitabilidade com granulometria fina, silte e argila. Observou-se também que as variáveis granulométricas (grânulo, AMG e AG) foram as principais responsáveis na variação espacial das amostras, separando as amostras do entorno da plataforma, com maiores contribuições dessas frações granulométricas, das amostras do gasoduto.

A mistura de sedimentos grossos com finos promove maior heterogeneidade de habitats para organismos bentônicos, pois permite maior entrada de conteúdo intersticial, aumentando a disponibilidade de detritos orgânicos e de oxigênio (FENOGLIO & CUCCO, 2004). Isso promove maior estruturação, estabilização e diversificação da comunidade, que está relacionada à diversidade e estabilidade de habitats de uma dada área (GRAY *et al.*, 2002). Em situações de predomínio de sedimentos mais grossos, ocorre pouca ou nula retenção de conteúdo intersticial e oxigênio. Diferentemente, em sedimentos mais finos, o ambiente tende a ser mais compactado, reduzindo a captura de detritos de compostos orgânicos, a disponibilidade de oxigênio e a heterogeneidade de hábitat, consequentemente,

influenciando a estrutura da comunidade bentônica (FENOGLIO & CUCCO, 2004). Em relação à matéria orgânica e carbonatos, substratos com maior teor dessas substâncias tendem a apresentar maior variedade de microhabitats, o que levam a proporcionar uma fauna bentônica mais rica e diversa (SOUZA-FILHO & SOUZA-FILHO, 2021).

Em relação aos metais, a maioria dos contaminantes químicos que entram no ambiente marinho eventualmente se acumulam em sedimentos, podendo torná-los potencialmente tóxicos para organismos bentônicos e demersais (LAMBERSON *et al.*, 1992). O nível de toxicidade nos sedimentos pode variar por influencia de fatores abióticos e também pelas propriedades geológicas dos sedimentos, modificando a biodisponibilidade dos contaminantes ou exercendo um estresse direto no organismos (LAMBERSON *et al.*, 1992), e portanto, influenciando a dinâmica e estrutura das comunidades bentônicas. Destaca-se também que os sedimentos possuem o papel efetivo de não apenas acumular ou estocar espécies nutrientes e contaminantes, mas também de intercambiar tais nutrientes e contaminantes com a coluna de água. (MOZETO, 2004).

Os metais, quando presentes na água e no sedimento, também podem exercer importante papel na função biológica de muitos organismos. Dependendo de como estão dispostos no sistema podem ser benéficos, impulsionando o desenvolvimento, ou podem apresentar um elevado grau de toxicidade para as muitas formas de vida (LORENZI *et al.*, 2008) e, dessa forma, podem afetar negativamente os organismos bentônicos em diversos níveis organizacionais. No atual monitoramento foram verificadas, majoritariamente, correlações positivas entre diversidade e equitabilidade e diversos metais. Além disso, o bário e o manganês foram os principais parâmetros não orgânicos que se relacionaram a variabilidade espacial das amostras. Nesse contexto, as estações mais costeiras (MLZ_D_1_REP, MLZ_D_2_REP, MLZ_D_3R, MLZ_D_4R e MLZ_D_5R) tenderam a apresentar as menores média de concentração desses e demais metais, relacionando-se negativamente também com a diversidade e equitabilidade bentônica.

Ressalta-se que alguns estudos (BESSER *et al.*, 2007; CHIBA *et al.*, 2011) apontam relações de concentrações de metais afetando o desenvolvimento de organismos, provocando significativa redução da riqueza de taxa de invertebrados

aquáticos e predomínio de grupos tolerantes. Contudo, nesse estudo, foram verificadas, majoritariamente, correlações positivas entre os metais e os índices ecológicos, não indicando efeito negativo, os quais tampouco eram esperados, tendo em conta a adequação da grande maioria das concentrações de metais aos limites TEL das agências americana e canadense, limite abaixo do qual efeitos adversos a biota são improváveis, bem como a dequação de totalidade dos resultados aos limites PEL das mesmas agências, limite acima do qual efeitos adversos a biota passam a ser esperados. As correlações observadas podem também ser reflexos de relações matemáticas, não apontando significâncias ambientais, ou, ainda, tais concentrações de metais podem estar associadas à matriz de composição do sedimento local, conforme já discutido por Chiba et al. (2011). É importante destacar que no atual estudo não foram avaliadas relações de causa e efeito entre esses componentes.

Segundo o PCR-BS (Petrobras, 2022b), a análise por aplicação do Índice de Moran dos dados de metais totais normalizados pelo alumínio, apresentaram fortes indícios da distribuição espacial da maior parte dos metais avaliados (As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni, V e Zn) ter alta associação com a granulometria/tipo de sedimento presente no assoalho submarino da Bacia de Santos. Os resultados indicaram também uma sazonalidade na variação espacial desses grupos de metais, provavelmente como resultado da mobilização do fundo marinho, decorrente do transporte de sedimentos devido, por exemplo, a ondas de tempestade.

VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 14ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação da Atividade de Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, Bacia de Santos. Os resultados referem-se à qualidade da água, comunidade biológica e qualidade do sedimento, sendo que os dados adquiridos possibilitaram estabelecer um diagnóstico ambiental para a área, auxiliando na observação de possíveis alterações decorrentes ou não das atividades petrolíferas realizadas na região.

Com relação à qualidade da água, os resultados obtidos para os parâmetros OD, pH, clorofila-a, MPS, COT e nutrientes (fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e silicato) durante a atual campanha de monitoramento são característicos de áreas oligotróficas (EKAU & KNOPPERS, 1999). Foram verificadas três massas d'água na região: AC, AT e ACAS, e suas respectivas misturas, caracterizando condições normais para a região, conforme campanhas anteriores de monitoramento. Além disso, todos os parâmetros avaliados que são legislados pela resolução CONAMA nº 357/05 apresentaram resultados dentro dos padrões estabelecidos pela mesma para águas salinas classe 1.

Na presente campanha, as concentrações de sulfetos, fenóis, HPA's, HTP's, MCNR, n-alcanos e BTEX estiveram sempre abaixo do limite de quantificação da análise, evidenciando, assim, que não há indícios de contaminação ambiental por estes compostos no corpo receptor do entorno do empreendimento.

As análises comparativas dos dados entre as campanhas apresentaram diferenças pontuais para os diferentes parâmetros ou ainda sem padrão estabelecido. Considerando ainda que os valores obtidos são todos característicos de ambiente nerítico e condizentes com o local, não foi possível identificar relações entre as diferenças observadas entre as campanhas e a operação do Sistema de Merluza.

A comunidade fitoplanctônica da atual campanha corrobora com os dados da literatura para dominância de grupos e espécies, tanto para a Bacia de Santos, quanto para a plataforma continental brasileira. Foi observada zonação vertical da comunidade avaliada em ambas as estações, com maiores valores de riqueza e

densidade nas camadas mais superficiais. Embora estes organismos estejam diretamente influenciados pela incidência luminosa na coluna d'água, esperando-se, portanto, maior densidade na camada mais superficial, todas as amostras foram obtidas até 40 m de profundidade, em região rasa e com suficiente penetração da incidência luminosa, de modo que tal situação provavelmente não configura um padrão ambiental relevante. A análise de *Cluster* agrupou as amostras MLZ_J1002_TC e MLZ_J1002_ABTC da atual campanha com 92% de similaridade, possivelmente em razão dos valores de densidade entre essas amostras serem muito semelhantes para Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa.

Comparando todas as campanhas de monitoramento da fase de operação, foram observadas variações significativas entre os anos de monitoramento para todos os índices ecológicos da comunidade fitoplanctônica. De maneira geral, a comunidade na atual campanha apresentou riqueza e diversidade superior a maioria das campanhas anteriores, valores de densidade na faixa de variação da maioria das campanhas anteriores, e equitabilidade com valores mínimos ligeiramente superiores em relação a maioria dos registrados anteriormente.

Para o zooplâncton, a atual campanha apresentou valores de riqueza, e equitabilidade condizentes com a maioria dos resultados obtidos anteriormente, embora tenham sido verificadas diferenças estatísticas entre as campanhas para esses indicadores biológicos. Para os dados de densidade, é observada grande amplitude nos resultados ao longo dos anos, e os resultados encontrados na atual campanha apresentaram valor máximo inferior em relação às campanhas anteriores, exceto em relação a C1 e C7. Os dados de diversidade apresentaram-se superiores em relação às demais campanhas. As amostras da atual campanha apresentaram contribuição relativa dos filos bastante similar, assim como sua composição proporcional, com dominância de Arthropoda em todas as estações em relação à riqueza e em relação à densidade.

O ictioplâncton apresentou maior riqueza média de taxa e diversidade na décima campanha, enquanto a densidade média foi maior na segunda e a equitabilidade na décima segunda campanha. Os valores dos índices ecológicos da atual campanha estiveram dentro da faixa de variação observada para as campanhas anteriores. Foram observadas diferenças significativas ao longo dos anos para todos os indicadores biológicos analisados. A composição taxonômica

das amostras teve predomínio da ordem Perciformes, tanto em relação à riqueza, quanto em termos de densidade, e esse padrão foi semelhante entre as campanhas anteriores. Os resultados apontam para uma composição específica com baixa diversidade e com distribuição igualitária na maioria das amostras.

A análise das amostras de sedimento mostrou que a fração granulométrica predominante foi areia muito grossa nas estações do entorno da plataforma, areia fina e muito fina nas estações mais costeiras, com aumento da contribuição de silte a partir das estações intermediárias e, principalmente, nas estações mais profundas do gasoduto. O diagrama de Folk indicou que a maioria das amostras do entorno da plataforma foram classificadas como areia lamosa-cascalhenta, enquanto a maioria das amostras do gasoduto foram classificadas como areia lamosa ligeiramente cascalhenta. Nota-se menor ocorrência de cascalho nas amostras do gasoduto e maiores teores de lama nas estações profundas do gasoduto e entorno da plataforma. As amostras foram majoritariamente classificadas como pobremente a muito pobremente selecionadas, devido a ocorrência conjunta de altos teores de areia média, areia fina, areia muito fina e silte grosso nas estações do gasoduto e de areia muito grossa e areia média nas estações do entorno da plataforma, sem dominância de uma classe específica. A maioria das estações no entorno da plataforma foi classificada como aproximadamente simétrica a assimetria muito positiva, refletindo maior tendência das amostras de apresentar sedimentos mais grosseiros em relação à média. Já a maioria das estações do gasoduto foram, principalmente, classificadas como negativa a muito negativa, refletindo tendência a sedimentos mais finos que a média. A curtose platicúrtica nas estações da plataforma indicam características de um ambiente de deposição, enquanto a região ao longo do gasoduto, com amostras leptocúrticas na maioria dos locais amostrados, demonstra maior dinamismo e diversidade de ambientes. Os valores de carbonato indicaram taxas baixas em todas as estações ($\text{CaCO}_3 < 30\%$), com sedimentos sendo classificados como litoclásticos ao longo de toda a área.

As concentrações de COT e MOT foram relativamente superiores aos valores encontrados na maioria das campanhas anteriores. Os valores de nitrogênio, fósforo e enxofre foram inferiores em relação a maioria das campanhas anteriores. De maneira geral, foram verificadas concentrações crescentes de COT e MOT entre região costeira e área da plataforma e maiores concentrações de MOT na

região mais profunda do gasoduto, em associação com os maiores teores de sedimentos finos verificados nessa porção do gasoduto. Para o nitrogênio e fósforo total não foi observado um padrão espacial claro.

Foi verificado que, apesar das flutuações das concentrações de metais observadas ao longo das campanhas, há estabilidade nas proporções dos diversos elementos em relação ao alumínio entre a primeira e a atual campanha de monitoramento, indicando que todos os elementos estariam sujeitos aos mesmos processos naturais de deposição e remobilização atuantes na área. A única exceção, um enriquecimento pequeno verificado para o cádmio, ocorreu na estação MLZ_D_7R, que sempre apresentou maiores concentrações de todos os metais dado seu posicionamento sobre uma feição de lama que acarreta maior teor de sedimento fino. Todos os resultados estiveram em conformidade com os valores estabelecidos por TEL e PEL, tanto da tabela canadense quanto da americana, com exceção de quatro resultados de arsênio situados entre estes dois limites, uma região de incerteza a respeito dos efeitos das concentrações observadas sobre a biota. Conforme sugerem os resultados do PCR-BS, estas quatro concentrações, no entanto, estariam ligadas ao bolsão de lama que recobre a porção sul da borda da plataforma continental da BS, tendo origem natural. Ademais, as próprias agências ambientais que orientam a utilização de TEL e PEL recomendam cautela na interpretação destes resultados, uma vez que os limites não devem ser usados de forma determinística em virtude da complexidade dos ambientes e da possibilidade de variações locais não inicialmente mapeadas pelos dados que subsidiaram a formulação dos indicadores TEL e PEL. Assim, não há indicativos de que as concentrações verificadas sejam decorrentes da atividade e nem que acarretem efeitos adversos à biota. O índice de qualidade do sedimento apresentou valores elevados ($SeQ_i = 100,00$) na maioria das estações, com exceção daquelas onde o arsênio ultrapassou TEL, onde SeQ_i variou entre 84 e 88, mantendo-se, portanto, também elevado.

Não foi diagnosticada presença de HPA's, HTP's, MCNR e n-alcanos nas amostras de sedimento analisadas, não havendo, portanto, indícios de contaminação por petróleo. Assim, conclui-se que os sedimentos na região apresentam boa qualidade ambiental.

Foram encontrados organismos pertencentes a 13 filos da macrofauna bentônica: Annelida, Arthropoda, Brachiopoda, Echinodermata, Mollusca, Nemerta, Sipuncula, Chordata, Cnidaria, Porifera, Priapulida, Platyhelminthes e Kinorhyncha, sendo que a maioria desses filos foi registrada nas campanhas anteriores do monitoramento da atividade de Merluza. O filo com maior número de taxa e maiores valores de densidade foi Annelida.

Os indicadores ecológicos dos organismos indicam uma distribuição igualitária entre as abundâncias das espécies dessa comunidade, e com alta diversidade. A estação MLZ_D_1REP apresentou o menor valor de riqueza média, a estação MLZ_D_7R apresentou a menor densidade média, enquanto a diversidade e a equitabilidade tenderam a apresentar menores valores nas estações mais costeiras do duto, mas também em MLZ_10 e MLZ_D_8R.

A comunidade bentônica demonstrou diferenças significativas entre as campanhas do projeto para todos os indicadores ecológicos analisados, com diferenças mais frequentes entre os blocos formados, principalmente pelas campanhas C3 a C6 e C11 a C14, possível resultado de influências das mudanças de laboratórios, entre a terceira e a quarta, entre a sexta e a sétima e entre a décima primeira e décima segunda campanhas, e da identificação e contabilização de conchas sem conteúdo mole durante as três primeiras campanhas. A atual campanha encontrou diferenças significativas entre as estações para todos os indicadores ecológicos avaliados.

As análises de agrupamento através de *Cluster* e de ordenação multidimensional (MDS) para a macrofauna indicaram que as estações de amostragem possuem média a alta similaridade, variando entre 58 e 97%, sendo que as estações do entorno da plataforma apresentaram maiores similaridades entre si. As estações MLZ_7 e MLZ_D_5R foram as mais similares.

Na análise integrada do atual monitoramento ambiental, constatou-se que a variação das amostras do ambiente pelágico, em relação às características ambientais, foi influenciada, principalmente, pelas concentrações de COT.

Considerando-se a variação ambiental e biológica da comunidade fitoplanctônica e suas correlações nas estações amostrais MLZ_M1000 e MLZ_J1002, foram identificadas duas correlações negativas significativas entre densidade fitoplanctônica e salinidade e oxigênio dissolvido e uma correlação

positiva significativa entre densidade fitoplanctônica e temperatura. Além disso, quando se observou a disposição das amostras em relação às características ambientais e sua relação com as características biológicas, através da ACP, foi observada, principalmente, a separação das amostras MLZ_M1000 (ACTC e TC) e MLZ_J1002_(TC), apresentando as maiores concentrações de MPS, tendendo a apresentar menores valores de diversidade e densidade fitoplanctônica, em comparação às demais amostras. Através do cluster e MDS, observou-se maior proximidade entre as amostras MLZ_M1000_TC, MLZ_M1000_ABTC, MLZ_J1002_SUP e MLZ_J1002_ACTC que compartilharam 84,6% de similaridade entre si.

Em relação à comunidade zooplanctônica e ictioplanctônica, a estação MLZ_J1002 tendeu a apresentar maior densidade, diversidade, riqueza e equitabilidade, exceto a equitabilidade ictioplanctônica que foi maior em MLZ_M1000. Os maiores valores dos índices ecológicos em MLZ_J1002 ocorreram juntamente com maior temperatura e maior concentração de MPS e de COT.

Para o ambiente bentônico, observa-se que as amostras do entorno da plataforma estiveram positivamente correlacionadas com maiores teores de grânulos, AMG e AG e maiores concentrações de matéria orgânica (MOT e COT), juntamente com tendência a maiores valores nos índices ecológicos da comunidade bentônica de densidade, riqueza e diversidade, ocorrendo o inverso com as amostras do gasoduto, que foram subdivididas de acordo com as maiores contribuições de AF e AMF (estações mais costeiras), ou maiores contribuições de silte e argila (estações mais profundas). As amostras do entorno da plataforma também tenderam a apresentar maiores concentrações de metais e dos índices ecológicos de diversidade e equitabilidade bentônica, principalmente, sendo que as altas concentrações de metais também foram notáveis nas estações mais profundas do gasoduto. Nota-se maior variabilidade entre os valores dos parâmetros ambientais, de metais e biológicos observados nas estações do gasoduto, em comparação à menor variabilidade desses parâmetros nas amostras do entorno da plataforma, que apresentaram uma distribuição mais agrupada, em relação a uma distribuição mais dispersa das amostras do gasoduto e que atravessam diferentes regiões da plataforma continental. A partir das ACPs e das análises de ordenação, verificou-se também que a distribuição dos parâmetros

avaliados no sedimento, tanto granulometria quanto os componentes orgânicos e inorgânicos, é governada pelos mesmos aspectos ambientais, relacionados a distância da costa e profundidade das estações, tais como aportes continentais, regime hidrodinâmico, nível das ondas etc.

A partir dos resultados obtidos nesta campanha, foi possível concluir que as variações verificadas em relação às campanhas anteriores não podem ser distinguidas de variações naturais e esperadas para a área, de modo que não é possível associar as condições ambientais atuais da região do entorno do empreendimento a possíveis efeitos decorrentes da atividade, finalizada em março de 2020, com a hibernação da plataforma que, desde então, interrompeu a produção de condensado e não mais produz e nem descarta água produzida. Para a água, não foram observadas concentrações dos parâmetros acima do limite da legislação. Para o sedimento, constatou-se padrões de organização dos dados que indicam que a distribuição dos metais ao longo da área é dirigida pelos mesmos aspectos ambientais que governam a distribuição da granulometria e dos componentes orgânicos. Também não foram verificadas alterações biológicas indicativas de danos às comunidades, evidenciando que as variações físico-químicas identificadas não foram capazes de perturbá-las.

VIII - BIBLIOGRAFIA

ABBOTT, R. T. 1974. **American Seashells**. 2nd ed. [viii] + 663 pp., 24 pls. Van Nostrand Reinhold Co., New York.

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

AIDAR, E. et al. **Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba SP**. Publicação esp. Inst. Oceanogr., São Paulo, v. 10, p. 9-13. 1993.

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

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

AMARAL, A. C. Z.; 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. 1996. **ANNELIDA POLYCHAETA - Características, Glossário e Chaves para Famílias e Gêneros da Costa Brasileira**. Ed. UNICAMP, Campinas, SP, 124 p.

AMARAL, A.C.Z.; NALLIN, S.A.H.; STEINER, T.M.; FORRONI, T. O. & GOMES, D. F. 2006-2012. **Catálogo das espécies de Annelida Polychaeta do Brasil**.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel dês analyses chimiques em milieu Marin**. 1 ère Ed. Brest Cedex, Centre National pour l'Exploitation dês Océans (CNEXO), 1983, 395p.

ARAÚJO, H.; MONTÚ, M. **Novo registro de *Temora turbinata* (Dana, 1949) (Copepoda, Crustacea) para águas atlânticas**. Nauplius, Rio Grande, v. 1, p. 89-90, 1993.

AUDRY, S. et al. **Fifty-year sedimentary record of heavy-metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in Lot River reservoirs (France)**. Environ. Pollut., v. 132, p. 413-426, 2004.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Brookman. 2002.

BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlântico sudoccidental**. Madrid: Ministerio de Agricultura pesca y alimentación. 1988.

BARBOSA, J. E. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos na escala de tempo (nictimeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido nordestino**. 2002. Universidade Federal de São Carlos, 2002.

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

BARROS, L. C. et al. **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.

BASSANI, C. et al. **Plâncton do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro (21°00' a 23°30'S): análise e síntese do conhecimento**, p.99-120. In: SILVA S.H.G. & LAVRADO H.P. (Eds), Ecologia dos Ambientes Costeiros do Estado do Rio de Janeiro. Vol.2. Série Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, 1999.

BEAUGRAND, G., BRANDER, K.M., LINDLEY, J.A., SOUISSI, S., REID, P.C., 2003. **Plankton effect on cod recruitment in the North Sea**. Nature 426, 661–664.

BESSER, J. M. et al. **Biomonitoring of lead, zinc, and cadmium in streams draining lead-mining and nonmining areas, southeast Missouri, USA**. Environ. Monit. Assess. Dordrecht, v. 129, n. 1-3, p. 227-241, 2007.

BJÖRNBERG, T. K. S. **Copepoda**. In: BOLTOVSKOY, D. (Org.). Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplancton Marino. [S.l.]: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, 2000. p. 587-679.

BLOTT, S. J.; PYE, K. **GRADISTAT**: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surface Processes and Landforms 26, 1237-1248, 2001.

BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. Springer Science+Business Media, 306p, 2011.

BOLD, H. C.; WYNNE, M. J. **Introduction to the algae**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. p. 720

BOLTOVSKOY, E. **Atlas del zooplancton del atlantico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplankton marino**. 1981, pp 760-791.

BONECKER, A. C. T.; BONECKER, S. L. & BASSANI, C. **Plâncton marinho**. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 104-125.

BONECKER, A. C. T. et al. **Plâncton marinho**. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 104-125.

BONECKER, A. C. T. et al. **Ordem Stomiiformes**. In *Catálogo dos estágios iniciais de desenvolvimento dos peixes da bacia de Campos* [online]. Curitiba: Sociedade Brasileira de Zoologia, 2014, pp. 34-69. *Zoologia: guias e manuais de identificação series*. ISBN 978-85-98203-10-2. Available from SciELO Books.

BONECKER, A. C. T. & CASTRO, M. S. (Eds.). 2006. **Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. 1ª. edição. Rio de Janeiro: Museu Nacional (Série Livros no. 19). 214 p.

BONECKER, A. C. T.; KATSURAGAWA, M.; CASTRO, M.S.; GOMES, E.A.P.; NAMIKI, C.A. P; ZANI-TEIXEIRA, M. L. 2012. **Larval fish of the Campos Basin, southeastern Brazil**. *Check List*, [S.l.], v. 8, n. 6, p. 1280-1291.

BONECKER, A. C. T., NAMIKI, C.A. P.; CASTRO, M.S.; CAMPOS, P. N. **Catálogo dos estágios iniciais de desenvolvimento dos peixes da bacia de Campos** [online]. Curitiba: Sociedade Brasileira de Zoologia, 2014, 295 p. *Zoologia: guias e manuais de identificação series*. ISBN 978-85-98203-10-2.

BOULOUBASSI, I. **Aspects de labiogéochimie des hydrocarbures non aromatiques et aromatiques dans la colonne d'eau et les sédiments Du milieu côtier: cas du delta du Rhône**. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, France. 1990, 344 p.

BOULOUBASSI, I.; SALIOT, A. **Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbons markers (NAH, LAB, PAH)**. Oceanologica Acta, 16(2): 145-161. 1993.

BOYD, C. E. **Water Quality in Pond Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, AL. 1990, p. 442.

BOYD, C. E. **Manejo da qualidade da água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho**. Associação Brasileira de Criadores de Camarão – ABCC. Recife, PE. 2001, p. 157.

BRAGA, E. S.; NIENCHESKI, L. F. H. **Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS)**. In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI C. L. D. B. & MADUREIRA, L. S. P. (Eds). O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil, São Paulo. EDUSP, 2006, p. 161-218.

BRANCO, L. H. Z. e al. **Biodiversidade e considerações biogeográficas das Cyanobacteria de uma área de manguezal do estado de Pernambuco, Brasil**. Acta Botânica Brasílica, v. 17, p. 585-596, 2003.

BRANDINI, F. P. et al. **Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisão bibliográfica**. MMA, CIRM, FEMAR. 1997, 196 p.

BRANDINI, F. P., TURA, P. M. & SANTOS, P. P. G. M. 2018. Ecosystem responses to biogeochemical fronts in the South Brazil Bight. **Progress in Oceanography**, 164, 52–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.04.012>

BRASIL, A. C. S. et al. **Annelida - Polychaeta de substrato não consolidado. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande.** Brasília: Interciência, 2007. p. 237-252.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357**, de 25 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União nº 053, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 393**, de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União nº 153, Brasília, DF, 09 ago. 2007. Seção 1, p. 72-73.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 454**, de 08 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, Brasília, DF, 08 nov. 2012. Seção 1, p. 66.

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

BREMNER, J., 2005. **Assessing Ecological Functioning in marine Benthic Communities** (Doctoral dissertation). University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.11.178>.

BUCHMANN, M. F. NOAA **Screening Quick Reference Tables**, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pp. 2008.

BYRNE, G. J. et al. **Observations of the stratospheric conductivity and its variation at three latitudes**. Journal of Geophysical Research 93(D4): doi: 10.1029/88JD01635. issn: 0148-0227. 1988.

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

CASTRO, N. O.; MOSER, G. A. **Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais**. Oecologia Australis, v. 16, n. 2, p. 235-264, 2012.

CASTRO FILHO, B. M. DE; MIRANDA, L. B. **Physical oceanography of the Western atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S**. Coastal segment (4,W) In: ROBINSON, A. R. & BRINK, K.H. (Eds). The Sea: The global coastal ocean – Regional studies and syntheses. Vol. 11. John Wiley & Sons. 1998, p. 209-251.

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

CENPES/PEDS/AMA. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico**. 2013.

CENPES/PEDS/AMA. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico**. 2019.

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.

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

CETESB. **Variáveis de Qualidade de Águas**. 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 08 jul. 2008.

CHEN, H.J., QI, Y.P., LIU, G.X., 2011. **Spatial and temporal variations of macro- and mesozooplankton community in the Huanghai Sea (Yellow Sea) and East China Sea in summer and winter**. Acta Oceanol. Sin. 30, 84–95.

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

CHIBA, WAC; PASSERINI, MD; TUNDISI, JG. **Estudo da contaminação por metal em macroinvertebrados bentônicos em uma sub-bacia do sudeste do Brasil**. Braz. J. Biol., São Carlos, v. 71, n. 2, May 2011. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151969842011000300008&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 14 Dec. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842011000300008>.

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

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

COELHO-BOTELHO, M. J. et al. **Aspectos do zooplâncton da baía de Sepetiba (R), Brasil**. Oecologia brasiliensis, v. 7, p. 1-33, 1999.

COUTINHO, R.; ZALNOM, I. R. **Bentos de Costões Rochosos**. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). Biologia Marinha. Rio de Janeiro: Interciências, 2002. p. 281-298.

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

CUPP, E. E. 1943. **Marine plankton diatom of the West coast of North America**. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Berkeley, CA: Univ. Calif. techn. ser., v. 6, no. 1, 238p.

CUSHING, D. H. **Marine ecology and fisheries**. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 1977, 278 p.

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.

DIAS, G. T. M.; FERRAZ, C. B. **SAG - Sistema de Análise Granulométrica**. Manual do Usuário. Publicação interna do Departamento de Geologia-LAGEMAR/UFF, 2004. Disponível em: <<http://www.igeo.uff.br>>.

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

DODSON, A. N.; THOMAS, W. H. **Reverse filtration**. In Sournia, A. (ed.), Phytoplankton Manual, Monographs on Oceanographic Methodology 6. UNESCO, Paris, 1978, pp. 104-107.

DOMINGUEZ, J. M. L., SILVA, R. P., NUNES, A. S. & FREIRE, A. F. M. 2013. The narrow, shallow, low-accommodation shelf of central Brazil: Sedimentology, evolution, and human uses. **Geomorphology**, 203, 46-59. DOI:10.1016/j.geomorph.2013.07.004.

DUGDALE, R. C.; GOERING, J. J. **Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary production**. Limnol Oceanogr 12:199-206. 1967.

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

EKAU, W.; KNOPPERS, B. **An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf**. In: Archive of Fishery and Marine Research, 47 (2/3): 113-125. 1999.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Embrapa, 1997.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Guilherme Kangussú Donagema et al.(orgs.). Dados eletrônicos. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 132).

ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; BJORNBERG, T. K. S. **Conhecimento atual sobre o comportamento alimentar de copépodos calanoida em ambientes marinhos**. Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE, Recife, 28(1):11-20. 2000.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro. Interciência/ FINEP. 1988, 573p.

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

ESTEVES, F. A.; LEAL, J. J. F.; CALLISTO, M. Comunidade Bentônica. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 581-607.

ESTEVES, F.A.; SANTOS, A.M. 2011. **Propriedades físicas e químicas da água e sua importância limnológica**. In: Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência.

ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade Fitoplanctônica. In: ESTEVES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 375-445.

ESTEVES, F. DE A. et al. Comunidade Zooplanctônica. In: ESTEVES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. p. 523-580.

FAHAY, M. P. **Early Stages of Fishes in the Western North Atlantic Ocean**. Davis Strait, Southern Greenland and Flemish Cap to Cape Hatteras. 2007. 1696 p.

FALKOWSKI, P. G. et al. **Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean**. Nature, London, v. 352, p. 55-58, 2001.

FARRINGTON, B. W.; TRIPP, B. W. **Hydrocarbons in western North Atlantic surface sediments**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 41: 1627-1641. 1977.

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

FIALA, M.; MACHADO, M. C.; ORIOL, L. **Phytoplankton biomass in the Indian sector of the Ocean during spring**. A comparison with the summer situation. Deep-Sea Research II, Vol. 19, pp. 144-158, 2002.

FIORI, C. S. **Análise da influência da Plataforma de produção de petróleo pargo sobre a macrofauna bêntica de sedimentos não consolidados na Bacia de Campos**, RJ, Brasil. 2000. Universidade Federal Fluminense, 2000.

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.

FONSELIUS, S. H. **Determination of hydrogen sulphide**. In: Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K. (Eds.) *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie Weinheim, New York, 1983, p. 73-80.

FRANCO, B.C., MUELBERT, J.H., MATA, M.M. 2005. **O ictioplâncton da quebra da plataforma da região sul do Brasil e sua relação com as condições ambientais**. Série Documentos Revizee – Score Sul- USP, 2005.

GAETA, S. A.; BRANDINI, F. P. **Produção primária de fitoplâncton entre o Cabro de São Tomé (RJ) e o Chuí**. In: *Ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil*, Rossi-Wongtshowski, C. L. B. & Madureira, L. S. P. (Eds), São Paulo, EDUSP, 2006, pp. 265,358.

GANNON, J. E.; STEMBERGER, R. S. **Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality**. *Trans. American. Microsc. Soc.*, v. 97, n. 1, p. 16-35, 1978.

GARCIA, A.; BRUNE, D. E. **Transport limitation of oxygen in shrimp culture ponds**. *Aquac. Eng.* 10, 269-279. 1991.

GARRISON, T.S. 2011. **Essentials of Oceanography**. 6ed. Brooks/Cole, USA 466pp.

GEFFARD, O. H. et al. **Relationships between contaminant levels in marine sediments and their biological effects upon embryos of oyster *Crassostrea gigas***. Environ. Toxicol. Chem., v. 21, p. 2310-2318, 2002.

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

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

GRAY, J. S.; ELLIOTT, M. **The Ecology of Marine Sediments**. Oxford: Oxford University Press, 2009.

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

GREENPEACE. **Metais Tóxicos**. 2006. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/toxicos/?conteudo..id=818&sub_campanha=0img=15>. Acesso em: 08 nov. 2006.

GRESENS, R. L. **Composition-volume relationships of metasomatism**. Chemical Geology, v. 2, p. 47-55, 1967.

GUIRY, M.D. & GUIRY, G.M. 2021. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway (taxonomic information republished from AlgaeBase with permission of M.D. Guiry). Dinoflagellata. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=146203> on 2021-09-13

HALLEGRAFF, G. M.; ANDERSON, D. M. & CEMBELLA, A. D. **Manual on harmful marine microalgae UNESCO, 1995**. In: Proença L. A., O. & Fernandes, L. F. Introdução de Microalgas no Ambiente Marinho: Impactos Negativos e Fatores Controladores. In: Julieta Silva, J. S.V. e Souza R. C. C. (Orgs.). Água de Lastro e Bioinvasão. Rio de Janeiro: Interciências. Cap. 7, p.77-97.

HARDY, E.; ROBERTSON, B.; KOSTE, E. **About the relationship between the zooplankton and fluctuating water levels of lagoCamaleão, Central Amazonian várzea Lake**. Amazoniana, v. 9, p. 43-52, 1984.

HAYS, G.C., RICHARDSON, A.J., ROBINSON, C., 2005. **Climate change and marine plankton**. Trends Ecol. Evol. 20, 337–344.

HELTSHE, J.F.; FORRESTER, N.E. **Estimating specie richness using the Jakknife procedure**. Biometrics 39(1):1-11. 1983.

HILL, I. A. et al. **Proc. ODP, Sci. Results., 131: College Station, TX (Ocean Drilling Program)**. 1993.

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

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

HUGHES, R.N., HUGHES, D.J., SMITH, I.P. 2013. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review.** Volume 51. CRC Press 386p.

HUTCHINSON, G. E. A. **Treatise on limnology:** introduction to lake biology and the limnoplankton. [S.l.]: New York. John Wiley & Sons. 1967.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Instituto mineiro de gestão de águas, projeto águas de Minas.** 2006. Disponível em: <http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/aminas_param_indi.htm>. Acesso em: 20 fev. 2006.

INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM – ITIS. Disponível em: <<http://www.itis.gov/>>.

JACKSON, D.A. 1993. **Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristic and statistical approaches.** Ecology 74:2204-2214.

JEFFREY, S. W.; MANTOURA, R. F. C.; WRIGHT, S. W. **Phytoplankton pigments in oceanography.** SCOR, UNESCO Publishing Paris. 1997.

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

KENNISH, M. J. **Pollution Impacts on Marine Biotic Communities.** CRC Press, Boca Raton, Florida. ISBN 9780849384288. 1998.

KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J. **Hydrology and phytoplankton community structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil)**. Brazilian Archives of Biology and Technology, 42(2): 381-392. 1999.

KOLESNIKOVAS, C.; OLIVEIRA, de E.; DUARTE, U. **Águas Subterrâneas**, v. 23, n. 0,1, p. 31-44, 2009.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. [S.l.]: Addison Wesley Longman, 1999. p. 620.

KUN, L.; HESHAN I.; XUEABO, H.; YAQIN, H.; ZHONG, L.; JUNHUI, L.; JIANFENG, M.; SHUYI, Z.; LONGSHAN, L.; JIANJUN, W.; JUN, S. 2019; **Functional trait composition and diversity patterns or marine macrobenthos across the Artic Bering Sea**. Ecological Indicators, 102: 673-685.

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.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. **Biological Oceanography: Na Introductions**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Ltd. 1995, pp. 220-233.

LAMBERSON, J.O.; DEWITT, T.H.; SWARTZ, R.C 1992. **Assessment of Sediment Toxicity to Marine Benthos**. In: **Sediment Toxicity Assessment**. Ed. Burton, Allen. CRC press 1st edition 29pg.

LANA, P. C. et al. **O bentos da costa brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar, 1996.

LARSONNEUR, C. **La caryographiedesdépôtsmeublessurleplateau continental français: méthodemisedu points et utiliséeenManche**. Journal Redioceanog, 2: 34-39, 1977.

LEVINTON, J.S. 2009. **Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology**. 3rd ed. New York: Oxford University Press.

LOPES, M. R. et al. **O zooplâncton marinho na região entre o Cabo de São Tome (RJ) e o Chui (RS)**. In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, E. C. L.; MADUREIRA, L. S. P. (Org.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. [S.l.: s.n.], 2006. p. 265-358.

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

LOURENÇO, S. O.; MARQUES-JR, A. N. **Produção primária marinha**. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). Biologia Marinha. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p. 111-153.

MACDONALD, D. D. et al. **Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters**. Ecotoxicology, v. 5, p. 253-278, 1996.

MACEDO, J. A. B. **Águas & águas**. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG. 2007, p. 52.

MACKENZIE, F. T. et al. **C, N, P, S global biogeochemical cycles and modeling of global change**. In: R. Wollast, F. Mackenzie, & L. Chou (Eds.), Interactions of C, N, P, and S biogeochemical cycles and global change, v.4, p. 2-61. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 1993.

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.

MAFALDA JR., P. O. et al. **Distribuição e abundância do ictioplâncton na costa norte da Bahia, Brasil**. Tropical Oceanography, v. 32, n. 1, p. 69-88, 2004.

MAGURRAN, A. E. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell Publishing Limited, London, UK, 2003, 260 p.

MAGURRAN, A.E. **Ecological diversity and its measurement**. Croom Helm, London, UK, 1988, 178p. MAIER, M. H. **Ecologia da bacia do Rio Jacaré-Pepira (47° 55' - 48° 55' W; 22° 30' - 21° 55' S - Brasil)**. Qualidade da água do Rio Principal. Ciência & Cultura, 39 (2): 164-185. 1987.

MAHIQUES, M. M., TESSLER, M. G., CIOTTI, A. M., SILVEIRA, I. C. A., SOUSA, S. H. M., FIGUEIRA, R. C. L., TASSINARI, C. C. G., FURTADO, V. V. & PASSOS, R. F. 2004. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Continental Shelf Research**, 24, 1685-1697. DOI:10.1016/j.csr.2004.05.013

MAINIER, F. B.; VIOLA, L. D. M. **O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente**. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT. 2005.

MANN, K. H.; LAZIER, J. R. N. **Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans**. Boston: Blackwell Publishing. 2006

MASSOUD, M. S. et al. **Bottom sediments of the Arabian Gulf - II. TPH and TOC contents as indicators of oil pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil slick**. Environ. Poll., v. 93, n. 3, p. 271-284, 1996.

MAZZERA, D. et al. **Quantification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil at Mcmurdo Station, Antarctica**. The Science of Total Environment, v. 65, pp. 299, 1999.

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

MCEWEN, G. F. et al. **A statistical analysis of the performance of the folsom plankton sample splitter, based upon test observations**. Meteorology and Atmospheric Physics, 7, 502-527. 1954.

MEDEIROS, C. et al. **Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian waters**. Arch. Fish. Mar. Res., 47 (2/3): 133-151. 1999.

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.

MEYERS, P. A.; BRASSEL, S. C.; HUC, A. Y. **Geochemistry of organic carbon in Sourn Atlantic sediments from Deep Sea Drilling Project leg**. 1982. Disponível em: <http://www.deepseadrilling.org/75/volume/dsdp75_29.pdf>. Acesso em: 17 set. 2013.

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

MITRA, A., CASTELLANI, C., GENTLEMAN, W.C., JÓNASDÓTTIR, S.H., FLYNN, K.J., BODE, A., HALSBAND, C., KUHN, P., LICANDRO, P., AGERSTED, M.D., CALBET, A., LINDEQUE, P.K., KOPPELMANN, R., MØLLER, E.F., GISLASON, A., NIELSEN, T.G., ST. JOHN, M., 2014. **Bridging the gap between marine biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link**. Prog. Oceanogr. 129, 176–199.

MOITA, M. T. C. J. **Estrutura, variabilidade e dinâmica do fitoplâncton na costa de Portugal continental**. Faculdade de ciências da Universidade de Lisboa, 2001.

MOSER, H. G. (ed.). **Ontogeny and systematics of fishes**. American Society of Ichthyologists and Herpetologists ed., Special publication Number 1: 760, pp. 1984.

MOSER, G.; GALVÃO, G. S. **Biological and oceanographic upwelling indicators at Cabo Frio (RJ)**. Revista Brasileira de Oceanografia, 45 (1/2):11-23. 1997.

MOZETO, A.A. 2004. **Sedimentos e particulados lacustres: amostragens e análises biogeoquímicas**. In: BICUDO, C.E.M.; BICUDO, D.C. (Ed.). Amostragem em limnologia. São Carlos: Rima. p. 295–320

NAKATANI, K. et al. **Ovos e larvas de peixes de água doce: Desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá, EDUEM, 2001, 378p.

NESTLERODE, J.; DIAZ, R. J. **Effects of periodic environmental hypoxia on predation of a tethered polychaete, Glycera americana: implications for trophic dynamics**. Marine Ecology Progress Series, v. 172, p. 185-195, 1998.

NEUMANN-LEITÃO, S., MELO, P.A.M.C., SCHWAMBORN, R., DIAZ, X.F.G., FIGUEIREDO, L.G.P., SILVA, A.P., CAMPELO, R.P.S., DE MELO JÚNIOR, M., MELO, N.F.A.C., COSTA, A.E.S.F., ARAÚJO, M., VELEDA, D.R.A., MOURA, R.L., THOMPSON, F., 2018. **Zooplankton from a reef system under the influence of the Amazon River plume**. Front. Microbiol. 9, 35.

NEVEUX, J. et al. **Green photosynthetic bacteria associated with the deep chlorophyll maximum in the Sargasso Sea**. CR Acad Sci (Paris). 1989.

NIENCHESKI, L. F. H. et al. **Nutrients and suspended matter behaviour in the Patos Lagoon Estuary (Brazil)**. In: PERILLO, G.M.E., PICCOLO, M.C., PINO-QUIVIRA, M. Estuaries of South America. Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, p. 67-81.

NOGUEIRA, C. R. et al. **Studies on zooplankton and ichthyoplankton communities off the Rio de Janeiro Coastline**. Oecologia brasiliensis, v. 7, p. 73-98, 1999.

NUNES, R. C. **Posicionamento filogenético de Chaetognatha baseado em dados morfológicos**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, 2012.

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

PELLENS, I. C. et al. **Resultados Preliminares da Distribuição de Fósforo e suas formas nos sedimentos da Plataforma Continental do Estado de Santa Catarina**. CTTMar - UNIVALI. 1998.

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

PETROBRAS. **Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos (PCR-BS) - Volume 5 – Sistema Pelágico da Bacia de Santos**. 2022(a).
https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/documents/d/comunica-bacia-de-santos/pcr-bs_volume_5_sistema_pelagico_da_bacia_de_santos?download=true

PETROBRAS. **Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos (PCR-BS) – Volume 4, Sistema Bentônico da Bacia de Santos**. 2022(b).
https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/documents/d/comunica-bacia-de-santos/pcr-bs_volume_4_sistema_bentonico_da_bacia_de_santos?download=true

PETROBRAS. **Relatório de análise de dados meteoceanográficos para PMLZ-1 do período de 07 a 08 de dezembro de 2023**. 4 p., 2023.

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

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 1ª Campanha (Janeiro/2010). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2010.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 2ª Campanha (Dezembro/2010). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2012.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 3ª Campanha (Dezembro/2011). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2013.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 4ª Campanha (Janeiro/2013). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2014.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 5ª Campanha (Janeiro e Fevereiro/2014). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2015.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 6ª Campanha (Janeiro e Fevereiro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da

Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2016.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 7ª Campanha (Novembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2017.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 8ª Campanha (Novembro/2016). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2018.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 9ª Campanha (Dezembro/2017). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2019a.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 10ª Campanha (Agosto/2019). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2019b.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 11ª Campanha (Dezembro/2020). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2020.

PETROBRAS/BIOCONSULT. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 12ª Campanha (Março/2022). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2022.

PETROBRAS/BIOCONSULT. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 13ª Campanha (Novembro/2021). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos. 2023.

PETROBRAS/FURGO. **Relatório de Avaliação Ambiental**. Atividade de Produção e Escoamento de Gás e Condensado no Campo de Merluza, na Bacia de Santos, 2007.

PETROBRAS/HABTEC. **Relatório Final de Caracterização dos Blocos BMS-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 Sídón, Bacia de Santos, 2010.

PETROBRAS/OCEANPACT. **Relatório Técnico**. 14ª Campanha de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Produção do Sistema De Produção e Escoamento de Gás Natural e Condensado no Campo de Merluza, Bacia de Santos. 2023

PHILIPPI, JR. A. et al. **Gestão ambiental municipal**: subsídios para estruturação de sistema municipal de meio ambiente. v. 4. Salvador: CRA – Centro de Recursos Ambientais. 2004?

PIELOU, E. C. **Mathematical Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1977. p. 385.

PINTO-COELHO, R. M.; COELHO, M. M.; ESPÍRITO-SANTO, M. M. & CORNELISSEN, T. G. 1999. **Efeitos da eutrofização na estrutura da comunidade planctônica na lagoa da Pampulha**. In: Henry, R. ed. Ecologia de

reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu, FUNDBIO/FAPESP. p. 553-572.

PIR2/TRANSPETRO. **Relatório de Impacto Ambiental**. Linha de Transferência de Água de Formação e Emissário para Escoamento de Efluentes Industriais Tratados do Terminal da Baía de Ilha Grande (TEBIG), Angra dos Reis, RJ. [S.l: s.n.]. 2009

PIRES-VANIN, A.M.S.; MUNIZ, P.; DE LÉO, F.C. **Benthic macrofauna structure in the northeast área of Todosos Santos Bay, Bahia State, Brazil**: patterns of spatial and seasonal distribution. *Brazilian Journal of Oceanography*, 59 (1): 24-42. 2011.

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

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

PRAHL, F. G. et al. **Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin**. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 3035–3048, 1994.

RAND, G. M.; PETROCELLI, S. R. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1985.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p. 906

RÉ, P. **Ecologia da postura e da fase planctónica de Sardinapilchardus (Walbaum, 1792) na região central da costa portuguesa.** Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais, v. 23, p. 5-81, 1986.

RÉ, P. **Ictioplâncton da região central da costa Portuguesa e do estuário do Tejo. Ecologia da postura e da fase planctónica de Sardinapilchardus (Walbaum, 1792) e de Engraulis encrasicolus (Linné, 1758).** 1984. Universidade de Lisboa, 1984.

REBELLO, A. L. et al. **Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara.** 1988, [S.l: s.n.], 1988. p. 419-430.

REISE, K. **Tidal flat ecology: an experimental approach to species interactions.** Berlin: Springer-Verlag, 1985. p. 191

REYNOLDS, C.S. 2006. **Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation).** Cambridge, Cambridge University Press.

RICHA, R., SINHA, P. AND HÄDER, D-P. 2014. **Phytoplankton productivity in a changing Global Climate.** In Sebatia, M. T. **Phytoplankton: Biology, Classification and Environmental Impacts.** New York: Nova Science Publishers

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

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados.** 7. ed. São Paulo: Roca, 2005. p. 1145.

RYTHER, J. H.; DUNSTAN, W. M. **Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment.** Science, 171, p.1008-1013. 1971.

SANTOS, F. N. et al. **Mollusca de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência, 2007. p. 207-236.

SANTOS FILHO, J. R. DOS, FIGUEIREDO, A. G., CARNEIRO, J. C., DIAS, G. T. de M. & Ramalho, A. S. 2022. Mesophotic bioclastics and bioconstructions at the continental shelf of Santos Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, 442, 106294. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2022.106294>

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

SEREJO, C. S. et al. **Crustacea de substrato não consolidado**. Biodiversidade Marinha da Baía da Ilha Grande. Brasília: Interciência, 2007. p. 253-270.

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

SHELL/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2004. **On analytical solutions for liquid-filled non-shallow conical shell assemblies**. Journal of the South African Institution of Civil Engineering, 46(3):10–15, Paper 575.

SHI, Y.Q., ZUO, T., YUAN, W., SUN, J.Q., & WANG, J. 2018. **Spatial variation in zooplankton communities in relation to key environmental factors in the Yellow Sea and East China Sea during winter**. Continental Shelf Research. doi:10.1016/j.csr.2018.10.004.

SILVEIRA, I. C. A. DA et al. A. 2000. **Corrente do Brasil ao largo da Costa leste Brasileira**. Rev. Bras. Oceanogr. v.48, n. 2., p. 171-183.

SIMONEIT, B. R. T. & MAZUREK, M. A. 1982. **Organic matter in the troposphere II: Natural background of biogenic lipid matter in aerosols over the rural western United States**. Atmospheric Environment, 16: 2139-2159.

SIMONEIT, B. R. T. 1984. **Organic matter of the troposphere III**: Characterization and sources of petroleum and pyrogenic residues in aerosols over the western United States. *Atmospheric Environment*, 18: 51-67.

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

SKURIHIN, I. M. 1989. **Methods of Analysis for Toxic Elements in Food Products**. 1. Mineralization Methods to determine heavy metal and arsenic According to the URSS Standart. *Journal Association of Analytical Chemistry*, 72: 294.

SMETI, H., PAGANO, M., MENKES, C., LEBOURGES-DHAUSSY, A., HUNT, B.P.V., ALLAIN, V., RODIER, M., DE BOISSIEU, F., KESTENARE, E. & SAMMARI, C. 2015. **Spatial and temporal variability of zooplankton off New Caledonia (Southwestern Pacific) from acoustics and net measurements**. *J. Geophys. Res.: Oceans* 120, 2676–2700

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

SOUZA-FILHO, J.F. & SOUZA-FILHO, J.S. 2021. **Comunidades Bentônicas Marinhas**: conceitos básicos com ênfase no Nordeste do Brasil. In: *Ciências do Mar: dos oceanos do mundo ao Nordeste do Brasil*. Ed. Viana, D.L; Oliveira, J.E.L; Hazin, F.H.V.; de Souza, M.A.C.. 1ed. vol.2 Olinda, PE: Via Design Publicações.

SOUZA, B. D. 2008. **Estrutura, dinâmica e produtividade primária do fitoplâncton como base para estimativa do estado trófico de uma lagoa costeira no estado do Espírito Santo (lagoa Mãe-Bá, Guarapari)**. Dissertação de Mestrado. Centro de Biociências, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ., 141p.

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

SOURNIA, A.; CHRÉTIENNOT-DINET, M. J. & RICARD, M. 1991. **Marine phytoplankton: how many species in the world ocean?** Journal of Plankton Research, 13:1093-99.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22^a Ed. Centennial Edition. 2005.

STARK, J. S. 1998. **Effects of copper on macrobenthic assemblages in soft-sediments: a laboratory experimental study**. Ecotoxicology, 7: 161-173.

STEINBERG, D. K. & LANDRY, M. R. 2017. **Zooplankton and the Ocean Carbon Cycle**. Annual Review of Marine Science 9:413-444 DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015924.

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

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

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

TAYLOR, A.H., ALLEN, J.I. & CLARK, P.A. 2002. **Extraction of a weak climatic signal by an ecosystem**. Nature 416: 629–632.

TENENBAUM, D. R. et al. 2004. **Phytoplankton Atlas of Sepetiba Bay**, Rio de Janeiro, Brazil. GloBallast Monography, Série n.16 IMO London.

THURMAN, H. V. & BURTON, E. A. 2001. **Introductory oceanography**. 9th Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 544p.

TOMAS, C.R. 1997. **Identifying marine phytoplankton**. London: Acad. Press, 858 p.

TOMMASI, L. R. 1994. **Programa de monitoramento ambiental oceânico da Bacia de Campos, RJ** (Relatório Final). Fundespa, Geomap, Cenpes-Petrobras, São Paulo, 169pp.

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

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

_____ **Method 3510C**. Separatory funnel liquid-liquid extraction.

_____ **Method 3535A**. Solid-Phase Extraction (SPE).

_____ **Method 3540C**. Soxhlet Extraction.

_____ **Method 3550C**. Ultrasonic extraction.

_____ **Method 5030C.** Purge-and-Trap for Aqueous Samples.

_____ **Method 6010D.** Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).

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

_____ **Method 7474.** Mercury in Sediment and Tissue Samples by Atomic Fluorescence Spectrometry.

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

_____ **Method 8260C.** Volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

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

UTERMÖHL, H. 1958. **Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik.** Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 10:109-122.

VALE, P. Biotoxinas Marinhas. Revista Portuguesa de Ciências Veterinária, p. 3-18, 2004.

VALENTIN, J. L. 1988. **A dinâmica do plâncton na ressurgência de Cabo-Frio - RJ.** Inst. Pesq. Mar. Rio de Janeiro. Coletânea de trabalhos, In: F.P.Brandini (editor). Memórias de III EBP Curitiba.

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

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

VEGA, M. et al. 1998. **Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis**. Water Res., 32, 3581.

VEGA-PÈRES, L. A. 1993. **Estudo do zooplâncton da região de Ubatuba, Estado de São Paulo**. Publicação esp. Inst. Oceanogr. S Paulo. 10:65-84.

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

VENKATESAN, M. I. & KAPLAN, I. R. 1982. **Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the Alaskan outer continental shelf**. Geochimica et Cosmochimica Acta, 46: 2135-2149.

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

VIEIRA, L. M. et al. 2015. **Filo Bryozoa: novas perspectivas no estudo da biodiversidade marinha no Brasil**. Informativo Sociedade Brasileira de Zoologia, Universidade de São Paulo.

VILLAC, M. C. 1990. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: estudo de caso da Baía de Guanabara (RJ, Brasil)**. 1990. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

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

WARWICK, R. M. & CLARKE, K. R. 1993. **Comparing the severity of disturbance: a meta- analysis of marine macrobenthic community data**. Marine Ecology Progress Series, 92: 221-231.

WILLIAN, K.W., MAESTRINI, L. & MAESTRINI, S. 1993. **Measurement of Primary Production from the Molecular to the Global Scale**. ICES. Mar. Sci. Symp., Bergen, 197:1-2.

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

WOOTTON, R. J. 1990. **Ecology of Teleost Fishes**. [S.I.]: Chapman and Hall, p. 404.

WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES – WoRMS. Disponível em: <<http://www.marinespecies.org/>>.

YODER, J. A. et al. 1993. **Anual cycles of phytoplankton chlorophyll concentrations in the global oceans: A satellite view**. Global Biogeochem. Cycles 5: 119-134.

YOUNG, P. S. 1998. Catalogue of crustacea of Brazil. Rio de Janeiro: **Museu Nacional**. Rio de Janeiro: editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998. v. 1. 718 p.

IX - EQUIPE TÉCNICA

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	337746
Responsável pelas Seções	Introdução, Objetivos, Área de estudo, Caracterização da atividade, Atividades de Campo, Atividades de Laboratório, Tratamento dos dados, Análises Estatísticas, Resultados e Discussão Qualidade da Água, Plâncton, Qualidade do Sedimento e Macrofauna Bentônica, Análise integrada, Considerações finais
Assinatura	p/ Mário S. Ximenez Assinado de forma digital por Mário S. Ximenez Dados: 2024.11.26 19:19:39 -03'00'

Profissional	Dr. Mário Sérgio Ximenez
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 12895/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental – IBAMA	204221
Responsável pela (s) seção (ões)	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
Assinatura	Mário S. Ximenez Assinado de forma digital por Mário S. Ximenez Dados: 2024.11.26 19:20:18 -03'00'

Profissional	Dr ^a . Cristina Falcão
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 12654/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA	24023
Responsável pela (s) seção (ões)	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
Assinatura	Cristina Falcão Assinado de forma digital por Cristina Falcão Dados: 2024.11.26 19:21:07 -03'00'

Profissional	Dr ^a . Amanda Guilherme da Silva
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 96676/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA	4926481
Responsável pela (s) seção (ões)	Preposto. Estruturação do Relatório de Resultados, Confecção dos Mapas
Assinatura	Amanda Guilherme Assinado de forma digital por Amanda Guilherme Dados: 2024.11.26 19:21:45 -03'00'

Profissional	Bióloga Leticia Carvalho
Empresa	Bioconsult Ambiental
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 126238/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA	7834000
Responsável pela (s) seção (ões)	Anexos, Formatação e Verificação do relatório
Assinatura	p/ Amanda Guilherme  Assinado de forma digital por Amanda Guilherme Dados: 2024.11.26 19:22:27 -03'00'

X - ANEXOS

Anexo X-1 – Carta de Aceite de Material Biológico

Anexo X-2 Laudos analíticos das amostras físico-químicas

Anexo X-3 – Laudos analíticos das amostras biológicas

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

Anexo X-5 – Resalva Zooplâncton

Anexo X-6 – Análise de enxofre