

**Projeto de Monitoramento Ambiental do
Piloto do Sistema de Produção e Escoamento
de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi,
Bloco BM-S-11, Bacia de Santos**

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

Volume Único

RTAA_PIL-LL_C14_BCA_25042024-07

**Revisão 00
Novembro/2024**



E&P

ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO	23/293
II - OBJETIVO	25/293
II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25/293
III - ÁREA DE ESTUDO	26/293
III.1 - BACIA DE SANTOS – ÁREA DE TUPI	26/293
III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE	28/293
IV - MATERIAL E MÉTODOS	35/293
IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO	35/293
IV.1.1 - Qualidade da Água	39/293
IV.1.2 - Fitoplâncton	43/293
IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton	43/293
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	47/293
IV.2.1 - Qualidade da Água	47/293
IV.2.2 - Fitoplâncton	52/293
IV.2.3 - Zooplâncton	52/293
IV.2.4 - Ictioplâncton	53/293
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS	54/293
IV.3.1 - Qualidade da Água	54/293
IV.3.2 - Plâncton	63/293
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	69/293
IV.4.1 - Qualidade da Água	69/293
IV.4.2 - Biota Aquática	70/293
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA	71/293

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74/293
V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA	74/293
V.1.1 - Temperatura e Salinidade	74/293
V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)	91/293
V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico.....	91/293
V.1.4 - Clorofila-a	106/293
V.1.5 - Nutrientes.....	114/293
V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)	130/293
V.1.7 - Sulfetos	143/293
V.1.8 - Fenóis	147/293
V.1.9 - Hidrocarbonetos.....	148/293
V.1.9.1 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's).....	150/293
V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)	152/293
V.1.10 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX)	157/293
V.2 - PLÂNCTON	158/293
V.2.1 - Fitoplâncton.....	158/293
V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem	160/293
V.2.1.2 - Análise Qualitativa	162/293
V.2.1.3 - Análise Quantitativa.....	165/293
V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton.....	175/293
V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS.....	182/293
V.2.2 - Zooplâncton	185/293
V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem	187/293
V.2.2.2 - Análise Qualitativa	190/293
V.2.2.3 - Análise Quantitativa.....	194/293
V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton.....	203/293
V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS.....	206/293
V.2.3 - Ictioplâncton	208/293
V.2.3.1 - Avaliação da Amostragem	209/293

V.2.3.2 - Análise Qualitativa	212/293
V.2.3.3 - Análise Quantitativa	214/293
V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton	229/293
V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS	232/293
VI - ANÁLISE INTEGRADA.....	235/293
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO.....	235/293
VI.1.1 - Variáveis Físico-Químicas e Clorofila-a.....	235/293
VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico	237/293
VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico- químico	244/293
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	255/293
VIII - BIBLIOGRAFIA.....	259/293
IX - EQUIPE TÉCNICA	284/293
X - ANEXOS.....	287/293

TABELAS E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMAEpro_PMPR_PIL-LL com suas respectivas fases e períodos.	24/293
Tabela III-1 - Concentrações dos parâmetros monitorados na água de produção do FPSO-CAR para o 1º semestre de 2023.	32/293
Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE do FPSO-CAR, para o 1º trimestre de 2023.	33/293
Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton da PMPR_PIL-LL_C14.	38/293
Tabela IV 2 – Profundidades (m) dos estratos amostrados nas coletas de água e fitoplâncton na atual campanha.	39/293
Tabela IV-3 - Volume de água do mar filtrado durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMPR_PIL-LL_C14.	44/293
Quadro IV-1 – Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a PMPR_PIL-LL_C14.	46/293
Tabela IV 4 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, os respectivos limites de quantificação e detecção do método, conforme os parâmetros analisados.	48/293
Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a qualidade da água.	55/293
Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na atual campanha.	59/293
Tabela IV-6 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	63/293
Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota planctônica.	68/293
Tabela V 1 – Valores de temperatura (°C) medidos na atual campanha de monitoramento.	75/293

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V 2 – Salinidade medida nos quatro estratos da atual campanha de monitoramento.	79/293
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos. * = dados não disponíveis.	83/293
Quadro V 1 - Distribuição das massas d'água no PMPR_PIL-LL.	90/293
Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	92/293
Tabela V 5 - Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) medidos na água nos estudos anteriores.	95/293
Tabela V 6 – Valores de pH medidos na atual campanha de monitoramento.	100/293
Tabela V 7 - Valores de pH encontrados na água nos estudos.	102/293
Tabela V-8 – Concentração de clorofila-a (µg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	107/293
Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água em estudos anteriores. nd = não detectado e nq = não quantificado.	111/293
Tabela V-10 - Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/L P) encontrados nos estudos anteriores (nd = não detectado e nq = não quantificado).	120/293
Tabela V 11 – Concentração de silicato (mg/L) observadas na atual campanha de monitoramento.	125/293
Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	132/293
Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. nd = não detectado e nq = não quantificado.	134/293
Tabela V 14 – Concentração de COT (mg/L C) da atual campanha de monitoramento.	138/293
Tabela V 15 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água em estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	143/293

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V 16 - Valores de sulfetos (mg/L S) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	145/293
Tabela V-17 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônicas encontrados na PMPR_PIL-LL.	165/293
Tabela V-18 - Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o fitoplâncton nos estudos anteriores.	166/293
Tabela V-19 - Valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.	194/293
Tabela V 20 - Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o zooplâncton nos estudos anteriores.	195/293
Tabela V-21 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/100m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade ictioplanctônica da atual campanha de monitoramento.	214/293
Tabela V 22 - Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos encontrados para o ictioplâncton nos estudos.	216/293
Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica (densidade, riqueza, diversidade e equitatividade) e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMPR_PIL-LL_C14.	237/293
Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos e variáveis ambientais das comunidades zooplanctônicas e ictioplanctônicas do PMPR_PIL-LL_C14.	245/293

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura III-1 - Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos com a localização do FPSO Cidade Angra dos Reis (FPSO-CAR).	27/293
Figura III-2 – Localização da Área de Tupi, atual campo de Tupi – Bacia de Santos.	28/293
Figura III-3 - Estruturas de fundo e poços interligados ao FPSO Cidade Angra dos Reis, durante a PMPR_PIL-LL_C14.	29/293
Figura III-4 – Volume de Água produzida descartada pelo FPSO-CAR	30/293
Figura III-5 – Volume de efluente sanitário descartado pela FPSO-CAR	31/293
Figura III-6 – Volume de efluente oleoso descartado pela FPSO-CAR.	31/293
Figura IV-1 – Embarcação RSV UP Coral utilizada durante a campanha	35/293
Figura IV-2 – Gráfico com os dados fornecidos pelo ADCP para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton.	37/293
Figura IV-3 – Mapa da malha amostral para coleta de água e plâncton durante a PMPR_PIL-LL_C14.	38/293
Figura IV-4 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água do modelo Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.	41/293
Figura IV-5 – Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMPR_PIL-LL_C14.	42/293
Figura IV-6 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 µm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMPR_PIL-LL_C14.	45/293
Figura I-1 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 µm utilizada durante a PMPR_PIL-LL_C14 para coleta de amostras de ictioplâncton.	45/293
Figura IV 8 – Localização dos FPSOs Cidade de Mangaratiba (DP de Iracema Sul), Cidade de São Paulo (Piloto de Sapinhoá), Cidade de Angra dos Reis (Piloto de Tupi), Cidade de Paraty (Piloto de Tupi NE), Cidade de Saquarema (DP de Tupi Central) e Cidade de Itaguaí (DP de Tupi Iracema +Central).	62/293
Figura V-1 – Variação vertical de temperatura (°C) na atual campanha de monitoramento ambiental.	76/293

FIGURA	PÁG.
Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD na atual campanha de monitoramento.	77/293
Figura V-3 – Variação vertical de salinidade da atual campanha de monitoramento.	80/293
Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.	82/293
Figura V-5 – Diagrama T-S na atual campanha de monitoramento. Em vermelho, limites estabelecidos por Castro et al. (2006). Em preto, limites estabelecidos por Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	86/293
Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'água na atual campanha de monitoramento.	87/293
Figura V 7 – Variação vertical de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.	93/293
Figura V 8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.	94/293
Figura V 9 – Concentrações médias de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	97/293
Figura V 10 – Variação vertical de pH obtidos na atual campanha de monitoramento.	101/293
Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas de PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	105/293
Figura V 12 – Perfis das concentrações de clorofila-a obtidos na atual campanha de monitoramento.	109/293
Figura V-13 - Concentração de clorofila na superfície do mar obtidos por satélites entre os dias 15 e 17 de março de 2023. O círculo em cinza indica a localização do FPSO Cidade de Angra dos Reis.	110/293
Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	114/293

FIGURA	PÁG.
Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	117/293
Figura I-2 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	119/293
Figura V-17 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas no PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	124/293
Figura V 18 – Perfis das concentrações de silicato obtidos na atual campanha de monitoramento.	126/293
Figura V-19 – Concentrações de silicato (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	128/293
Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	130/293
Figura V 21 – Perfis das concentrações de MPS obtidos na atual campanha de monitoramento.	133/293
Figura V 22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	136/293
Figura V 23 – Variação vertical das concentrações de COT (mg/L C) na atual campanha de monitoramento.	140/293
Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas de PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	143/293
Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	147/293

FIGURA	PÁG.
Figura V-26 – Concentrações de HTP (µg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	153/293
Figura V-27 – Concentrações de n-alcanos (µg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	155/293
Figura V-28 – Concentrações de MCNR (µg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	156/293
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.	159/293
Figura I-3 – Taxa de fitoplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMPR_PIL-LL. 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	161/293
Figura V 31 – Riqueza (nº de taxa) fitoplanctônica ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	163/293
Figura V 32 – Box plots representativos de riqueza fitoplanctônicas (número de taxa) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	169/293
Figura V-33 – Box plots representativos dos valores de densidade fitoplanctônicas (ind/L) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	170/293
Figura V-34 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da PMPR_PIL-LL_C14. A barra verde representa a densidade média do grupo ± desvio-padrão	171/293
Figura V-35 – Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	173/293

FIGURA	PÁG.
Figura V-36 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL	174/293
Figura V 37 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) na atual campanha do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).	175/293
Figura V 38 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).	176/293
Figura V 39 – Riqueza fitoplanctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água. B) Riqueza por filo fitoplanctônico. A linha cinza representa a média de todas as amostras e filamentos.	177/293
Figura V-40 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.	178/293
Figura V-41 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a densidade média $\pm$ desvio-padrão.	179/293
Figura V-42 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade dos filamentos fitoplanctônicos; linha cinza representa a média de todas as amostras.	180/293
Figura V-43 – Diversidade e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL..	181/293
Figura V-44 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL.	184/293
Figura V-45 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL.	185/293

FIGURA	PÁG.
Figura V-46 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplânctônica 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).	186/293
Figura V-47 – Taxa de zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.	189/293
Figura V-48 – Riqueza zooplânctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	191/293
Figura V 49 – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplânctônicas (número de taxa) encontradas ao longo das campanhas de monitoramento do PMPR_PIL-LL.	198/293
Figura V-50 – Box plots representativos dos valores de densidade zooplânctônicas (ind/m ³) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	199/293
Figura V-51 – Densidade zooplânctônica (ind/m ³) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média dos filis ± desvio-padrão.	200/293
Figura V-52 – Box plots representativos dos valores de diversidade zooplânctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	201/293
Figura V 53 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade zooplânctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	203/293
Figura V 54 – Riqueza zooplânctônica (nº de taxa) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	204/293
Figura V 55 – Densidade zooplânctônicas (ind/m ³) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	205/293
Figura V-56 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplânctônica da atual campanha de monitoramento.	206/293

FIGURA	PÁG.
Figura V-57 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.	207/293
Figura V-58 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade zooplanctônica na atual campanha de monitoramento	208/293
Figura V-59 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de <i>Trachurus symmetricus</i> . Adaptado de Moser (1984).	209/293
Figura V 60 – Taxa de ictioplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.	211/293
Figura V 61 – Riqueza ictioplanctônica (nº de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	213/293
Figura V-62 – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônicas (número de taxa) OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	219/293
Figura V-63 – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônicas (número de taxa) HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	220/293
Figura V-64 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônica (ind/100 m ³) OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	222/293
Figura V-65 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônica (ind/100 m ³) HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	223/293
Figura V-66 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m ³) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das ordens $\pm$ desvio-padrão.	224/293
Figura V-67 – Box plots representativos da diversidade ictioplanctônica (bits/ind) OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	225/293
Figura V-68 – Box plots representativos da diversidade ictioplanctônica (bits/ind) HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	226/293
Figura V 69 – Box plots representativos da equitabilidade ictioplanctônicas OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	227/293

FIGURA	PÁG.
Figura V 70 – Box plots representativos da equitabilidade ictioplanctônica HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.	228/293
Figura V 71 – Riqueza ictioplanctônica (nº de taxa) da atual campanha de monitoramento ambiental. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	230/293
Figura V-72 – Densidade ictioplanctônicas (ind/100m ³) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	231/293
Figura V-73 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica (bits/ind) da atual campanha de monitoramento.	232/293
Figura V-74 – Dendograma de agrupamento (Cluster) do ictioplanctôn da atual campanha de monitoramento.	233/293
Figura V-75 – Escalonamento multidimensional (MDS) do ictioplanctôn da atual campanha de monitoramento.	234/293
Figura VI.1-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico do PMPR_PIL-LL_C14.	236/293
Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico das estações PIL-LL_M1000 e PIL-LL_J1002. Sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.	239/293
Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das estações de amostragem de fitoplâncton da PMPR_PIL-LL_C14.	241/293
Figura VI.1-4 - Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	242/293
Figura VI.1-5 - Relação temperatura com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	247/293
Figura VI.1-6 - Relação de MPS, COT e OD com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	247/293

FIGURA	PÁG.
Figura VI.1-7 - Relação da clorofila-a e silicato com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	248/293
Figura VI.1-8 - Relação de temperatura com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	248/293
Figura VI.1-9 - Relação de MPS, COT e OD com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	249/293
Figura VI.1-10 - Relação da clorofila-a e de silicato com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	249/293
Figura VI.1-11 - Relação de temperatura com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	250/293
Figura VI.1-12 - Relação de MPS, COT e OD com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	250/293
Figura VI.1-13 - Relação da clorofila-a e silicato com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	251/293
Figura VI.1-14 - Relação de temperatura com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	251/293
Figura VI.1-15 - Relação de MPS, COT e OD com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	252/293
Figura VI.1-16 - Relação da clorofila-a e silicato com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.	252/293

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

I - INTRODUÇÃO

A operação do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bloco BM-S-11 (PMAEpro_PMPR_PIL-LL), Bacia de Santos, empreendimento aqui tratado por Piloto de Tupi, teve início em 27 de outubro de 2010.

Conforme o Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), elaborado em setembro de 2008 e que subsidiou o licenciamento ambiental do Piloto de Tupi (processo IBAMA/MMA nº 02022.000984/2008), há impactos previstos para o empreendimento decorrentes da instalação das estruturas submarinas necessárias ao desenvolvimento da produção e do descarte de água produzida e efluentes durante sua fase de operação, sendo que tais aspectos podem afetar os compartimentos sedimentos e a biota associada, durante as fases de instalação e operação (PETROBRAS/ICF, 2008). Assim, 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 do Piloto de Tupi, o qual é realizado em atendimento às condicionantes da Licença de Operação nº 963/2010, de 26 de abril de 2010.

A primeira campanha do projeto, referente à fase de pré-instalação, foi realizada em janeiro de 2010 em um ambiente ainda sem interferências do empreendimento em questão (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010). As demais campanhas ocorreram com periodicidade anual, já durante a operação do Piloto de Tupi. As campanhas estão detalhadas abaixo, no Quadro I-1.

Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMAEpro_PMPR_PIL-LL com suas respectivas fases e períodos.

Campanha	Data	Fase
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C1	janeiro de 2010	pré-instalação e operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C2	janeiro de 2011	pós-instalação / operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C3	dezembro de 2011	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C4	janeiro e fevereiro de 2013	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C5	fevereiro de 2014	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C6	fevereiro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C7	dezembro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C8	dezembro de 2016	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C9	dezembro de 2017	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C10	novembro de 2018	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C11	janeiro de 2020	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C12	fevereiro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C13	dezembro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL_C14	fevereiro e março 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 da fase de operação do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos (PMPR_PIL-LL_C14), aqui referido como PMA do Piloto de Tupi. A campanha foi realizada no período de 03 de fevereiro a 18 de março de 2023, a bordo do navio *Ocean Stalwart*, e envolveu a coleta de amostras para análise de parâmetros físicos e químicos da água e parâmetros biológicos do plâncton. Os resultados obtidos foram tratados com o intuito de investigar os possíveis impactos decorrentes do descarte de água de produção em mar aberto pela unidade marítima de produção que opera no Piloto de Tupi, o FPSO Cidade de Angra dos Reis (FPSO-CAR).

II - OBJETIVO

O objetivo principal do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto de Tupi é monitorar e avaliar a qualidade ambiental na área de influência direta do empreendimento, permitindo a identificação de possíveis impactos decorrentes das atividades de instalação das estruturas e operação da unidade de produção.

A campanha descrita neste relatório teve por objetivo acompanhar as possíveis alterações ocorridas nos aspectos da qualidade da água e na comunidade biológica planctônica da área de influência direta do empreendimento, em decorrência de sua operação.

II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente campanha apresenta como objetivos específicos:

- Monitorar as características físicas e químicas da água do mar na área de influência do empreendimento;
- Caracterizar quali-quantitativamente as comunidades planctônicas 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 – ÁREA DE TUPI

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 3.000 m de lâmina d'água (HERCOS *et al.*, 2023) (Figura III-1).

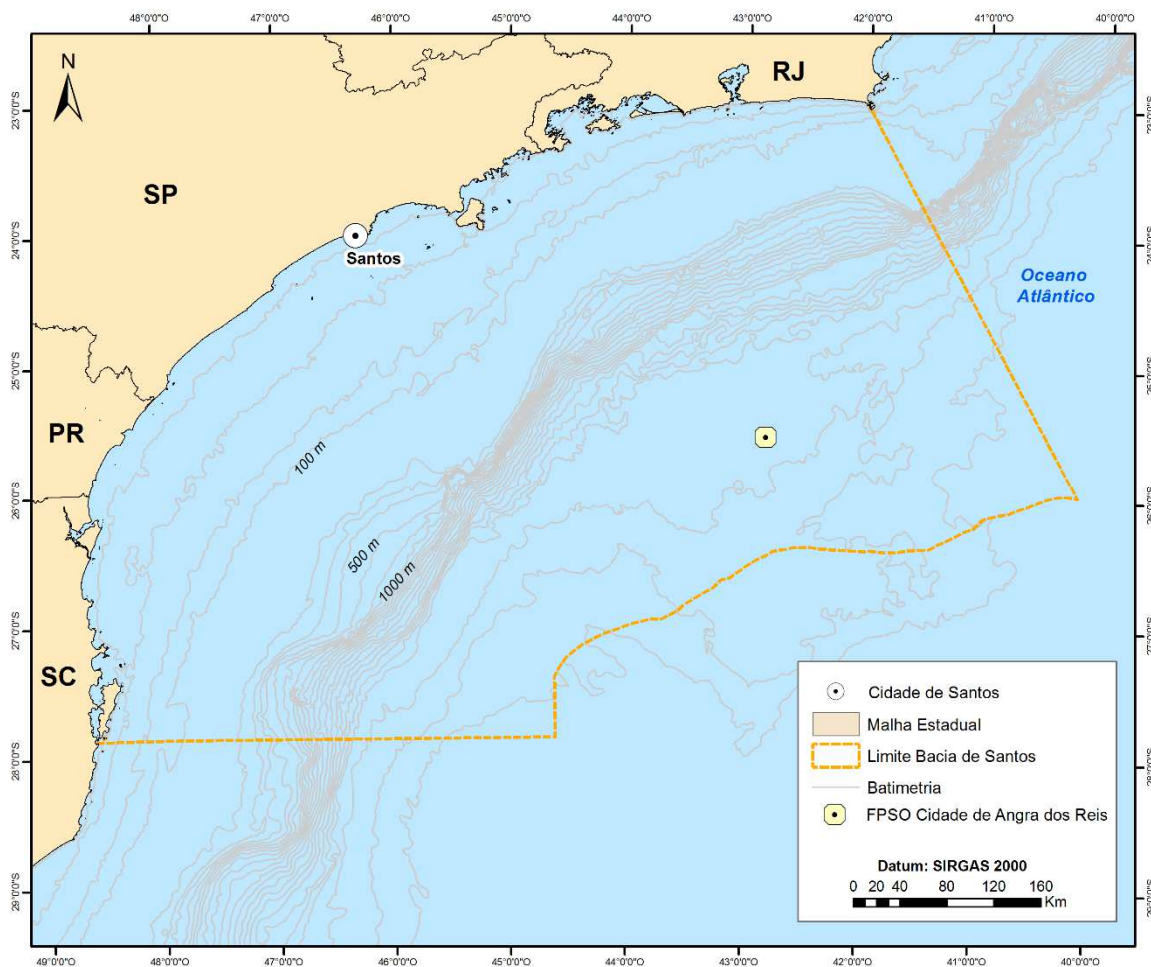


Figura III-1 - Mapa batimétrico e limites da Bacia de Santos com a localização do FPSO Cidade Angra dos Reis (FPSO-CAR).

A área de Tupi, atual campo de Tupi, está localizada na Bacia de Santos, a aproximadamente 280 km da costa do Rio de Janeiro/RJ (Figura III-2) em uma região com lâmina d'água de aproximadamente 3.000 metros de profundidade.

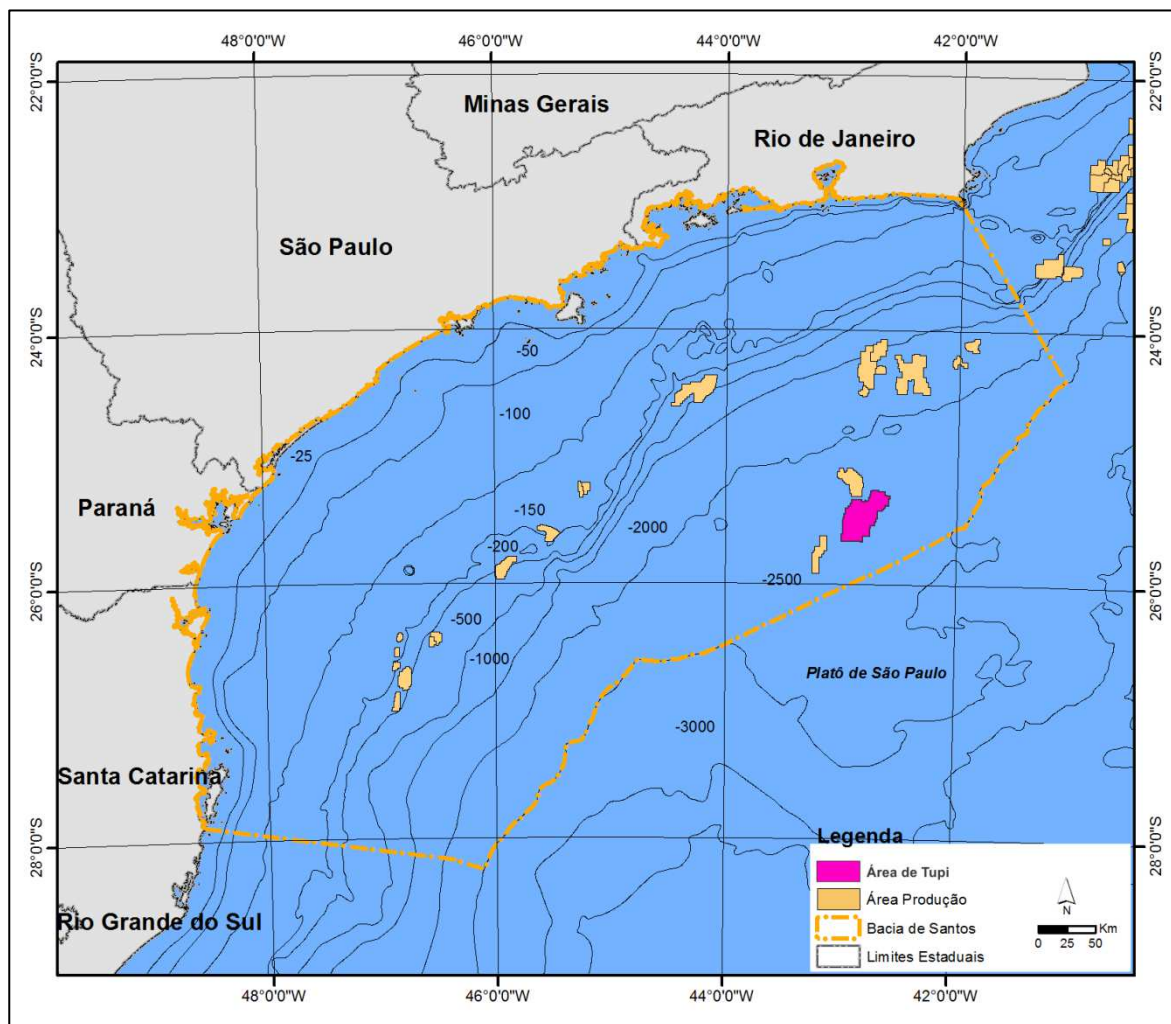


Figura III-2 – Localização da Área de Tupi, atual campo de Tupi – Bacia de Santos.

III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

À época da execução da 14ª campanha do PMA do Piloto de Tupi, a exploração de petróleo do empreendimento se dava através da unidade de produção FPSO Cidade de Angra dos Reis (FPSO-CAR) interligada a doze poços, sendo sete produtores, sendo dois fechados (7-LL-2D-RJS e 7-LL-8H-RJS), um em teste (7-LL-95D-RJS), localizado a SE da área e fora dos limites do mapa, e quatro em produção (7-LL-079D-RJS, 3-RJS-646, 9-RJS-686D e 9-RJS-660), três injetores de água (8-LL-09-RJS, 8-LL-57D-RJS e 8-LL-35D-RJS, estando os dois primeiros fechados) e dois injetores de gás (9-RJS-687D, e 9-RJS-665, sendo esse último fechado) (Figura III-3). Há dezoito poços interferentes na área, ou seja, próximos

ao empreendimento, mas não interligados a ele, sendo apenas quatro identificados no mapa (7-LL-102D-RJS, , 8-LL-112-RJS, 8-LL-50-RJS e, 8-LL-78D-RJS).

O escoamento do gás produzido é realizado por meio de um gasoduto de 18" com aproximadamente 216 km de extensão interligando o FPSO-CAR à Plataforma de Mexilhão (PMXL-1), o Gasoduto Tupi-Mexilhão (Figura III-3). A partir daí, o gás escoo pelo gasoduto que interliga a PMXL-1 a Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA), no município de Caraguatatuba, onde é tratado (PETROBRAS/ICF, 2008). O escoamento do óleo produzido é realizado por meio de navios aliviadores.

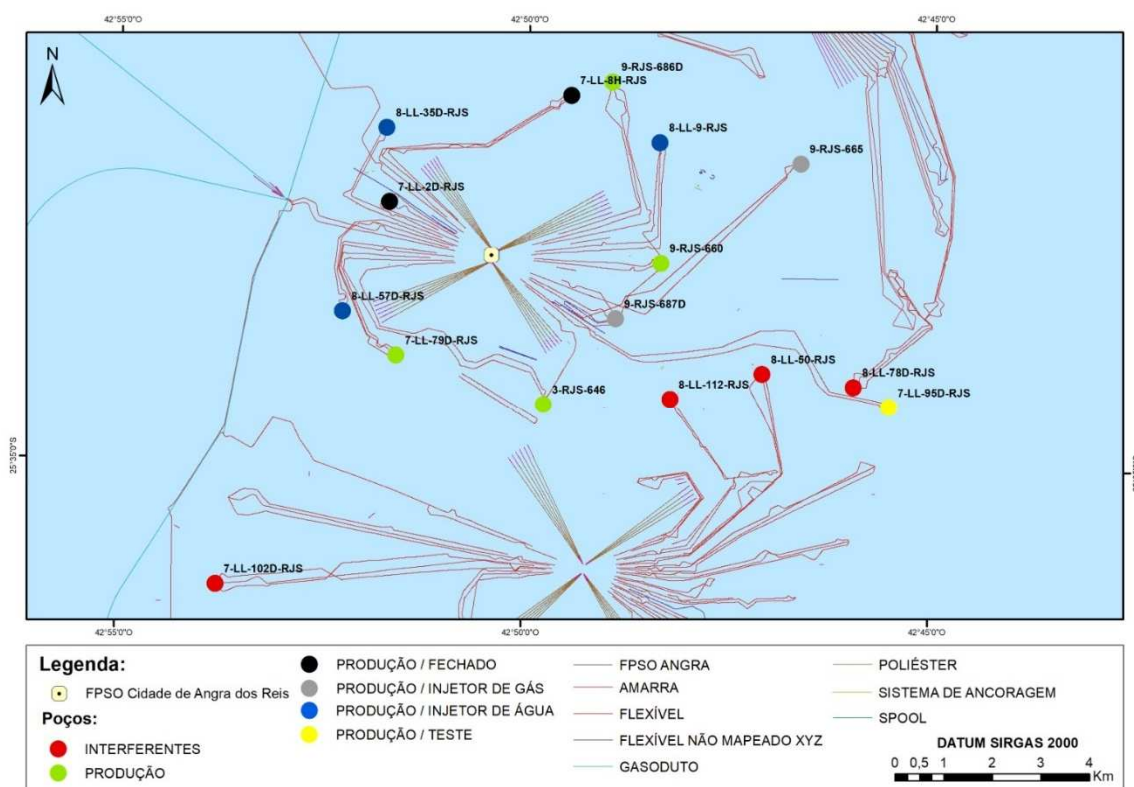
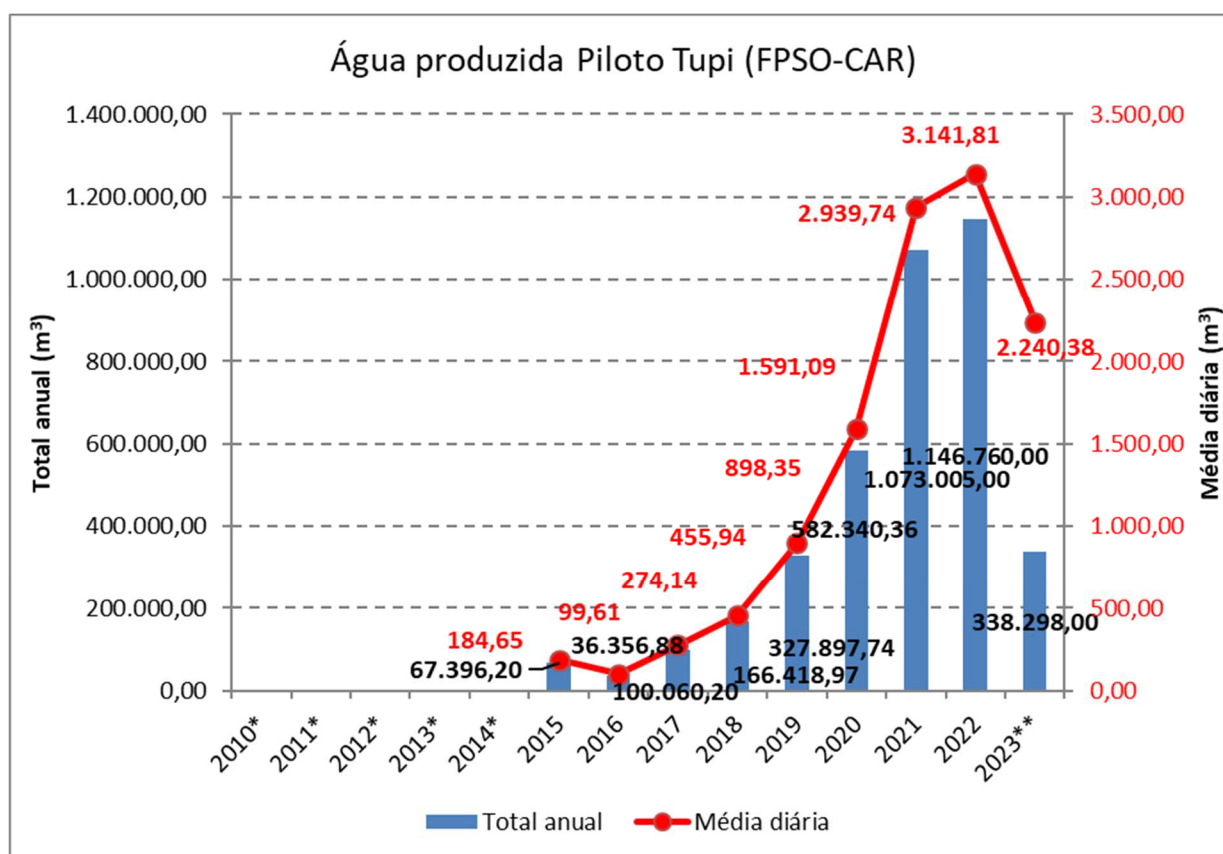


Figura III-3 - Estruturas de fundo de onze poços interligados (produtores e injetores) ao FPSO Cidade Angra dos Reis durante a PMPR_PIL-LL_C14 e quatro poços interferentes. O poço em teste (7-LL-95D-RJS) está posicioando além do recorte da área apresentado no mapa.

Em atendimento às resoluções CONAMA nº 393/2007 e NT IBAMA 01/2011, a Petrobras realiza o monitoramento da água produzida e demais efluentes descartados pelo FPSO, através do controle dos volumes descartados e da

realização de ensaios físico-químicos e ecotoxicológicos, conforme periodicidade estipulada pelos instrumentos legais supracitados.

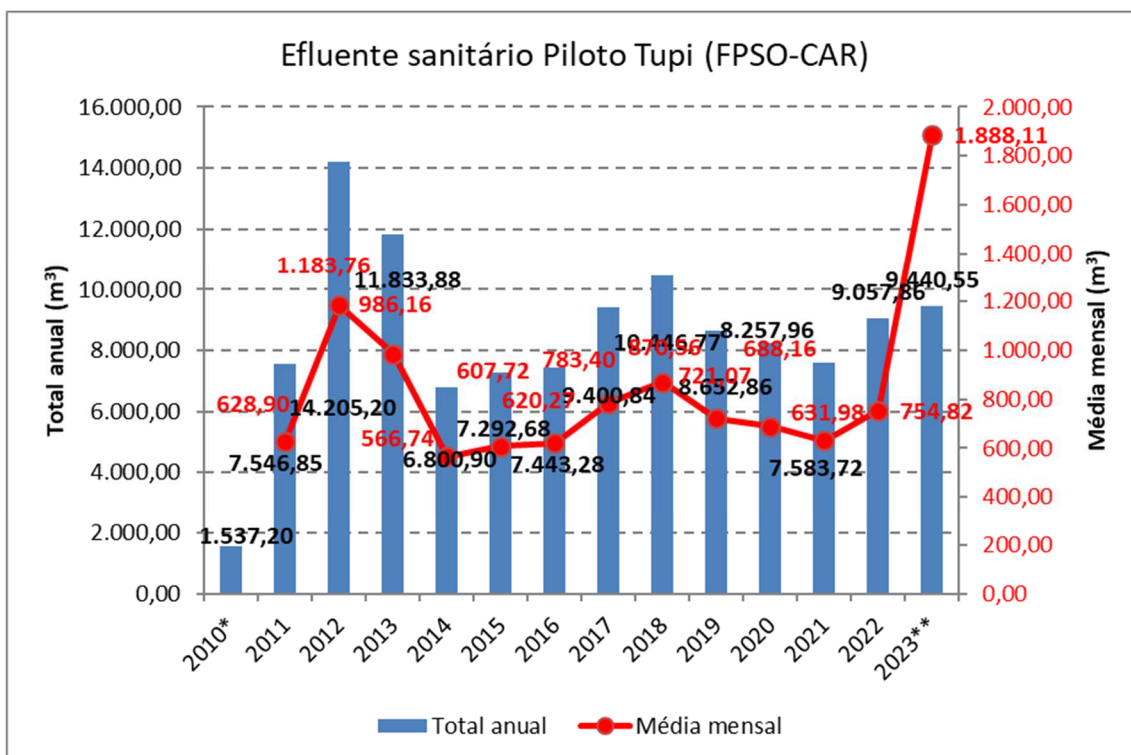
Os volumes de efluentes descartados pelo FPSO-CAR desde o início da operação (outubro/2010) são apresentados a seguir na Figura III-4, Figura III-5 e Figura III-6. Importante ressaltar que a média diária do volume de descarte de água produzida durante o período de coleta de água da presente campanha (coletas de água realizadas entre 15 e 17/03/2023) foi de 2.767,00 m³/dia.



* Não houve descarte de água de produção.

**Referente a janeiro a maio de 2023.

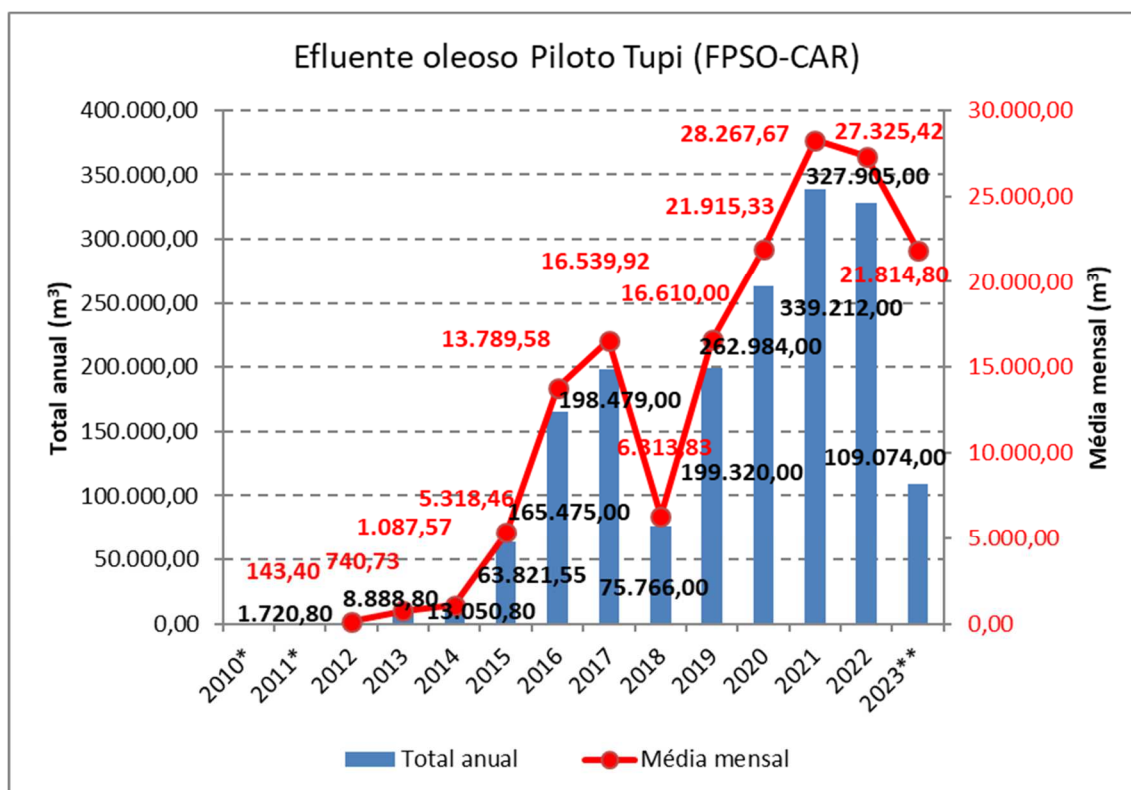
Figura III-4 – Volume de Água produzida descartada pelo FPSO-CAR.



* Referente ao quarto trimestre de 2010, quando foi iniciada a operação.

**Referente a janeiro a maio de 2023.

Figura III-5 – Volume de efluente sanitário descartado pela FPSO-CAR.



* Não houve medição.

**Referente a janeiro a maio de 2023.

Figura III-6 – Volume de efluente oleoso descartado pela FPSO-CAR.

Os resultados das análises físico-químicas e ecotoxicológicas da água de produção realizadas durante o semestre da presente campanha, ou seja, primeiro semestre de 2023, são apresentados na Tabela III-1.

Tabela III-1 - Concentrações dos parâmetros monitorados na água de produção do FPSO-CAR para o 1º semestre de 2023.

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Inorgânicos	Arsênio	0,0007	mg/L
Inorgânicos	Bário	5,406	mg/L
Inorgânicos	Cádmio	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cromo	0,0006+	mg/L
Inorgânicos	Cobre	<0,005	mg/L
Inorgânicos	Ferro	1,356	mg/L
Inorgânicos	Manganês	0,155	mg/L
Inorgânicos	Níquel	0,002	mg/L
Inorgânicos	Chumbo	<0,0002	mg/L
Inorgânicos	Vanádio	0,0014	mg/L
Inorgânicos	Zinco	0,110	mg/L
Inorgânicos	Mercúrio	<0,00003	mg/L
Radioisótopos	Rádio -226	1,480	Bq/L
Radioisótopos	Rádio -228	<0,32	Bq/L
Orgânicos - HPA	Naftaleno	6,314	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenafteno	0,114	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenaftileno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Antraceno	0,052	µg/L
Orgânicos - HPA	Fenantreno	0,386	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoreno	0,400	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Pireno	0,007	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(a)antraceno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(a)pireno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(b)fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(k)fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Criseno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(ghi)perileno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Dibenzo(a,h)anthraceno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - BTEX	BTEX	-	-
Orgânicos - BTEX	Benzeno	920,167	µg/L
Orgânicos - BTEX	Tolueno	484,467	µg/L

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Orgânicos - BTEX	Etilbenzeno	27,289	µg/L
Orgânicos - BTEX	o-Xilenos	78,156	µg/L
Orgânicos - BTEX	m,p-Xilenos	124,267	µg/L
Orgânico - Fenóis	Fenóis	49,440	µg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	8,0	mg/L
Complementares	Carbono Orgânico Total - COT	1022,000	mg/L
Complementares	pH	6,55	
Complementares	Salinidade	71821,280	mg/L NaCl
Complementares	Temperatura	48,900	° C
Complementares	Nitrogênio Amoniacal Total	142,000	mg/L
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CENO	3,12	%
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CEO	6,25	%
Orgânico	Óleos e Graxas	<5	mg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	19	mg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	16	mg/L

Já os resultados das análises dos efluentes sanitários da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) existente no FPSO-CAR referentes ao 1º trimestre de 2023 são apresentados na Tabela III-2.

Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE do FPSO-CAR, para o 1º trimestre de 2023.

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE - Águas negras e cinzas	DBO Entrada	183,40	mg O2/L
ETE - Águas negras e cinzas	DQO Entrada	366,60	mg O2/L
ETE - Águas negras e cinzas	DBO Saída	102,50	mg O2/L
ETE - Águas negras e cinzas	DQO Saída	185,70	mg O2/L
ETE - Águas negras e cinzas	TOG Total	<5,00	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	pH	8,12	-
ETE - Águas negras e cinzas	Cloro Residual	0,60	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	Coliformes Totais	1203300	NMP/100mL
ETE - Águas negras e cinzas	Clorobenzenos	<0,005	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	Dicloroetano	<0,013	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	Tricloroetano	<0,004	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	Clorofórmio	<0,005	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	Tetracloroeto de Carbono	<0,0016	mg/L
ETE - Águas negras e cinzas	PCBs	<0,07	µg/L

Os resultados aqui apresentados são posteriormente integrados aos resultados da campanha, no Item V - Resultados e Discussão.

IV - MATERIAL E MÉTODOS

IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO

A PMPR_PIL-LL_C14 foi realizada entre os dias 03 de fevereiro a 18 de março de 2023 a bordo do navio *Ocean Stalwart* (Figura IV-1).



Fonte: Relatório Técnico Oceanpact (RL-3A26.00-5521-996-OC8-002=0.pdf)

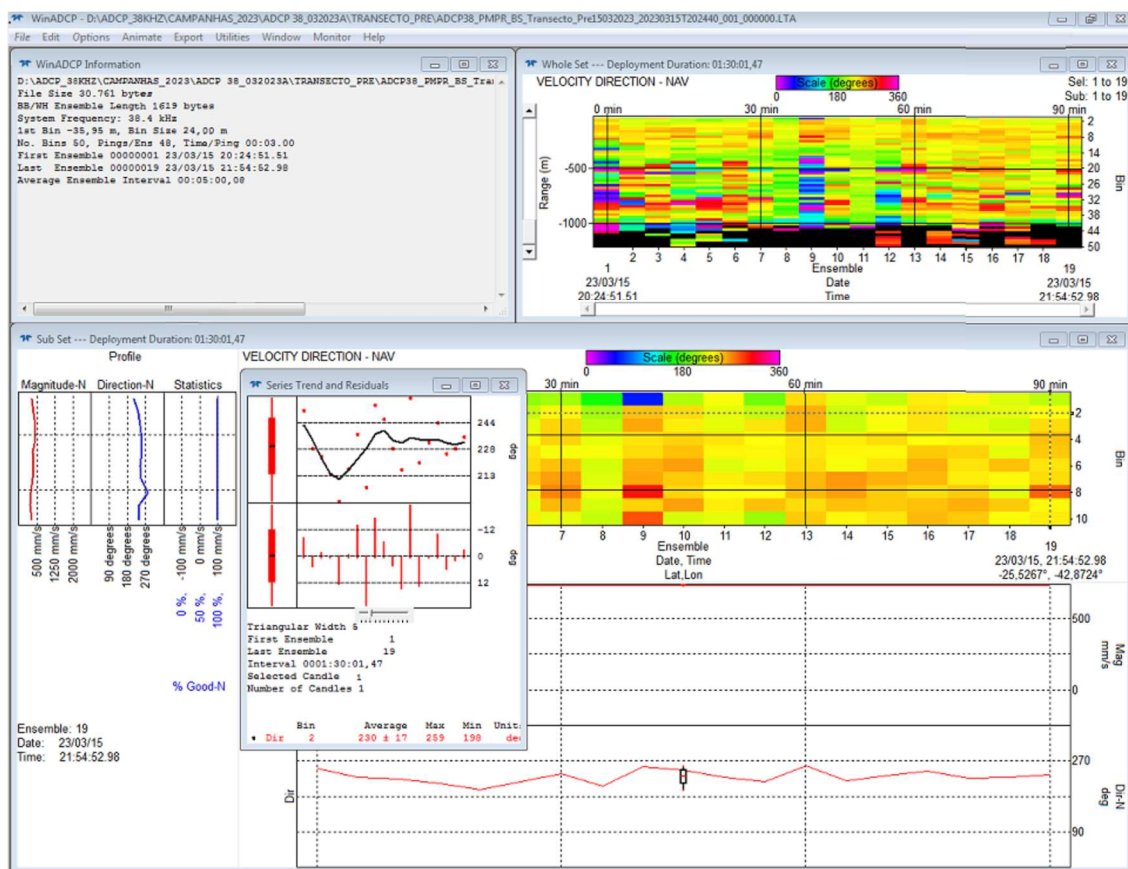
Figura IV-1 – Embarcação RSV UP Coral utilizada durante a campanha.

A navegação para a área amostral teve início no dia 15/03/2023 às 10:55. O início das amostragens ocorreu no dia 15/03/2023 às 17h28min, com a realização do transecto pré-amostragem. As operações de coleta ocorreram em regime de trabalho de 24h, e envolveu a coleta de amostras de água e plâncton.

As amostragens foram finalizadas às 8h02min do dia 17/03/2023, com o transecto pós amostragem. O desembarque das amostras coletadas durante a campanha ocorreu entre as 8h40min e 14h30min do dia 18/03/2023, no Porto MacLaren Ponta da Areia, Niterói/RJ, com o envio das remessas de amostras aos laboratórios de análise. As amostras destinadas às análises químicas da água foram encaminhadas ao laboratório SGS do Brasil (São Bernardo do Campo/SP). Já as amostras para os ensaios biológicos (ictioplâncton, fitoplâncton, zooplâncton) e de clorofila-a foram enviadas para a Bioconsult Ambiental (Rio de Janeiro/RJ).

Para a definição da 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, um localizado 500 m à montante da plataforma e o outro, 500 m da jusante (Figura IV-2), sendo montante e jusante definidos anteriormente através de um teste de deriva. 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. Os dados mostraram que a corrente apresentava direção de 230º, a partir da qual foram plotadas as estações para realização das coletas de água e plâncton. As estações foram dispostas da seguinte maneira: uma estação 1.000 m a montante da plataforma, uma estação 100 m a jusante, uma estação 250 m a jusante, três estações 500 m a jusante, dispostas em ângulo de 15º entre si, e três estações 1.000 m a jusante, também dispostas com ângulos de 15º em relação à estação M1000.

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, indicando a direção preferencial de 300º ao final das coletas.



Fonte: Relatório Técnico Oceanpact (RL-3A26.00-5521-996-GB1-008=0.pdf)

Figura IV-2 – Gráficos com os dados fornecidos pelo ADCP para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton.

A Figura IV-3 apresenta o mapa com a malha amostral para a coleta das amostras de água e plâncton.

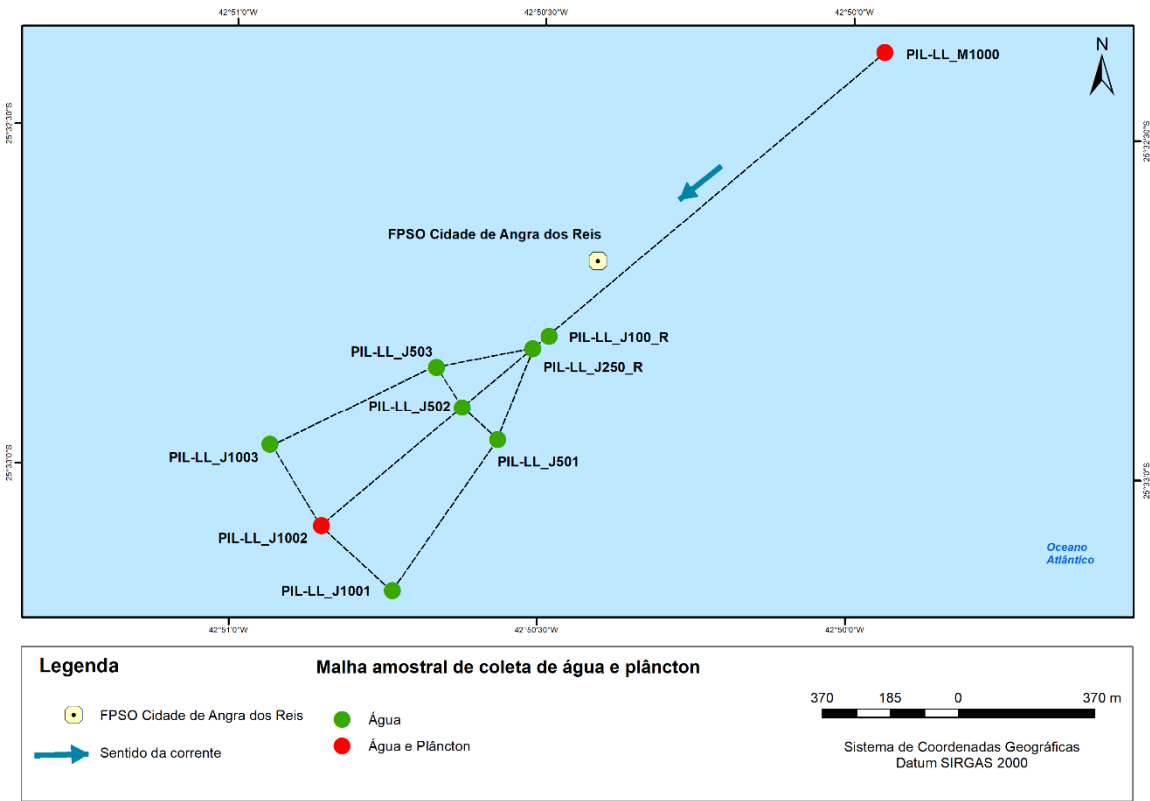


Figura IV-3 – Mapa da malha amostral para coleta de água e plâncton durante a PMPR_PIL-LL_C14.

As coordenadas das estações de coleta de água e plâncton realizadas durante acampanha podem ser observadas no Tabela IV-1.

Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton da PMPR_PIL-LL_C14.

Estações	Compartimentos Coletados	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
PIL-LL_M1000	Água e plâncton	7173524,94	717786,22
PIL-LL_J100_R	Água	7172755,59	716873,46
PIL-LL_J250	Água	7172721,45	716828,67
PIL-LL_J501	Água	7172472,57	716733,39
PIL-LL_J502	Água	7172560,76	716637,16
PIL-LL_J503	Água	7172670,84	716567,03
PIL-LL_J1001	Água	7172063,00	716446,60
PIL-LL_J1002	Água e plâncton	7172239,36	716254,14
PIL-LL_J1003	Água	7172459,53	716113,87
FPSO Cidade de Angra dos Reis		7172959,79	717005,45

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento das amostras de água e plâncton empregados durante a PMPR_PIL-LL_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) – a até 10 m da lâmina d'água;
- acima da termoclina (ACTC) – em meia profundidade entre superfície e termoclina sazonal;
- termoclina (TC) – na profundidade onde foi identificada a termoclina sazonal;
- abaixo da termoclina (ABTC) – profundidade da termoclina sazonal acrescida do valor da meia profundidade entre superfície e termoclina sazonal.

As profundidades dos estratos de cada estação são apresentadas na Tabela IV-2.

Tabela IV-2 – Profundidades (m) dos estratos amostrados nas coletas de água e fitoplâncton na atual campanha.

Estações	Níveis	Profundidade (m)
PIL-LL_M1000	SUP	5,00
	ACTC	30,00
	TC	60,00
	ABTC	90,00
PIL-LL_J100_R	SUP	5,00
	ACTC	33,00
	TC	66,00
	ABTC	99,00
PIL-LL_J250	SUP	5,00
	ACTC	36,00
	TC	71,00

Estações	Níveis	Profundidade (m)
PIL-LL_J501	ABTC	107,00
	SUP	5,00
	ACTC	35,00
	TC	70,00
	ABTC	105,00
PIL-LL_J502	SUP	5,00
	ACTC	34,00
	TC	68,00
	ABTC	72,00
PIL-LL_J503	SUP	5,00
	ACTC	36,00
	TC	73,00
	ABTC	110,00
PIL-LL_J1001	SUP	5,00
	ACTC	33,00
	TC	65,00
	ABTC	98,00
PIL-LL_J1002	SUP	5,00
	ACTC	34,00
	TC	67,00
	ABTC	101,00
PIL-LL_J1003	SUP	5,00
	ACTC	31,00
	TC	62,00
	ABTC	93,00

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 12 garrafas de coleta, um CTD SBE 9 plus e garrafas oceanográficas de 10 litros do tipo Go-flo (Figura IV-4).



Figura IV-4 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água do modelo Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.

Um disco de Secchi (Figura IV-5) também foi acoplado a Rosette para determinação da transparência da coluna d'água nas estações cujas coletas das

amostras de água foram realizadas durante período do dia. As amostras de água foram coletadas entre 20:05 e 23:07 do dia 15/03/2023, entre 01:29 e 18:35 e entre 22:30 e 23:50 do dia 16/03/2023, e entre 00:55 e 06:04 do dia 17/03/2023.

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.



Fonte: Relatório Técnico de Bordo Gardline (RL-3A17.00-5521-996-GB1-007=A.pdf).

Figura IV-5 – Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMPR_PIL-LL_C14.

Foi realizada coleta de um branco de frascaria para o compartimento água. O branco de frascaria consistiu em uma garrafa de vidro âmbar de 1 L para Hidrocarbonetos e outra para fenóis, um frasco de vidro âmbar de 250 mL para COT, um frasco plástico de 1 L para sulfetos, outro de 500 mL para nutrientes e um vial de vidro de 40 mL para BTEX.

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

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 mesmas quatro profundidades definidas, sendo, entretanto, restritas às estações definidas para coleta do plâncton (PIL-LL_M1000 e PIL-LL_J1002).

IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton

As amostras de zooplâncton foram coletadas em arrastos horizontais de superfície e arrastos oblíquos da termoclina a superfície, com uma rede cilindro-cônica de malha 200 μm , com 2 m de comprimento total e com diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-6). A fim de calcular o volume de água filtrado, um fluxômetro foi acoplado à boca da rede. As amostras de ictioplâncton foram coletadas em arrastos oblíquos, no sentido termoclina-superfície, e em arrastos horizontais de superfície, com rede bongô de malhas de 300 e 500 μm , com fluxômetro acoplado, comprimento de 2 m e diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-7). Os arrastos foram realizados entre 20:28 e 21:34 do dia 15/03/2023 e entre 18:59 e 20:05 do dia 16/03/2023.

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.

Na Tabela IV-3 são apresentados os volumes de água do mar filtrados durante as amostragens.

Tabela IV-3 - Volume de água do mar filtrado durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMPR_PIL-LL_C14.

Grupo	Estação	Tipo de arrasto	Malha (μm)	Volume filtrado (m^3)
Zooplâncton	PIL-LL_M1000	Horizontal	200	72,59
Zooplâncton	PIL-LL_M1000	Obliquo	200	88,41
Ictioplâncton	PIL-LL_M1000	Horizontal	300	83,49
Ictioplâncton	PIL-LL_M1000	Horizontal	500	85,48
Ictioplâncton	PIL-LL_M1000	Oblíquo	300	75,84
Ictioplâncton	PIL-LL_M1000	Oblíquo	500	79,24
Zooplâncton	PIL-LL_J1002	Horizontal	200	75,36
Zooplâncton	PIL-LL_J1002	Obliquo	200	63,80
Ictioplâncton	PIL-LL_J1002	Horizontal	300	99,77
Ictioplâncton	PIL-LL_J1002	Horizontal	500	100,03
Ictioplâncton	PIL-LL_J1002	Oblíquo	300	82,57
Ictioplâncton	PIL-LL_J1002	Oblíquo	500	85,64



Figura IV-6 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 μm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMPR_PIL-LL_C14.



Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 μm utilizada durante a PMPR_PIL-LL_C14 para coleta de amostras de ictioplâncton.

No Quadro IV-1 encontram-se os parâmetros, volumes, acondicionamento e preservação das amostras de água e plâncton coletadas durante a campanha.

Quadro IV-1 – Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a PMPR_PIL-LL_C14.

PARÂMETROS	EQUIPAMENTO	VOLUME	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	ACONDICIONAMENTO
HPA e n- alcanos	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
HTP	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	1 L	Frasco polietileno	Acetato de zinco 2N e Hidróxido de sódio 6N	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 go-flo	5 L (volume filtrado)	filtro de acetato de celulose (47 mm, 0,45 µm)	-	Congelamento a ≤ -20°C
Clorofila-a	Garrafa go-flo	5 L (volume filtrado)	Filtro de fibra de vidro GFF/F1	-	Congelamento a ≤ -20°C
Fitoplâncton	Garrafa go-flo	2 x 1 L	Frasco polietileno escuro	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

IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram encaminhadas à empresa SGS do Brasil, e as amostras destinadas às análises biológicas (plâncton) e clorofila-a, 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-4).

Tabela IV-4 - Resumo dos métodos utilizados, dos procedimentos de pré-tratamento, os respectivos limites de quantificação e detecção do método, conforme os parâmetros analisados.

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
	Clorofila a	Fluorimetria	-	0,00612 µg/L	0,00032 µg/L
	Carbono Orgânico Total	SMEWW 5310 B	-	0,500 mg/L	0,100 mg/L
	MPS	SMEWW 2540 B	Pesagem dos filtros em estufa a 180°C e filtragem da amostra	0,100 mg/L	0,005 mg/L
	Sulfetos	SMEWW 4500 S2 D	-	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	-	0,200 mg/L	0,050 mg/L
	Nitrito	SMEWW 4500 NO ₂ B	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L
	Silicato	SMEWW 4500 SiO ₂ C	-	0,050 mg/L	0,020 mg/L
	Fósforo Total	SMEWW 4500 P E	-	0,005 mg/L	0,002 mg/L
HPA's	Acenafteno	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
HPA's	Fenantreno	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L

n-alcenos	Fluoreno	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	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
	n-C8			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C9			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C10			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C11			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C12			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C13			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C14			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C15			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C16			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C17			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C18			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C19			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C20			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C21			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C22			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C23			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C24			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C25			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C26			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C27			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C28			1 ug/L	0,20 ug/L

n-alcenos	n-C29	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C30			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C31			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C32			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C33			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C34			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C35			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C36			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C37			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C38			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C39			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C40			1 ug/L	0,20 ug/L
	Fitano			1 ug/L	0,20 ug/L
	Pristano			1 ug/L	0,20 ug/L
Fenóis	HRP - Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	1 ug/L	0,20 ug/L
	UCM - Mistura Complexa Não Resolvida			1 ug/L	0,20 ug/L
	HTP - Hidrocarbonetos totais de Petróleo			1 ug/L	0,20 ug/L
	Fenol			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

Fenóis	2,6-Dimetilfenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,5-Dimetilfenol			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
	Tribromofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	Somatório de Fenóis			0,040 ug/L	0,002 ug/L
BTX	Benzeno	USEPA 5030C / USEPA 8260C	-	1 µg/L	0,100µg/L
	Tolueno			1 µg/L	0,100µg/L
	Etilbenzeno			1 µg/L	0,100µg/L
	m,p-xileno			1 µg/L	0,100µg/L
	o-xileno			1 µg/L	0,100µg/L

IV.2.2 - Fitoplâncton

As amostras foram concentradas em laboratório através de processo de filtração reversa em 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).

A amostra contida na câmara foi triada em sua totalidade ou até atingir no mínimo 400 células, com auxílio de microscópio óptico invertido e os indivíduos presentes na amostra foram identificados (organismos > 20 µm) e contabilizados. Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação ocorreu até ao menor nível taxonômico possível. Para fitoplâncton, 33,05% da abundância total foi identificada até o nível de gênero e 66,64% até o nível de espécie.

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 de no máximo dez amostras de cada triador, uma das amostras triadas foi sorteada para conferência. A amostra verificada do lote foi

PIL-LL_J1002_HOR_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), sendo 39,27% da abundância total identificada até o nível de ordem e 4,60% até o nível de espécie.

IV.2.4 - Ictioplâncton

As amostras foram triadas sob microscópio estereoscópico binocular e placas de Petri, 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 de dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador para conferência. Neste caso, a amostra validada foi PIL-LL_M1000_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, 61,25% da abundância total foi identificada até o nível de família e 22,51% até o nível de espécie.

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 atípicos identificados como resultados *outliers* na apresentação dos resultados, foram avaliados individualmente, sendo mantidos nas análises estatísticas e na interpretação dos dados posteriores, 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-5, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais. Para o compartimento água, todos os parâmetros 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 da área de influência direta do empreendimento.

Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a 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	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Clorofila a	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
		Material de referência certificado	Dentro da faixa do certificado	36	0	-	Controle substituído por padrão certificado
		Análises em triplicata	RSD < 10%	36	0	-	-
	COT	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
		Branco de Frascaria	BF < LD	0			
		Branco de equipamento	BE < LD	36	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	36	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36	0		-
		Material de referência certificado	Recuperação de 86 - 114% (sobre concentração real de 2 mg/L)	36	0	-	
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R ² > 0,99	36	0	-	
		Amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36	0	-	
		Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36	0	-	
		Diferença percentual relativa	DRP < 20%	36	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 25%	36	0	-	-
		Incerteza do método	IM < 25% incerteza máx. aceitável	36	0	-	-
	MPS	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-5 (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	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Nitrato/ Nitrito / Fósforo Total/ Silicato	144 (36 amostras por parâmetro)	Validade da amostra	144	0		-
			Branco de Frascaria	0			
			Branco de equipamento	144	0	-	-
			Branco do método	144	0	-	-
			Branco de reagentes	144	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	144	0	-	-
			Controle de curva de calibração	144	0	-	-
			Material de referência certificado	144	0	-	-
			Análises em triplicata	144	0	-	-
			Incerteza do método	144	0	-	-
	Nitrogênio Amoniacal	36	Validade da amostra	36	0	-	-
			Branco de Frascaria	0			
			Branco de equipamento	36	0	-	-
			Branco do método	36	0	-	-
			Branco de reagentes	36	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	36	0	-	-
			Material de referência certificado	36	0	-	-
			Controle de curva de calibração	36	0	-	-
			Análises em triplicata	36	0	-	-
			Incerteza do método	36	0	-	-

(Continua)

Tabela IV-5 (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	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Sulfetos	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
		Branco de Frascaria	BF < LD	0			
		Branco de equipamento	BE < LD	36	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	36	0	-	-
		Branco de reagentes	BR < LD	36	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36	0	-	-
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R ² > 0,99	36	0	-	-
		Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,5 mg/L)	36	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 10%	36	0	-	-
		Incerteza do método	-	36	0	-	-
	Fenóis/ HPAs/ HTP/ BTEX	Validade da amostra	Validade > Data de análise	136	0	-	-
		Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	136	0	-	-
		Branco de Frascaria	BF < LD	0			
		Branco do método	BM < LD	136	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	136	0	-	-
		Solução padrão intermediária ¹	Recuperação de 80 - 120%	136	0	-	-
		Amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	136	0	-	-
		Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	136	0	-	-
		Diferença percentual relativa	DRP < 30%	136	0	-	-
		Surrogates: HPA e fenóis: para-terfenil d-14 e 2-flúor-bifenila. HTP: triacontano d-62. BTEX: p-Bromofluorbenzeno, dibromofluorometano e tolueno-d8	Recuperação de 60 a 120%		0	-	-
		Incerteza do método	-	136	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 são apresentando no Quadro IV-2. 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.

Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na atual campanha.

Estudos	Data de realização	Referências
Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos	-	PETROBRAS/ICF, 2008
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das treze primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos	Janeiro de 2010, janeiro de 2011, dezembro de 2011, janeiro/fevereiro de 2013, fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, e dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, fevereiro de 2021, e dezembro de 2022, respectivamente	PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2016a, 2017a, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das dez primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE	fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, novembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, fevereiro de 2021, novembro de 2021, e março de 2023, respectivamente	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018b, 2019a, 2019c, 2020b, 2022b; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022c; 2023a.
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das nove primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá	Fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro/dezembro, 2018, janeiro de 2020, janeiro de 2021, e dezembro de 2021, respectivamente	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015d, 2015e, 2017b, 2018e, 2019d, 2019g, 2020c, 2021; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022d

Estudos	Data de realização	Referências
Relatório Técnico de Avaliação Ambiental das nove primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul	Fevereiro de 2015, dezembro de 2015, novembro de 2016, dezembro de 2017/janeiro de 2018, novembro de 2018, janeiro de 2020, e janeiro de 2021, dezembro de 2021, e março de 2023, respectivamente	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016b, 2017c, 2018f, 2019e, 2019f, 2020d, 2022c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023b, 2023c
Relatório de Caracterização Ambiental da Bacia de Santos	-	PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002
Relatório Final de Caracterização da Campanha de Caracterização dos Blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21	-	PETROBRAS/HABTEC, 2003
Relatório Síntese Final da Caracterização Ambiental da Bacia de Santos – Fase I – Síntese dos dados ambientais pretéritos – Anexo II – Meio Biológico – Domínio Pelágico	-	CENPES/PEDDS/AMA, 2013
Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS	PETROBRAS, 2022	inverno e primavera de 2019, verão e outono de 2021

O monitoramento Piloto de Tupi (FPSO Cidade de Angra dos Reis) é realizado a partir de dados primários coletados a cerca de 51 km a nordeste da área onde está instalado o Piloto de Sapinhoá (FPSO Cidade de São Paulo), a 18,5 km a sudoeste do Piloto de Tupi NE (FPSO Cidade de Paraty) e a 38 km ao sul do DP de Iracema Sul (FPSO Cidade de Mangaratiba) (Figura IV-8). Apesar da distância entre os empreendimentos, estes foram usados nas comparações dos dados, uma vez que se situam na mesma faixa de profundidade. Além disso, por tratar-se de um ambiente oceânico, espera-se grande homogeneidade para o compartimento água. Também é importante destacar que, a exceção da primeira campanha do monitoramento do Piloto de Tupi (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), todas as demais campanhas foram realizadas quando já havia um empreendimento instalado e operando na área, portanto, já havia uma fonte de impacto de possíveis alterações e os dados não podem ser considerados como representativos de um meio prístino. Apesar disso, destaca-se que todas as campanhas de monitoramento ambiental cujos resultados foram utilizados ocorreram enquanto ainda não havia geração e descarte de água produzida pelas respectivas unidades de produção, a exceção da sétima campanha do monitoramento do Piloto de Tupi em diante, da quarta campanha de monitoramento do Piloto de Tupi Nordeste em diante, da sexta campanha de monitoramento do Piloto de Sapinhoá e da quarta campanha de monitoramento do DP de Iracema Sul em diante.

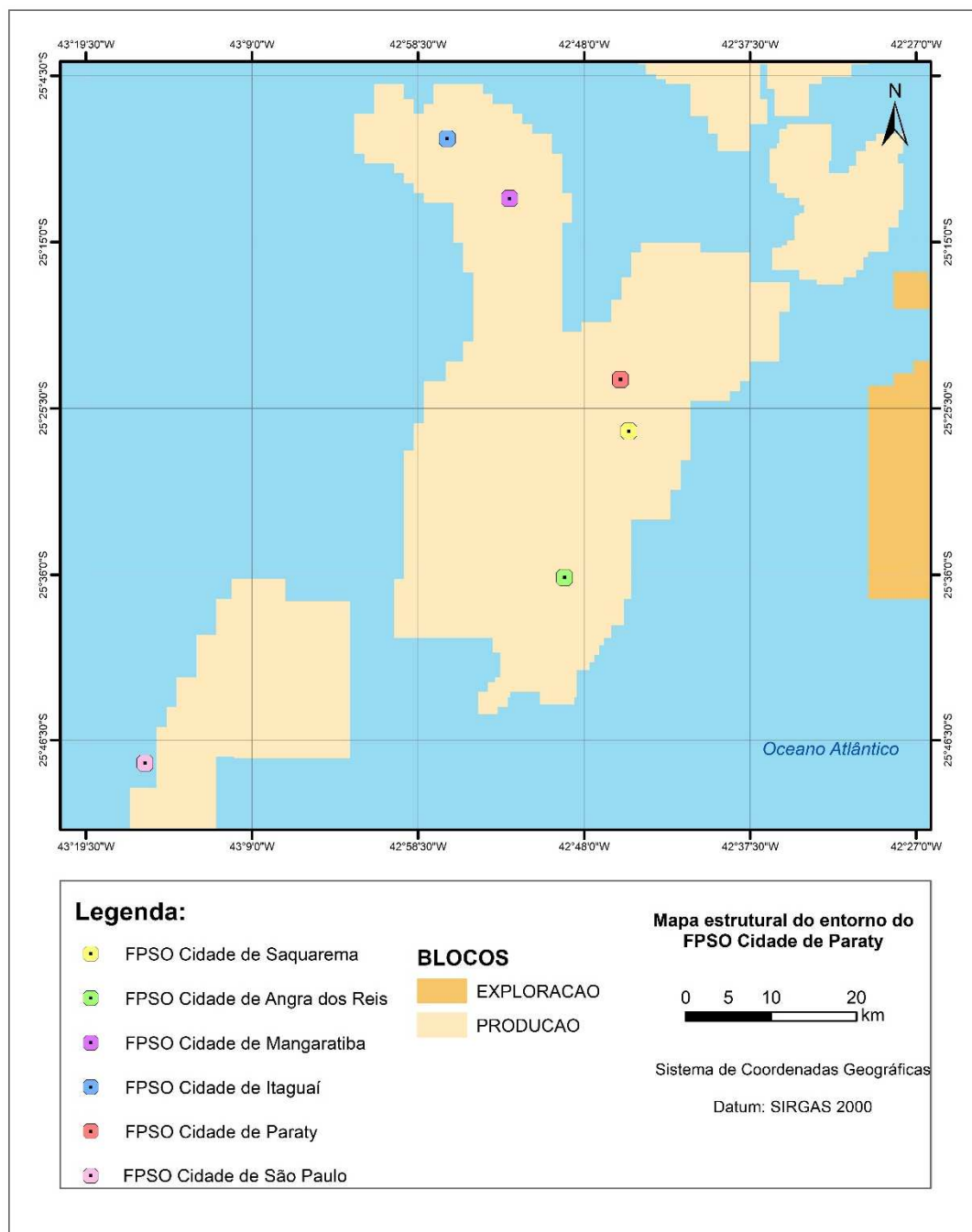


Figura IV-8 – Localização dos FPSOs Cidade de Mangaratiba (DP de Iracema Sul), Cidade de São Paulo (Piloto de Sapinhoá), Cidade de Angra dos Reis (Piloto de Tupi), Cidade de Paraty (Piloto de Tupi NE), Cidade de Saquarema (DP de Tupi Central) e Cidade de Itaguaí (DP de Tupi Iracema Central).

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 2007. 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-6).

Tabela IV-6 – 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)	$36 \leq S \leq 36,4$	$T \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura das Água Costeira e Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS)	$S < 36$	$18 \leq T \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mistura das Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul (AT/ACAS)	$36 \leq S \leq 36,4$	$18 \leq T \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
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)	$34,59 < S < 34,87$	$2,04 < T < 3,31$

IV.3.2 - Plâncton

Inicialmente, foi feita uma avaliação do esforço amostral aplicado ao longo das 14 campanhas de monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, através do gráfico do número cumulativo de *taxa* por amostra por campanha. 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: Ochrophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Os grupos Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca e Foraminifera foram considerados para as análises de zooplâncton. Já para o ictioplâncton, foram considerados os seguintes grandes grupos: Acanthuriformes, Aulopiformes, Beloniformes, Carangiformes, Dactylopteriformes, Eupercaria, Myctophiformes, Scombriformes 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).

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

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

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

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).

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

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:

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

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

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. Para as comunidades zooplanctônicas e ictioplanctônicas foram considerados os diferentes tipos de arrasto. Para o ictioplâncton, também 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 indicadores de qualidade ambiental, conforme a ocorrência destes organismos na campanha.

A Tabela IV-7, a seguir, apresenta os resultados obtidos na etapa de avaliação de qualidade das análises laboratoriais para plâncton. Todos os parâmetros analisados tiveram 100% dos resultados aprovados nos critérios de qualidade analíticos empregados, de modo que a totalidade dos resultados obtidos será utilizada sem ressalvas para um diagnóstico da qualidade ambiental da área.

Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota planctônica.

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	OBS.
BIOTA ÁGUA	8	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
	4	Validade da amostra	Validade > Data de análise	4	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	4	0	-	-
	8	Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra PIL- LL_C14_J1002_HOR_200
		Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
		Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	8	0	-	Validação na amostra PIL- LL_C14_M1000_OBL_500

IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

IV.4.1 - Qualidade da Água

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade da água das treze 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.

Para avaliar se houve diferença significativa nos parâmetros da qualidade da água entre as campanhas 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.

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 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, a análise da estatística descritiva dos índices ecológicos do plâncton 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 entre as campanhas, 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% ($p < 0,05$).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas 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). A mesma foi utilizada com intuito de comparar a estrutura das diferentes comunidades nas estações de coleta. O MDS gera um valor de *stress*. Quanto menor o valor do *stress* melhor é o ajuste entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,20, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE & WARWICK, *op. cit.*).

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

IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA

A análise integrada foi realizada para o ambiente pelágico das estações de coleta amostradas para a 14ª campanha de monitoramento ambiental do Piloto de Tupi. 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 os dados das estações PIL-LL_M1000 e PIL-LL_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 contemplados pelos arrastos horizontais (HOR) e os dados integrados nas profundidades SUP, ACTC e TC, nos arrastos oblíquos (OBL).

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, em relação às suas características ambientais. Nessa ACP foram considerados os dados dos parâmetros ambientais 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 que 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 aos 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.

Nas ACP's realizadas, 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, e nem os dados que não apresentaram variação entre as estações amostrais. Nesse

caso, os dados de nitrito, nitrato, n-amoniaco, sulfetos, fósforo, fenóis, HPA, n-alcanos, MCNR e BTEX não foram incluídos nas análises, pois esses dados não foram detectados nas amostras.

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 & MIRANDA, 1998; BRAGA & NIENCHESKI, 2006).

Na atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL, as maiores médias dos valores de temperatura foram registrados nas profundidades de superfície ($27,77 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$) e acima da termoclina ($27,75 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$), com valor máximo de $27,87^{\circ}\text{C}$ na superfície da estação PIL-LL_J501 e mínimo de $24,08^{\circ}\text{C}$ na camada abaixo da termoclina da estação PIL-LL_J502.

Na ACTC, os valores variaram entre 27,83 °C, na estação PIL-LL_J1002, e 27,69 °C, na estação PIL-LL_M1000. Na TC, os valores variaram entre 27,39 °C na estação PIL-LL_M1000 e 26,90 °C na estação PIL-LL_J501, com média de $27,13 \pm 0,18$ °C. Abaixo da termoclina, os valores variaram entre 25,16 °C na estação PIL-LL_M1000 e 24,08 °C na estação PIL-LL_J502, com média de $24,50 \pm 0,36$ °C (Tabela V-1).

Tabela V-1 – Valores de temperatura (°C) medidos na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL_M1000	PIL-LL_J100_R	PIL-LL_J250	PIL-LL_J501	PIL-LL_J502	PIL-LL_J503	PIL-LL_J1001	PIL-LL_J1002	PIL-LL_J1003		
SUP	27,78	27,79	27,78	27,87	27,75	27,74	27,73	27,83	27,70	27,77	0,05
ACTC	27,69	27,80	27,77	27,71	27,73	27,74	27,74	27,83	27,71	27,75	0,05
TC	27,39	26,97	27,16	26,90	26,93	27,04	27,19	27,23	27,34	27,13	0,18
ABTC	25,16	24,53	24,28	24,43	24,08	24,18	24,87	24,25	24,76	24,50	0,36
Máx.	27,78	27,80	27,78	27,87	27,75	27,74	27,74	27,83	27,71		
Mín.	25,16	24,53	24,28	24,43	24,08	24,18	24,87	24,25	24,76		
Média	27,01	26,77	26,75	26,73	26,62	26,68	26,88	26,79	26,88		
DP	1,24	1,54	1,67	1,59	1,74	1,70	1,37	1,71	1,42		

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, onde é possível verificar diminuição da temperatura da superfícies para a camada abaixo da termoclina em todas as amostras.

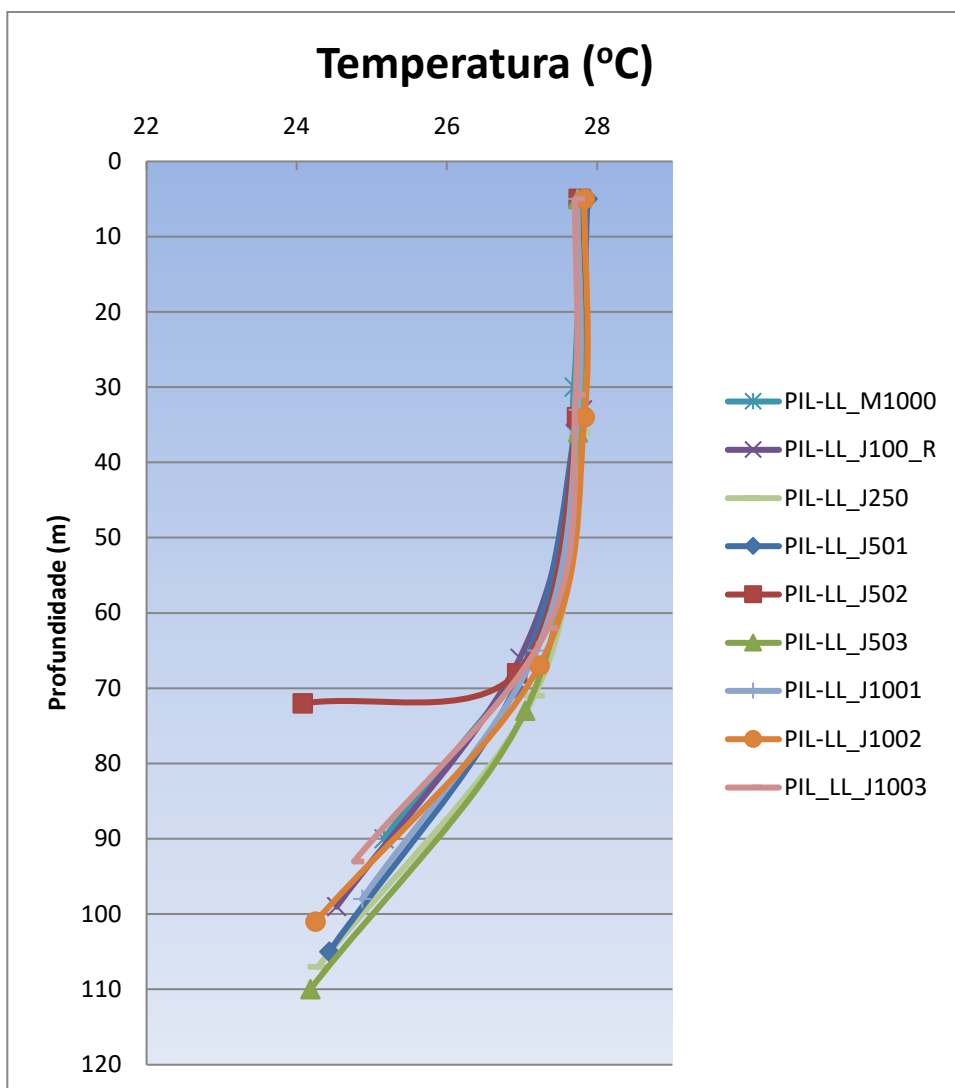


Figura V-1 – Variação vertical de temperatura (°C) na atual campanha de monitoramento ambiental.

Na Figura V-2 são apresentados os valores de temperatura da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD. Na mesma, é possível verificar a presença da termoclina permanente, entre 70 e 800 m, estando mais acentuada entre 70 e 300 m.

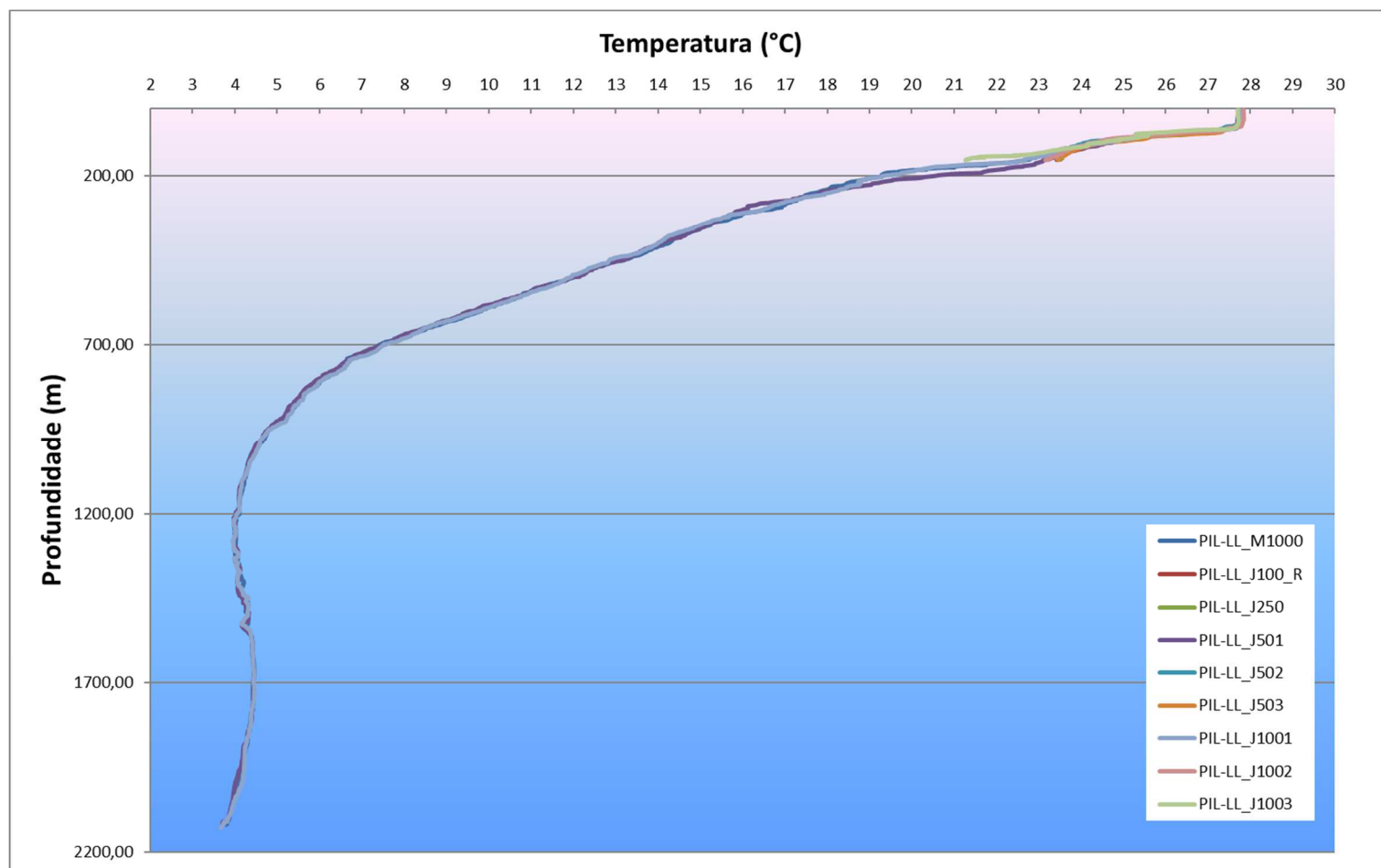


Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD na atual campanha de monitoramento.

Durante o período da campanha, houve o descarte diário médio de 2.767,00 m³/dia de água produzida na saída do flotador, com temperatura média (durante o 1º semestre de 2023) de 48,9 °C. Apesar de terem sido observadas maiores temperatura nas estações imediatamente a jusante da plataforma em dois casos: PIL-LL_J100_R em relação a PIL-LL_M1000 (+0,11 °C na ACTC) , e na PIL-LL_J250 em relação a PIL-LL_J100_R (+0,19°C na TC) da estação. foram verificadas temperaturas semelhantes ou mesmo superiores nas outras estações, considerando cada um dos estratos de profundidade, sugerindo que a temperatura da água produzida não condicionou a distribuição de temperatura entre as estações. Todos os valores observados são característicos de águas oceânicas.

Em relação à salinidade, o menor valor medido foi de 36,40 na ABTC da estação PIL-LL_J501, e o maior, 36,87 na ABTC da estação PIL-LL_M1000 (Tabela V-2). Considerando todas as estações, a salinidade média variou entre 36,71 ± 0,14, na camada abaixo da termoclina, e 36,81 ± 0,06, na superfície e na camada acima da termoclina.

Tabela V-2 – Salinidade medida nos quatro estratos da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL_M1000	PIL-LL_J100_R	PIL-LL_J250	PIL-LL_J501	PIL-LL_J502	PIL-LL_J503	PIL-LL_J1001	PIL-LL_J1002	PIL-LL_J1003		
SUP	36,80	36,84	36,83	36,66	36,83	36,83	36,81	36,84	36,81	36,81	0,06
ACTC	36,80	36,84	36,84	36,64	36,83	36,83	36,82	36,84	36,82	36,81	0,06
TC	36,72	36,75	36,76	36,48	36,76	36,76	36,71	36,78	36,72	36,72	0,09
ABTC	36,87	36,74	36,69	36,40	36,66	36,68	36,86	36,69	36,82	36,71	0,14
Máx.	36,87	36,84	36,84	36,66	36,83	36,83	36,86	36,84	36,82		
Mín.	36,72	36,74	36,69	36,40	36,66	36,68	36,71	36,69	36,72		
Média	36,80	36,79	36,78	36,55	36,77	36,78	36,80	36,79	36,79		
DP	0,06	0,06	0,07	0,13	0,08	0,07	0,06	0,07	0,05		

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

De maneira geral, a salinidade foi relativamente homogênea entre as diferentes estações, com tendência de diminuir de SUP a ABTC tendo aumentado apenas entre a TC e a ABTC, nas estações PIL-LL_M1000, PIL-LL_J1001, PIL-LL_J1003 e entre SUP e ACTC nas estações PIL-LL_J250, PIL-LL_J1001 e PIL-LL_J1003 e (Figura V-3). Com exceção da estação J501 que apresentou valores menores que as demais estações, todas as diferenças foram muito pequenas, o que pode ser verificado através dos baixos valores de desvio-padrão dos dados.

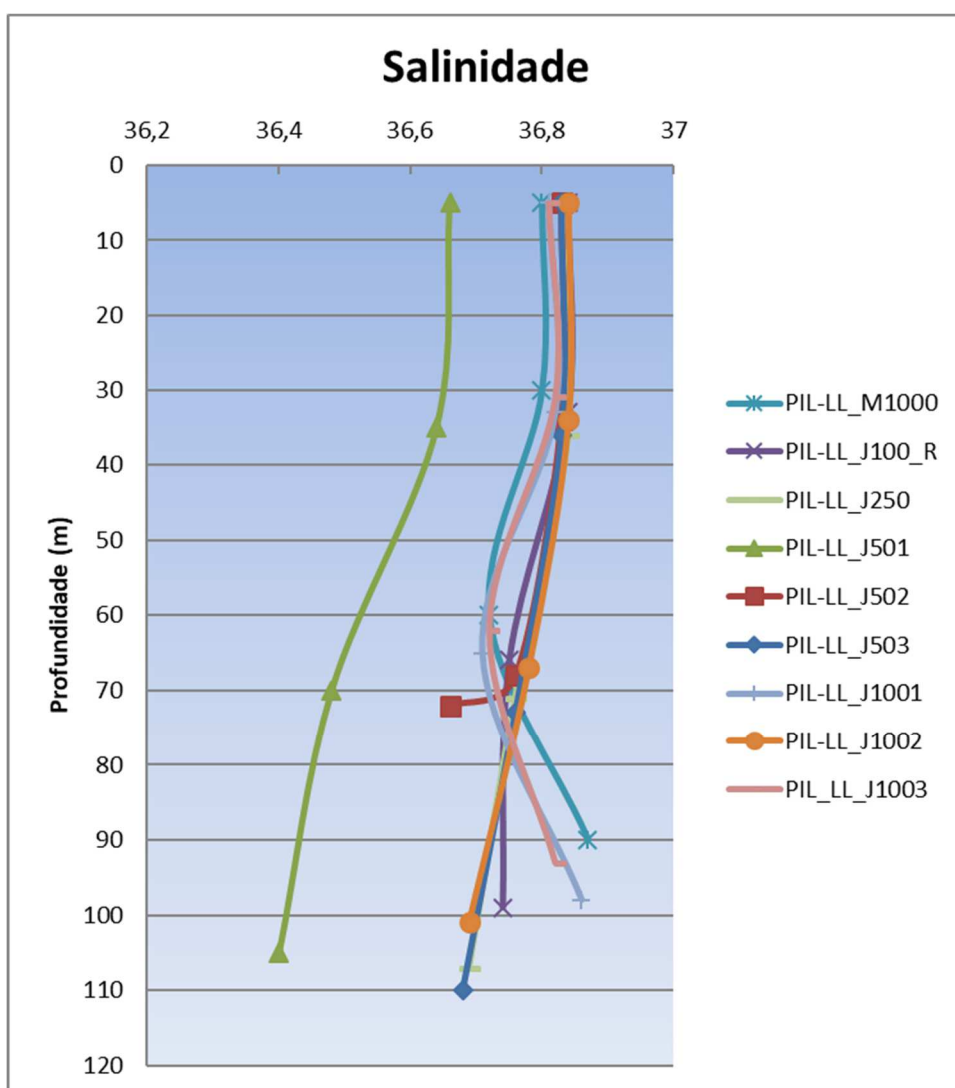


Figura V-3 – Variação vertical de salinidade da atual campanha de monitoramento.

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 a presença da haloclina entre 100 e 800 m. É importante notar o aspecto bimodal do perfil de

salinidade, em que a amostra PIL-LL_J501 apresenta uma maior variação de salinidade ao longo da haloclina, com máximo de 36,6 na superfície. Já as demais amostras tiveram comportamento similar, partindo de valores superficiais mais elevados e ocorrem aproximadamente sobre os mesmos valores ao longo da coluna d'água, apresentando menor variação de salinidade ao longo da haloclina.

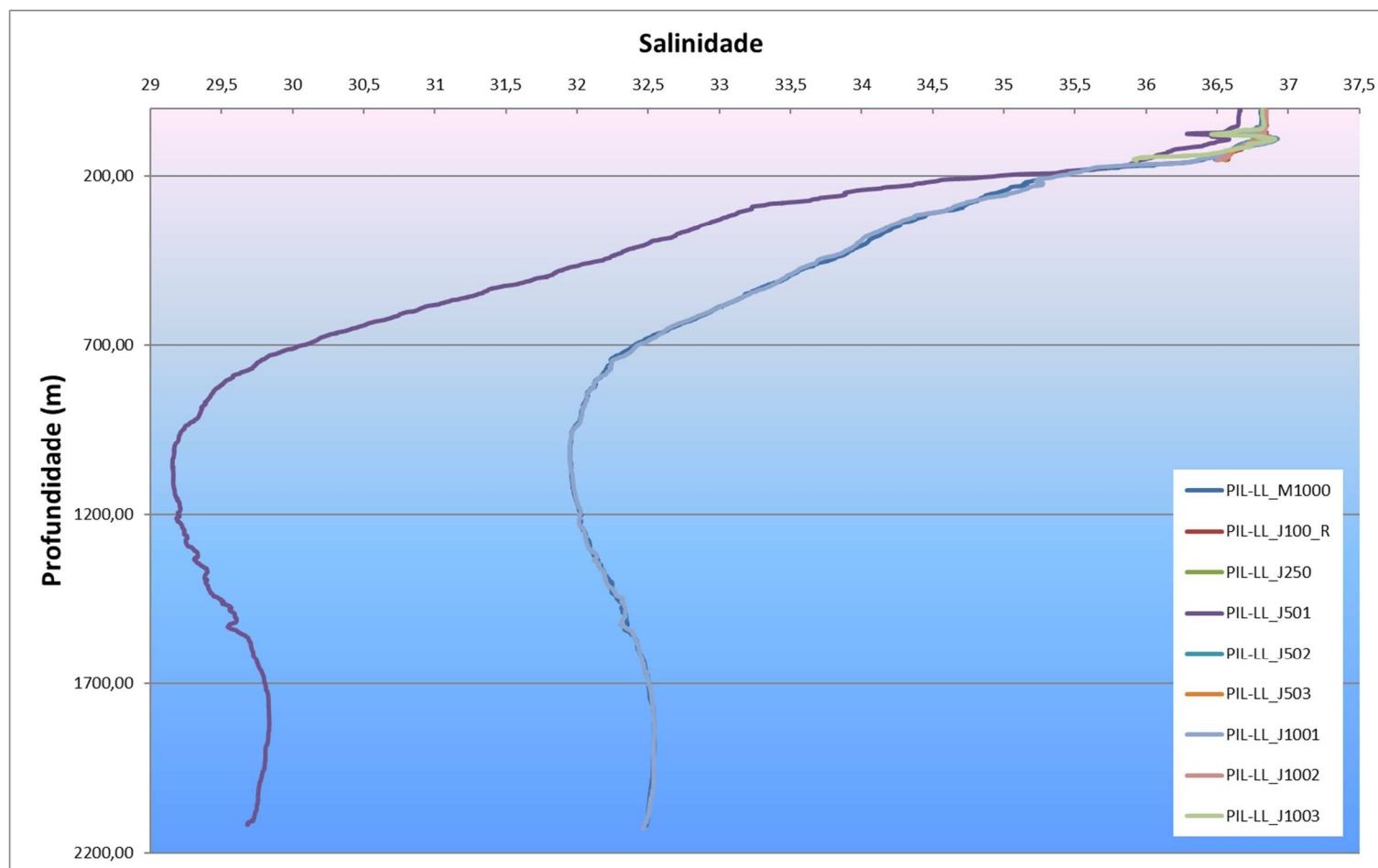


Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.

A água produzida pelo FPSO-CAR apresentou, na análise dos efluentes do 1º semestre de 2023, uma salinidade média igual a 71.821,28 mg/L NaCl (71,82 psu) na saída do flutador. Embora tenha sido encontrada uma maior concentração deste parâmetro na água produzida pelo FPSO-CAR, quando comparada às concentrações observadas no ambiente marinho do entorno (36,76, considerando a média das 36 amostras coletadas na atual campanha), observa-se que as diferenças de salinidade ao longo do sentido da corrente, ou seja, de PIL-LL_M1000 (à montante do lançamento) até a estação PIL-LL_J502 não apresentaram um padrão claro que possa ser relacionado ao descarte do efluente, os valores de salinidade encontrados nas amostras são característicos de águas oceânicas, semelhantes entre si, muito menores que o da água produzida independente da distância da plataforma e da direção da corrente.

Na Tabela V-3, são apresentados os valores mínimos e máximos de temperatura e salinidade encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Essas faixas de variação de temperatura e salinidade corroboram as verificadas nesta campanha.

Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água nos estudos anteriores na Bacia de Santos. * = dados não disponíveis.

Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	18,54 (210 m)	27,49 (SUP)	36,04	36,72
PIL-LL_C2 ²	-	-	36,77	37,01
PIL-LL_C3 ³	13,96 (200 m)	24,95 (SUP)	35,55 (25 m)	36,89 (200 m)
PIL-LL_C4 ⁴	23,57 (ABTC)	26,39 (SUP)	36,90 (SUP/ACTC)	37,14 (ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	17,85 (ABTC)	27,59 (SUP)	35,99 (ABTC)	37,03 (ACTC)
PIL-LL_C6 ⁶	22,74 (ABTC)	27,10 (SUP)	36,95 (ABTC)	37,18 (TC/ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	23,24 (ABTC)	24,54 (SUP)	36,97 (ABTC)	37,08 (SUP/ACTC)
PIL-LL_C8 ⁸	22,35 (ABTC)	24,12 (TC)	36,89 (ABTC)	37,13 (TC)
PIL-LL_C9 ⁹	20,48 (ABTC)	25,28 (SUP)	36,59 (ABTC)	36,99 (TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	22,05 (ABTC)	23,45 (SUP/ACTC)	36,85 (ABTC)	37,02 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	25,20 (ABTC)	26,87 (SUP/ACTC)	37,22 (SUP/ACTC/TC)	37,33 (ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	23,78 (ABTC)	27,88 (SUP)	37,03 (ABTC)	37,29 (TC)
PIL-LL_C13 ¹³	19,70 (ABTC)	23,64 (SUP)	36,32 (ABTC)	37,00 (ACTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	20,32 (ACTC)	27,06 (SUP)	36,43 (ABTC)	37,12 (ACTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	22,67 (ABTC)	27,24 (SUP)	36,99 (ABTC)	37,25 (TC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	22,64 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,92 (ABTC)	37,18 (SUP)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	21,61 (ABTC)	24,51 (SUP)	36,76 (ABTC)	37,21 (ACTC)

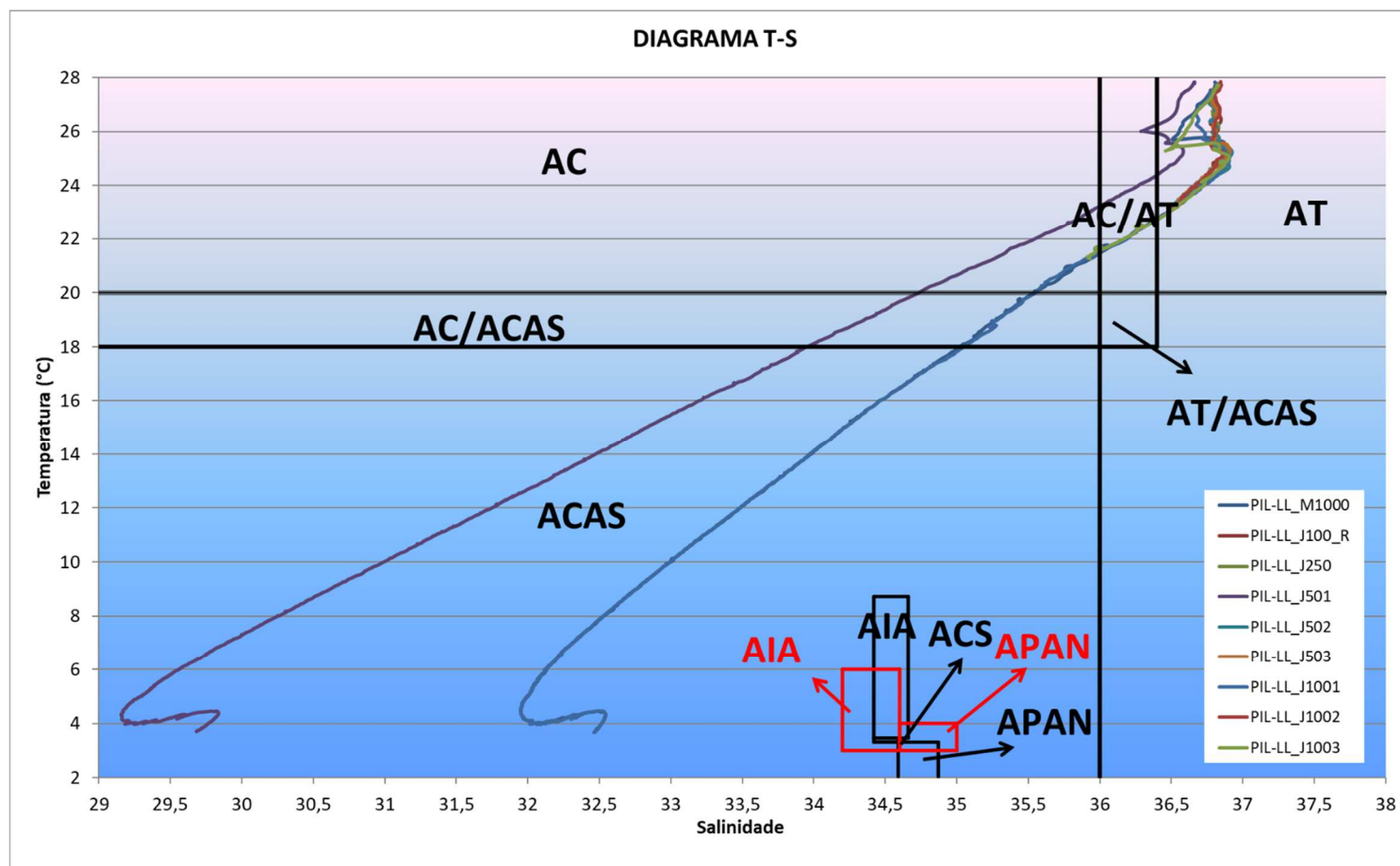
Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	22,60 (ABTC)	25,11 (SUP)	36,78 (TC)	37,12 (TC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	22,72 (ABTC)	23,76 (SUP)	36,95 (TC)	36,99 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	24,72 (ABTC)	27,00 (SUP)	37,09 (ABTC)	37,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	21,30 (ABTC)	26,99 (SUP)	36,56 (ACTC/ABTC)	37,22 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	20,56 (ABTC)	23,54 (SUP)	36,54 (ABTC)	37,13 (SUP)
PIL-LL-NE_C10 ²³	24,16 (ABTC)	27,77 (SUP)	36,24 (SUP/ACTC)	36,59 (ABTC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	14,51 (ABTC)	27,44 (SUP)	35,42 (ABTC)	36,94 (ACTC)
PIL-SAP_C2 ²⁵	22,58 (ABTC)	27,43 (SUP)	36,93 (ABTC)	37,17 (TC)
PIL-SAP_C3 ²⁶	22,60 (ABTC)	24,65 (SUP/ACTC)	36,90 (ABTC)	37,11 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C4 ²⁷	20,37 (ABTC)	23,40 (SUP)	36,33 (ABTC)	36,76 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	21,93 (ABTC)	25,36 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,95 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁹	22,42 (ABTC)	24,75 (SUP)	36,88 (ABTC)	37,11 (TC)
PIL-SAP_C7 ³⁰	23,72 (ABTC)	26,48 (SUP)	36,73 (ABTC)	37,15 (ABTC)
PIL-SAP_C8 ³¹	23,94 (ABTC)	26,17 (SUP)	37,12 (ABTC)	37,22 (TC)
PIL-SAP_C9 ³²	21,60 (ABTC)	23,78 (SUP)	36,48 (TC)	36,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³³	20,99 (ABTC)	27,12 (SUP)	36,58 (ABTC)	37,21 (ACTC)
DP-IRA-S_C2 ³⁴	22,60 (ABTC)	25,54 (SUP)	36,91 (ABTC)	37,20 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C3 ³⁵	21,26 (ABTC)	23,85 (SUP)	36,66 (ABTC)	37,06 (TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁶	23,57 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,99 (SUP/ACTC)	37,29 (TC)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	22,70 (ABTC)	23,61 (SUP)	36,96 (ABTC)	37,02 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	25,31 (ABTC)	26,90 (SUP)	37,27 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	37,36 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	22,20 (ABTC)	26,76 (SUP)	36,69 (ABTC)	36,99 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	21,59 (ABTC)	24,91 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,94 (ACTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	22,01 (ABTC)	27,96 (SUP)	35,89 (ABTC)	36,50 (TC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

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) (marcações em preto no gráfico) (Tabela IV-6), conforme proposto na metodologia do presente relatório. Adicionalmente, optou-se por considerar também no

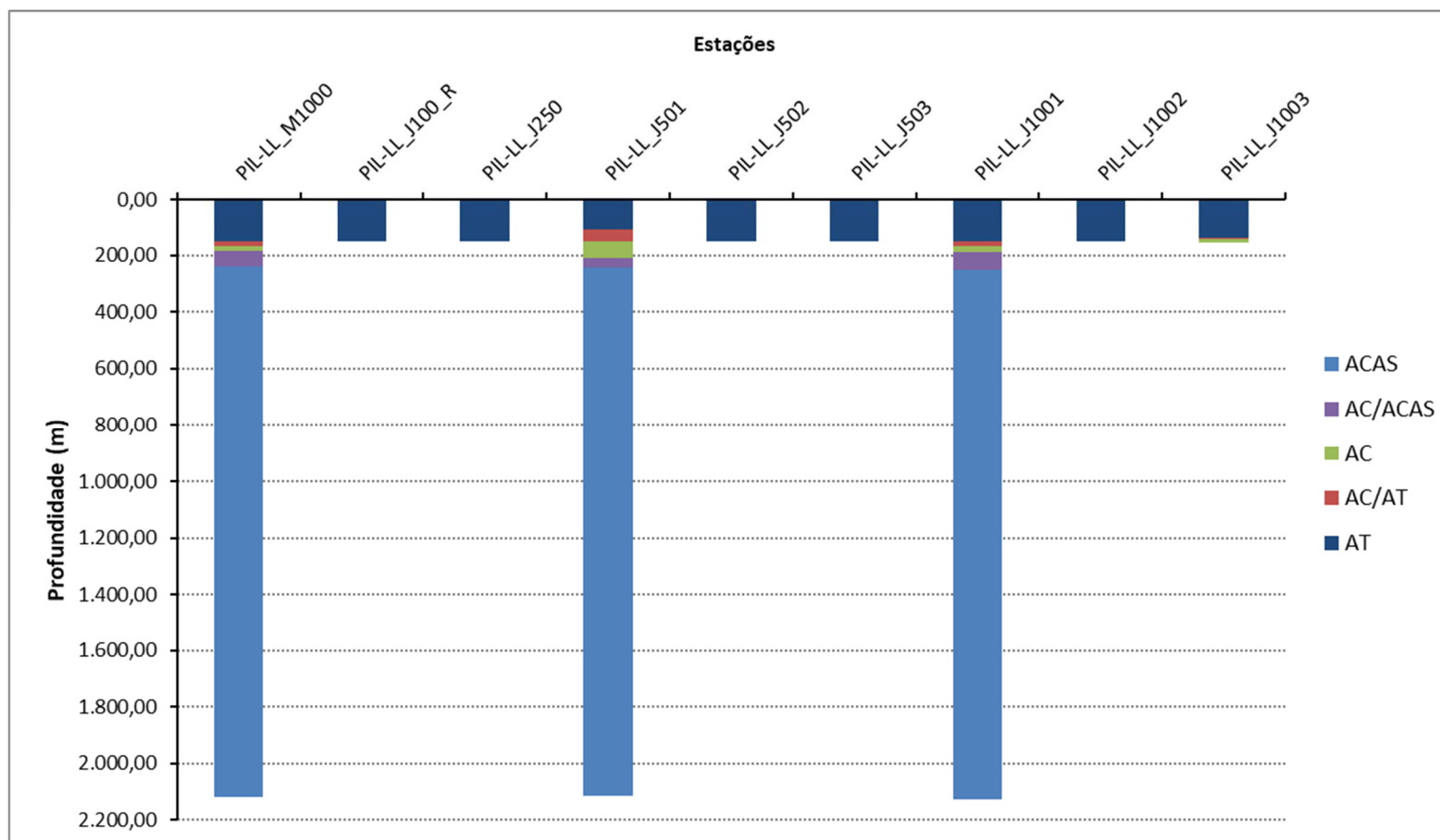
diagrama as classificações propostas por Castro *et al.* (2006), que analisa a área compreendida entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS), englobando, portanto, a Bacia de Santos, que é uma área pouco estudada em relação a esse aspecto, com poucos dados e estudos que explorem as massas d'água e seus limites especificamente para o local. Assim, em vermelho, estão destacados os trechos classificados conforme Castro *et al.* (2006), que classifica AIA e APAN, conforme os seguintes limites: salinidade entre 34,2 e 34,6 e temperatura entre 3 e 6°C para AIA e entre 34,6 e 35,0 e 3 e 4°C para APAN. Cabe ressaltar que os limites de temperatura e salinidade das massas d'água podem sofrer alterações conforme o critério de classificação considerado por cada um dos autores e conforme características geográficas da região estudada.

A análise dos dados conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) mostrou a ocorrência de AT, AC/AT, AC, AC/ACAS e ACAS na atual campanha (Figura V-6 e Quadro V-1). Considerando-se a classificação de Castro *et al.* (2006), em caráter complementar, não se verificou ocorrências de massa d'água dessa classificação



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, AT/ACAS=mistura de AT e ACAS, AIA=Água Intermediária Antártica; ACS=Água Circumpolar Superior e APAN=Água Profunda do Atlântico Norte.

Figura V-5 – Diagrama T-S na atual campanha de monitoramento. Em vermelho, limites estabelecidos por Castro et al. (2006). Em preto, limites estabelecidos por Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).



Legenda: AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AC/AT=mistura de AC e AT; AC/ACAS=mistura de AC e ACAS; AT/ACAS=mistura de AT e ACAS; AIA=Água Intermediária Antártica; ACS=Água Circumpolar Superior e APAN=Água Profunda do Atlântico Norte.

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

A Água Tropical (AT) ocupou a porção mais superficial até o nível da camada abaixo da termoclina, em todos os pontos amostrais, atingindo o máximo de 152 m nas estações PIL-LL_J100 e PIL-LL_J1002. A sequência de ocorrências das massas d'água foi : a mistura entre AC/AT ocupando profundidades entre 143 e 168 m; AC entre 182 e 207 m; a mistura entre AC/ACAS, entre 240 e 250 m; e ACAS ocupando porções mais profundas da coluna d'água, a partir de 240 m até 2128 m. Todas essas massas d'água ocorreram apenas nas amostras PIL-LL_M1000, PIL-LL_J501 e PIL-LL_J1001, em que a perfilagem foi até o fundo. Na amostra PIL-LL_J1003, além da AT, também ocorreu AC/AT e AC.

A massa d'água 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). Considerando-se a classificação de Castro *et al.* (2006), o limite inferior da ACAS passa para aproximadamente 759 m de profundidade.

Conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000), os limites da AIA, ACS ou APAN não classificaram os resultados de temperatura e salinidade encontrados na presente campanha. E considerando a classificação de Castro *et al.* (2006), os limites da AIA e APAN também não classificaram na presente campanhas.

Assim como na atual campanha, a AT e a ACAS também foram as massas que ocorreram de forma mais recorrente nas amostragens das treze campanhas do monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c) (Quadro V-1). As principais diferenças encontradas entre a atual e as demais campanhas foram a presença de AT/ACAS e ACAS na termoclina durante a quinta campanha, onde, por conseguinte, não houve AT na ABTC, a presença de AC/ACAS na camada abaixo da termoclina durante a segunda e quarta campanha, e a presença de AC/AT na ABTC durante a quarta campanha e a presença de AC/AT e AC/ACAS na ABTC da décima segunda e décima quarta campanha. A identificação da presença de AIA, ACS e APAN só foi possível a partir da quarta campanha pois anteriormente as perfilagens

com CTD não eram realizadas em toda a coluna d'água, sendo interrompidas alguns metros após a profundidade de identificação da termoclina.

Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água no PMPR_PIL-LL.

Estratos	Campanhas													
	PIL-LL_ C1*	PIL-LL_ C2*	PIL-LL_ C3*	PIL-LL_ C4	PIL-LL_ C5	PIL-LL_ C6	PIL-LL_ C7	PIL-LL_ C8	PIL-LL_ C9	PIL-LL_ C10	PIL-LL_ C11	PIL-LL_ C12	PIL-LL_ C13	PIL-LL_ C14
SUP	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT
ACTC	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT
TC	AT	AT	AT	AT	AT AT/ACAS ACAS	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT
ABTC	AT AT/ACAS ACAS	AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS	AT AT/ACAS ACAS	AT AC/AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AT/ACAS AC/AT AT/ACAS AC/ACAS ACAS APAN** AIA APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA APAN**	AT AT/ACAS AC AC/ACAS ACAS	AT AC/AT AC AC/ACAS ACAS

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

* Perfilagem com CTD interrompida alguns metros após a identificação da termoclina.

** Considerando a classificação de Castro et al. (2006).

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 6,43 mg/L, na termoclina da estação PIL-LL_J1003, e 6,93 mg/L, na camada abaixo da termoclina de PIL-LL_M1000 (Tabela V-4 e Figura V-7).

Conforme observado na Tabela V-4, as menores médias de valores por profundidade de oxigênio dissolvido estão presentes na termoclina ($6,52 \pm 0,09$ mg/L) e na camada acima da termoclina ($6,60 \pm 0,06$ mg/L). Já as maiores médias de valores de OD são apresentados na superfície e na camada abaixo da termoclina ($6,64 \pm 0,04$ mg/L e $6,80 \pm 0,09$ mg/L, respectivamente). De acordo com os padrões CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, 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) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL_M1000	PIL-LL_J100_R	PIL-LL_J250	PIL-LL_J501	PIL-LL_J502	PIL-LL_J503	PIL-LL_J1001	PIL-LL_J1002	PIL-LL_J1003		
SUP	6,66	6,71	6,63	6,59	6,60	6,60	6,67	6,66	6,67	6,64	0,04
ACTC	6,60	6,72	6,58	6,55	6,57	6,53	6,60	6,69	6,59	6,60	0,06
TC	6,61	6,68	6,44	6,44	6,53	6,44	6,54	6,54	6,43	6,52	0,09
ABTC	6,93	6,85	6,76	6,66	6,72	6,73	6,89	6,84	6,86	6,80	0,09
Máx.	6,93	6,85	6,76	6,66	6,72	6,73	6,89	6,84	6,86		
Mín.	6,60	6,68	6,44	6,44	6,53	6,44	6,54	6,54	6,43		
Média	6,70	6,74	6,60	6,56	6,61	6,58	6,68	6,68	6,64		
DP	0,16	0,08	0,13	0,09	0,08	0,12	0,15	0,12	0,18		

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

A distribuição vertical das concentrações de OD na coluna d'água amostrada apresentou um padrão semelhante entre a maioria das estações, com tendência de diminuição das concentrações de OD de SUP até TC e de aumento da TC para a ABTC (Figura V-7).

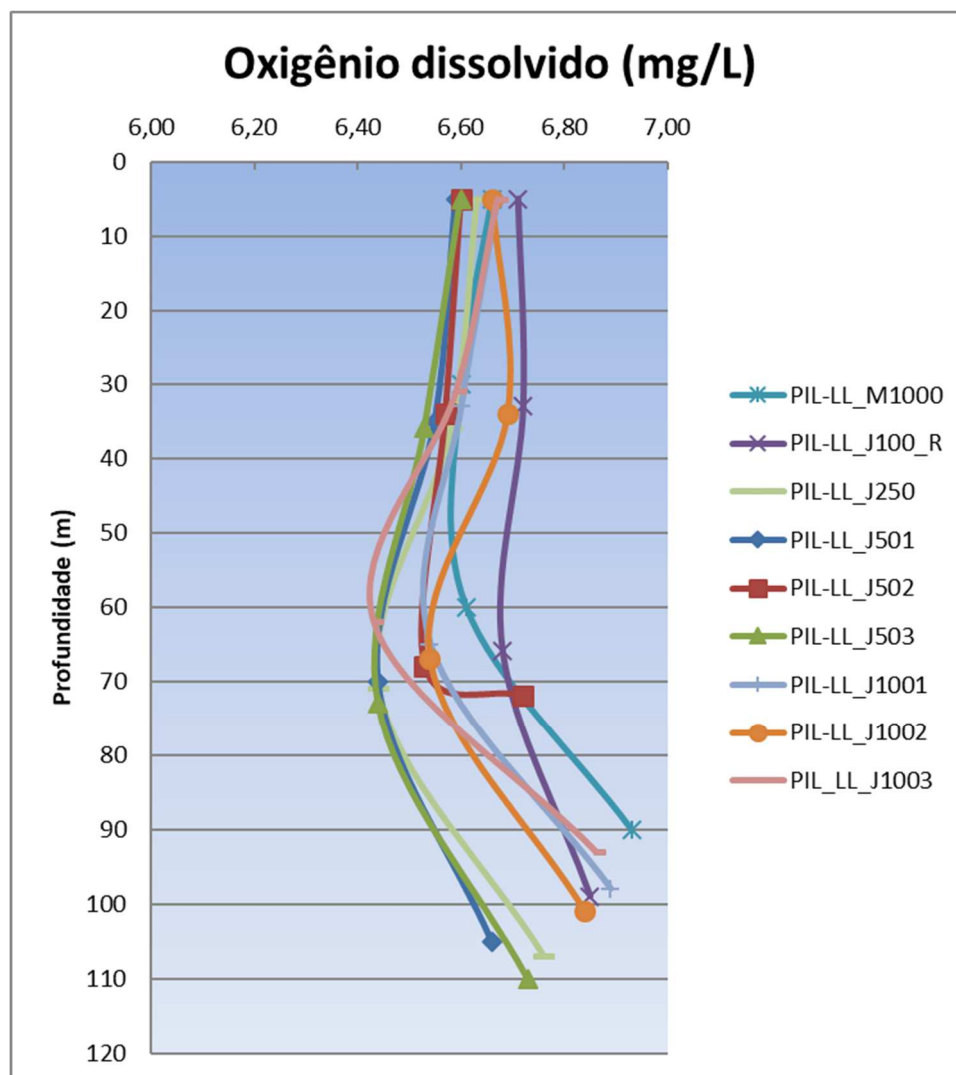


Figura V-7 – Variação vertical de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos na atual campanha de monitoramento.

O perfil vertical das concentrações de OD na coluna d'água obtidas com CTD revelou um padrão de oscilações, com aumento gradual das concentrações de oxigênio no início da termoclina e em torno dos 700 m, com posteriores oscilações que resultam no decréscimo das concentrações até a profundidade de 1.200 m, e posterior aumento das concentrações a partir dessa profundidade (Figura V-8).

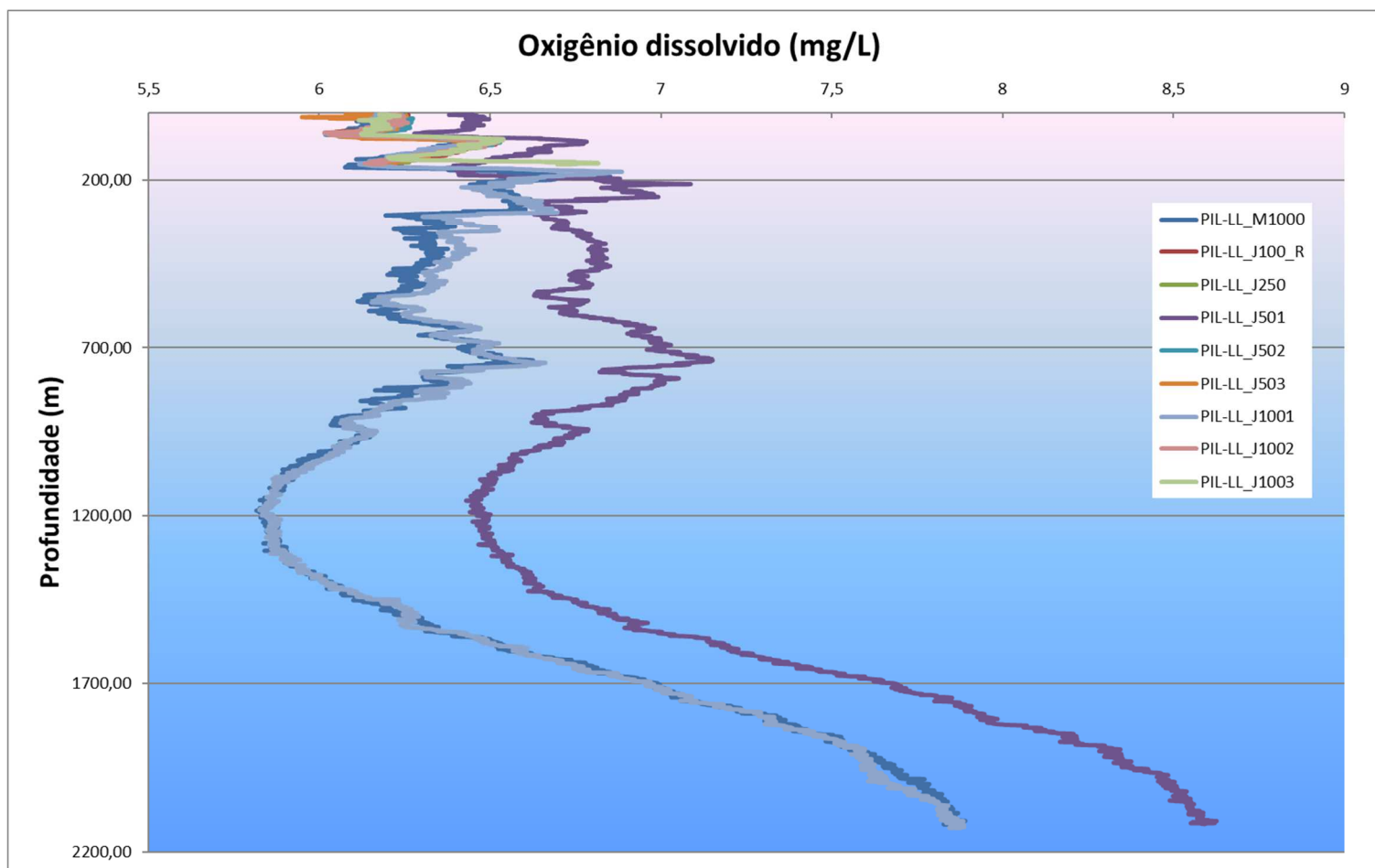


Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.

Segundo Petrobras (2022), importante estudo realizado na região da Bacia de Santos, foram encontrados valores de OD entre 5,2 e 8,1 mg/L.. Na Tabela V-5, são apresentados os valores mínimo e máximo de oxigênio dissolvido encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os valores da atual campanha apresentaram-se dentro da faixa de variação dos dados obtidos pelos estudos anteriores.

Tabela V-5 - Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) medidos na água nos estudos anteriores.

Campanha	Oxigênio dissolvido (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	5,67 (ACTC)	9,60 (TC)
PIL-LL_C2 ²	5,80 (ACTC)	10,40 (ABTC)
PIL-LL_C3 ³	5,99 (ACTC)	7,25 (TC)
PIL-LL_C4 ⁴	6,65 (ACTC)	7,40 (TC)
PIL-LL_C5 ⁵	5,79 (SUP)	7,92 (TC)
PIL-LL_C6 ⁶	6,40 (SUP)	7,32 (ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	6,32 (ACTC)	6,79 (ABTC)
PIL-LL_C8 ⁸	6,25 (SUP)	7,05 (ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	7,47 (ABTC)	8,16 (ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	6,06 (SUP/TC)	6,56 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	6,40 (SUP/TC)	7,31 (TC)
PIL-LL_C12 ¹²	6,51 (SUP)	7,02 (ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	6,10 (SUP)	6,54 (ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	5,91 (SUP)	8,01 (ABTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	6,22 (ACTC)	6,80 (TC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	6,14 (SUP)	6,78 (TC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	6,44 (ABTC)	7,13 (TC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	7,63 (SUP)	8,13 (ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	6,00 (ACTC)	6,69 (ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	6,43 (ACTC)	6,98 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	6,54 (SUP)	7,48 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	6,45 (TC/ABTC)	6,58 (ABTC)
PIL-LL-NE_C10 ²³	6,37 (SUP)	7,11 (TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	5,64 (SUP)	7,52 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁵	6,38 (SUP)	7,34 (ABTC)
PIL-SAP_C3 ²⁶	6,38 (TC)	7,14 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁷	6,48 (SUP)	7,27 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	5,25 (SUP)	6,01 (SUP)
PIL-SAP_C6 ²⁹	6,19 (TC)	6,69 (SUP)
PIL-SAP_C7 ³⁰	6,18 (SUP)	7,15 (TC)

PIL-SAP_C8 ³¹	6,10 (ABTC)	6,98 (ABTC)
PIL-SAP_C9 ³²	6,52 (SUP)	7,16 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³³	6,26 (ACTC)	6,88 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³⁴	6,18 (SUP)	6,75 (TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 ³⁵	6,60 (SUP)	7,19 (SUP)
DP-IRA-S_C4 ³⁶	6,29 (SUP)	6,70 (ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	5,90 (TC)	6,50 (ABTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	6,39 (ACTC)	7,00 (ACTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	6,58 (TC)	7,42 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	6,57 (SUP)	7,59 (TC)
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	6,08 (ACTC)	7,78 (TC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

Na Figura V-9, são apresentadas as faixas de concentrações médias de oxigênio dissolvido (OD) obtidas em cada profundidade nas 14 campanhas do PMPR_PIL-LL. É possível verificar que, de um modo geral, a 1ª e 2ª campanhas mostraram uma variação mais ampla nas concentrações de OD em cada profundidade, exceto na camada ACTC, onde a 5ª campanha apresentou as maiores variações. A concentração máxima mais elevada de OD (10,40 mg/L) foi verificada na 2ª campanha, enquanto a mínima (5,67 mg/L) foi verificada na 1ª campanha. Na comparação dos resultados de concentração média de OD em cada um dos níveis de profundidade foram detectadas diferenças significativas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Na SUP, a nona campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, terceira, quinta, sexta, décima e décima terceira campanha, a quarta campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, quinta, décima e décima terceira campanha, a décima quarta diferiu da primeira, da segunda, da quinta e da décima terceira, e a décima primeira e a décima segunda campanha diferiram significativamente da quinta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a nona campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, terceira, quinta, sexta, décima e décima terceira campanha, a quarta campanha diferiu significativamente

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

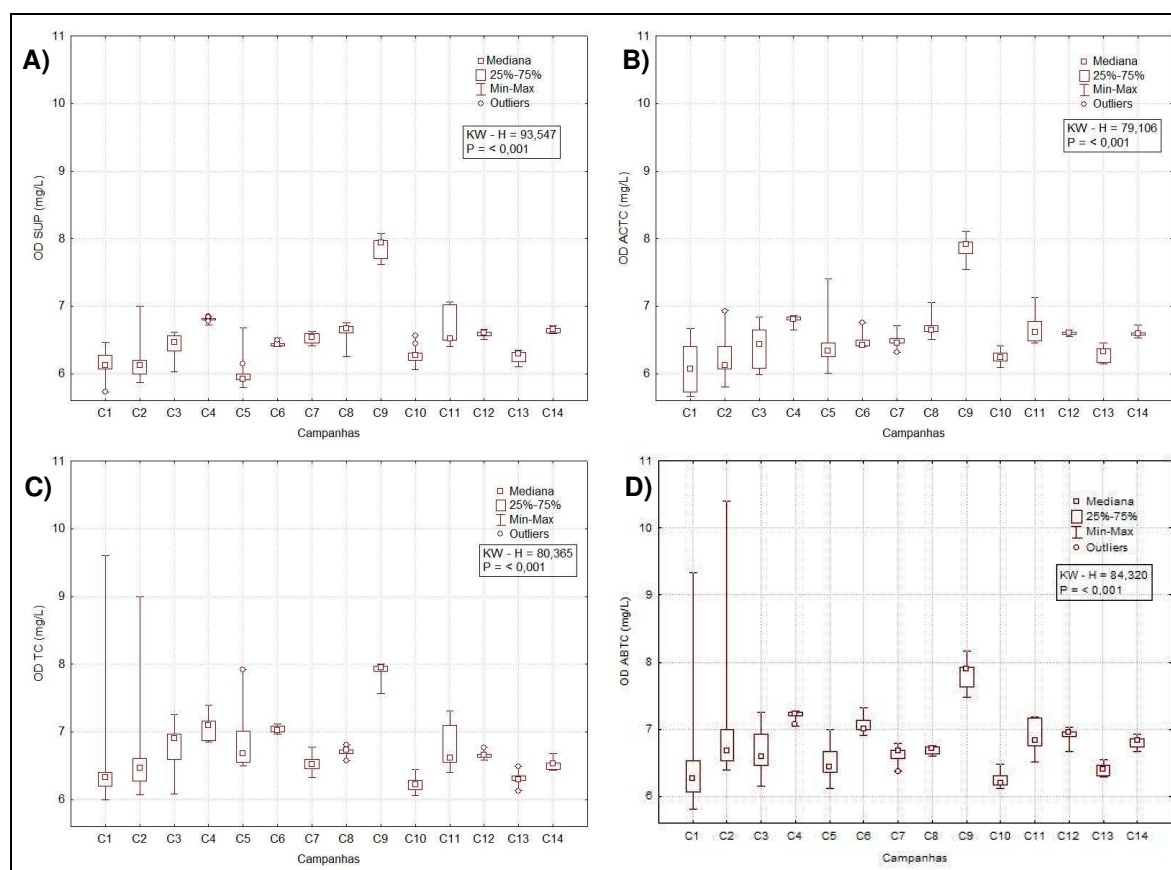


Figura V-9 – Concentrações médias de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 CO_2 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 permaneceu alcalino em todas as amostras, variando entre 7,99, na superfície da estação PIL-LL_M1000, e 8,10, na ABTC da estação PIL-LL_J1002 (Tabela V-6 e Figura V-10). A média entre as

estações variou de 8,01 ($\pm 0,02$) na PIL-LL_J503 a 8,05 na PIL-LL_J1002. Na superfície foi observado o menor valor médio de pH 8,01 ($\pm 0,02$), enquanto na camada abaixo da termoclina foi encontrada a maior média 8,05 ($\pm 0,02$). A variação dos valores foi baixa.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- LL_M1000	PIL- LL_J100_R	PIL- LL_J250	PIL- LL_J501	PIL- LL_J502	PIL- LL_J503	PIL- LL_J1001	PIL- LL_J1002	PIL- LL_J1003		
SUP	7,99	8,04	8,04	8,00	8,00	8,00	8,01	8,01	8,02	8,01	0,02
ACTC	8,02	8,06	8,05	8,01	8,01	8,01	8,04	8,02	8,01	8,03	0,02
TC	8,05	8,02	8,02	8,02	8,01	8,00	8,05	8,06	8,01	8,03	0,02
ABTC	8,06	8,04	8,03	8,04	8,05	8,04	8,06	8,10	8,06	8,05	0,02
Máx.	8,06	8,06	8,05	8,04	8,05	8,04	8,06	8,10	8,06		
Mín.	7,99	8,02	8,02	8,00	8,00	8,00	8,01	8,01	8,01		
Média	8,03	8,04	8,04	8,02	8,02	8,01	8,04	8,05	8,03		
DP	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02		

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

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.

De maneira geral, os valores de pH foram muito semelhantes entre as estações e profundidades, com tendência de valores menores na SUP e ACTC, e valores aumentando de TC para ABTC (Figura V-10).

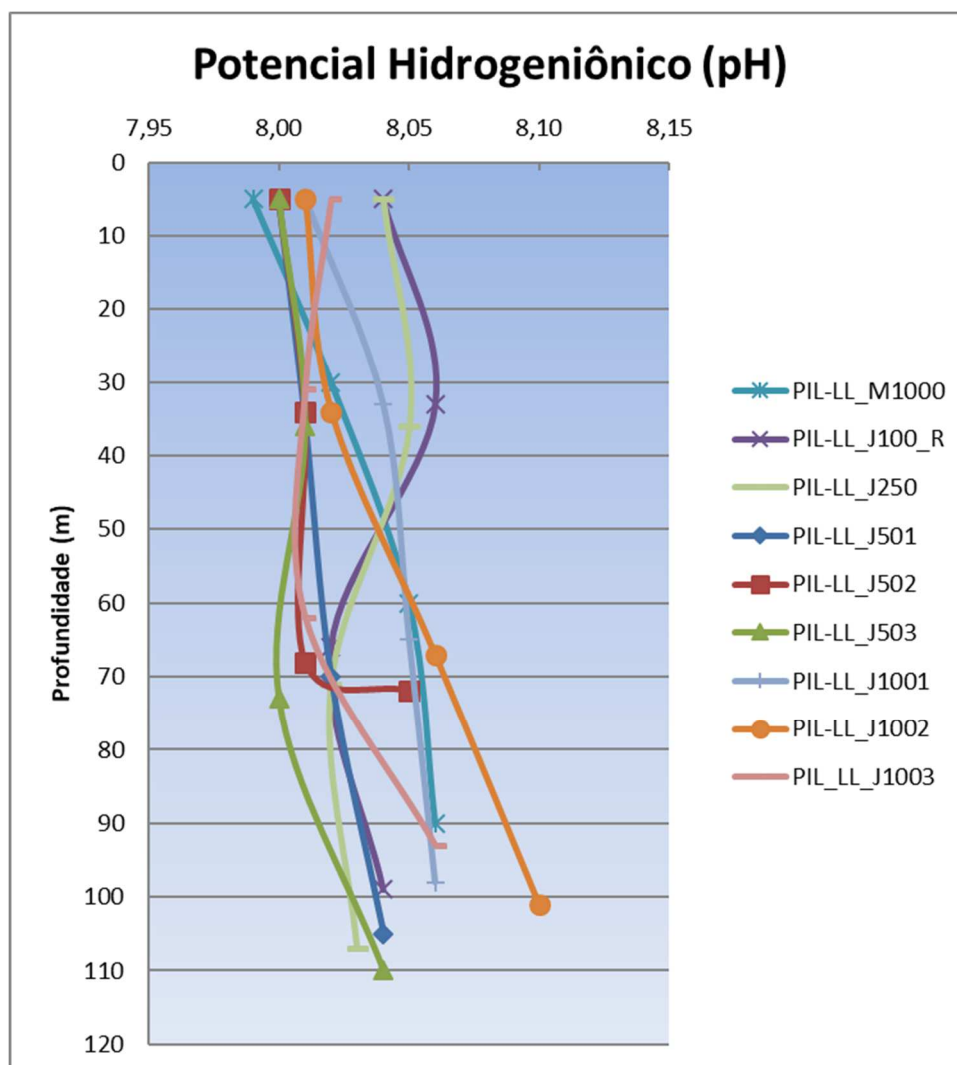


Figura V-10 – Variação vertical de pH obtidos na atual campanha de monitoramento.

A água produzida apresentou, na análise realizada durante o 1º semestre de 2023, pH de 6,55, na saída do flutador. Ao se avaliar a variação dos dados de pH obtidos nas estações do alinhamento central, em comparação com os dados da estação imediatamente anterior, foram observados valores muito semelhantes e

sem padrão de variação definido, de modo que não é possível distinguir possíveis efeitos do descarte da água produzida da variabilidade natural do pH em águas oceânicas.

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 de caracterização ambiental da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002), o pH médio encontrado para a região da Bacia de Santos foi de $8,05 \pm 0,12$, na superfície. No projeto de caracterização ambiental realizado na região da Bacia de Santos entre 2019 e 2022 (PCR-BS) (Petrobras, 2022), o pH médio encontrado para a região da Bacia de Santos foi entre 7,8 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. Na Tabela V-7 são apresentados os valores mínimo e máximo de pH encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os valores da atual campanha apresentaram-se próximos aos registrados nas campanhas anteriores e, de maneira geral, foram inferiores aos valores máximos encontrados anteriormente.

Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água nos estudos.

Campanha	pH	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	8,19 (SUP)	8,36 (SUP)
PIL-LL_C2 ²	7,86 (SUP)	8,00 (TC)
PIL-LL_C3 ³	8,10 (SUP)	8,31 (TC)
PIL-LL_C4 ⁴	6,65 (ACTC)	7,40 (TC)
PIL-LL_C5 ⁵	5,79 (SUP)	7,92 (TC)
PIL-LL_C6 ⁶	6,40 (SUP)	7,32 (ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	7,85 (SUP)	8,10 (ACTC)
PIL-LL_C8 ⁸	8,30 (SUP)	8,37 (SUP/TC/ABTC)
PIL-LL_C9 ⁹	8,10 (ACTC)	8,29 (SUP/ACTC/ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	8,09 (SUP)	8,29 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	8,00 (ABTC)	8,22 (TC)
PIL-LL_C12 ¹²	8,06 (ABTC)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL_C13 ¹³	8,08 (ACTC)	8,18 (SUP/ ACTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	8,11 (ABTC)	8,22 (TC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	8,14 (ACTC)	8,30 (ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	7,93 (ABTC)	8,10 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	8,05 (SUP/ACTC)	8,35 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	8,04 (ABTC)	8,30 (ABTC)

PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	8,06 (SUP)	8,27 (TC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	8,02 (SUP)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	8,03 (TC/ABTC)	8,18 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	7,95 (SUP)	8,17 (ACTC)
PIL-LL-NE_C10 ²³	7,97 (SUP/ACTC)	8,16 (ACTC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	7,90 (ABTC)	8,18 (SUP)
PIL-SAP_C2 ²⁵	8,01 (TC)	8,25 (TC)
PIL-SAP_C3 ²⁶	7,62 (SUP)	8,22 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁷	8,31 (SUP)	8,36 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	8,23 (ABCT)	8,37 (ACTC)
PIL-SAP_C6 ²⁹	8,04 (ABTC)	8,32 (ABTC)
PIL-SAP_C7 ³⁰	8,00 (SUP)	8,18 (ABTC)
PIL-SAP_C8 ³¹	8,10 (SUP)	8,28 (TC)
PIL-SAP_C9 ³²	7,82 (SUP)	8,19 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³³	8,18 (ACTC)	8,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³⁴	7,91 (TC)	8,09 (TC)
DP-IRA-S_C3 ³⁵	8,07 (TC)	8,35 (ACTC/TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁶	8,22 (ABTC)	8,32 (ACTC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	8,07 (ACTC)	8,25 (ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	8,03 (SUP)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	7,98 (ABTC)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	7,89 (ABTC)	8,18 (TC)
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	7,96 (SUP/ACTC)	8,07 (ABTC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

Observa-se que a variação dos valores de pH em cada uma das profundidades tendeu a ser mais ampla na sexta campanha de monitoramento, exceto na superfície, em que foi mais ampla na quinta campanha, e na ACTC, em que foi mais ampla na nona campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram verificadas diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas (Figura V-11). Na superfície, a quarta campanha diferiu significativamente da segunda, sexta, sétima, décima primeira, décima

segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a oitava diferiu da segunda, sexta, sétima, décima primeira, décima segunda e décima quarta, a primeira e a nona campanha diferiram significativamente da segunda, sétima, décima primeira e décima quarta campanha, a terceira e a décima campanha diferiram da segunda, da sétima e da décima quarta campanha, e a segunda campanha diferiu significativamente da quinta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada acima da termoclina, a quarta campanha diferiu significativamente da segunda, sexta, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a oitava campanha diferiu da segunda, sexta, sétima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, a primeira campanha diferiu da segunda, sétima, décima primeira e décima quarta campanha, a nona diferiu da segunda e décima quarta, e a segunda campanha diferiu significativamente da quinta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a quarta campanha diferiu significativamente da segunda, quinta, sexta, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a oitava campanha diferiu significativamente da segunda, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a primeira, a terceira e a nona campanha diferiram significativamente da segunda, sétima e décima quarta campanha, e a segunda campanha diferiu da sexta e da décima (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada abaixo da termoclina, a quarta campanha diferiu significativamente da segunda, quinta, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a primeira campanha diferiu significativamente da segunda, quinta, sétima, décima primeira e décima quarta campanha, a oitava campanha diferiu significativamente da segunda, quinta, sétima, décima primeira, décima segunda e décima quarta campanha, a nona e a décima campanha diferiram significativamente da segunda, sétima e décima quarta campanha, e a segunda diferiu da terceira e da sexta (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, a quarta campanha apresentou diferenças significativas em relação a maioria das campanhas para todos os estratos, com dados superiores, ao passo que a segunda campanha apresentou os menores valores, diferindo da maioria das demais campanhas.

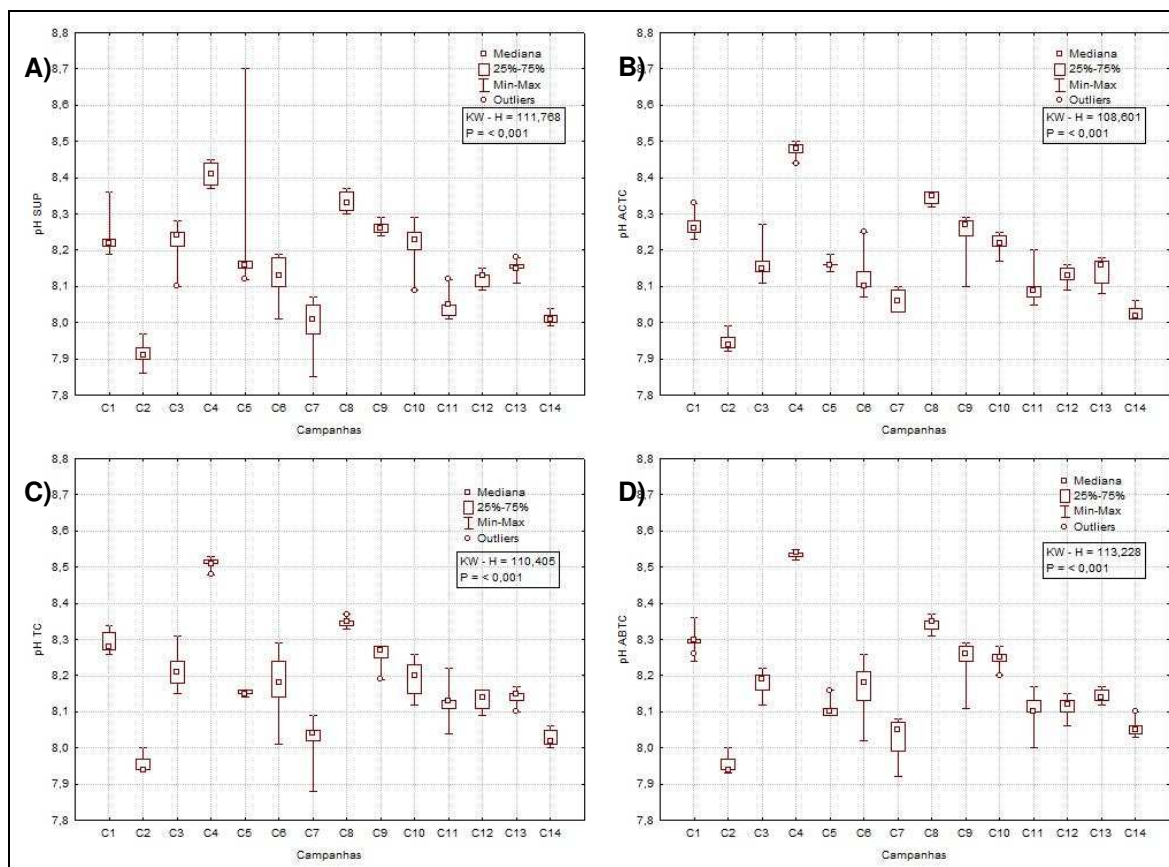


Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas de PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 (JEFREY *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 0,07 µg/L (ABTC da estação PIL-LL_J501) e 0,74 µg/L (SUP da estação PIL-LL_J100_R) (Tabela V-128). Entre os estratos, a maior média de concentração de clorofila-a esteve associada à superfície ($0,41 \pm 0,18$ µg/L), enquanto a menor média de concentração esteve associada à termoclina ($0,23 \pm 0,05$ µg/L).

Tabela V-8 – Concentração de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- LL_M1000	PIL- LL_J100_R	PIL- LL_J250	PIL- LL_J501	PIL- LL_J502	PIL- LL_J503	PIL- LL_J1001	PIL- LL_J1002	PIL- LL_J1003		
SUP	0,17	0,74	0,37	0,29	0,40	0,36	0,30	0,67	0,33	0,41	0,18
ACTC	0,12	0,61	0,53	0,19	0,16	0,35	0,24	0,73	0,36	0,37	0,22
TC	0,23	0,18	0,19	0,25	0,30	0,18	0,24	0,21	0,32	0,23	0,05
ABTC	0,22	0,22	0,31	0,07	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30	0,24	0,07
Máx.	0,23	0,74	0,53	0,29	0,40	0,36	0,30	0,73	0,36		
Mín.	0,12	0,18	0,19	0,07	0,16	0,18	0,20	0,21	0,30		
Média	0,18	0,44	0,35	0,20	0,28	0,30	0,24	0,47	0,33		
DP	0,05	0,28	0,14	0,10	0,10	0,08	0,04	0,27	0,03		

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-12. Através deles, foi observada variação das concentrações entre as amostras, principalmente entre os estratos SUP e ACTC, não sendo possível definir um padrão de distribuição vertical.

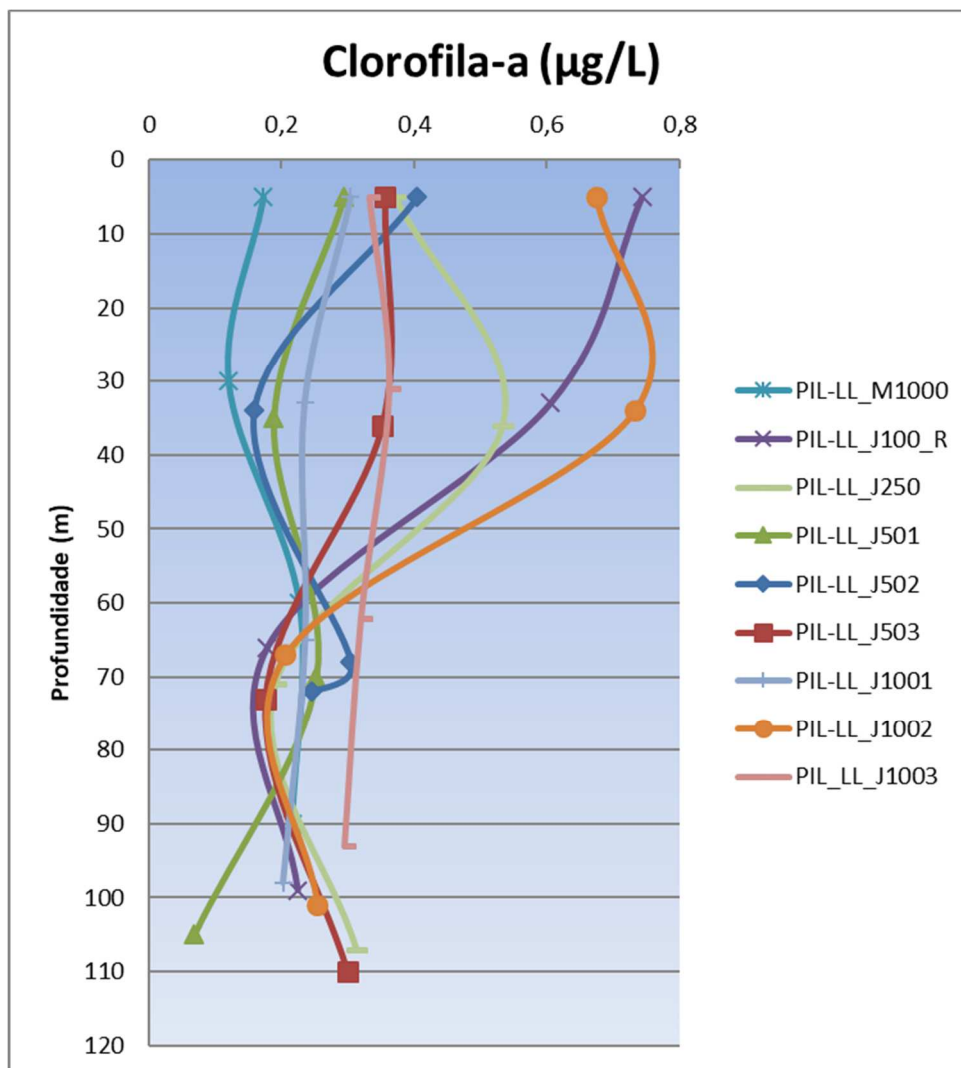
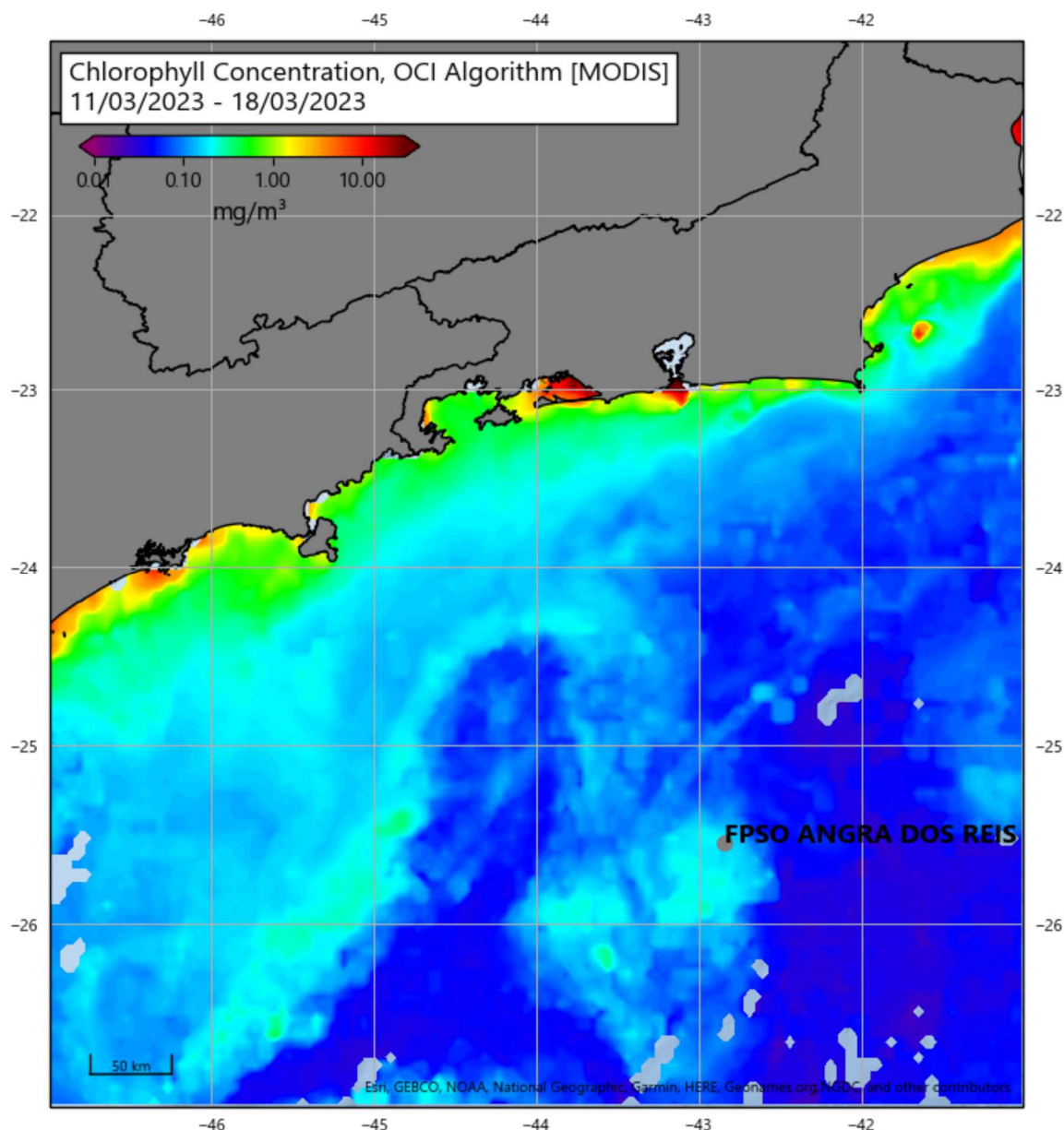


Figura V-12 – Perfis das concentrações de clorofila-a obtidos na atual campanha de monitoramento.

O mosaico de concentração de clorofila obtido por imagens de satélite durante o período da campanha mostraram concentrações de clorofila na região, em torno de $0,16 \mu\text{g/L}$ (PETROBRAS, 2023, Figura V-13).



Fonte: Petrobras (2023)

Figura V-13 - Concentração de clorofila na superfície do mar obtidos por satélites entre os dias 15 e 17 de março de 2023. O círculo em cinza indica a localização do FPSO Cidade de Angra dos Reis.

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 (2022), foram observados valores de clorofila-a, variando entre 0,07 a 50,48mg/m², entre as campanhas de inverno e verão. Na Tabela V-9 são apresentados os valores mínimo e máximo de clorofila-a encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os valores da

atual campanha foram superiores aos encontrados na maioria das demais campanhas realizadas anteriormente na região, uma vez que a não detecção e a não quantificação de concentrações de clorofila é comum para a área.

Tabela V-9 - Valores de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) encontrados na água nos estudos anteriores. nd = não detectado e nq = não quantificado.

Campanha	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (SUP)
PIL-LL_C2 ²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,07 (TC/ABTC)
PIL-LL_C3 ³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 ⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (SUP)
PIL-LL_C7 ⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,80 (ACTC)
PIL-LL_C8 ⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (TC/ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ABTC)
PIL-LL_C11 ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,53 (ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	0,05 (SUP)	0,42 (ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	0,04 (SUP)	0,25 (TC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,50 (ACTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (ABTC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ABTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	0,05 (SUP)	0,15 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	0,03 (SUP)	0,26 (ABTC)
PIL-LL-NE_C10 ²³	0,01 (ACTC)	0,23 (ABTC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,60 (SUP)
PIL-SAP_C2 ²⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,30 (ACTC)
PIL-SAP_C3 ²⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,20 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C6 ²⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C7 ³⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (TC)
PIL-SAP_C8 ³¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C9 ³²	0,015 (ACTC)	0,109 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,10 (ACTC)
DP-IRA-S_C2 ³⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

DP-IRA-S_C3 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C4 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	0,045 (SUP)	0,188 (ACTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	0,027 (SUP/ACTC)	0,085 (ABTC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

Os valores máximos de clorofila-*a* encontrados nas amostras da sexta campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores aos das demais campanhas deste projeto de monitoramento, exceto na ACTC, em que o valor máximo foi encontrado na sétima campanha. Além disso, observa-se que a variação dos valores de clorofila-*a* em cada uma das profundidades também foi mais ampla na sexta campanha na SUP, TC e ABTC, e na sétima campanha na ACTC. 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-14). Na superfície, a décima quarta campanha diferiu da segunda, da décima segunda e da décima terceira, a primeira e a sexta campanha diferiram significativamente da segunda e da décima terceira, e a segunda diferiu da quarta, quinta, oitava, e décima (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a sexta e a décima quarta campanha diferiram significativamente da segunda e da décima terceira campanha, e a segunda diferiu da décima segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, a segunda campanha diferiu significativamente da quinta, sexta, décima segunda, décima terceira e da décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a décima segunda campanha diferiu da primeira, segunda, terceira, sétima e oitava, a sexta e a décima quarta diferiram da primeira e da segunda, e a segunda diferiu da quinta e da décima terceira (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, a grande maioria das diferenças foi verificada entre a segunda e as demais campanhas, sendo esta a

campanha que apresentou as menores concentrações de clorofila. 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, fluorometria e LD = 0,0004 µg/L na décima segunda e décima terceira, e LD = 0,00032 µg/L na décima quarta campanha e SMEWW 10200 H e LD = 0,2 µg/L nas demais campanhas).

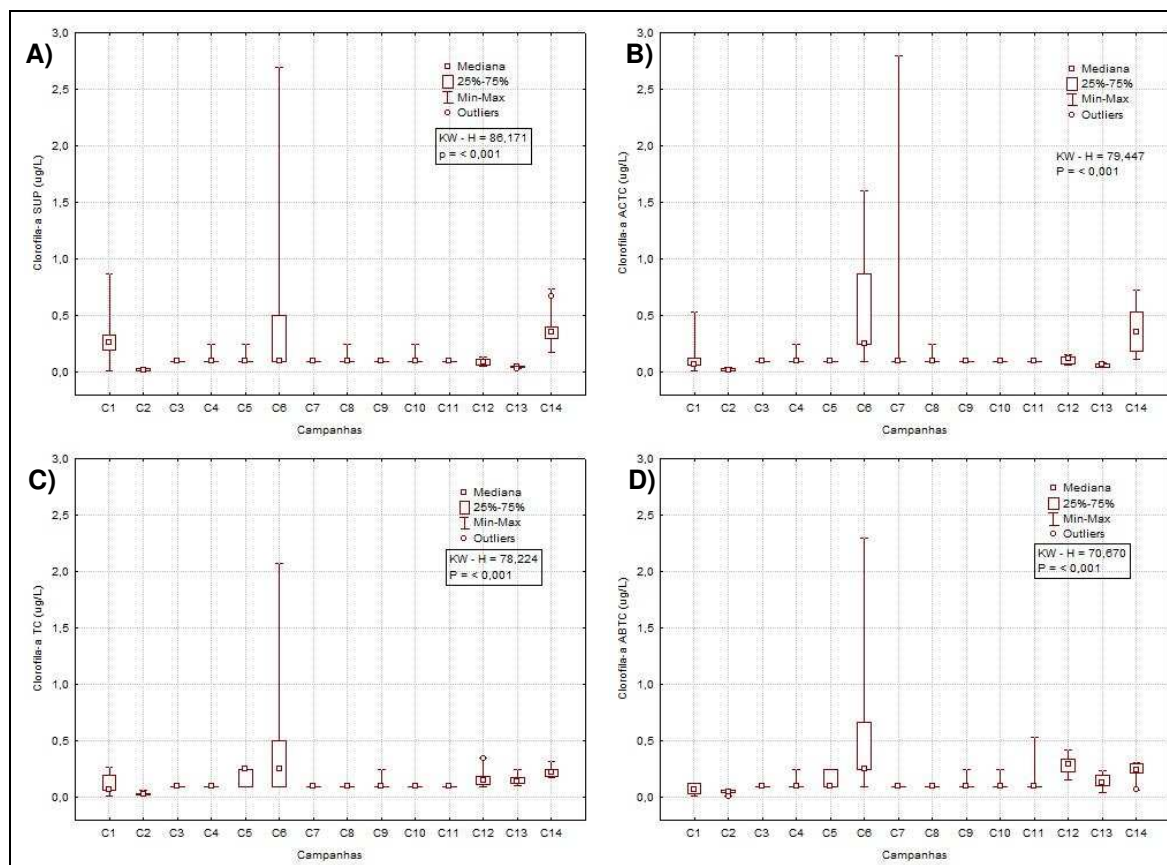


Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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).

No PCR-BS (Petrobras, 2022), observou-se que o hidrodinamismo e o cenário biogeoquímico no setor oceânico da Bacia de Santos, típico de ambiente pelágico predominantemente oligotrófico dominado pela Água Tropical, são forçantes ambientais que causam limitação da produção na coluna de água por conta da existência de uma limitação por nutrientes, sobretudo nitrogênio. Segundo os dados do PCR-BS, 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).

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações de nitrogênio amoniacal ($\text{LQ} = 0,01 \text{ mg/L N}$) em nenhuma das amostras. Devido a quantidade de indeterminações, não foi possível observar padrões de distribuição vertical das concentrações para esse parâmetro. A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de

interesse. Todas as concentrações apresentadas na tabela supracitada, assim como nas amostras da atual campanha, foram inferiores a 0,40 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

No período de realização da presente campanha, a concentração média de nitrogênio amoniacal total na água produzida foi 142,00 mg/L N, na saída do flotor. Uma vez que não foram quantificadas concentrações na atual campanha, não é possível afirmar que o descarte de água produzida causou efeitos notáveis nas concentrações de nitrogênio amoniacal do entorno.

Na Figura V-15, são apresentadas as faixas de concentrações de nitrogênio amoniacal obtidas em cada profundidade durante as 14 campanhas de monitoramento. Cabe ressaltar que não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante a sétima campanha, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que a segunda campanha apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas, exceto na ACTC, em que maiores amplitudes e concentrações foram encontradas na oitava campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foram encontradas diferenças significativas para todas as estratos ($p < 0,05$). Na superfície, a nona campanha diferiu da quinta, da oitava, da décima segunda, da décima terceira e da décima quarta (Tukey, $p < 0,05$). Na camada acima da termoclina, a nona campanha diferiu significativamente da décima segunda, da décima terceira e da décima quarta campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na termoclina, a nona campanha diferiu da quinta, da oitava, da décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e a oitava diferiu da décima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na camada abaixo da termoclina, a oitava campanha diferiu da primeira, nona e décima campanha, e a décima segunda, décima terceira e décima quarta diferiram da nona e da décima (Tukey, $p < 0,05$). Importante ressaltar que houve variação dos limites de detecção e dos métodos utilizados entre as campanhas (método azul de indofenol e colorimetria e LD = 0,0007 mg/L N para a primeira campanha, 0,001 mg/L N para a segunda campanha e 0,01 mg/L N para a terceira campanha, SMEWW 4500 NH₃ F e LD = 0,007 mg/L N para a quarta, quinta e sexta campanha, EPA 350.1 e LD = 0,003 mg/L N para a décima segunda, décima terceira e décima

quarta campanha e SMEWW 4500 NH_3 H, LD = 0,003 mg/L N e congelamento em ultrafreezer a -20°C para as demais campanhas), o que pode ter sido responsável por parte das diferenças encontradas.

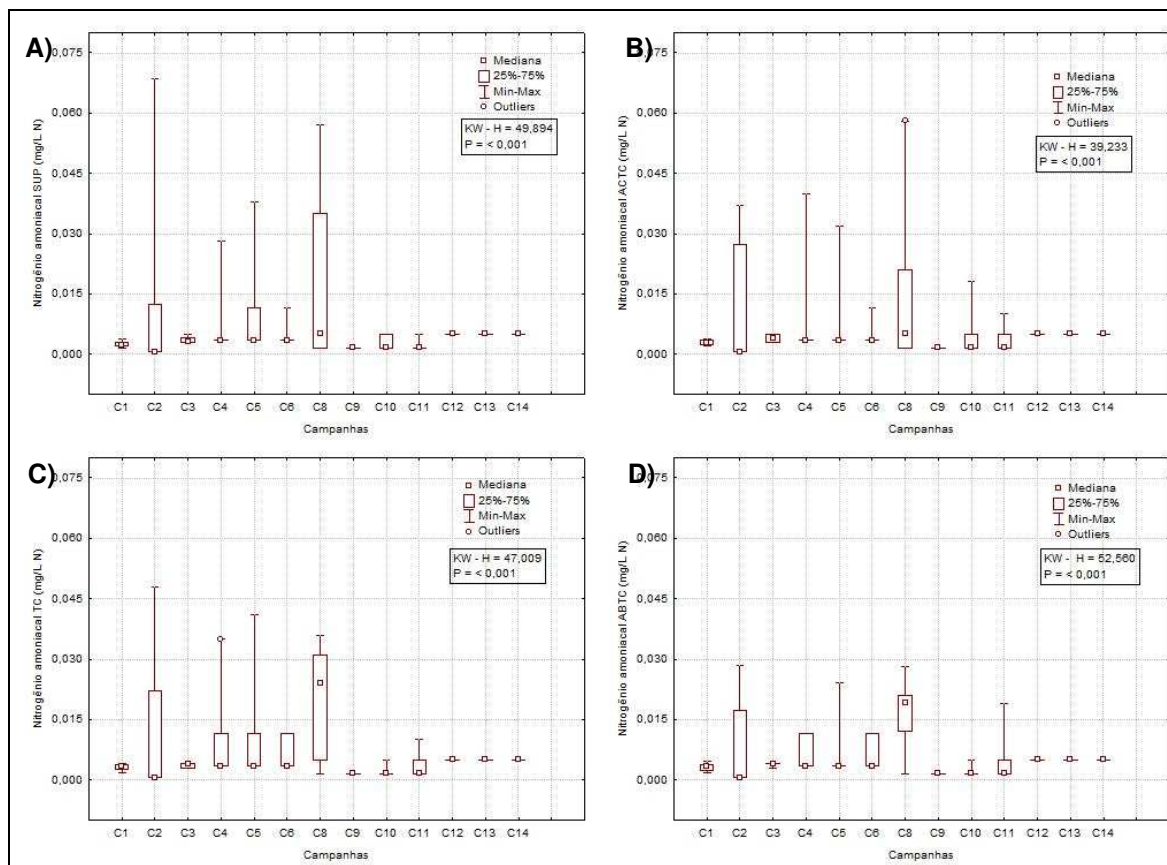


Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na atual campanha de monitoramento, as concentrações de nitrito não foram quantificadas em nenhuma das amostras (LQ = 0,002 mg/L N). Assim, todos os resultados foram inferiores a 0,07 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1. A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para estes parâmetros em estudos anteriores na região de interesse, onde é possível observar que concentrações inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05 são rotineiramente observadas.

Não são realizadas análises de nitrito na água produzida. Entretanto, sabe-se que o nitrogênio amoniacal tende a ser oxidado até nitrato na presença de oxigênio dissolvido, o qual é rapidamente consumido pela produção primária, sendo o nitrito

um composto intermediário neste processo de oxidação. Assim, era de se esperar que a interação do nitrogênio amoniacal do efluente com o oxigênio dissolvido presente na água do mar do entorno aumentasse os valores de nitrito à jusante da plataforma, o que não foi verificado em nenhuma das amostras, uma vez que não foram quantificadas concentrações para esse parâmetro. Assim, não é possível afirmar que os descartes de água produzida causaram efeitos notáveis nas concentrações de nitrito dos pontos amostrados durante a atual campanha. É preciso destacar ainda a baixa estabilidade deste composto, que tende a ser rapidamente oxidado a nitrato, forma mais estável.

Os valores máximos de nitrito encontrados nas amostras da terceira e da oitava campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores em relação as demais campanhas, sendo que a oitava campanha apresentou os maiores valores máximos. 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-16). Na SUP, a terceira e oitava campanha diferiram significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, nona, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e a segunda campanha diferiu significativamente da primeira, da décima e da décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, nona, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a segunda campanha diferiu significativamente da décima e da décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC e ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, sétima, nona, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a segunda campanha diferiu significativamente da primeira, oitava, décima e décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, as diferenças estatísticas foram verificadas entre as campanhas com resultados quantificados e as demais campanhas. Importante ressaltar que houve variação dos limites de detecção e dos métodos utilizados entre as campanhas (0,0001 mg/L para a primeira campanha e para a sétima campanha, 0,0005 mg/L para a segunda campanha, 0,001 mg/L N para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e 0,002 mg/L para as demais campanhas / método da diazotação e

colorimetria para as três primeiras campanhas, MAOQ – FURG (1996) para a sétima campanha e SMEWW 4500 B para as demais campanhas).

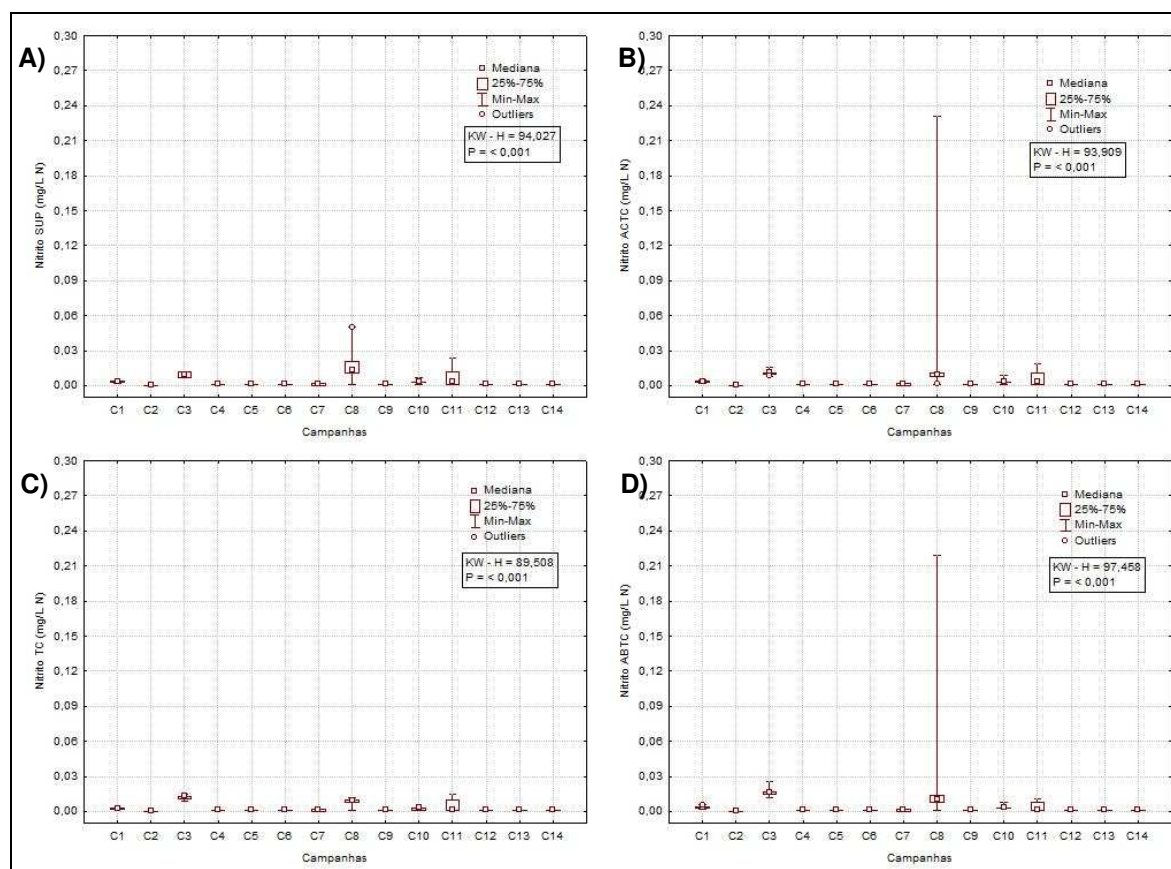


Figura V-16 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Para o nitrato, não foram quantificadas (LQ = 0,20 mg/L N) concentrações em nenhuma das amostras. Assim, todos os resultados da atual campanha foram inferiores a 0,4 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

Não são realizadas análises de nitrato na água produzida. Entretanto, considerando a tendência de oxidação do nitrogênio amoniacal da água produzida a nitrato quando do descarte deste efluente na água do mar, rica em oxigênio dissolvido, era de se esperar um aumento dos valores de nitrato no alinhamento central das estações à jusante da plataforma, o que não foi verificado em nenhuma das amostras do alinhamento central da malha, devido aos resultados não quantificados em todas essas estações. Portanto, não é possível afirmar que o

descarte de água produzida causou efeitos notáveis nas concentrações de nitrato dos pontos amostrados durante a atual campanha, sendo os resultados obtidos característicos de águas oceânicas oligotróficas.

No PCR-BS (Petrobras, 2022), o monitoramento sazonal dos nutrientes indicou uma variação na concentração de nitrato entre níveis abaixo do limite de detecção ($<0,01 \mu\text{M}$) até máximos $>17 \mu\text{M}$ no nível da Água Central do Atlântico Sul, sobretudo na plataforma externa próximo ao talude, uma concentração de nitrito predominantemente inferior a $1 \mu\text{M}$, com picos máximo no nível da termoclina, enquanto as concentrações de amônia na zona epipelágica foram sempre $<1 \mu\text{M}$, frequentemente entre 0,1 e $0,2 \mu\text{M}$.

A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse, onde é possível observar que concentrações inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05 são rotineiramente observadas no local. Os resultados obtidos para a atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação apresentada pela literatura para o local, e, embora os limites superiores sejam bem superiores aos verificados na atual campanha, as não detecções e as não quantificações também são bastante frequentes.

Tabela V-10 - Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/L P) encontrados nos estudos anteriores (nd = não detectado e nq = 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	0,0084	0,0089	0,0076	0,0080	0,0156	0,0301	0,0150	0,0460	n.d.	0,0032
PIL-LL_C1 ²	0,0016	0,0045	0,0015	0,0055	0,0058	0,0480	0,0096	0,0554	n.d.	0,0113
PIL-LL_C2 ³	n.d.	0,0684	n.d.	n.d.	0,0126	0,0450	n.d.	0,9289	n.d.	0,0079
PIL-LL_C3 ⁴	n.d.	0,0040	0,0070	0,0260	0,0120	0,0960	0,0170	0,0440	0,0110	0,0510
PIL-LL_C4 ⁵	n.d.	0,0400	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5900	n.d.	n.d.
PIL-LL_C5 ⁶	n.d.	0,0410	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,5555	n.d.	0,0230
PIL-LL_C6 ⁷	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,5600	n.d.	0,0080
PIL-LL_C7 ^{*8}	-	-	0,0084	0,0089	0,0084	0,0089	0,0084	0,0089	0,0084	0,0089
PIL-LL_C8 ⁹	n.d.	0,0580	n.d.	0,2310	n.d.	1,6500	n.d.	0,8500	n.d.	0,0580
PIL-LL_C9 ¹⁰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,3200	n.d.	0,5300	n.q.	0,0310
PIL-LL_C10 ¹¹	n.d.	0,0180	n.d.	0,0090	n.d.	0,2100	n.q.	0,1800	n.d.	n.d.
PIL-LL_C11 ¹²	n.d.	0,0190	n.d.	0,0240	n.d.	0,2000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-LL_C12 ¹³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.
PIL-LL_C13 ¹⁴	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	2,887	n.q.	n.q.

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
PIL-LL-NE_C1 ¹⁵	n.d.	0,0280	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,2350	n.d.	0,0260
PIL-LL-NE_C2 ¹⁶	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,8990	n.d.	0,0800
PIL-LL-NE_C3 ^{*17}	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,004	0,018	0,025	n.q.	0,020
PIL-LL-NE_C4 ¹⁸	n.d.	0,0540	n.d.	0,0150	n.d.	1,700	n.d.	0,180	n.d.	n.q.
PIL-LL-NE_C5 ¹⁹	n.d.	0,0260	n.d.	n.d.	n.d.	0,2600	n.d.	0,2200	n.d.	0,0190
PIL-LL-NE_C6 ²⁰	n.d.	n.q.	n.d.	0,0070	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE_C7 ²¹	n.d.	0,0300	n.d.	0,0180	n.d.	0,1000	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE_C8 ²²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,070	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C9 ²³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,565	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C10 ²⁴	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,075	1,05	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C1 ²⁵	n.d.	0,0420	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,2370	1,1030	n.d.	0,0270
PIL-SAP_C2 ²⁶	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,3230	n.d.	0,0080
PIL-SAP_C3 ^{*27}	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	0,0200	0,0410	n.q.	0,0300
PIL-SAP_C4 ²⁸	n.d.	0,0570	n.d.	0,1350	n.d.	0,5600	n.d.	0,7000	n.d.	0,0860
PIL-SAP_C5 ²⁹	n.d.	0,0790	n.d.	0,0610	n.d.	0,1000	n.d.	0,1800	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C6 ³⁰	n.d.	0,0330	n.q.	0,0160	n.d.	0,1900	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-SAP_C7 ³¹	n.d.	0,0200	n.d.	0,0150	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-SAP_C8 ³²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,1100	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C9 ³³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	1,763	n.q.	n.q.
Bloco BMS-11 ³⁴	0,0080	0,0143	0,0014	0,1415	0,0155	0,1414	1,3969	6,9406	0,0067	0,4095
DP-IRA-S_C1 ³⁵	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6130	n.d.	0,0080
DP-IRA-S_C2 ^{*36}	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	n.q.	0,0210	n.d.	0,0100
DP-IRA-S_C3 ³⁷	n.d.	0,0870	n.d.	0,0260	0,1500	1,2000	n.d.	0,5300	n.d.	0,0170
DP-IRA-S_C4 ³⁸	n.d.	0,0820	0,0090	0,0940	n.d.	0,1600	n.d.	0,2400	n.d.	0,0540
DP-IRA-S_C5 ³⁹	n.d.	0,0190	n.d.	0,0080	n.d.	0,1300	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S_C6 ⁴⁰	n.d.	0,0200	n.d.	0,0190	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S_C7 ⁴¹	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,7470	n.q.	n.q.
DP-IRA-S_C8 ⁴²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	-	-	-	-
DP-IRA-S_C9 ⁴³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	1,323	n.q.	n.q.

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

Fonte: 1 = Petrobras (2002), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 4 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 5 = Petrobras/Bourscheid (2014), 6 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 10 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 11 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 12 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 16 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 18 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 20 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 21 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 24 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 25 = Petrobras/Bourscheid(2015d); 26 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 30 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 31 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 32 = Petrobras/Bioconsult (2021); 33 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 34 = Petrobras/Habtec (2003); 35 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 36 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 37 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 39 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 40 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 41 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 42 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 43 = Petrobras/Bioconsult (2023c). Não foram detectadas nem quantificadas concentrações de nitrato nas amostras da quarta, da quinta, da sexta, da sétima, da décima segunda, da décima terceira e da décima 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 14 campanhas, para todas as

profundidades consideradas (Figura V-17). Na superfície, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, sétima, oitava, décima e décima primeira campanha, a décima segunda e a décima terceira diferiram da primeira, segunda e sétima, a décima quarta diferiu da primeira, segunda e oitava campanhas, a nona diferiu da primeira e da sétima campanha, a quarta, a quinta, e a sexta campanha diferiram significativamente da sétima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, sétima, décima e décima primeira campanha e a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha diferiram da primeira, segunda, sétima e décima primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, quarta, quinta, sexta, sétima, oitava, décima e décima primeira campanha, a décima segunda, a décima terceira e a décima diferiram da primeira, segunda, sétima e décima primeira, e a sétima campanha diferiu da quarta, quinta, sexta e nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, quarta, quinta, sexta, sétima e décima primeira campanha, a nona, a décima segunda, a décima terceira, e a décima quarta diferiram da sétima e décima primeira, e a sétima campanha diferiu significativamente da oitava e décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, foram verificadas diferenças dentre as campanhas com concentrações quantificadas, e entre as campanhas com concentrações quantificadas e aquelas com concentrações não detectadas, onde é possível que as diferenças verificadas sejam decorrentes do tratamento aplicado aos dados. Importante ressaltar que o limite de detecção e os métodos analíticos variaram entre as campanhas (0,0006 mg/L N para a primeira campanha, 0,01 mg/L N para a segunda campanha, 0,1 mg/L N para a terceira, quarta, quinta e sexta campanha, 0,0001 mg/L para a sétima campanha, 0,05 mg/L N para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e 0,03 mg/L N para a oitava, nona, décima e décima primeira campanha / método da diazotação e colorimetria para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 e HACH 8192 para a quarta, quinta e sexta campanha, MAOQ – FURG (1996) para a sétima campanha e SMEWW 4500 E para a oitava, nona, décima, décima primeira, décima segunda e décima terceira campanha).

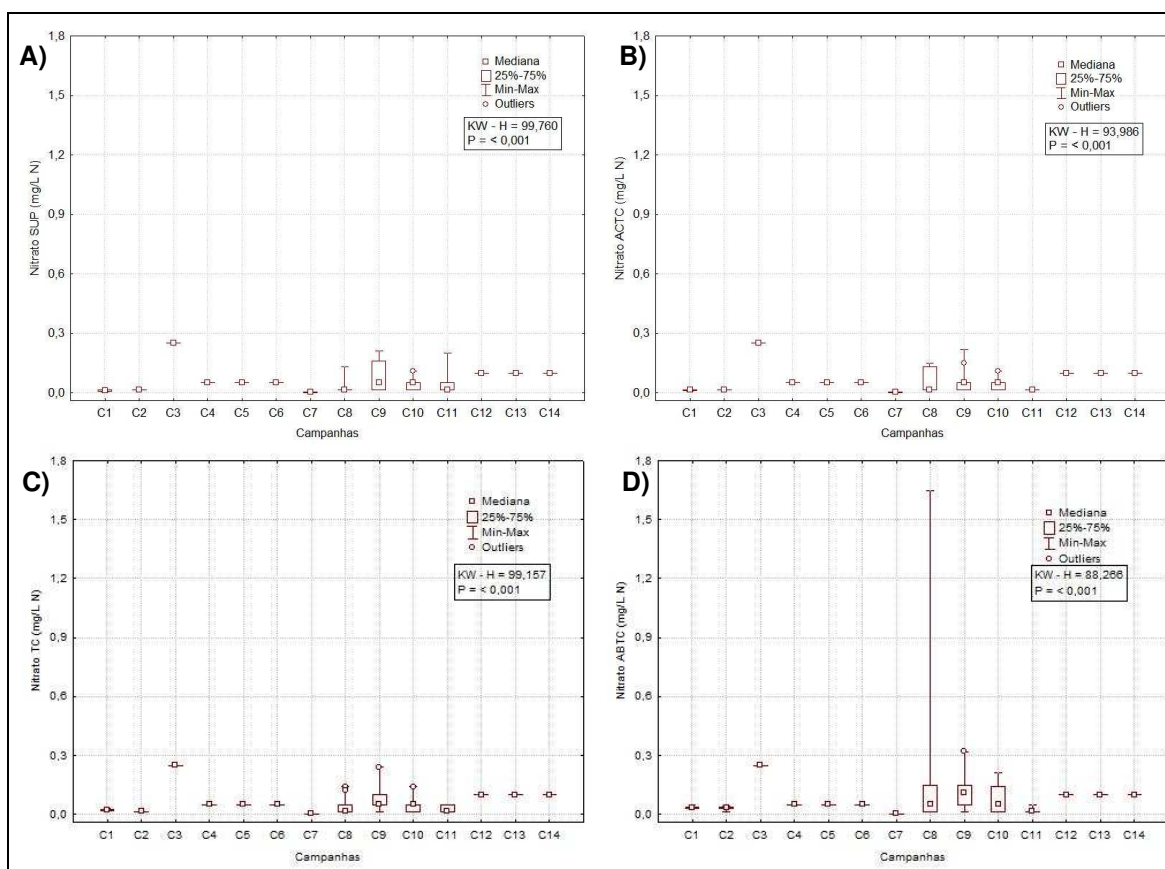


Figura V-17 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas no PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Os valores de silicato registrados na presente campanha variaram entre não quantificado (LQ = 0,05 mg/L), na superfície de PIL-LL_J1002, a 0,78 mg/L, na TC da estação PIL-LL_J1003 (Tabela V-12). Entre as estações, as maiores médias de concentrações de silicato estiveram associadas à camada acima da termoclina ($0,36 \pm 0,27$ mg/L), enquanto as menores médias de concentrações foram verificadas na camada abaixo da termoclina ($0,15 \pm 0,11$ mg/L).

Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) observadas na atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL_M1000	PIL-LL_J100_R	PIL-LL_J250	PIL-LL_J501	PIL-LL_J502	PIL-LL_J503	PIL-LL_J1001	PIL-LL_J1002	PIL-LL_J1003		
SUP	0,092	0,081	0,293	0,047	0,263	0,247	0,199	<0,05	0,151	0,16	0,10
ACTC	0,717	0,143	0,180	0,728	0,108	0,497	0,084	0,191	0,587	0,36	0,27
TC	0,280	0,104	0,095	0,384	0,132	0,143	0,225	0,056	0,786	0,25	0,23
ABTC	0,117	0,066	0,167	0,082	0,078	0,152	0,223	0,047	0,402	0,15	0,11
Máx.	0,717	0,143	0,293	0,728	0,263	0,497	0,225	0,191	0,786		
Mín.	0,092	0,066	0,095	0,047	0,078	0,143	0,084	<0,05	0,151		
Média	0,30	0,10	0,18	0,31	0,15	0,26	0,18	0,08	0,48		
DP	0,29	0,03	0,08	0,32	0,08	0,17	0,07	0,08	0,27		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina. nd = não detectado. As concentrações de silicato foram semelhantes entre a maioria das estações, com destaque para a estação PIL-LL_J1002, que apresentou as maiores concentrações, e tendência de aumento das concentrações de SUP para ABTC (Figura V-21).

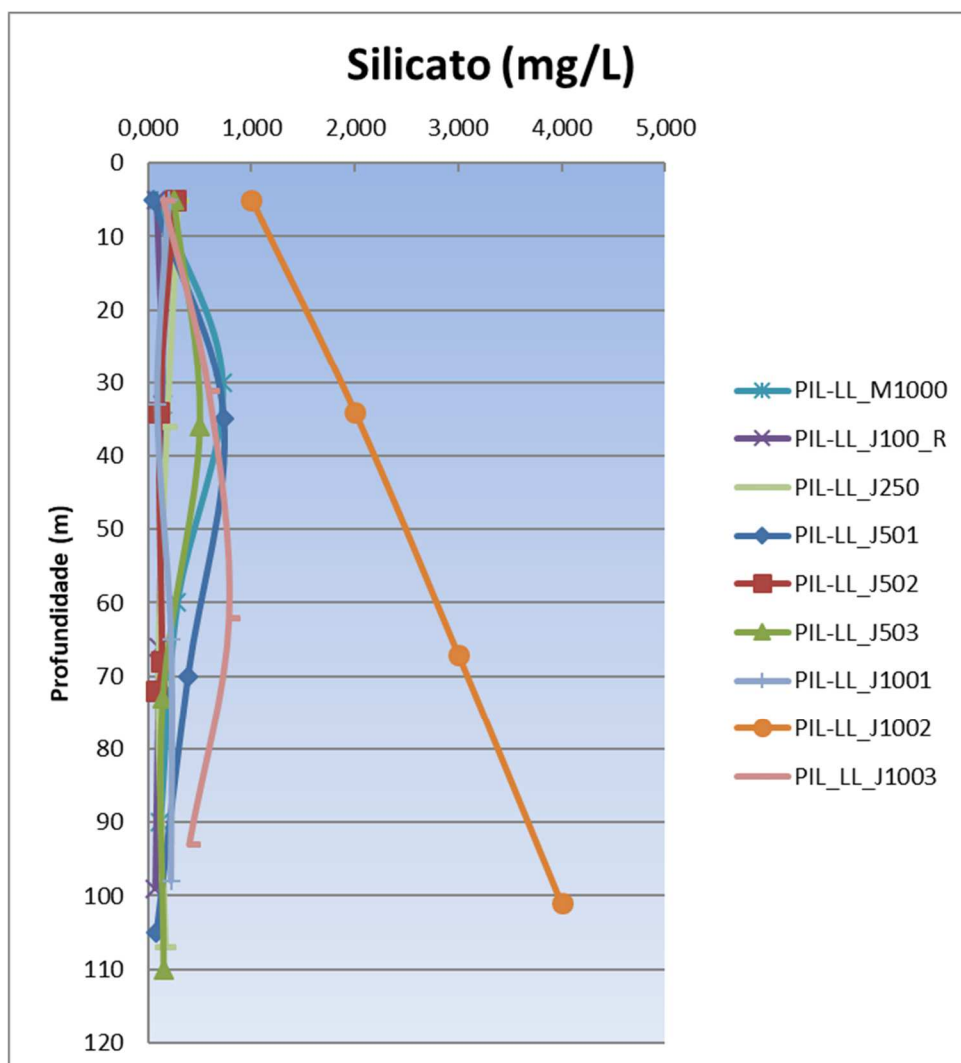


Figura V-18 – Perfis das concentrações de silicato obtidos na atual campanha de monitoramento.

Segundo o PCR-BS (Petrobras, 2022), concentrações mínimas de silicato, foram 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 0,03 e 15,3 μM no inverno e entre 0,03 e 10,4 μM nos meses do verão.

A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valor máximo de concentração de silicato para águas salinas classe 1.

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-19). Na superfície, a sexta campanha diferiu

significativamente da primeira, terceira, sétima, décima primeira, décima segunda e décima terceira campanha, a quinta diferiu da primeira, terceira, sétima, décima primeira e décima segunda, a oitava diferiu da terceira, sétima, décima primeira e décima segunda, e a sétima campanha diferiu da quarta, da nona, da décima e da décima quarta campanha (*Tukey, $p < 0,05$*). Na camada acima da termoclina, a quinta e sexta campanha diferiram significativamente da primeira, terceira, quarta, sétima, décima primeira e décima segunda campanha, a oitava e a décima quarta diferiram da sétima, décima primeira e décima segunda campanha, e a sétima diferiu da décima terceira (*Tukey, $p < 0,05$*). Na termoclina, a sexta campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, terceira, sétima, décima primeira e décima segunda campanha, a quinta e oitava campanha diferiram significativamente da terceira, sétima, décima primeira e décima segunda campanha, e a sétima campanha diferiu significativamente da quarta, nona e décima e da décima quarta campanha (*Tukey, $p < 0,05$*). Na camada abaixo da termoclina, a quinta, sexta, oitava e a décima terceira campanha diferiram significativamente da terceira, sétima, décima primeira e décima segunda campanha, a sexta ainda diferiu da primeira, e a sétima campanha diferiu da quarta, da décima e da décima quarta campanha (*Tukey, $p < 0,05$*). Assim, de maneira geral, a quarta, quinta, sexta, oitava e décima terceira campanha diferiram significativamente das demais campanhas por apresentarem concentrações ligeiramente maiores. É importante ressaltar que os métodos analíticos e os limites de detecção variaram entre as campanhas (0,0006 mg/L para a primeira campanha, 0,01 mg/L para a segunda e 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 0,020 mg/L para a décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha/ método silicomolibdico e análise por colorimetria para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 C 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).

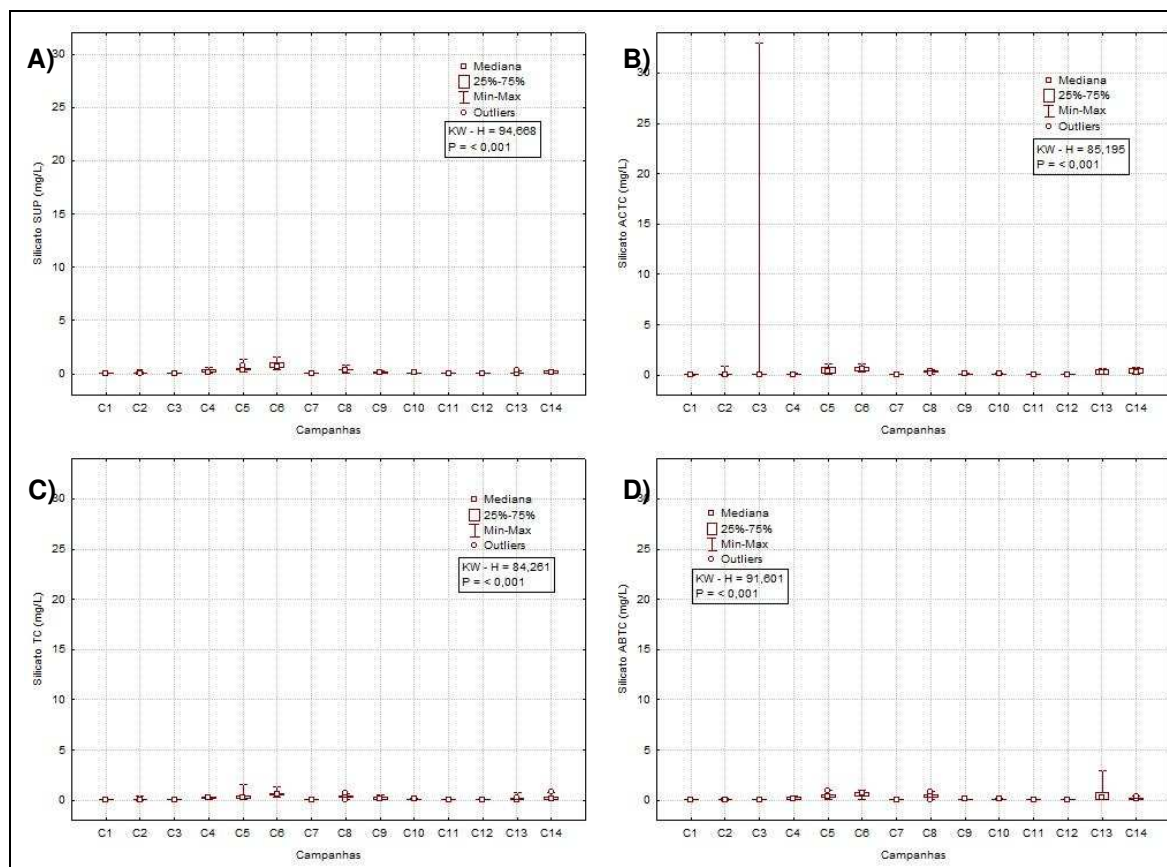


Figura V-19 – Concentrações de silicato (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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).

Na atual campanha de monitoramento, as concentrações de fósforo total não foram quantificadas (LQ = 0,005 mg/L P) em nenhuma das amostras. 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. A Tabela V-10 apresenta concentrações de fósforo total obtidas em estudos anteriores na Bacia de Santos, sendo observadas concentrações variando entre não detectado e 0,0032 mg/L P (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002) e entre 0,0067 e 0,4095 mg/L P, na área do Bloco BM-S-11 (PETROBRAS/HABTEC, 2003), enquanto nas campanhas de monitoramento

anteriores na Área de Tupi, as concentrações variaram entre não detectado e 0,086 mg/L P, sendo superiores as concentrações da atual campanha, exceto a quarta, décima, décima primeira, décima segunda e décima terceira campanha de monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, que também não detectaram nem quantificaram concentrações.

O PCR-BS (Petrobras, 2022) indicou uma concentração de fosfato na zona epipelágica variando entre 0,08 e 1,32 μM na região da BS, com mínimos na Água Tropical oligotrófica da Corrente do Brasil ao largo e máximos nas camadas de fundo dominadas pela presença da ACAS, em ambos os períodos sazonais amostrados no período de 2019 a 2022.

Os valores máximos de fósforo total encontrados nas amostras da oitava campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores em relação as demais campanhas, exceto na ABTC, em que os valores foram maiores na terceira campanha, e na TC, em que os valores máximos foram maiores na sétima 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-20). Na superfície, a terceira campanha diferiu significativamente das demais campanhas, exceto da sexta, sétima, oitava e nona campanha, a nona diferiram da segunda, quarta, quinta, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta, e a sétima diferiu da segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a terceira e a nona campanha diferiram significativamente das demais campanhas, exceto da primeira, quinta, sexta, sétima e oitava, e não diferiram entre si, e a sétima campanha diferiu da segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a terceira e a sétima campanha diferiram significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a nona campanha diferiu da segunda, quarta, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada ABTC, a terceira campanha diferiu significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a nona diferiu da segunda, quarta, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e a segunda campanha diferiu significativamente da primeira e sétima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, as

diferenças concentraram-se entre a terceira, a sétima e a nona campanhas com as demais campanhas. É importante ressaltar que houve variação dos métodos analíticos e limites de detecção empregados entre as campanhas (0,001 mg/L P para as duas primeiras campanhas, 0,02 mg/L P para a terceira campanha, 0,005 mg/L P para a maioria das campanhas, e 0,002 mg/L P para a sétima, décima segunda campanha, décima terceira e décima quarta/ método de digestão em meio ácido e análise pelo método fosfomolibdico para as três primeiras campanhas, SMEWW 4500 PE para a maioria das campanhas e EPA 365.2 para a sétima campanha).

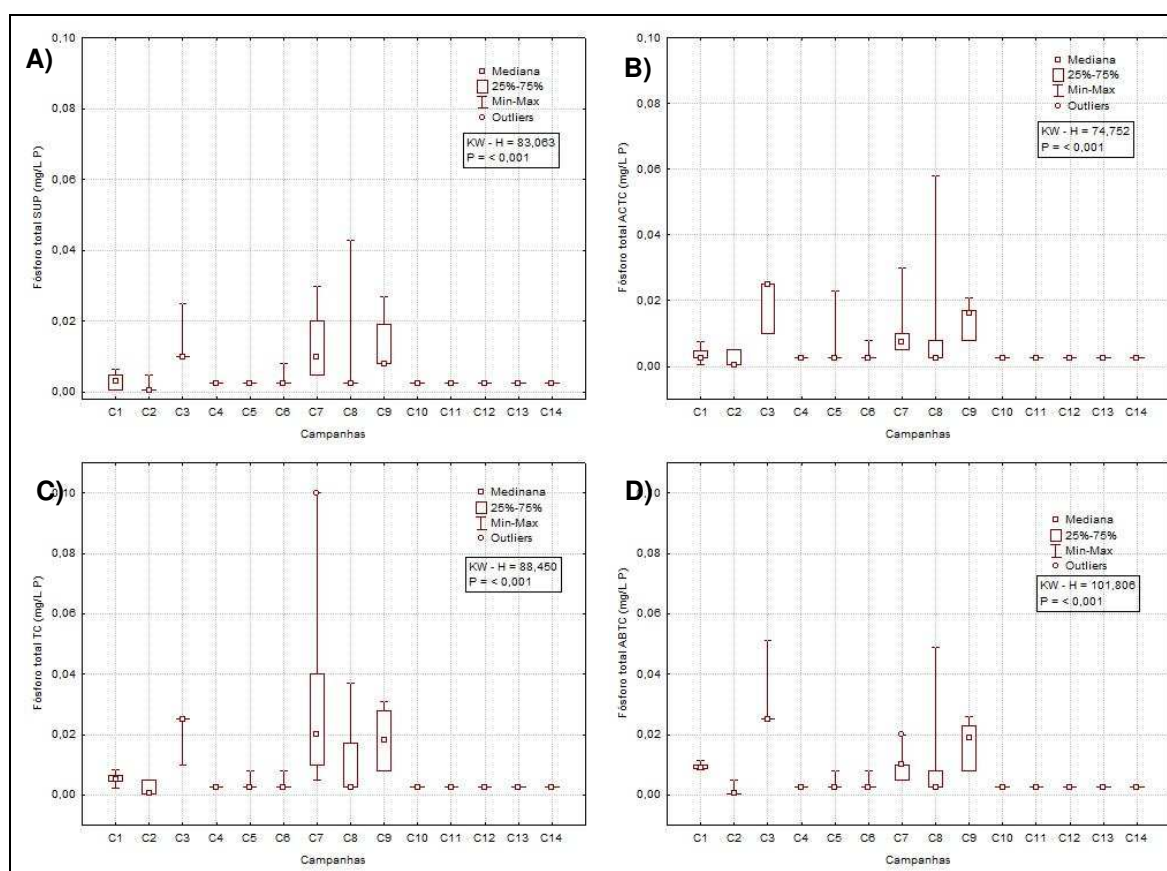


Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 0,62 mg/L, na ABTC da estação PIL-LL_J1002, a 31,94 mg/L, na TC da estação PIL-LL_J100_R (Tabela V-12). Entre as estações, as maiores médias de concentrações de MPS estiveram associadas à termoclina ($10,40 \pm 10,36$ mg/L), enquanto as menores médias de concentrações foram verificadas na camada abaixo da termoclina ($6,64 \pm 6,50$ mg/L).

Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- LL_M1000	PIL- LL_J100_R	PIL- LL_J250	PIL- LL_J501	PIL- LL_J502	PIL- LL_J503	PIL- LL_J1001	PIL- LL_J1002	PIL- LL_J1003		
SUP	1,52	3,98	14,60	21,38	15,80	7,48	4,84	1,30	8,72	8,85	6,99
ACTC	3,20	5,44	20,74	20,18	11,36	11,18	2,80	2,18	1,56	8,74	7,58
TC	1,36	31,94	8,94	21,92	5,14	9,18	1,40	2,26	11,44	10,40	10,36
ABTC	0,76	1,76	9,20	8,30	11,24	20,50	4,94	0,62	2,40	6,64	6,50
Máx.	3,20	31,94	20,74	21,92	15,80	20,50	4,94	2,26	11,44		
Mín.	0,76	1,76	8,94	8,30	5,14	7,48	1,40	0,62	1,56		
Média	1,71	10,78	13,37	17,95	10,89	12,09	3,50	1,59	6,03		
DP	1,05	14,19	5,56	6,47	4,38	5,81	1,71	0,78	4,82		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina. nd = não detectado.

As concentrações de MPS variaram bastante entre as amostras, não sendo evidente um padrão de distribuição vertical entre elas. Destaca-se ainda que a termoclina de PIL-LL_J100_R apresentou o maior valor de concentração de MPS, voltando a diminuir a concentração na ABTC. As amostras das estações PIL-LL_J1002 e PIL-LL-M1000, apresentaram as menores concentrações (0,62 e 0,76 mg/L, respectivamente). As demais estações apresentaram concentrações variáveis entre 1,40 e 31,94 mg/L (Figura V-21).

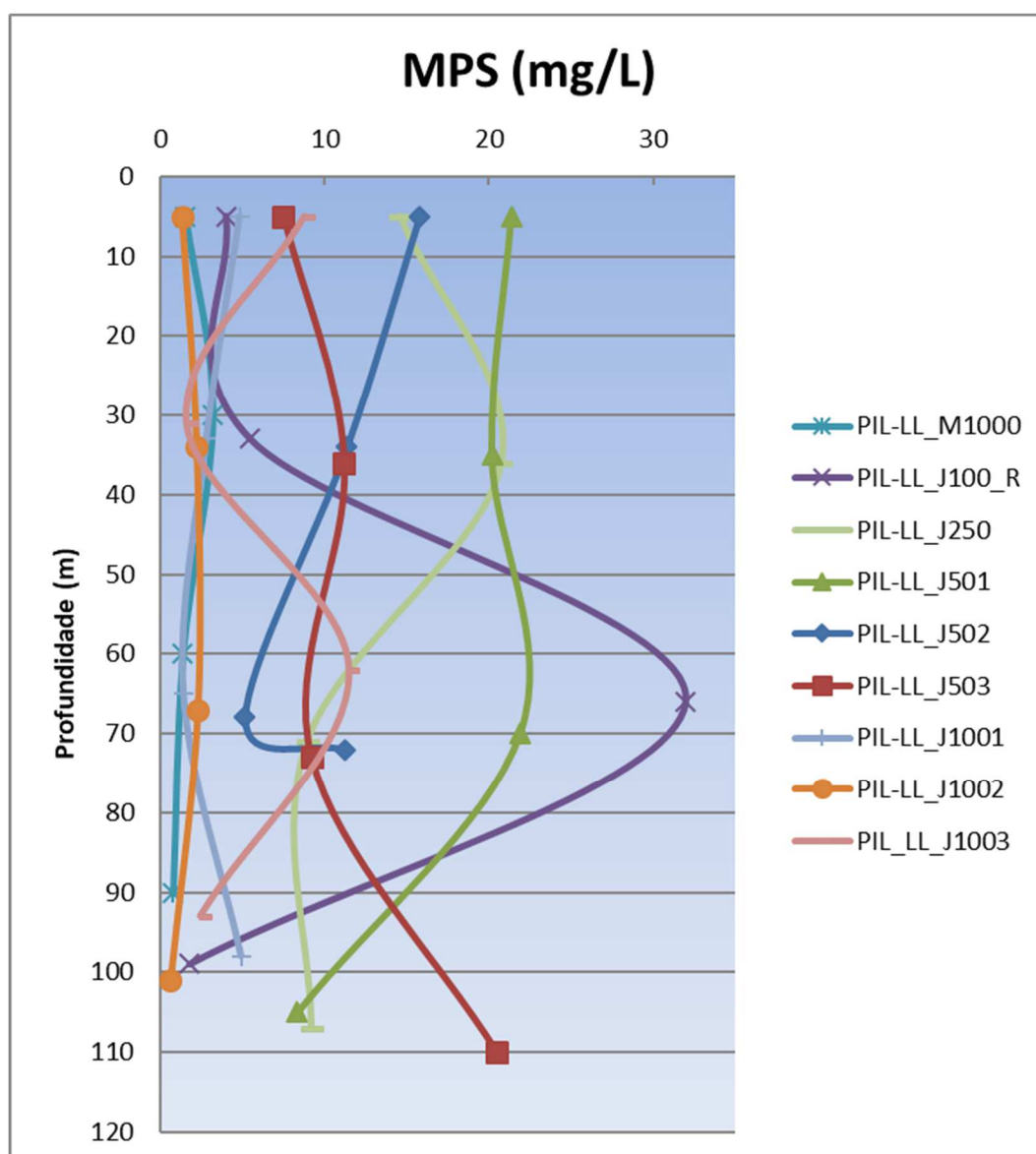


Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS obtidos na atual campanha de monitoramento.

Na Tabela V-13, são apresentados os valores mínimo e máximo de MPS encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os resultados da atual campanha encontram-se acima da faixa de concentração observada anteriormente na região.

Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. nd = não detectado e nq = não quantificado.

Campanha	MPS (mg/L)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 ¹	0,14 (SUP)	2,40 (ACTC)
PIL-LL_C2 ²	0,58 (TC)	3,68 (SUP)
PIL-LL_C3 ³	n.d. (SUP/ABTC)	3,88 (ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	3,00 (ACTC)	7,00 (ACTC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,00 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 ⁶	1,40 (SUP)	6,90 (ACTC)
PIL-LL_C7 ⁷	0,25 (ABTC)	8,55 (TC)
PIL-LL_C8 ⁸	n.d. (ABTC)	6,62 (SUP)
PIL-LL_C9 ⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,60 (TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	3,90 (ABTC)	6,65 (ABTC)
PIL-LL_C11 ¹¹	2,65 (ACTC)	7,48 (ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	0,20 (ABTC)	6,65 (SUP)
PIL-LL_C13 ¹³	0,63 (SUP)	19,83 (ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,00 (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.d. (ABTC)	4,60 (SUP)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	1,74 (SUP)	7,53 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,95 (SUP/TC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.q. (ACTC/TC)	3,45 (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	1,08 (SUP)	8,20 (ACTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	2,00 (ABTC)	7,75 (SUP)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	0,05 (SUP)	8,00 (TC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	0,65 (TC)	21,53 (TC)
PIL-LL-NE_C10 ²³	0,12 (ABTC)	17,48 (TC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,50 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁵	1,40 (ABTC)	5,30 (ACTC)
PIL-SAP_C3 ²⁶	0,46 (SUP)	7,51 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,92 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	n.q. (SUP/TC)	4,03 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	10,43 (ACTC)
PIL-SAP_C7 ³⁰	2,10 (SUP)	8,45 (TC)
PIL-SAP_C8 ³¹	n.q. (ABTC)	9,73 (ACTC)
PIL-SAP_C9 ³²	7,13 (SUP)	23,25 (ABTC)

Campanha	MPS (mg/L)	
	Min	Máx
DP-IRA-S_C1 ³³	n.d. (SUP/TC/ABTC)	4,40 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³⁴	n.q. (SUP/ACTC)	9,67 (TC)
DP-IRA-S_C3 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,55 (ACTC)
DP-IRA-S_C4 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	4,88 (TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	1,75 (ACTC)	6,95 (SUP)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	1,55 (SUP)	7,83 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	0,50 (SUP)	13,58 (SUP)
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	13,93 (TC)	30,73 (ABTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	n.q. (SUP)	18,84 (ACTC)

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid, 2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

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

Os valores máximos de MPS encontrados nas amostras da atual campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram, de maneira geral, superiores em relação as demais campanhas, além de apresentarem maior amplitude de valores. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os dados das 14 campanhas para todas as profundidades (Figura V-22). Na superfície, a décima primeira campanha diferiu da primeira, terceira, quinta e nona campanha, a quarta, a décima e a décima quarta diferiram da terceira, quinta e nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada ACTC, a quarta, a décima, a décima primeira e décima quarta campanha diferiram da quinta e nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a décima primeira campanha diferiu da primeira, segunda, terceira, quinta e nona campanha, a quarta, décima e décima quarta campanha diferiram da terceira, quinta e nona campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada abaixo

da termoclina, a quarta, décima e décima primeira campanha diferiram da terceira, quinta e nona campanha, e a decima primeira ainda diferiu da primeira campanha (Tukey, $p < 0,05$).

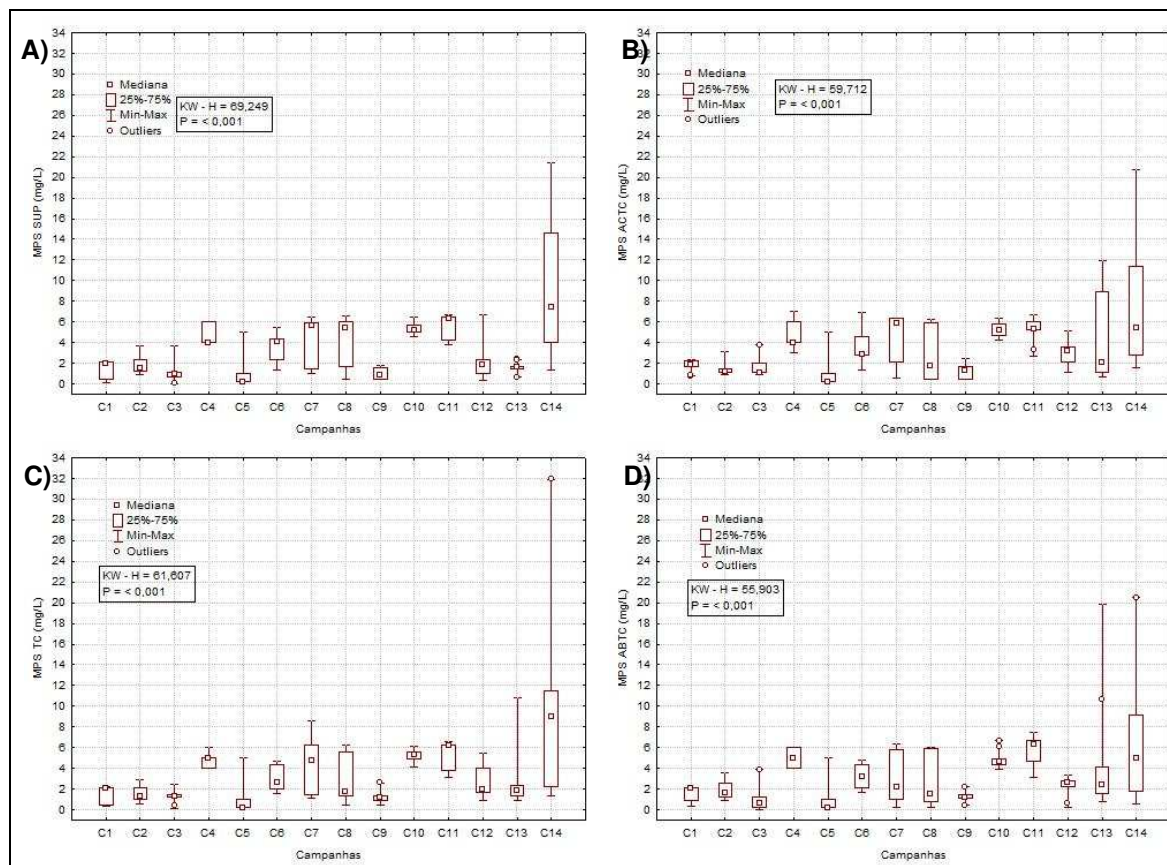


Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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, as concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre 0,88 mg/L C, na ACTC da estação PIL-LL_J501, a 2,29 mg/L C, na SUP da mesma estação (Tabela V-14, Figura V-23). A maior média de concentração de COT foi observada na superfície ($1,46 \pm 0,36$ mg/L C), enquanto a menor média de concentração foi encontrada na ACTC ($1,28 \pm 0,24$ mg/L C). 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.

Tabela V-14 – Concentração de COT (mg/L C) da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- LL_M1000	PIL- LL_J100_R	PIL- LL_J250	PIL- LL_J501	PIL- LL_J502	PIL- LL_J503	PIL- LL_J1001	PIL- LL_J1002	PIL- LL_J1003		
SUP	1,56	1,40	1,12	2,29	1,72	1,34	1,17	1,29	1,22	1,46	0,36
ACTC	1,17	1,36	1,10	0,88	1,69	1,51	1,37	1,22	1,20	1,28	0,24
TC	1,25	1,23	1,48	1,35	1,10	1,30	1,29	1,38	1,20	1,29	0,11
ABTC	1,52	1,35	1,60	1,15	2,02	1,23	1,56	1,04	1,50	1,44	0,29
Máx.	1,56	1,40	1,60	2,29	2,02	1,51	1,56	1,38	1,50		
Mín.	1,17	1,23	1,10	0,88	1,10	1,23	1,17	1,04	1,20		
Média	1,38	1,33	1,33	1,42	1,63	1,35	1,35	1,23	1,28		
DP	0,19	0,07	0,25	0,61	0,38	0,12	0,16	0,14	0,15		

Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina. nd = não detectado.

Na água produzida pelo FPSO-CAR, a concentração média de COT observada para o 1º semestre de 2023 foi de 1022,00 mg/L C, na saída do flotor. Apesar da maior concentração encontrada na água produzida em relação a água do corpo receptor, não se observou aumento significativo de COT da água do entorno no alinhamento central das estações à jusante da plataforma (PIL-LL_J100_R, PIL-LL_J250 e PIL-LL_J502), em relação a estação imediatamente anterior, destaca-se apenas a amostra ACTC de PIL-LL_J100_R, TC e ABTC de PIL-LL_J250 e na SUP, ACTC e ABTC da estação PIL-LL_J502. Apesar disso, não é possível afirmar que o descarte de água produzida causou efeitos notáveis nas concentrações de COT dos pontos amostrados durante a atual campanha, conforme variações acima descritas, uma vez que os resultados obtidos apresentaram variações muito próximas aos valores de desvio padrão. Além disso, foram observadas maiores concentrações em amostras mais distantes das plataformas (PIL-LL_J501_SUP), evidenciando baixa probabilidade de relação entre estes resultados e o descarte de água produzida.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de COT na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-23. Através deles, é possível observar que, houve grande homogeneidade dos resultados, entre os perfis e ao longo da coluna d'água com resultados variando entre 1,00 e 1,50 mg/L C.

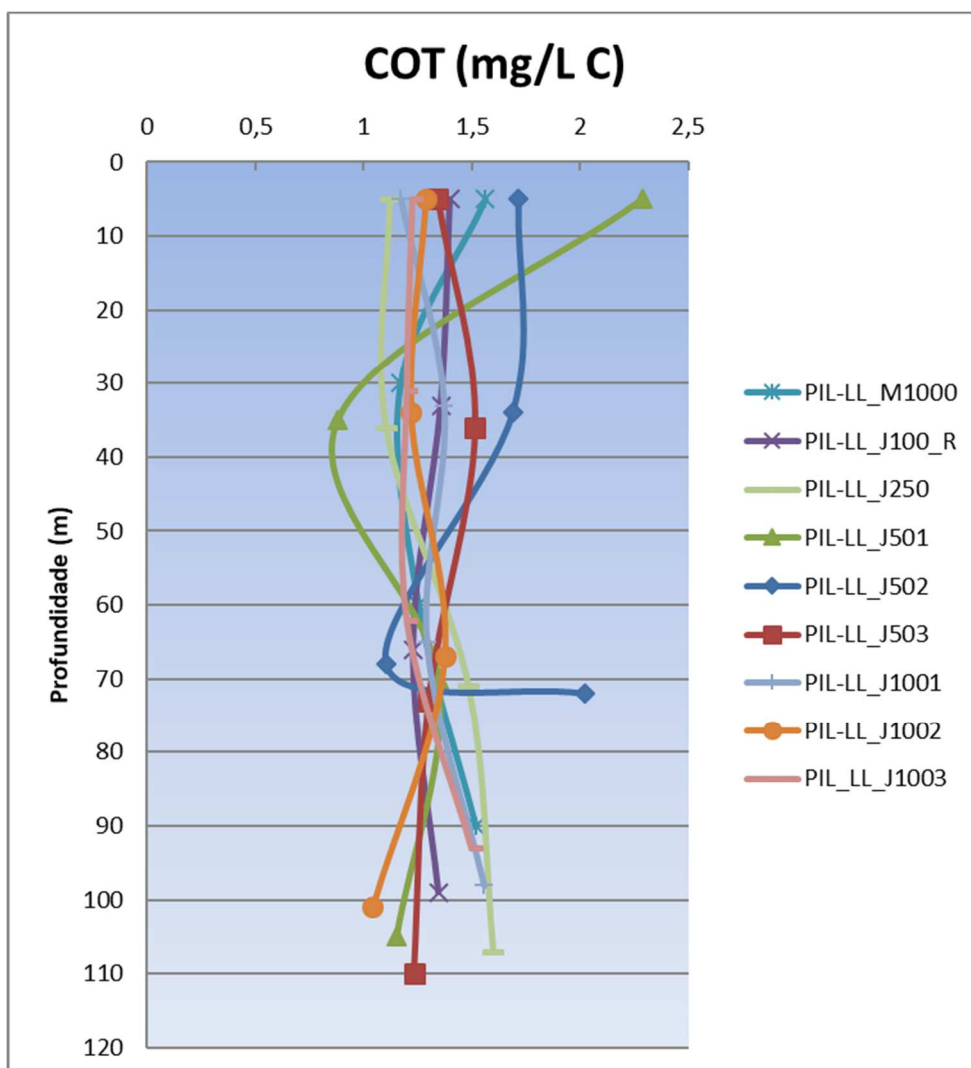


Figura V-23 – Variação vertical das concentrações de COT (mg/L C) na atual campanha de monitoramento.

Na Tabela V-15, são apresentados os valores mínimo e máximo de COT, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. De maneira geral, as concentrações encontradas na atual campanha estiveram dentro da faixa de variação dos valores observados para as campanhas realizadas anteriormente na região.

Tabela V-15 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água em estudos anteriores. *n.d.* = não detectado e *n.q.* = não quantificado.

Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 ¹	0,96 (TC/ABTC)	1,14 (SUP)
PIL-LL_C2 ²	1,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,20 (ACTC/ABTC)
PIL-LL_C3 ³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
PIL-LL_C4 ⁴	1,11 (ACTC)	2,20 (TC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,90 (ACTC)
PIL-LL_C6 ⁶	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,48 (ACTC)
PIL-LL_C7 ^{*7}	-	-
PIL-LL_C8 ⁸	1,25 (TC)	2,26 (ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,12 (TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,35 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,37 (ACTC)
PIL-LL_C12 ¹²	1,50 (SUP)	4,28 (TC)
PIL-LL_C13 ¹³	1,00 (ABTC)	2,02 (SUP)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (TC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.q. (SUP)	1,69 (TC)
PIL-LL-NE_C3 ^{*16}	-	-
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,56 (SUP/ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	n.d. (TC/ABTC)	1,47 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	1,07 (SUP)	1,83 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	1,20 (ABTC)	1,99 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	0,60 (ABTC)	1,06 (TC)
PIL-LL-NE_C10 ²³	0,74 (ACTC)	1,23 (TC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,20 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁵	1,02 (TC)	1,65 (TC)
PIL-SAP_C3 ^{*26}	-	-
PIL-SAP_C4 ²⁷	1,00 (ABTC)	1,65 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC)	2,02 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁹	n.q. (SUP/ACTC/ABTC)	2,34 (SUP)
PIL-SAP_C7 ³⁰	n.q. (SUP/TC/ABTC)	2,76 (ACTC)
PIL-SAP_C8 ³¹	0,90 (SUP)	1,46 (ABTC)
PIL-SAP_C9 ³²	1,24 (SUP)	2,32 (TC)
DP-IRA-S_C1 ³³	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	2,00 (SUP)
DP-IRA-S_C2 ^{*34}	-	-
DP-IRA-S_C3 ³⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,00 (TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	1,48 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	1,26 (ACTC)	1,64 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	1,08 (TC)	2,50 (ABTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	0,92 (SUP)	1,40 (ACTC)

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

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid, 2016a); 7 =

Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

Na Figura V-24 são apresentadas as faixas de concentrações de COT obtidas em cada profundidade durante as 14 campanhas de monitoramento. Cabe ressaltar que não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante a sétima campanha, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que a décima segunda campanha apresentou maiores concentrações máximas em todas as profundidades. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram verificadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os dados das 14 campanhas de monitoramento para todas as profundidades. Na SUP, a décima segunda campanha diferiu da primeira, terceira, quinta, sexta, décima e décima primeira, a segunda e oitava diferiram da terceira, quinta, sexta e décima campanha, a oitava também diferiu da primeira, e a décima quarta diferiu da décima e da terceira (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a décima segunda campanha diferiu das demais, exceto da segunda, quarta, oitava, décima terceira e décima quarta, a segunda e oitava campanha diferiram significativamente da primeira, terceira, quinta e décima campanha, a oitava ainda diferiu da décima primeira, e a quarta campanha diferiu significativamente da terceira e da décima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, a décima segunda campanha diferiu da primeira, terceira, quinta, sexta, nona, décima e décima primeira campanha, a segunda, a quarta e oitava campanha diferiram significativamente da terceira, quinta, sexta e décima campanha, a segunda também diferiu da primeira campanha, e a décima diferiu da décima terceira e da décima quarta (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a décima segunda campanha diferiu das demais, exceto da segunda, quarta, oitava, nona, décima terceira e décima quarta, a oitava campanha diferiu significativamente da primeira, terceira, quinta, sexta e décima campanha, a segunda e a décima quarta campanha

diferiram significativamente da terceira, quinta e décima campanha, e a quarta campanha diferiu significativamente da quinta e da décima (Tukey, $p < 0,05$).

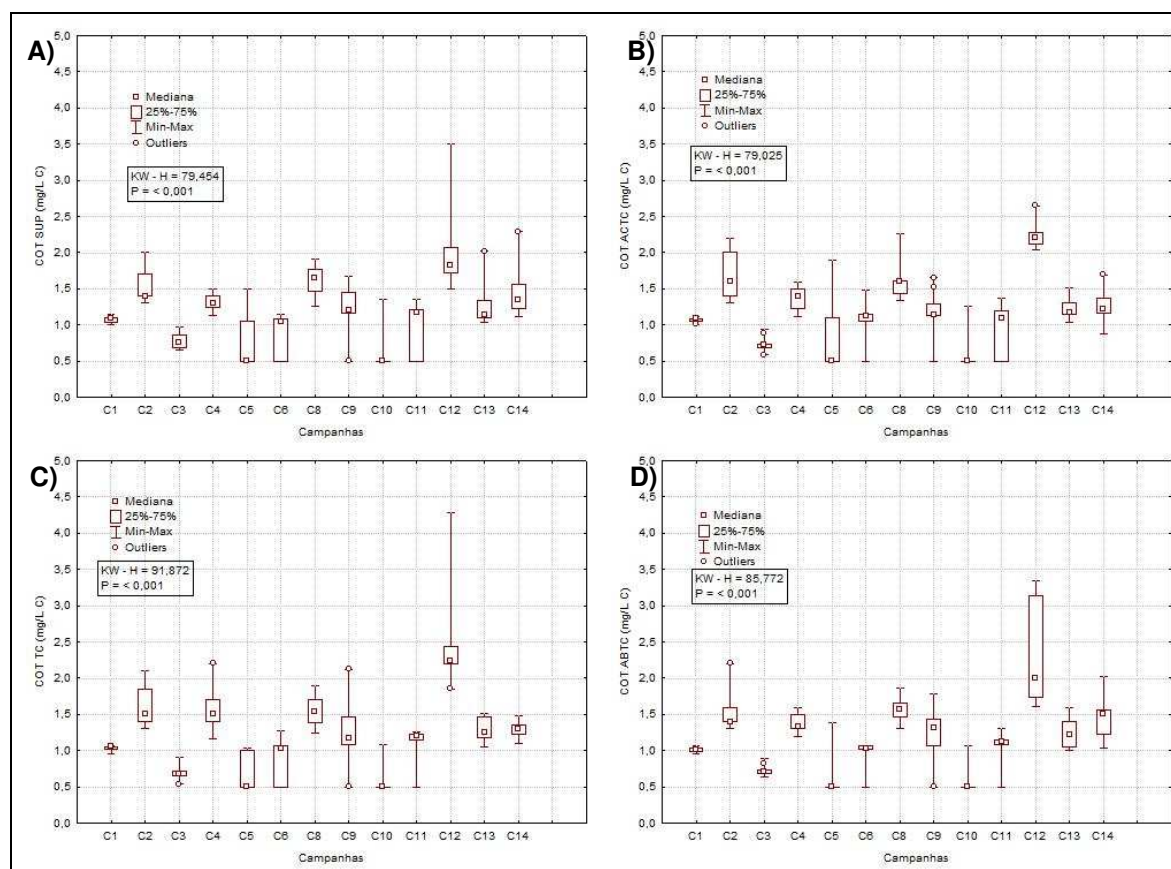


Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas de PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 (MAINIER & VIOLA, 2005).

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.

Em ambientes pelágicos, com alta oxigenação, não é esperado a presença de altos teores de sulfetos. A presença desses compostos nas águas onde há atividade de produção de petróleo pode indicar uma possível contaminação do ambiente por esta atividade, sendo assim, é de grande importância a sua análise em programas de monitoramento das áreas de produção e exploração petrolífera. 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, não foram quantificadas concentrações de sulfetos em nenhuma das amostras (LD = 0,002 mg/L S). Portanto, todas as amostras estiveram dentro das especificações da Resolução CONAMA nº 357/05.

Na Tabela V-15, são apresentados os valores mínimo e máximo de sulfetos, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região, onde é possível verificar que é usual a não detecção e não quantificação de sulfetos, sendo que, das 36 referências citadas, apenas nove quantificaram concentrações de sulfetos.

Tabela V-16 - Valores de sulfetos (mg/L S) encontrados na água nos estudos anteriores.
n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	Sulfetos (mg/L S)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 ¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C2 ²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,216 (TC)
PIL-LL_C3 ³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 ⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C8 ⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,029 (ABTC)
PIL-LL_C9 ⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C11 ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,020 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,049 (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C10 ²³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 ²⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C2 ²⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C3 ²⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C4 ²⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,036 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁸	n.d. (SUP/TC)	0,020 (SUP)
PIL-SAP_C6 ²⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/ABTC)
PIL-SAP_C7 ³⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C8 ³¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C9 ³²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 ³⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,017 (SUP/ABTC)
DP-IRAS_C4 ³⁶	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,030 (SUP)
DP-IRA-S_C5 ³⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C10 ⁴¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
Bloco BM-S-11 ⁴²	n.d.	0,0316

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c); 42 = Petrobras/Habtec (2003).

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-25). Na superfície, a oitava campanha diferiu significativamente da primeira, terceira, sétima, nona, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a segunda campanha diferiu da primeira, terceira, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e a sétima campanha diferiu significativamente da quarta, quinta, sexta e décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada acima da termoclina, 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 e sexta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, a oitava campanha diferiu significativamente da primeira, terceira, sétima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a sétima campanha diferiu da segunda, quarta, quinta, sexta e décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada abaixo da termoclina, a oitava campanha diferiu da primeira, terceira, sétima, nona, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, e a sétima campanha diferiu da segunda, quarta, quinta e sexta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

É importante reforçar que os métodos e os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas (método SMEWW 4500 para a primeira campanha e para as onze últimas campanhas, e método EPA 376.2 para a segunda e terceira campanha / LQ de 0,002 mg/L S para as três primeiras campanhas e para a oitava,

nona, décima, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, 0,004 mg/L S para a quarta, quinta e sexta campanha e 0,0005 mg/L S para a sétima campanha) e, portanto, com exceção das diferenças verificadas entre a segunda e a oitava com as demais campanhas, as demais diferenças verificadas são meramente matemáticas e fruto dos diferentes limites utilizados, uma vez que os resultados só foram quantificados durante a segunda e a oitava campanha.

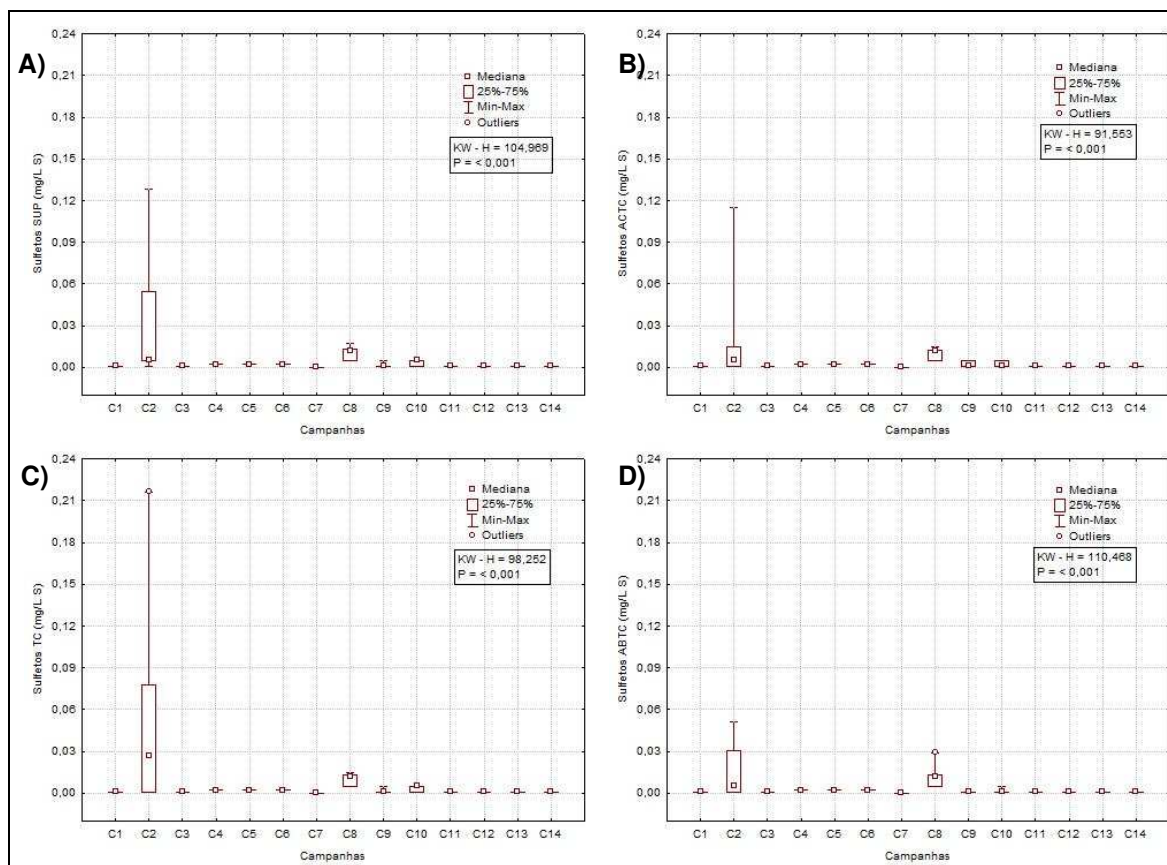


Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 detecção 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 em todas as campanhas de monitoramento ambiental realizadas anteriormente na região do polo Pré-Sal não foram encontradas concentrações detectáveis e quantificáveis de fenóis (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c; 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). Considerando as não detecções e não quantificações citadas acima, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

Na água produzida pelo FPSO-CAR descartada pelo flotor no 1º semestre de 2023, a concentração média de fenóis foi de 49,440 µg/L. Entretanto, devido a ausência de concentrações quantificáveis de fenóis nas estações, pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno, no tange aos parâmetros acima citados.

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, 2022).

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).

Os aromáticos são hidrocarbonetos de cadeia benzênica que estão presentes em praticamente todos os tipos de petróleo, embora em pequenas quantidades na maioria deles. São os que apresentam maior toxicidade e biodegradação lenta e estão associados a efeitos crônicos e carcinogênicos.

N-alcanos, também chamados de parafinas ou alifáticos saturados, são hidrocarbonetos de cadeias normais e ramificadas que compreendem a maior fração da maioria dos petróleos. São incolores, relativamente inodoros e pouco reativos. A toxicidade geralmente é baixa e são facilmente biodegradados.

Os n-alcenos (olefinas) são hidrocarbonetos de cadeia aberta, similar aos n-alcanos, diferindo apenas pela presença de ligação dupla entre os átomos de carbono. Geralmente estão ausentes ou aparecem em pequenas quantidades no petróleo, mas são abundantes em produtos de refino como a gasolina.

Já os cicloalcanos (naftas) são hidrocarbonetos de cadeias fechadas (cíclicas) e saturadas, e que compreendem a segunda maior fração da maioria dos petróleos.

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 $n\text{-C}_{18}$ e $n\text{-C}_{35}$ 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-C₁₆ e n-C₂₂ 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).

Avaliações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), n-alcanos e MCNR são comuns em monitoramentos ambientais quando se pretende verificar se há vazamentos de tanques de armazenamento de óleos combustíveis e outros.

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 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 do mesmo. 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).

As atividades de exploração e produção de petróleo nos oceanos também podem ocasionar o aumento da liberação de hidrocarbonetos para os oceanos, sendo indispensável o estudo desse parâmetro para o monitoramento ambiental da produção de petróleo.

Nesta campanha de monitoramento não foram quantificadas concentrações de HPA's em nenhuma das estações amostrais pelo método de análise aplicado (LQ = 0,005 µg/L). Da mesma maneira, destaca-se a ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis de HPA's em quase todas as campanhas de monitoramento anteriormente realizadas na região do polo Pré-Sal (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012b; PETROBRAS/BOUSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). Na segunda campanha de monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL foram detectadas concentrações em apenas uma única amostra, com concentração de 5,25 µg/L (PIL-LL_J250_ACTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a), na quarta campanha de monitoramento do Piloto de Tupi NE foram encontradas concentrações variando entre não detectado (SUP/ACTC/TC/ABTC) e 0,19 µg/L (ACTC/ABTC) (PETROBRAS/BOUSCHEID, 2018b) e na terceira campanha de monitoramento do DP de Iracema Sul foram encontradas concentrações entre não detectado (ACTC/ABTC) e 0,341 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/BOUSCHEID, 2018c). No PCR-BS (Petrobras, 2022), 15% das estações amostradas no inverno apresentaram valores acima do limite de quantificação para os 16 compostos de

HPA, no verão aumentou para 33,9% o número de estações com quantificações de HPA.

Como a maioria das concentrações de HPA's de todas as campanhas deste monitoramento não foram detectadas nem quantificadas, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

A análise de HPA's na água produzida mostrou concentrações abaixo do limite de detecção para todos os parâmetros descartados pelo flotador, exceto o naftaleno (6,314 µg/L), acenafteno (0,114 µg/L), fenantreno (0,386 µg/L), fluoreno (0,400 µg/L) e pireno (0,007 µg/L). Ainda assim, com a ausência de concentrações quantificáveis de HPA's nas estações amostradas pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno, no que tange aos parâmetros acima citados.

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 HTP, n-alcanos e MCNR (LQ = 1,0 µg/L).

Nas campanhas anteriores realizadas na região e entorno, foram encontradas concentrações quantificáveis de HTP nas três primeiras campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, com valores variando desde 0,03 µg/L (SUP) até 174.152,30 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b) e na primeira e terceira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul também foram encontradas concentrações variando entre não detectado (LD = 0,2 µg/L) e 478,00 µg/L (ABTC), e entre não detectado (LD = 0,2 µg/L) e 1,10 µg/L (ACTC), respectivamente (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c, 2018c).

No PCR-BS (Petrobras, 2022), 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⁻¹ no inverno e entre <0,025 e 155,23 µg L⁻¹ 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, em relação ao HTP (Figura V-26).

Em todos os estratos, a terceira campanha diferiu significativamente das demais campanhas, exceto da primeira, segunda, décima terceira e décima quarta, e a sétima e décima segunda campanhas diferiram significativamente da primeira, segunda, décima terceira e décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Salienta-se que houve diferença nos limites de detecção entre as campanhas ($0,1 \mu\text{g/L}$ nas três primeiras campanhas, $0,03 \mu\text{g/L}$ na sétima campanha, $0,050 \mu\text{g/L}$ na décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha e $0,2 \mu\text{g/L}$ nas demais campanhas).

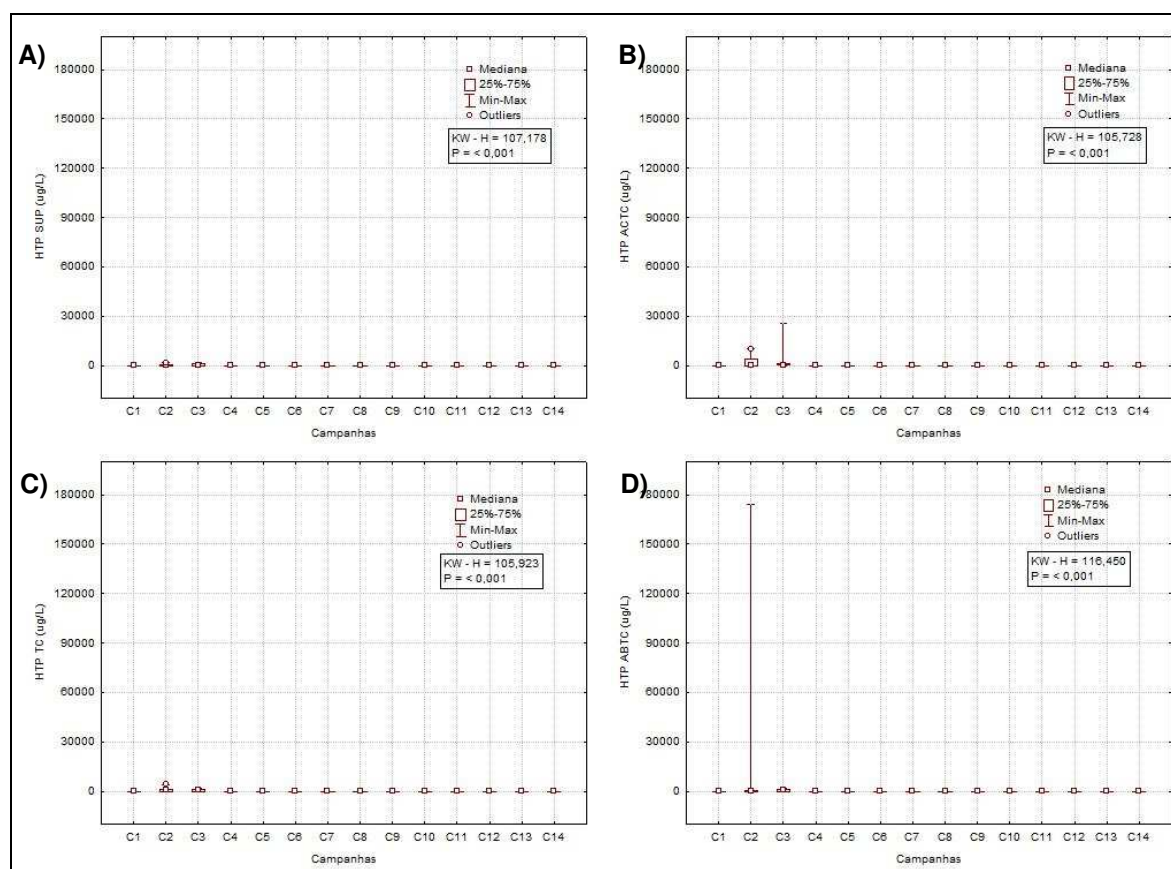


Figura V-26 – Concentrações de HTP ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

No que tange aos n-alcenos, foram detectadas concentrações na segunda campanha do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, com valores entre não detectado (SUP, ACTC, TC e ABTC) e $183,08 \mu\text{g/L}$ (SUP), enquanto na quarta campanha do mesmo projeto somente uma amostra mostrou concentração quantificável de n-alcenos, de $6,8 \mu\text{g/L}$ (ACTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a;

PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Já na primeira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul, as concentrações de n-alcanos variaram entre não detectado e 72,47 µg/L (ABTC) e na terceira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul, as concentrações variaram entre não detectado e 1,10 µg/L (ACTC) (PETROBRAS, BOURSCHEID, 2016c, 2018c). No PCR-BS (Petrobras, 2022), 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), nas duas campanhas.

As maiores concentrações máximas e a maior amplitude de valores foram encontradas na segunda campanha de monitoramento, exceto na ACTC, que foram na terceira campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados de n-alcanos das 14 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-27). Na superfície, a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha diferiram significativamente da sétima e décima segunda campanha, a segunda diferiu da sétima, e a décima terceira e a décima quarta diferiram da primeira, terceira, sétima e décima segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha diferiram significativamente da sétima campanha, e a décima terceira e a décima quarta diferiram da primeira, terceira, sétima e décima segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC e na ABTC, a sétima e décima segunda campanhas diferiram significativamente da segunda, quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima e décima primeira campanha, e a décima terceira e a décima quarta diferiram da primeira, terceira, sétima e décima segunda (*Tukey*, $p < 0,05$). Como os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas (0,1 µg/L nas três primeiras campanhas, 0,2 µg/L na quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima, décima primeira e décima quarta campanha, 0,03 µg/L na sétima campanha e 0,05 µg/L na décima segunda e décima terceira campanha), parte das diferenças encontradas são meramente matemáticas, em decorrência do tratamento aplicado aos dados, não sendo condizentes com as diferenças ambientais, uma vez que somente a segunda e a terceira campanha encontraram concentrações quantificáveis e, portanto, deveriam ser as únicas passíveis de diferir significativamente das demais campanhas.

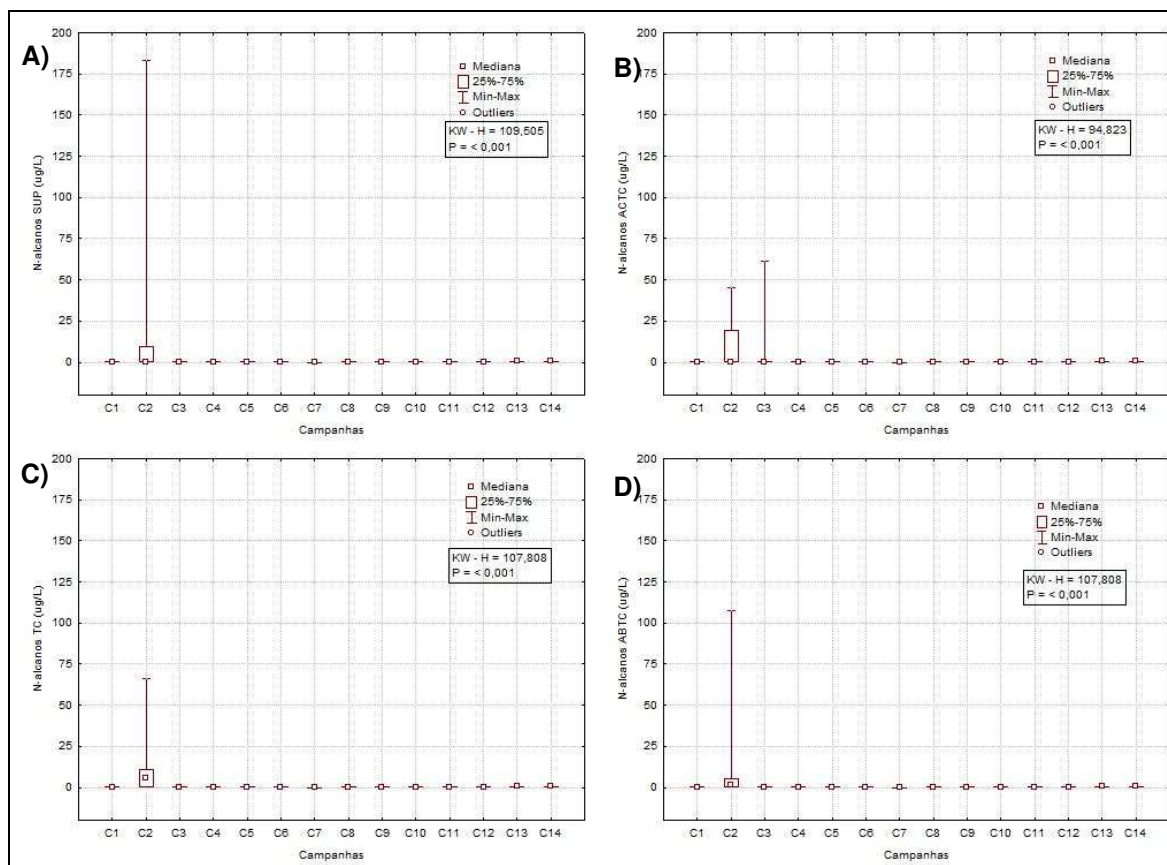


Figura V-27 – Concentrações de *n*-alcanos ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

O parâmetro mistura complexa não resolvida (MCNR) apresentou concentrações detectáveis somente na segunda e terceira campanhas do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, variando entre não detectado, mínimo detectado de $171 \mu\text{g/L}$ (ABTC) e máximo de $94.211 \mu\text{g/L}$ (ABTC) e na primeira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul, com valores entre não detectado e $440 \mu\text{g/L}$ (ABTC) (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a, 2012b, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016c). No PCR-BS (Petrobras, 2022), a análise de MCNR, registrou a presença desse composto 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 $19,87 \mu\text{g/L}$ e $<0,025$ e $38,14 \mu\text{g/L}$, respectivamente.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados de MCNR das 14 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-28). Na superfície e na termoclina, a sétima campanha diferiu da terceira, décima segunda, décima terceira e décima

quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$), enquanto na ACTC, a sétima campanha diferiu significativamente da segunda, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a sétima diferiu da segunda, terceira, décima segunda, décima terceira e décima quarta (*Tukey*, $p < 0,05$). Como os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas ($0,1 \mu\text{g/L}$ nas três primeiras campanhas, $0,2 \mu\text{g/L}$ na quarta, quinta, sexta, oitava, nona, décima, décima primeira e décima quarta campanha, $0,03 \mu\text{g/L}$ na sétima campanha e $0,12 \mu\text{g/L}$ na décima segunda e décima terceira campanha), as diferenças encontradas entre a sétima e demais campanhas com resultados não detectados e não quantificados são meramente matemáticas, não sendo condizentes com as diferenças ambientais, uma vez que só foram quantificadas concentrações durante a segunda e terceira campanha, e estas campanhas deveriam ser as únicas passíveis de diferir significativamente das demais campanhas.

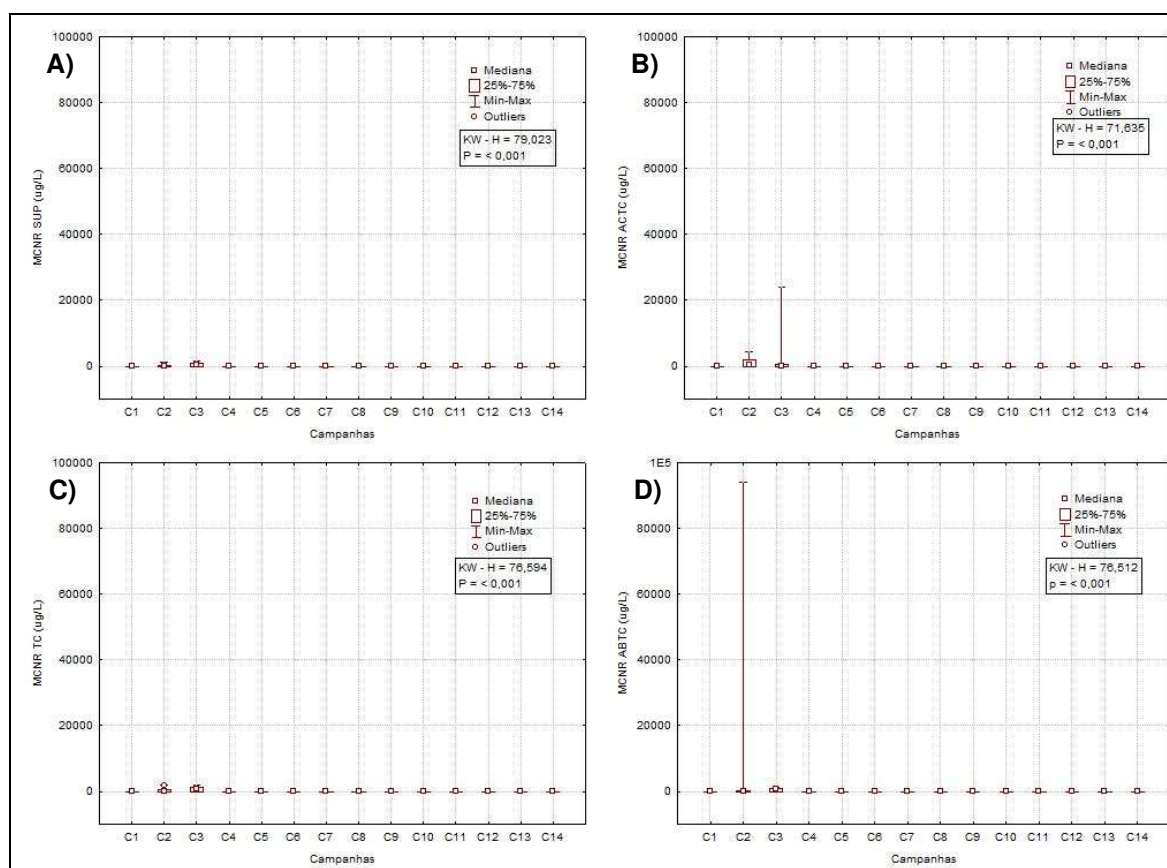


Figura V-28 – Concentrações de MCNR ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.10 - 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).

A avaliação do BTEX é comum em monitoramentos ambientais quando se pretende verificar se há vazamentos de tanques de armazenamento de óleos combustíveis e outros.

Na atual campanha de monitoramento, não foram encontradas concentrações acima do limite de quantificação (LQ = 1,0 µg/L) para BTEX. As concentrações também foram inferiores ao limite de detecção e de quantificação do método em todas as campanhas de monitoramento ambiental anteriormente realizadas na região do Pré-Sal da Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012b, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c), exceto a segunda campanha do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, que encontrou concentrações de BTEX de até 1.313,69 µg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a). Como a maioria das concentrações de BTEX das 14 campanhas do projeto não foram detectadas, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

Os resultados obtidos na análise de BTEX na água produzida descartada pelo flotor mostraram concentrações acima do limite de detecção para os parâmetros benzeno (920,167 µg/L), tolueno (484,467 µg/L), etilbenzeno (27,289 µg/L), o-xilenos (78,156 µg/L) e m,p-xilenos (124,267 µg/L). Entretanto, devido à ausência de concentrações quantificáveis de BTEX nas estações, pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno, no que tange aos parâmetros acima citados.

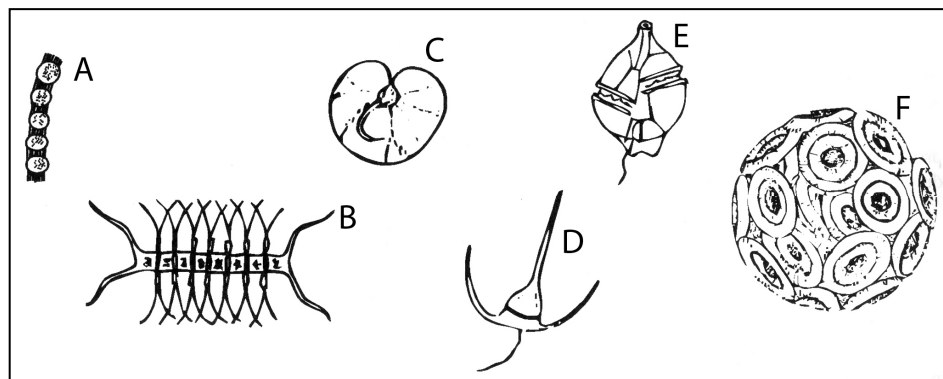
V.2 - PLÂNCTON

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*. Primnesiófitas: (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 em 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, 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 fitoplânctônica, 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 & TUNDISI, 2008). Isso ocorre devido ao fato de serem organismos indicadores de alterações ambientais, pois a degradação dos ambientes aquáticos podem 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 112 amostras de fitoplâncton, com acréscimo de 19 novas taxa durante a atual campanha.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 14 campanhas evidencia um incremento maior de taxa entre a 1ª e 27ª amostra, que contabilizaram, de forma cumulativa, 114 taxa. Ou seja, aproximadamente 50% do total de taxa obtido ao longo do projeto (total de 226 taxa) foi coletado até o início da quarta campanha de monitoramento (Figura V-30). O comportamento da curva aponta para um adequado esforço amostral, garantindo que grande parte dos taxa presentes na comunidade local fosse amostrado durante a realização de poucas campanhas. Durante as demais campanhas, ocorrem leves incrementos no número de taxa, sendo estes mais intensos ao longo da nona campanha e da décima segunda, e uma tendência geral de estabilização da curva.

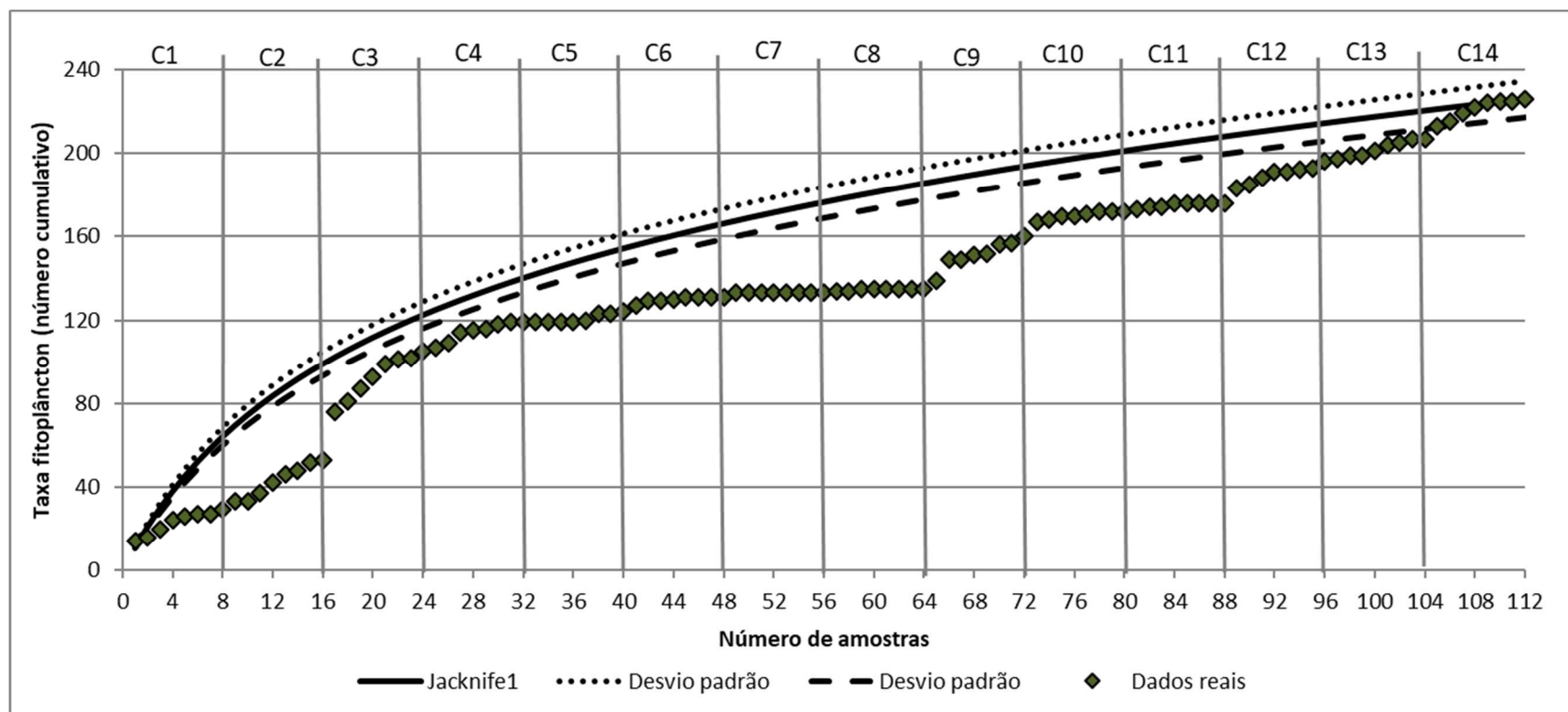


Figura V-30 – Taxa de fitoplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo do PMPR_PIL-LL. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Em comparação com a curva de Jacknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada na maioria das amostras, exceto nas amostras iniciais de C1, e em todas as amostras de C14, em que a distribuição real das amostras foi mais semelhante à distribuição esperada, pois os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jacknife, e as amostras finais estiveram sobre a curva Jacknife. Esse resultado evidencia a importância e adequação do esforço amostral realizado em cada uma das campanhas de monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, pois a distribuição real dos dados se aproxima muito da distribuição esperada para a área e há uma tendência a estabilização ao final da curva, evidenciando que, mesmo com o aumento do esforço amostral, não é esperado um incremento significativo no número de espécies.

V.2.1.2 - Análise Qualitativa

Na presente campanha, foram registrados organismos pertencentes a quatro filos: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. O filo Bacillariophyta (antigo Ochrophyta) foi registrado em todas as campanhas anteriores deste projeto de monitoramento (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). Myzozoa apresentou riqueza total de 35 taxa, seguido por Bacillariophyta, com 15 taxa, Haptophyta, com 9 taxa, e Cyanobacteria, com 3 taxa. 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). A listagem das espécies fitoplanctônicas coletadas está contida no Anexo X-3.

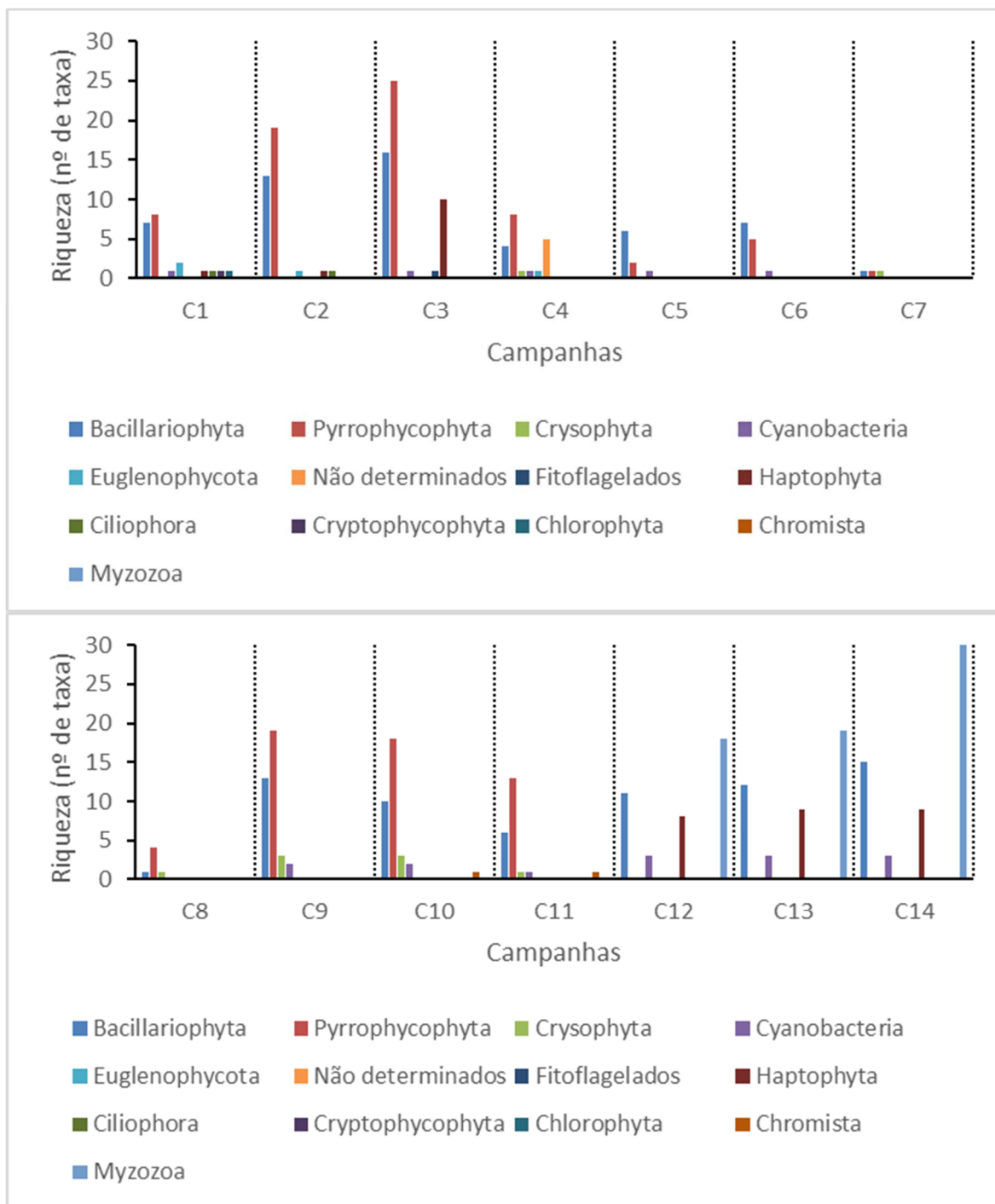


Figura V-31 – Riqueza (nº de taxa) fitoplanctônica ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

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, Prymnesiophyceae, Cryptophyceae, Prasinophyceae e Chlorophyceae (BRANDINI *et al.*, 1997).

Tanto os dinoflagelados (Divisão Pyrrophytophyta) quanto as diatomáceas (Divisão Bacillariophyta e Crysophyta), registrados na atual campanha, são organismos de grande importância para as comunidades fitoplanctônicas, pois constituem a base da teia alimentar aquática e possuem alta diversidade de espécies (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI *et al.*, 1997; RAVEN *et al.*, 2001).

O grupo das diatomáceas necessita de maiores concentrações de nutrientes para sobreviver, e conseqüentemente é mais escasso em águas oligotróficas afetadas pela Água Tropical (AT) (BRANDINI *et al.*, 1997). Bacillariophyta é um grupo 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, já 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.2.1.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-17 são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade fitoplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-17 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônicas encontrados no PMPR_PIL-LL.

Estação	Estratos	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/L)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-LL_M1000	SUP	23,00	333,69	2,37	0,76
	ACTC	16,00	297,44	2,10	0,76
	TC	22,00	253,51	2,35	0,76
	ABTC	23,00	225,38	2,51	0,80
PIL-LL_J1002	SUP	27,00	540,00	2,10	0,64
	ACTC	20,00	307,38	2,17	0,72
	TC	16,00	426,53	1,76	0,64
	ABTC	27,00	295,92	2,66	0,81
Mínimo		16,00	225,38	1,76	0,64
Máximo		27,00	540,00	2,66	0,81
Média		21,75	334,98	2,25	0,73
Desvio padrão		4,27	101,95	0,28	0,07

Já na Tabela V-18, são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica nas campanhas de monitoramento ambiental anteriores realizadas na região.

Tabela V-18 - Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o fitoplâncton nos estudos anteriores.

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	12	14	134.190	227.209	0,37	0,49	0,33	0,44
PIL-LL_C2 ²	14	19	176.418	589.248	0,45	0,61	0,39	0,51
PIL-LL_C3 ³	17	27	1.206.845	2.440.892	0,01	0,07	0,01	0,05
PIL-LL_C4 ⁴	3	8	1.000	39.000	1,10	1,94	0,81	1
PIL-LL_C5 ⁵	0	4	0	31.000	0	1,33	0	0,96
PIL-LL_C6 ⁶	1	6	100	800	0	1,67	0	1
PIL-LL_C7 ⁷	0	3	0	60	0	1,10	0	1,00
PIL-LL_C8 ⁸	1	2	20	80	0	0,69	0	1,00
PIL-LL_C9 ⁹	6	21	46,89	126,08	1,24	2,79	0,50	1,00
PIL-LL_C10 ¹⁰	7	17	32,09	94,78	1,85	2,63	0,92	0,97
PIL-LL_C11 ¹¹	9	13	41,86	268,05	0,85	2,23	0,37	0,93
PIL-LL_C12 ¹²	14	22	427,50	511,24	1,79	2,22	0,68	0,79
PIL-LL_C13 ¹³	11	26	355,79	539,13	1,54	2,43	0,64	0,76
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	0	5	0	8.0000	0	0,50	0	0,45
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	2	5	200	500	0,69	1,61	0,95	1
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	0	3	0	100	0,00	1,10	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	0	6	0	380	0	1,70	0	1,00
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	8	15	43,68	89,01	1,81	2,62	0,83	0,97
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	7	13	21,69	183,24	1,83	2,25	0,86	0,97
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	6	11	49,19	160,54	1,13	2,16	0,57	0,90
PIL-LL-NE_C8 ²¹	15	23	455,87	819,51	2,09	2,33	0,73	0,78
PIL-LL-NE_C9 ²²	18	27	335,14	602,08	1,90	2,56	0,66	0,81
PIL-LL-NE_C10 ²³	16	25	214,03	353,59	2,36	2,64	0,78	0,86

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-SAP_C1 ²⁴	0	1	0	1.000	0	0	0	0
PIL-SAP_C2 ²⁵	0	4	0	400	0	1,38	0	1,00
PIL-SAP_C3 ²⁶	0	2	0	80	0,00	0,56	0,00	0,81
PIL-SAP_C4 ²⁷	0	3	0	80	0	1,04	0	1,00
PIL-SAP_C5 ²⁸	6	20	25,39	183,47	1,68	2,64	0,79	0,84
PIL-SAP_C6 ²⁹	10	19	61,45	231,33	2,00	2,60	0,78	0,93
PIL-SAP_C7 ³⁰	5	12	134,47	806,20	0,37	1,40	0,16	0,61
PIL-SAP_C8 ³¹	19	24	298,85	548,07	2,02	2,58	0,66	0,81
PIL-SAP_C9 ³²	21	30	335,03	656,68	2,06	2,61	0,67	0,80
DP-IRA-S_C1 ³³	0	6	0	900	0,00	1,68	0,00	0,96
DP-IRA-S_C2 ³⁴	0	1	0	40	0,00	0,00	0,00	0,00
DP-IRA-S_C3 ³⁵	0	4	0	140	0	1,15	0	0,83
DP-IRA-S_C4 ³⁶	4	15	22,73	52,20	1,28	2,64	0,78	0,97
DP-IRA-S_C5 ³⁷	10	20	74,79	171,22	1,92	2,71	0,83	0,94
DP-IRA-S_C6 ³⁸	7	12	30,04	421,98	1,44	2,20	0,65	0,96
DP-IRA-S_C7 ³⁹	18	24	465,54	705,59	2,08	2,31	0,69	0,80
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	17	27	392,00	500,50	1,96	2,50	0,69	0,78
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	18	32	278,26	420,49	2,57	2,92	0,82	0,89

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010); 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a); 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b); 4 = Petrobras/Bourscheid (2014); 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

A análise da comunidade fitoplanctônica registrou um total de 62 taxa, dentre os quais um foi identificado a nível de ordem, 14 a nível de gênero e 47 a nível de espécie. A riqueza variou entre 16 (PIL-LL_M1000_ACTC e PIL-LL_J1002-TC) e 27 taxa (PIL-LL_J1002_SUP e PIL-LL_J1002_ABTC). A riqueza média da campanha foi de 21,75 ($\pm 4,27$) taxa. Os valores encontrados na atual campanha (C14) e na C13 foram superiores em relação aos encontrados na maioria das campanhas anteriores, exceto em relação à PIL-LL_C3, que apresentou valor máximo superior (Tabela V-18).

As terceira, nona, décima terceira e a décima quarta campanhas apresentaram os maiores valores máximos de riqueza de taxa (Figura V-32). Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza de taxa das 14 campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A terceira, a décima terceira e a décima quarta campanha diferiram significativamente da quarta, quinta, sexta, sétima e oitava campanha; a segunda e a décima segunda diferiram da quinta, sexta, sétima e oitava; e a primeira diferiu da sétima (*Tukey*, $p < 0,05$).

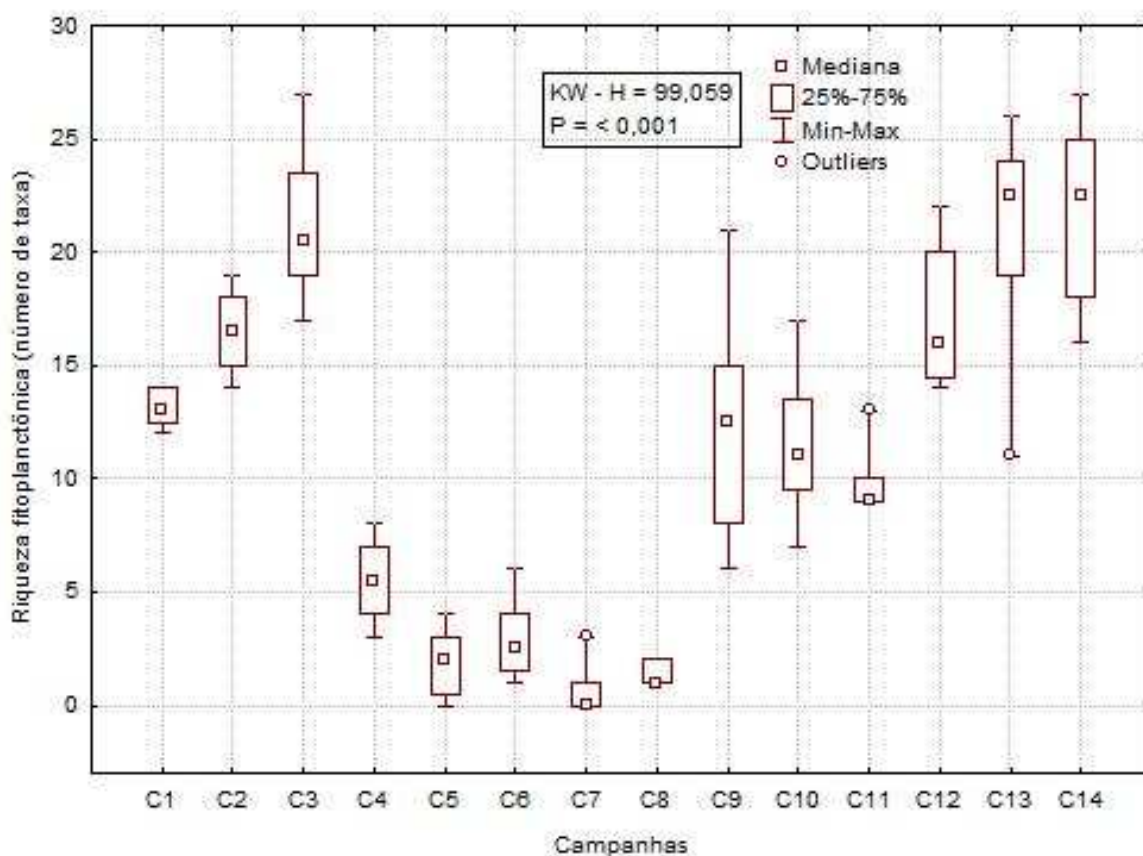


Figura V-32 – Box plots representativos de riqueza fitoplanctônica (número de taxa) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

A densidade média dos organismos fitoplanctônicos da atual campanha foi de $334,98 \pm 101,95$ ind/L, variando de 225,38, na amostra PIL-LL_M1000_ABTC, a 540,00 ind/L, na amostra PIL-LL_J1002_SUP. Em comparação aos dados de densidade já verificados para a região (Tabela V-18), observa-se que os mesmos variaram bastante, e que os resultados da atual campanha encontram-se na faixa de variação dos valores já obtidos para a região, sendo superiores aos valores mínimos registrados na maioria das campanhas, e bem inferiores aos registrados nas cinco primeiras campanhas do PMPR_PIL-LL. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-3.

O resultado da maioria das campanhas demonstrou densidades bem inferiores, em comparação às verificadas nas três primeiras campanhas de monitoramento (Figura V-33). Foram encontradas diferenças significativas entre a densidade fitoplanctônica das 14 campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira, segunda e a terceira campanhas diferiram significativamente da sétima,

oitava, nona, décima e décima primeira campanha; a terceira também diferiu da décima quarta, a quarta diferiu da sétima, oitava e décima campanha, e a décima segunda diferiu da sétima (*Tukey*, $p < 0,05$).

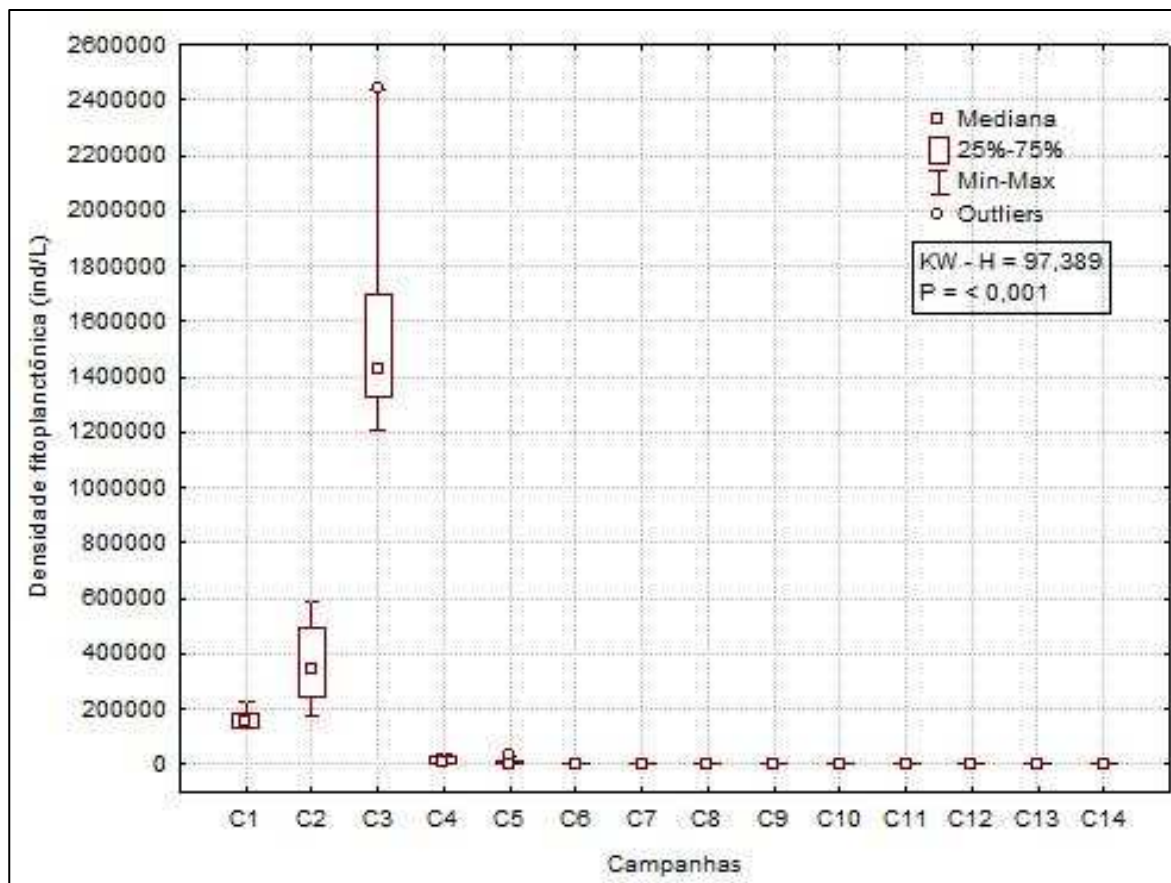


Figura V-33 – Box plots representativos dos valores de densidade fitoplanctônica (ind/L) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

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 projeto do PCR-BS (Petrobras, 2022) variaram significativamente entre cada classe de tamanho considerada. A média global da densidade do microplâncton na superfície, na Bacia de Santos, foi de até 1.026×10^3 cels/L, enquanto a densidade do nanoplancton 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 Bacillariophyta registrou densidade média de $196,79 \pm 55,27$ ind/L, seguido pelos filos Myzozoa e Cyanobacteria, que registraram densidade média de $74,98 \pm 14,38$ ind/L e $42,22 \pm 75,78$ ind/L, respectivamente. O filo Haptophyta registrou média de $20,99 \pm 31,03$ ind/L (Figura V-34).

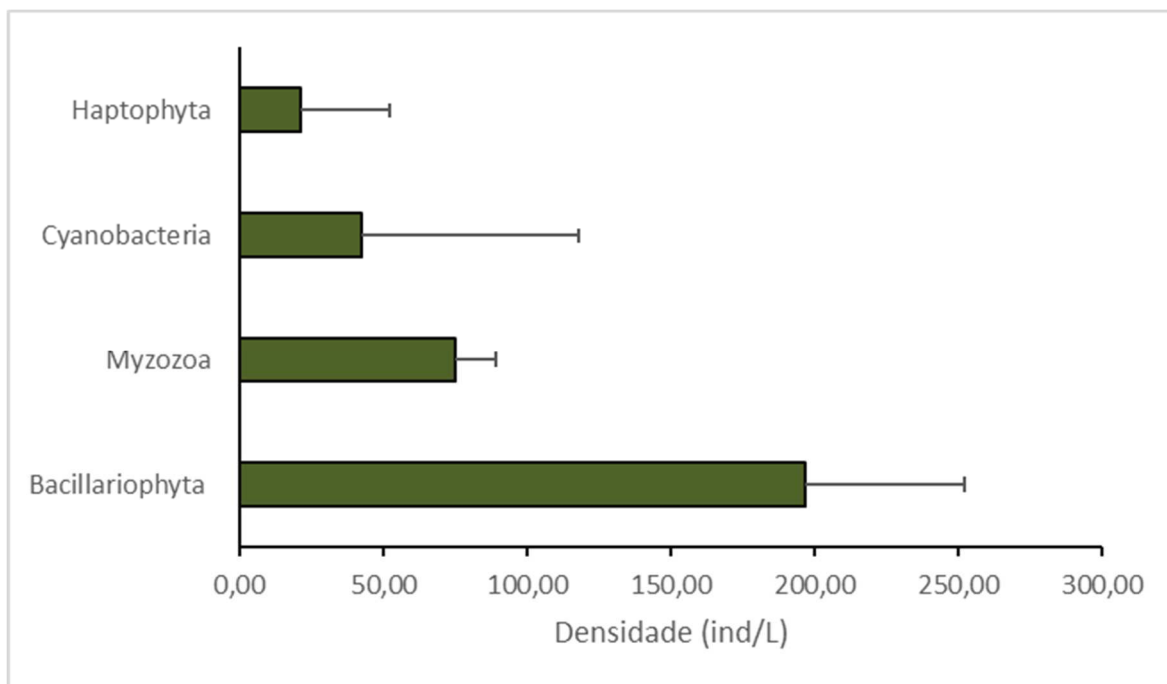


Figura V-34 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da PMPR_PIL-LL_C14. A barra verde representa a densidade média do grupo $\pm$ desvio-padrão.

Nas três primeiras campanhas de monitoramento realizadas anteriormente no local, bem como na décima campanha, os fitoflagelados foram o grupo mais representativo quanto ao parâmetro densidade (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2019e), seguidos pelas diatomáceas (divisão Ochrophyta). Já na quarta campanha, a predominância foi de Dinophyceae (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014), enquanto que na quinta, na sexta e na oitava campanha a predominância foi novamente de Ochrophyta (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015, 2016, 2018d). Na sétima campanha, as algas crisófitas (divisão Crysoophyta) apresentaram a maior densidade, enquanto na nona campanha, a maior densidade ocorreu na divisão

Pyrrophycophyta e do filo Cyanobacteria (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2017a, 2018f). Na décima primeira campanha, a predominância foi de Cynobacteria e Pyrrophycophyta (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020a). Na décima segunda e décima terceira campanha, a predominância foi de Cyanobacteria (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). Além disso, as campanhas anteriores registraram outros filos, tais como euglenofícies e primnesiofíceas, todos com baixo número de organismos.

A diversidade média na atual campanha foi de $2,25 \pm 0,28$ bits/ind e variou de 1,76, na amostra PIL-LL_J1002_TC, a 2,66 bits/ind, na amostra PIL-LL_J1002_ABTC, sendo esses valores representativos de uma baixa a média diversidade (Tabela V-18).. Os registros da atual campanha encontram-se na faixa de variação dos dados já registrados anteriormente na região, apresentando valores mínimo e máximo levemente superiores aos registrados na maioria das campanhas anteriores (Tabela V-18).

Na Figura V-35 são apresentados os valores de diversidade de fitoplâncton obtidos nas amostras no PMPR_PIL-LL. A décima, a décima terceira e décima quarta campanha apresentaram as maiores diversidades médias. Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de diversidade das 14 campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p > 0,05$). A décima e a décima quarta campanha diferiram significativamente da primeira, segunda, terceira, quinta, sétima e oitava campanha, a nona, a décima segunda diferiram da terceira, quinta, sétima e oitava, décima terceira diferiu da primeira, terceira, quinta, sétima e oitava e a décima primeira diferiu da sétima (*Tukey*, $p < 0,05$).

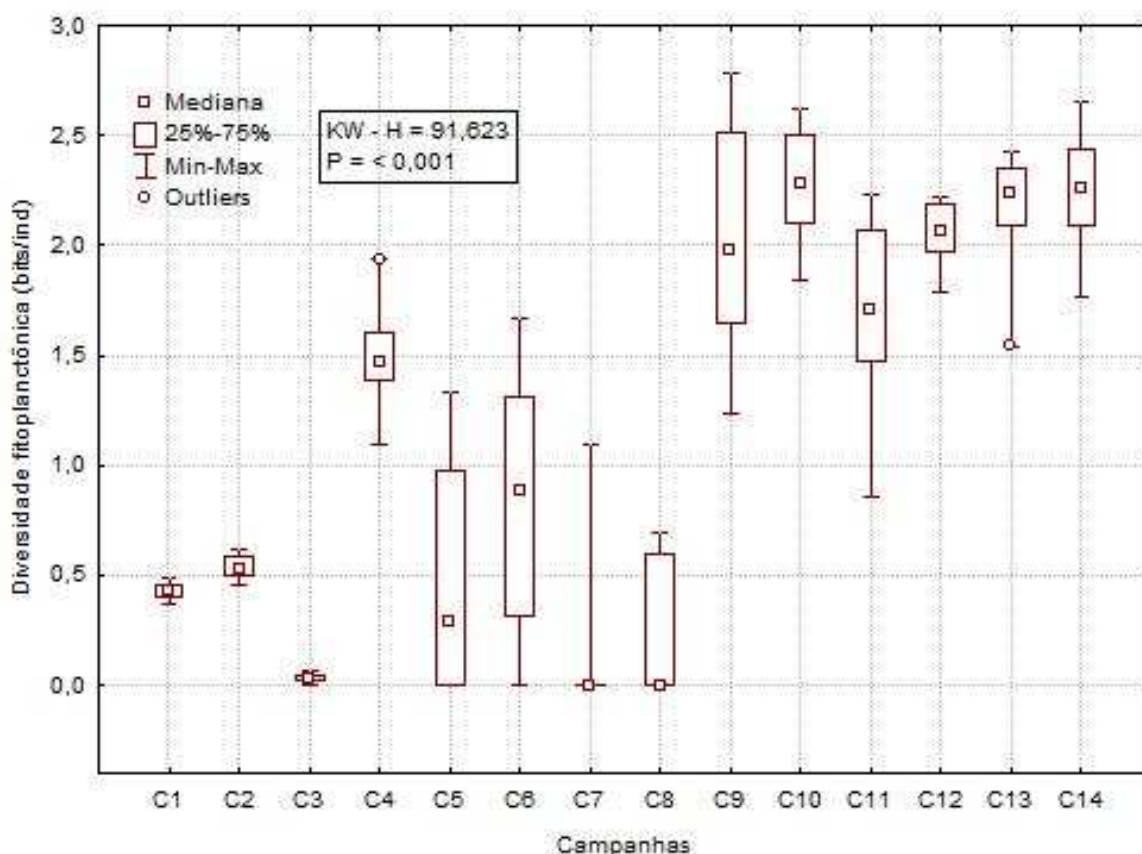


Figura V-35 – Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

A equitabilidade variou entre 0,64, nas amostras PIL-LL_J1002_SUP e PIL-LL_J1002_TC, e 0,81, na amostra PIL-LL_J1002_ABTC, com valor médio de $0,73 \pm 0,07$, demonstrando uma comunidade relativamente equitativa entre as amostras coletadas. Os valores obtidos apresentaram valor mínimo ligeiramente superior e valores máximos inferiores em relação a maioria dos resultados de equitabilidade obtidos nas campanhas realizadas anteriormente na região (Tabela V-18).

A quinta, sexta, a sétima e a oitava campanha de monitoramento apresentaram maiores amplitudes de valores, enquanto a quarta, a sexta, a nona e a décima apresentaram os maiores valores de equitabilidade média (Figura V-36). Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de equitabilidade das 14 campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A décima campanha diferiu da primeira, segunda, terceira, sétima e oitava campanha; a quarta campanha diferiu significativamente da primeira, da terceira e da sétima campanha, e a nona diferiu da terceira e da sétima (*Tukey*, $p < 0,05$).

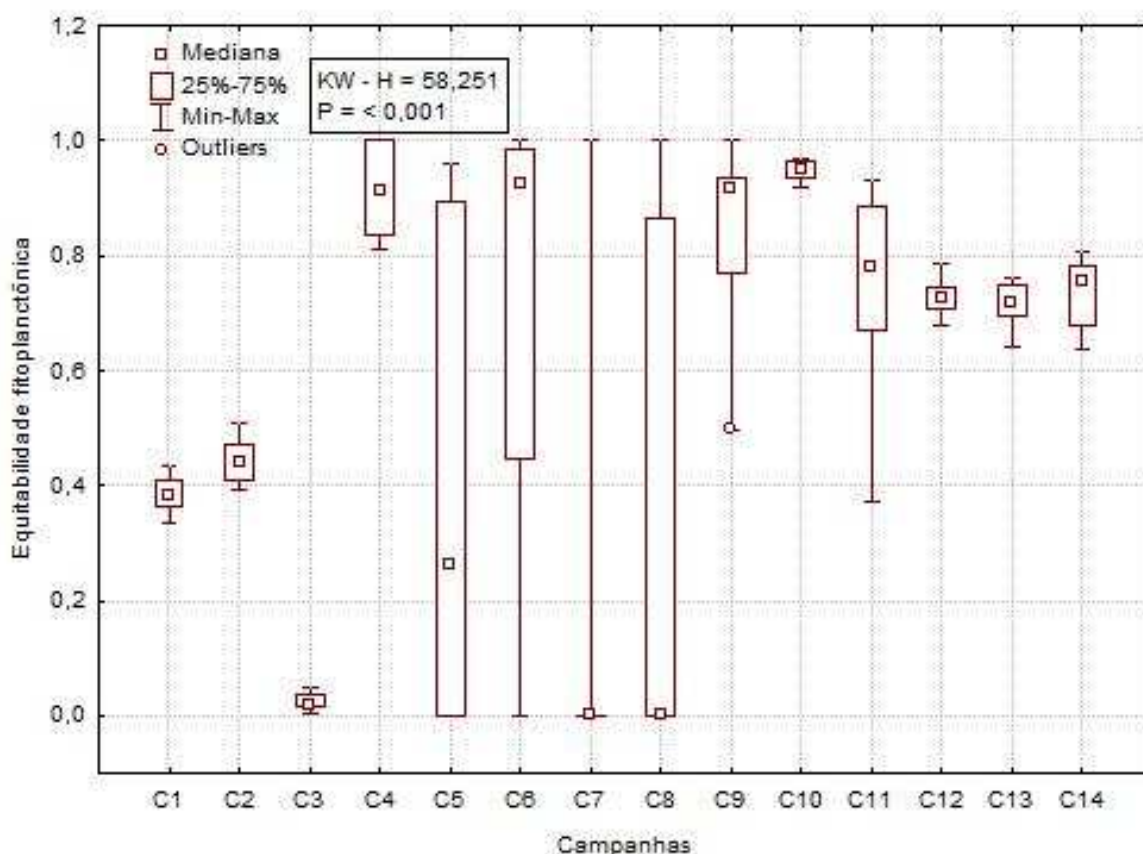


Figura V-36 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

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 a troca de laboratório ocorrida entre a terceira e quarta campanha, entre a sexta e sétima campanha, e entre a décima primeira e décima segunda campanha tenha influenciado nos resultados gerados e, conseqüentemente, 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. A influência do método poderá ser melhor avaliada posteriormente, com a continuidade das campanhas e obtenção de novos dados conforme metodologia otimizada.

V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton

Avaliando a riqueza total acumulada nas profundidades de cada estação, a riqueza variou entre 44 (estação PIL-LL_M1000) e 50 taxa (estação PIL-LL_J1002) (Figura V-37).

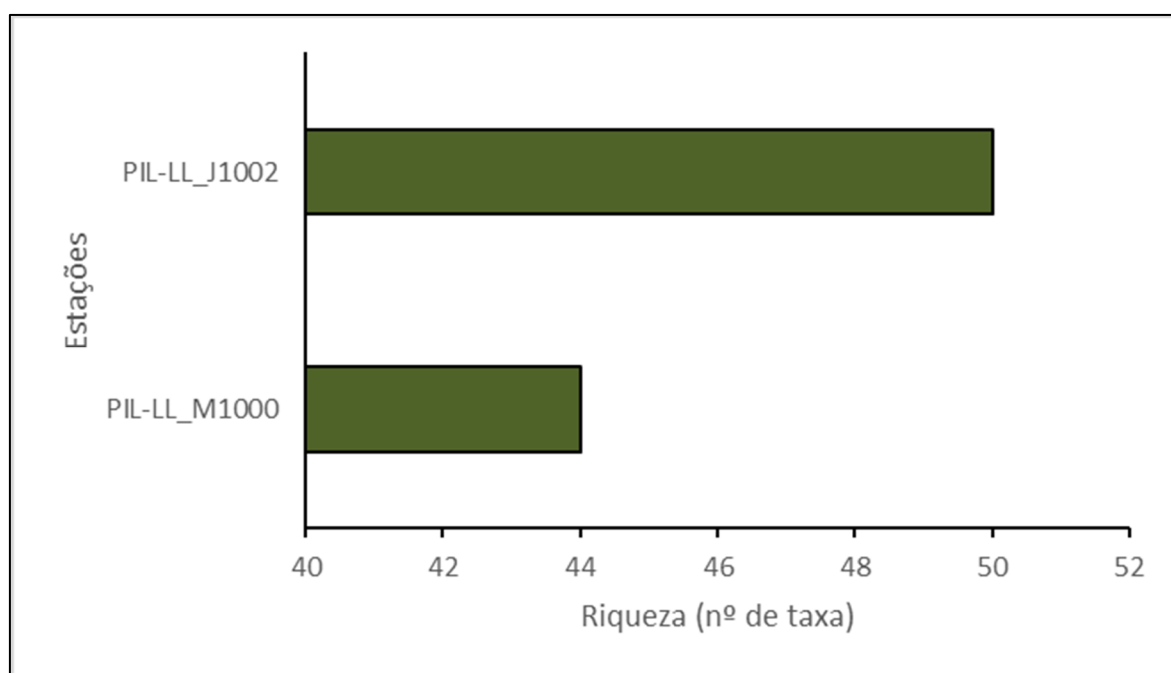
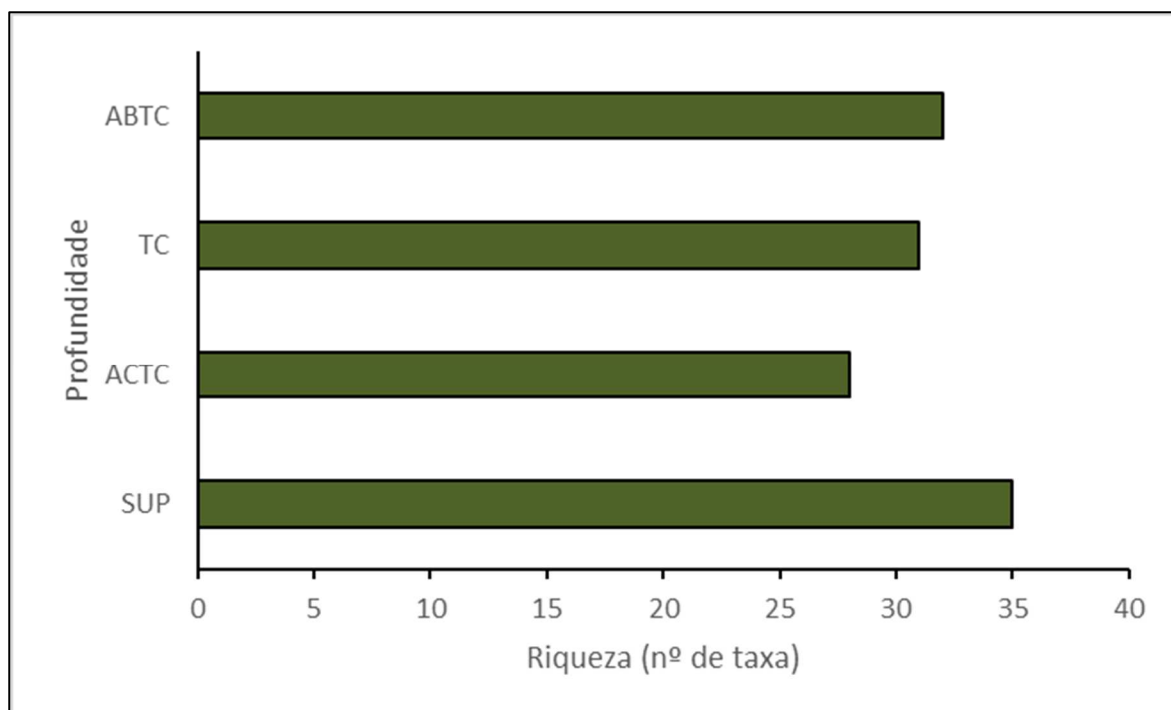


Figura V-37 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) na atual campanha do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).

A riqueza total nas diferentes profundidades variou de 28 a 35 taxa, sendo observada riqueza maior na superfície e abaixo da termoclina e menor na camada acima da termoclina e na termoclina (Figura V-38).



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

Figura V-38 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).

Avaliando todas as amostras com relação à riqueza de taxa, as duas estações apresentaram distribuição vertical similar, de diminuição da riqueza de SUP para ACTC (em PIL-LL_M1000) e para TC (em PIL-LL_J1002), com tendência de aumento da riqueza em ABTC (Figura V-39A).

Foi possível observar um padrão na distribuição de taxa entre as estações e profundidades: Myzozoa contribuiu com a maior riqueza em todas as amostras, exceto em PIL-LL_J1002_TC, em que Bacillariophyta apresentou maior riqueza, e segunda maior riqueza nas demais amostras. Todos os filos ocorreram em todas as amostras, exceto Cyanobacteria que não ocorreu em PIL-LL_M1000_ACTC, PIL-LL_M1000_TC e PIL-LL_M1000_ABTC (Figura V-39B).

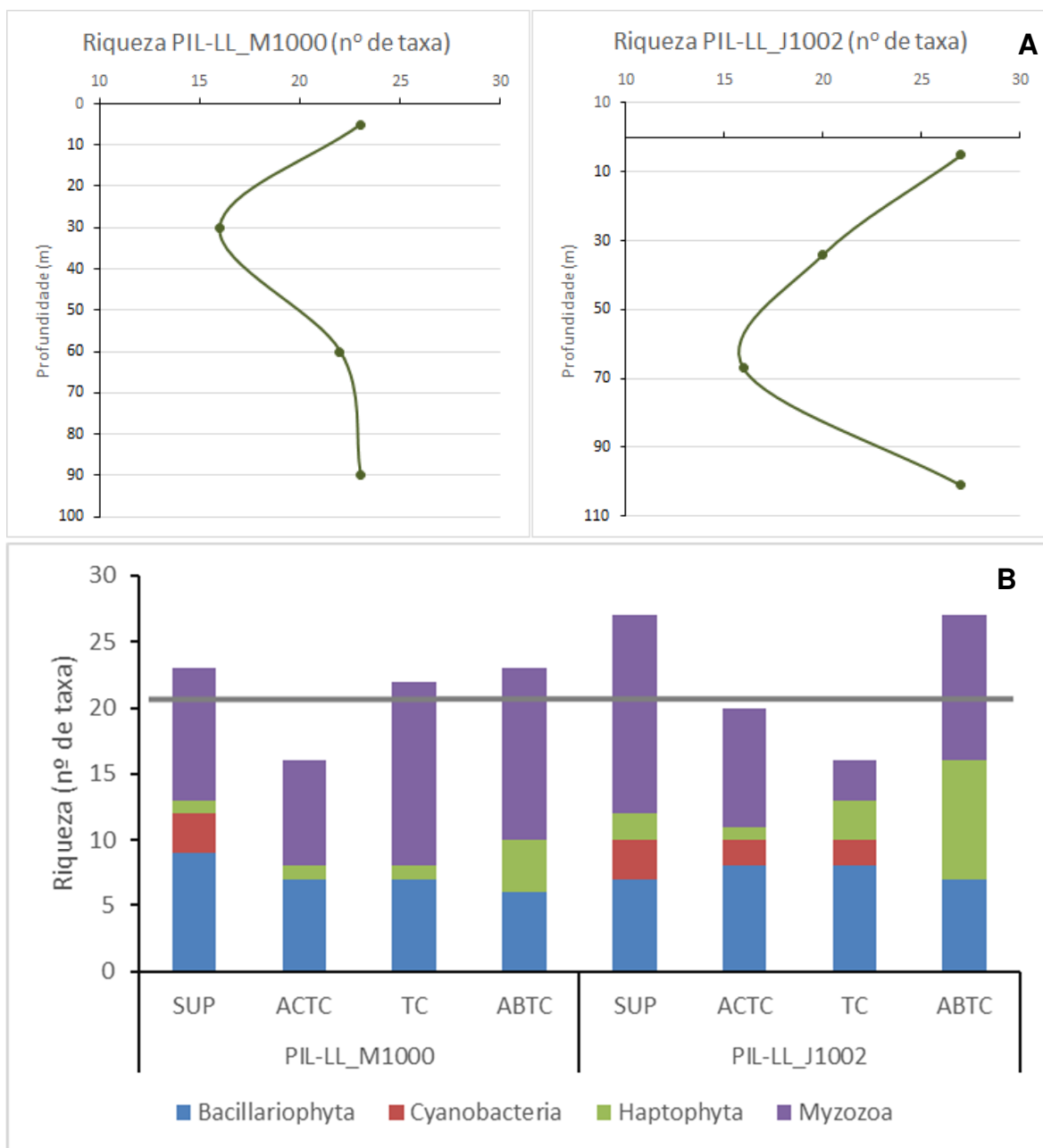


Figura V-39 – Riqueza fitoplanctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água. B) Riqueza por filo fitoplanctônico. A linha cinza representa a média de todas as amostras e filos.

Com relação ao parâmetro densidade média nas duas estações, a estação PIL-LL_J1002 obteve maior valor ($392,46 \pm 114,73$ ind/L) se comparada à estação PIL-LL_M1000, que obteve média de $277,50 \pm 47,77$ ind/L (Figura V-40).

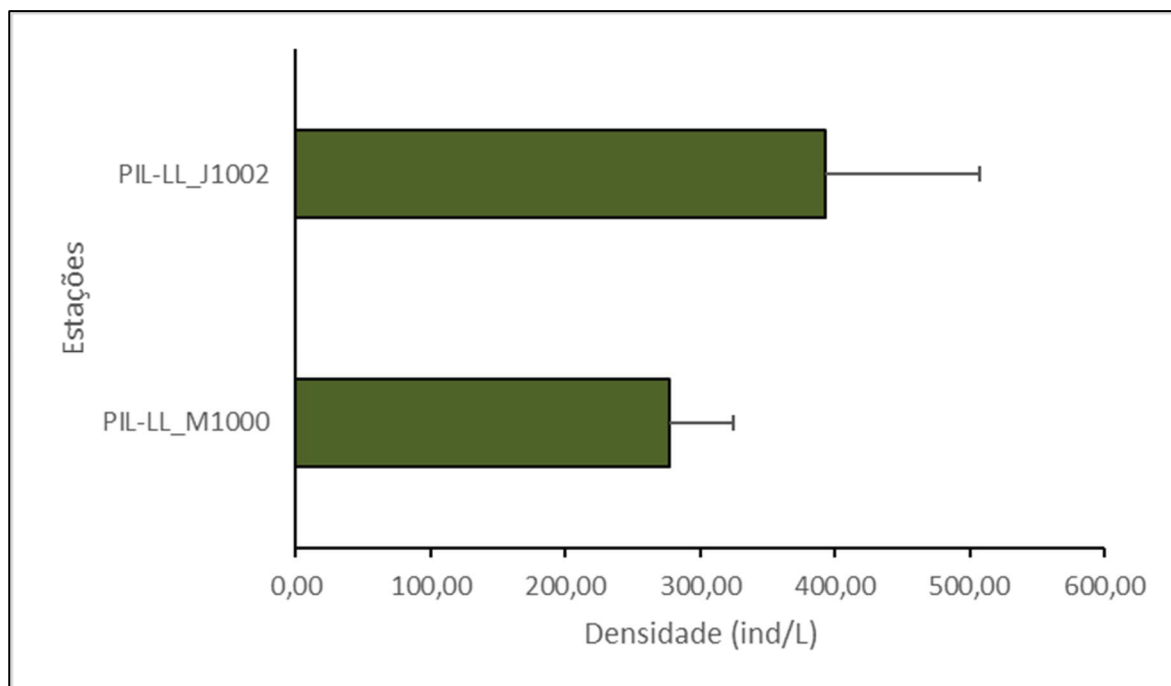
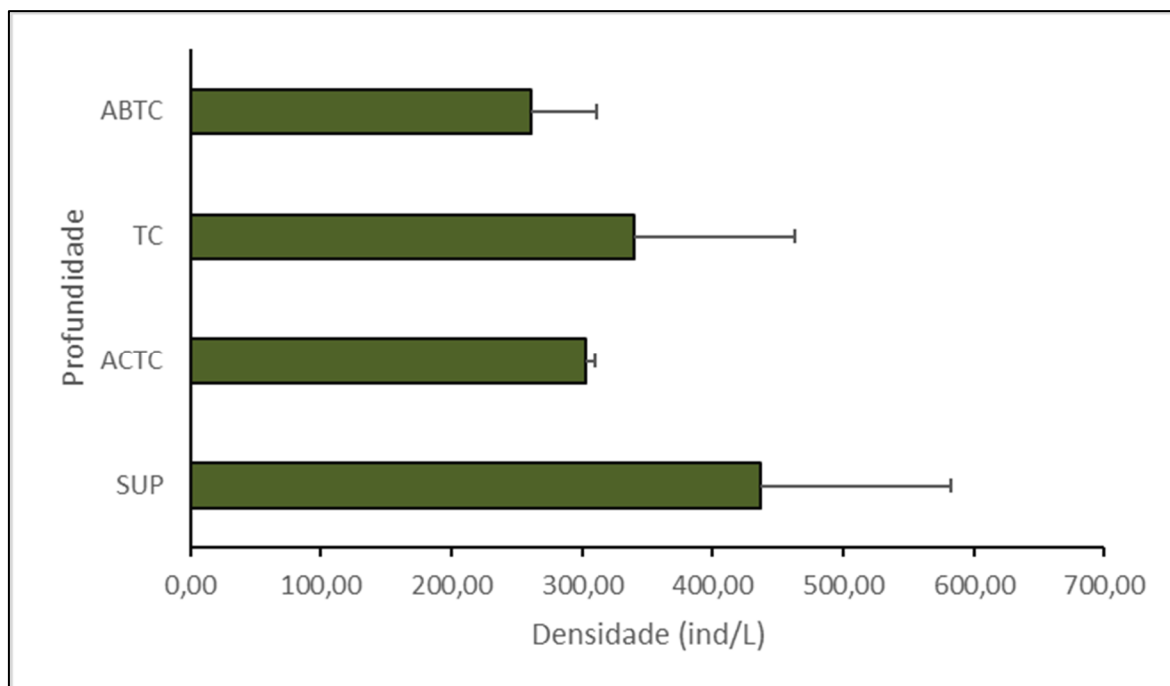


Figura V-40 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.

A densidade média foi distinta entre os estratos, sendo observados maiores valores médios na superfície e na termoclina ($436,84 \pm 145,88$ e $340,02 \pm 122,34$ ind/L, respectivamente, e densidades menores nas ACTC e ABTC ($302,41 \pm 7,03$ ind/L e $260,65 \pm 49,88$ 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 fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A barra verde representa a densidade média $\pm$ desvio-padrão.

Na estação PIL-LL_M1000 (Figura V-42), os maiores valores de densidade foram verificados na SUP e na ACTC (onde Bacillariophyta contribuiu com 226,74 ind/L e 215,38 ind/L, respectivamente). Na estação PIL-LL_J1002, os maiores valores de densidade foram verificados na profundidade SUP e TC, também com maior contribuição de Bacillariophyta, com 224,00 ind/L, e 275,86 ind/L, respectivamente.

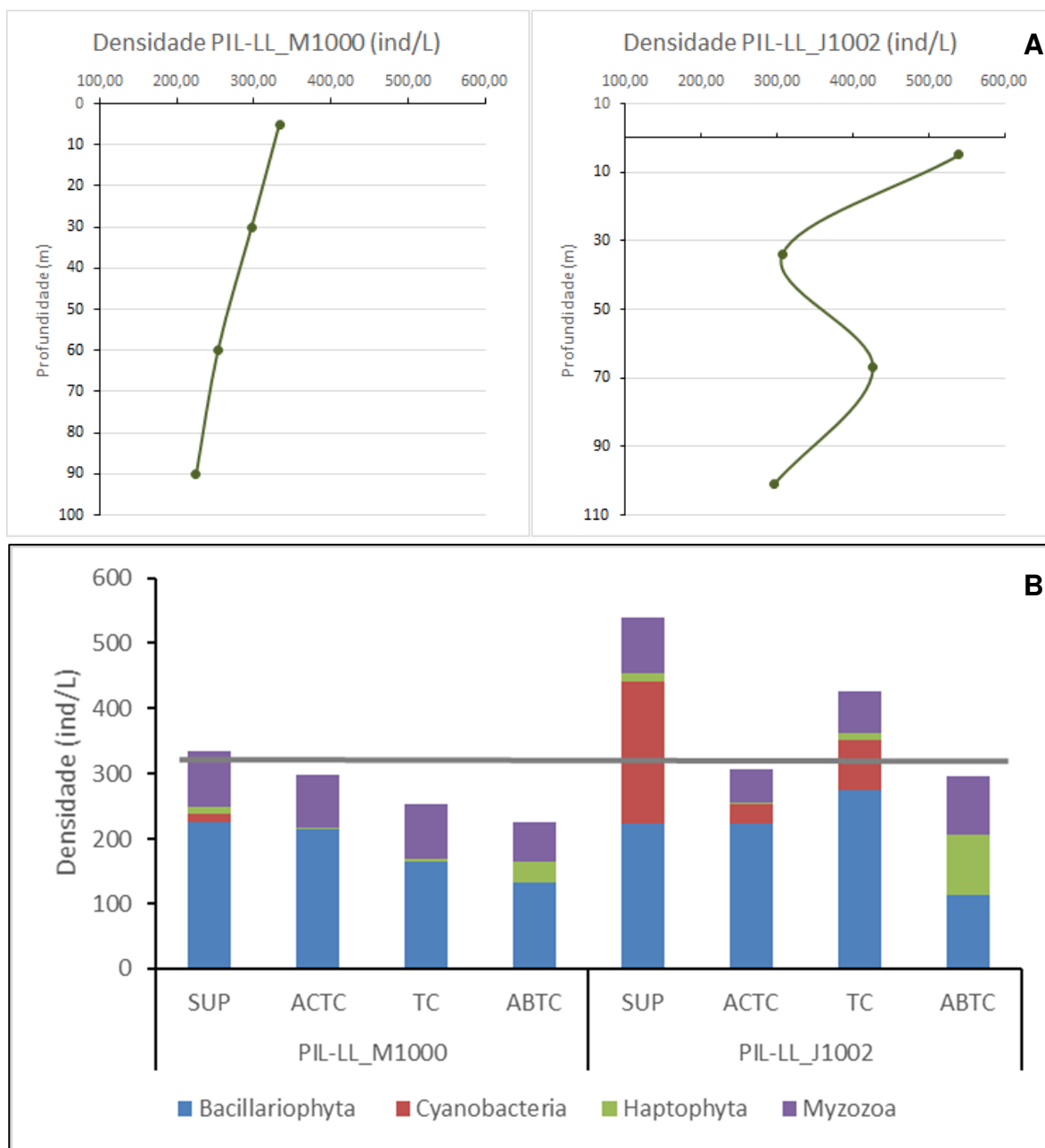


Figura V-42 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade dos filos fitoplanctônicos; linha cinza representa a média de todas as amostras.

A diversidade de Shannon teve padrão de resposta diferente entre as estações, com diminuição de valores de SUP para ACTC e aumento de TC para ABTC, em PIL-LL_M1000, e com aumento de SUP a ACTC, diminuição de ACTC para TC e aumento de TC para ABTC, em PIL-LL_J1002. A equitabilidade de PIL-LL_J1002

apresentou padrão semelhante ao da diversidade nesta estação. Em PIL-LL_M1000, a equitabilidade mante-se muito semelhante entre as diferentes profundidades (Figura V-43).

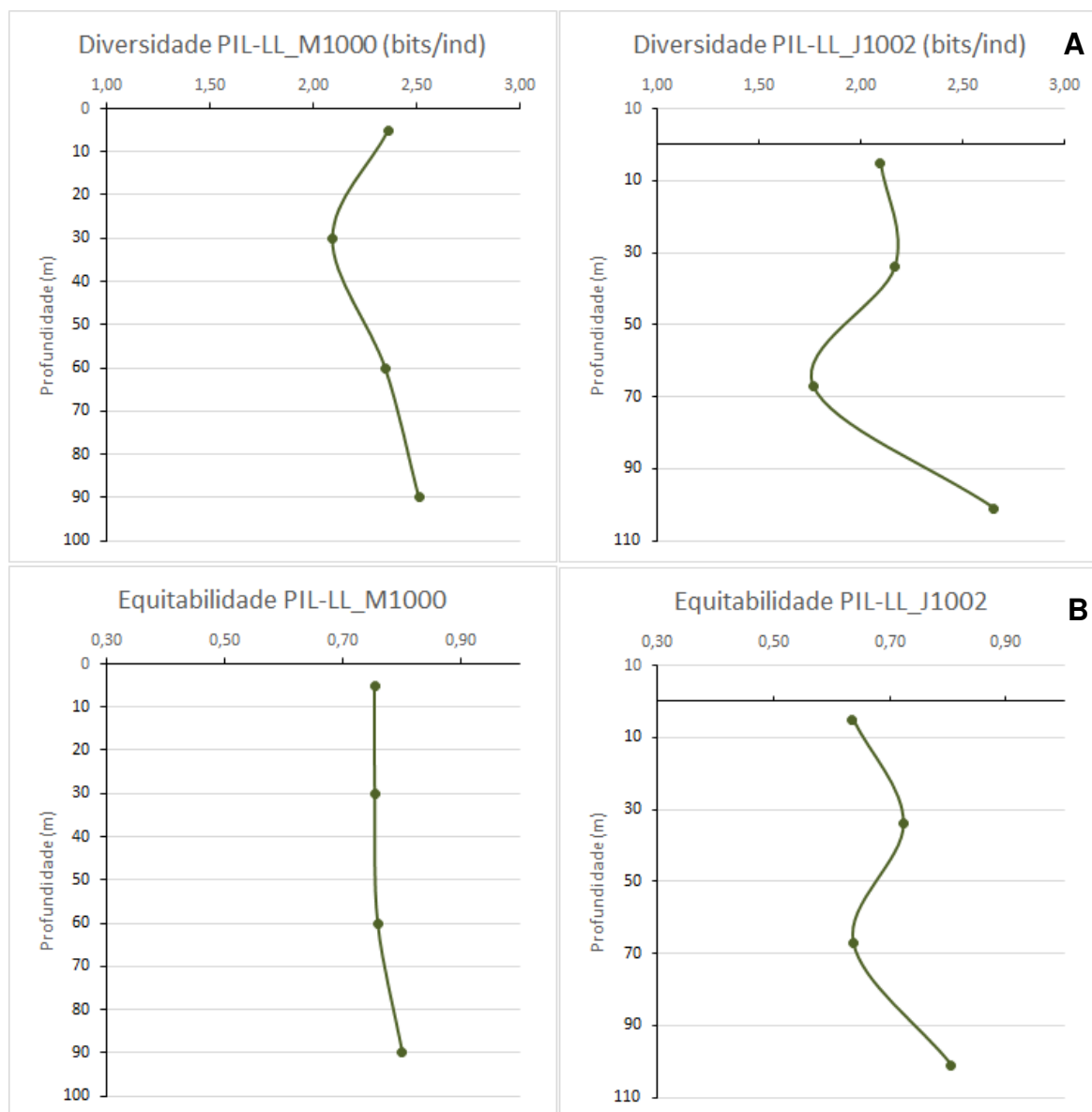


Figura V-43 – Diversidade e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL.

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).

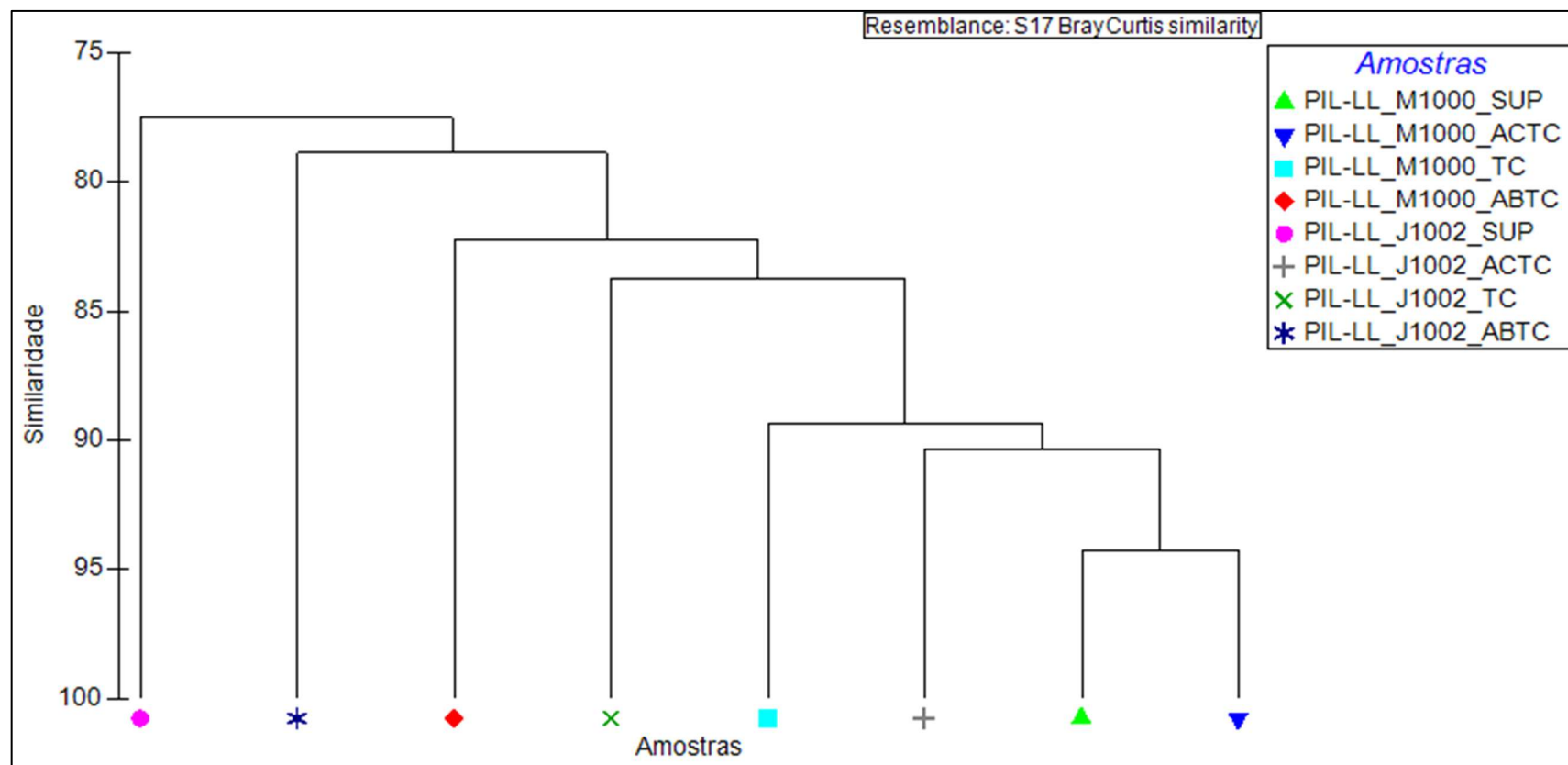
Segundo análise histórica da região oceânica da Bacia de Santos (Soares, 1983; Silva, 1991; Gaeta, 1999), a Água Tropical oligotrófica regula o ecossistema, mantendo a comunidade planctônica limitada por nutrientes. Nas regiões do talude continental e oceânica as poucas investigações realizadas na Bacia 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, 2022), 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 certa zonação vertical da comunidade avaliada, principalmente em termos de densidade, em que os maiores valores foram observados na superfície de ambas as estações.

V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS

A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 77 e 95%, demonstrando grande similaridade entre a maioria das amostras. A maior similaridade foi verificada entre as amostras PIL-LL_M1000_SUP e PIL-

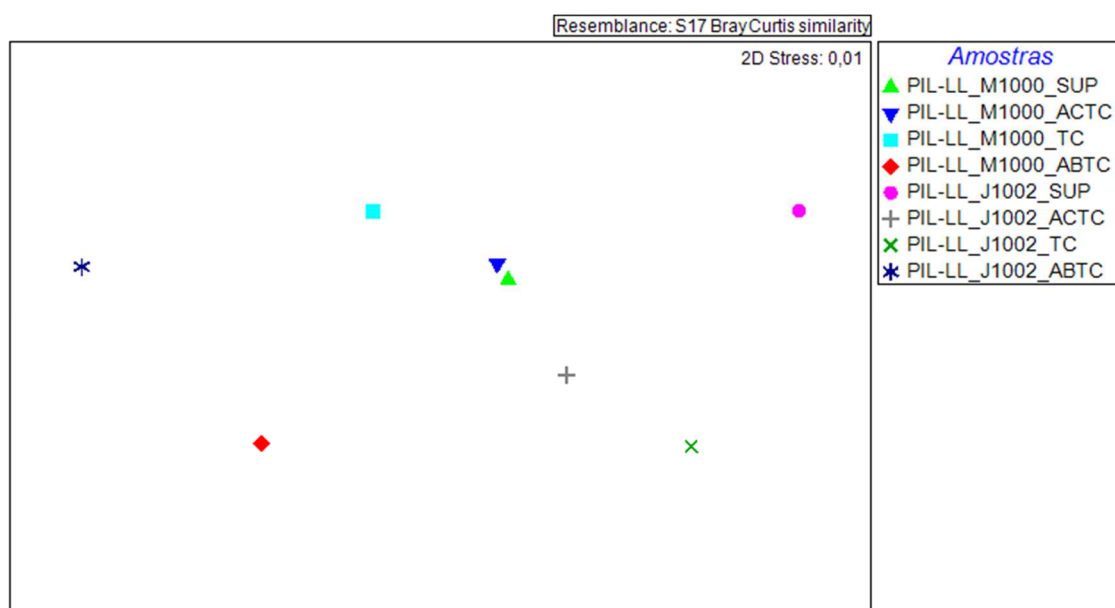
LL_M1000_ACTC, com 95% de similaridade. Também observa-se a formação de dois grupos, com 77% de similaridade: um formado pela amostra PIL-LL_J1002_SUP, que apresentou valores de densidade de Bacillariophyta e Cyanobacteria bastante similares, quando comparados às demais amostras, cujos valores de densidade de Cyanobacteria foram muito menores ou nulos (Figura V-44).



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 da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL.

Esse resultado pode ser verificado também no MDS, que apresentou resultado semelhante a análise de cluster (Figura V-45).



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

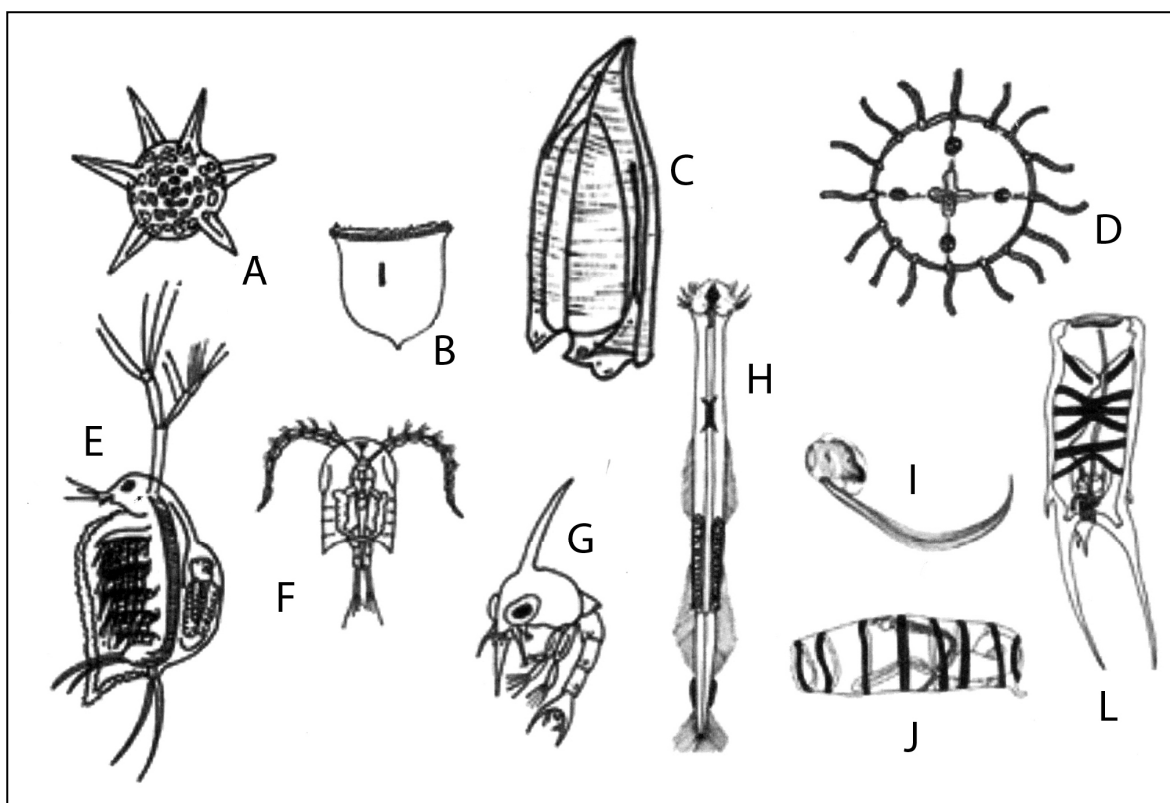
Figura V-45 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL.

V.2.2 - 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 & TUNDISI, 2008).

Em contraste com o fitoplâncton, que consiste de 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 & 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 zooplancônica 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.2.2.1 - Avaliação da Amostragem

Ao todo, considerando as 14 campanhas de monitoramento, foram coletadas 54 amostras para esse grupo. É importante ressaltar que durante a segunda campanha foi realizado apenas um arrasto vertical em cada estação, ao invés de um arrasto horizontal e um oblíquo por estação, totalizando na coleta de apenas 2 amostras, ao invés de 4. Durante a atual campanha, houve acréscimo de 7 novas taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas evidencia um incremento maior de taxa até a 15ª amostra, com 134 taxa, o que representa 58% do total obtido até o momento (Figura V-47). É possível observar que, entre a quarta e a sétima campanha, a curva formada pelos dados reais não sofre um incremento contínuo ao longo das campanhas, apresentando uma feição com “degraus”. A partir daí, a curva apresenta incrementos menos pronunciados, tendendo a estabilização no decorrer das demais campanhas, com um novo incremento em C12 e pequenos incrementos em C13. No que tange aos incrementos verificados entre a terceira e a quarta campanha, entre a sexta e a

sétima campanhas e entre a décima primeira e décima segunda, não se pode excluir a possibilidade de que os mesmos estejam associados, ao menos em parte, a mudanças nos laboratórios executores 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 Jacknife 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 doze primeiras campanhas), assemelhando-se a distribuição esperada nas amostras finais do monitoramento (a partir das amostras da décima terceira campanha), onde os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jacknife. Esse resultado evidencia que, apesar dos desvios verificados nas campanhas intermediárias, o projeto, com suas sucessivas campanhas, apresenta esforço amostral adequado para caracterização da comunidade zooplânctônica. Já a estabilização da curva ao final das campanhas evidencia que, mesmo com o aumento do esforço amostral, não é esperado um incremento significativo no número de espécies.

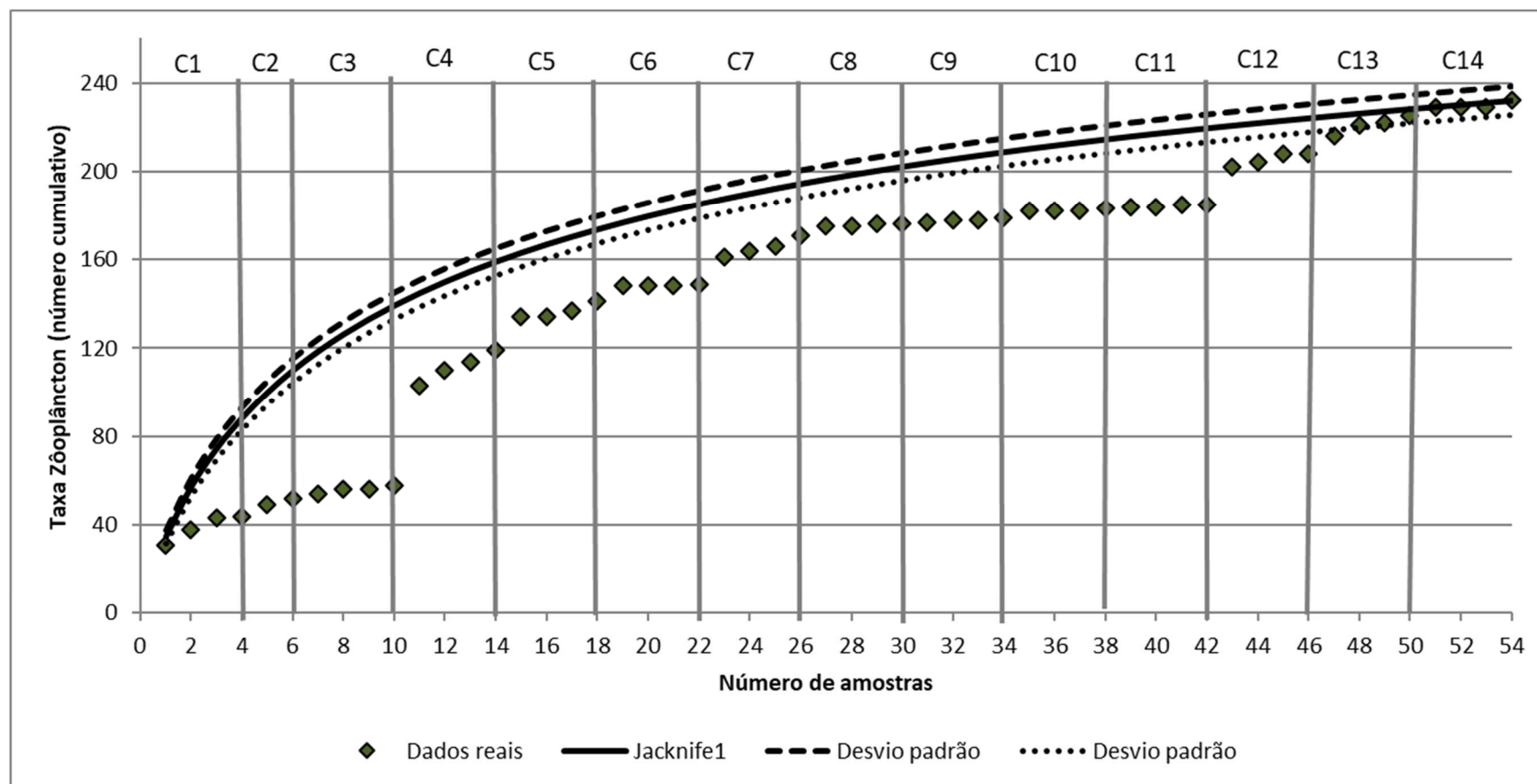


Figura V-47 – Taxa de zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados..

V.2.2.2 - *Análise Qualitativa*

Foram identificados organismos pertencentes a 10 filos (Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca e Foraminifera). A maioria desses filos foi registrada nas campanhas anteriores deste projeto de monitoramento (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). O filo com maior número de taxa foi Arthropoda, com riqueza de 30 taxa. Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram riqueza de 5 taxa (Mollusca), 3 taxa (Chordata), 2 taxa (Bryozoa e Cnidaria) e 1 táxon (Annelida, Chaetognatha, Ctenophora, Echinodermata e Foraminifera) (Figura V-48). A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo X-3.

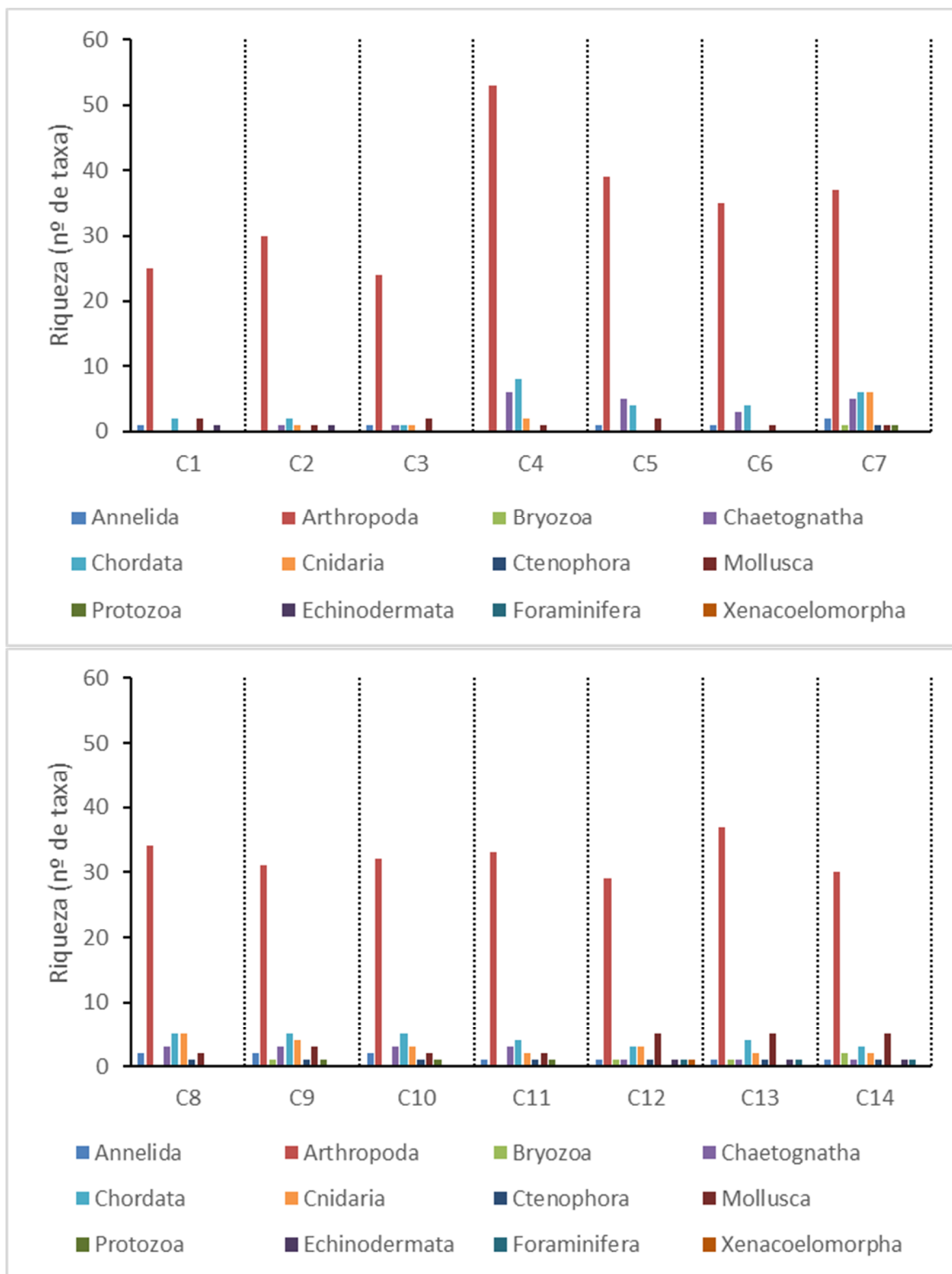


Figura V-48 – Riqueza zooplanctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Na comunidade zooplanctônica foram registrados, ao todo, 46 taxa, dentre os quais, 5 foram identificados a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 7 foram identificados a nível de classe, 1 a nível de infraclasse, 10 a nível de ordem, 1 a nível de família, 5 a nível de gênero e 16 foram identificados a nível de espécie.

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

O resultado de dominância de Arthropoda corrobora os dados das campanhas anteriores de monitoramento do local, que também encontraram os artrópodes como o grupo mais rico (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). No presente trabalho, cerca de 64% dos taxa eram desse filo. Nas campanhas anteriores desse monitoramento, esse grupo registrou cerca de 80%, 83%, 80%, 75%, 76%, 79%, 61%, 65%, 61%, 65%, 70%, 69%, 62%, respectivamente, dos taxa coletados e os outros filos também registraram contribuição percentual baixa.

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 (BRANDINI *et al.*, 1997; NOGUEIRA *et al.*, 1999). Na área do talude, mais especificamente nos blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21, esse

grupo também é dominante nas amostras (PETROBRAS/HABTEC, 2003). No PCR-BS (Petrobras, 2022), os copépodes representaram o grupo zooplancônico predominante, tanto na campanha de inverno como de verão, e a comunidade zooplancônica, na zona oceânica da BS, marcada pela presença de Copepoda e também de Salpida.

A composição e a estrutura da comunidade zooplancônica podem trazer importantes informações sobre as características ambientais. A presença de espécies indicadoras de massas d'água, por exemplo. *T. turbinata* é um Copepoda introduzido na costa leste brasileira que divide espaço com a espécie nativa *T. stylifera* – ambas registradas na presente campanha (ARAÚJO & MONTÚ, 1993). Segundo Petrobras (2022), essa espécie é indicadora de água costeira (AC), e esteve associada a estações costeiras e plataforma interna, com maior concentração de clorofila. O zooplâncton da Bacia de Santos (Petrobras, 2022) mostrou características semelhantes às comunidades zooplancônicas 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 zooplancônica encontrada na plataforma média e na zona oceânica ficou caracterizada como região oligotrófica, marcada pelo predomínio de copépodos 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), e os gastrópodos e bivalves, representantes do filo Mollusca.

As classes Thaliacea e Appendicularia, pertencentes ao filo Chordata, são componentes frequentes do zooplâncton, apesar de normalmente não serem abundantes em biomassa (VEGA-PÉREZ *et al.*, 2011). Também foram registrados indivíduos do Filo Ctenophora. Nestes, embora sejam quase transparentes, a bioluminescência e a iridescência nos pentes ciliares são comuns, propriedades que os tornam visíveis na coluna de água, tanto de noite quanto de dia (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Pertencente ao filo Cnidaria, foi registrada a classe Hydrozoa, que faz parte do zooplâncton gelatinoso, tem corpo flexível, transparente ou

semitransparente e consistência gelatinosa. Os indivíduos pertencentes a essa classe ocupam o nicho de predadores do carcino e ictioplâncton em ambientes pelágicos e tem grande importância ecológica em cadeias tróficas do ecossistema pelagial (NASCIMENTO & OLIVEIRA, 2010).

V.2.2.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-19, são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade zooplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-19 - Valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplânctônica da atual campanha de monitoramento.

Estação	Arrasto	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/m ³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-LL_M1000	HOR	36,00	301,75	3,69	0,71
	OBL	37,00	510,96	2,95	0,57
PIL-LL_J1002	HOR	35,00	372,53	3,26	0,64
	OBL	38,00	410,00	3,57	0,68
Mínimo		35,00	301,75	2,95	0,57
Máximo		38,00	510,96	3,69	0,71
Média		36,50	398,81	3,37	0,65
Desvio padrão		1,29	87,20	0,33	0,06

A riqueza nas estações variou de 35 taxa – na amostra PIL-LL_J1002_HOR – a 38 taxa – em PIL-LL_J1002_OBL, apresentando média de $36,50 \pm 1,29$ taxa, ou seja, com baixa variação em torno da média (3,5%).

Já na Tabela V-20 são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplânctônica em campanhas de monitoramento ambiental anteriores do PMPR_PIL-LL e em campanhas realizadas anteriormente na região.

Tabela V-20 - Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o zooplâncton nos estudos anteriores.

	Riqueza total (número de taxa)		Densidade (ind/m²)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	31	32	345,07	1509,44	2,09	2,64	0,61	0,76
PIL-LL_C2 ^{2*}	29	33	300,10	301,40	1,23	1,26	0,81	0,86
PIL-LL_C3 ³	25	32	522,80	1519,30	0,94	1,17	0,67	0,81
PIL-LL_C4 ⁴	36	52	36739,00	54035,00	2,32	3,03	0,65	0,80
PIL-LL_C5 ⁵	32	41	1088,00	4777,00	2,24	2,88	0,63	0,82
PIL-LL_C6 ⁶	30	35	245,00	310,00	2,70	3,04	0,79	0,86
PIL-LL_C7 ⁷	37	41	215,73	381,60	2,93	3,24	0,81	0,87
PIL-LL_C8 ⁸	34	40	738,67	995,43	3,14	3,42	0,89	0,93
PIL-LL_C9 ⁹	26	39	1.271,05	2.621,72	2,41	3,15	0,74	0,86
PIL-LL_C10 ¹⁰	26	32	198,44	473,17	2,82	3,09	0,86	0,91
PIL-LL_C11 ¹¹	35	38	96,55	1211,90	3,25	3,31	0,89	0,92
PIL-LL_C12 ¹²	36	40	207,38	282,52	3,31	3,82	0,62	0,74
PIL-LL_C13 ¹³	34	39	340,47	7.941,96	3,15	3,55	0,62	0,67
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	31	45	1757,00	3443,00	2,66	3,12	0,75	0,82
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	37	40	206,00	583,00	2,43	3,01	0,66	0,82
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	29	39	100,27	483,88	2,74	2,92	0,77	0,81
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	30	42	499,88	1136,04	2,94	3,15	0,80	0,86
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	30	41	1092,39	1731,90	2,48	3,02	0,72	0,89
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	26	38	565,78	4.217,16	2,74	2,95	0,78	0,84
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	24	33	109,80	673,21	2,92	3,13	0,85	0,94
PIL-LL-NE_C8 ²¹	37	43	171,11	286,46	3,78	4,01	0,70	0,76
PIL-LL-NE_C9 ²²	35	38	136,75	465,49	3,78	4,15	0,74	0,79

	Riqueza total (número de taxa)		Densidade (ind/m²)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL-NE_C10 ²³	33	36	118,66	154,96	3,28	3,87	0,63	0,75
PIL-SAP_C1 ²⁴	25	43	2142,00	3443,00	2,40	2,88	0,74	0,77
PIL-SAP_C2 ²⁵	35	41	316,00	578,00	2,69	3,02	0,76	0,85
PIL-SAP_C3 ²⁶	35	44	141,77	345,35	2,99	3,24	0,79	0,88
PIL-SAP_C4 ²⁷	35	39	375,75	474,00	2,93	3,25	0,80	0,91
PIL-SAP_C5 ²⁸	33	36	1274,85	3212,44	3,03	3,13	0,86	0,89
PIL-SAP_C6 ²⁹	28	34	453,65	1067,23	2,73	3,12	0,81	0,91
PIL-SAP_C7 ³⁰	27	36	399,34	2.622,46	2,99	3,26	0,87	0,92
PIL-SAP_C8 ³¹	37	48	125,81	192,30	3,78	4,09	0,71	0,75
PIL-SAP_C9 ³²	30	37	149,80	297,02	3,18	3,81	0,64	0,77
DP-IRA-S_C1 ³³	36	46	401,00	647,00	2,96	3,13	0,79	0,84
DP-IRA-S_C2 ³⁴	30	38	53,04	294,08	2,79	3,27	0,82	0,91
DP-IRA-S_C3 ³⁵	35	41	739,21	2220,53	2,78	3,17	0,78	0,85
DP-IRA-S_C4 ³⁶	34	41	526,64	1482,32	2,93	3,34	0,83	0,90
DP-IRA-S_C5 ³⁷	27	32	245,30	493,71	2,88	3,15	0,87	0,91
DP-IRA-S_C6 ³⁸	20	30	307,34	1.027,77	2,57	2,69	0,79	0,86
DP-IRA-S_C7 ³⁹	35	36	194,55	370,27	3,53	4,09	0,69	0,79
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	34	37	157,24	223,19	3,59	4,12	0,71	0,79
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	31	33	103,18	219,90	3,57	3,77	0,71	0,75

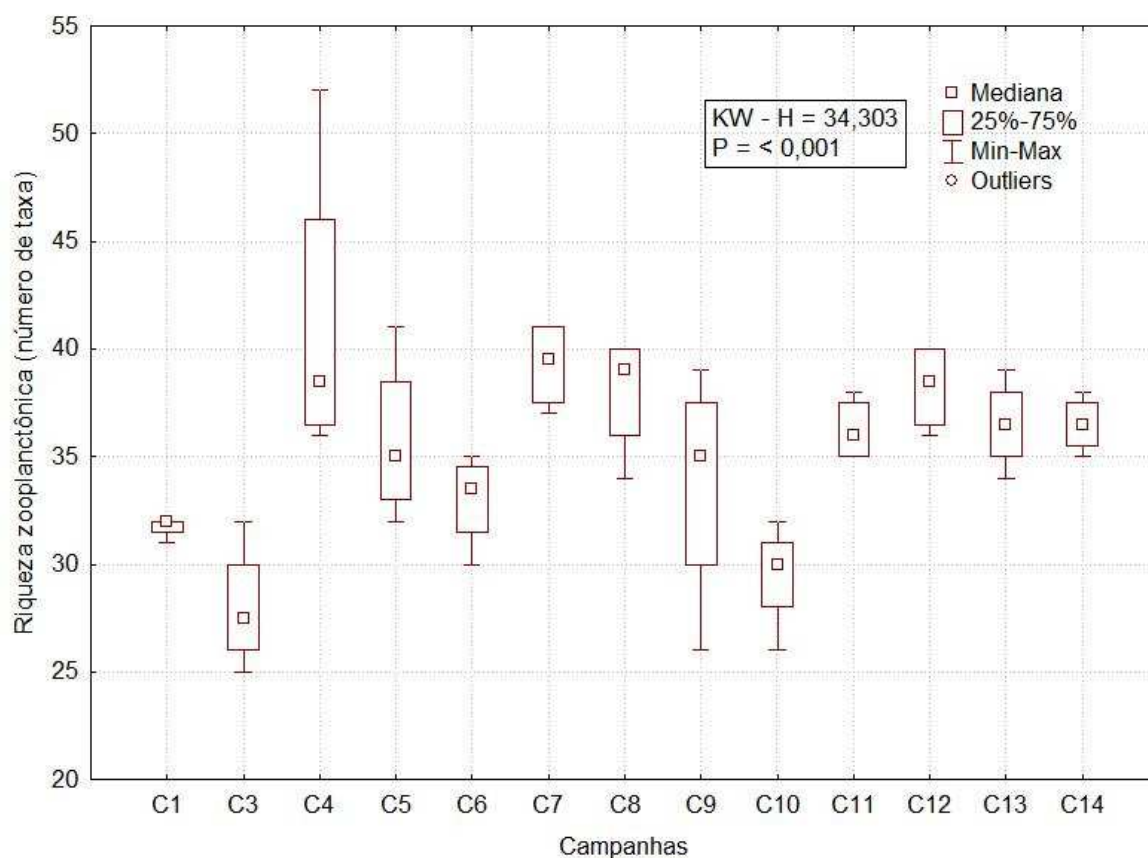
*Somente dados verticais

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid, (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

Comparando os resultados de riqueza da atual campanha com os obtidos nas campanhas anteriores de monitoramento ambiental realizadas na região (Tabela V-20), é possível observar que os mesmos encontram-se na faixa de variação dos valores obtidos para o local.

Cabe ressaltar que, para tornar possível a comparação entre os dados dos índices ecológicos dos arrastos horizontais e oblíquos, foram desconsiderados os dados da segunda campanha, pois nesta campanha foram realizados somente arrastos verticais.

Através da Figura V-49 é possível observar que a primeira, a terceira e a décima campanhas de monitoramento registraram os menores valores de riqueza média de taxa em comparação com as demais campanhas, enquanto a quarta campanha apresentou a maior variação nos resultados. Foram observadas diferenças significativas entre a riqueza de taxa das 13 campanhas de monitoramento consideradas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A sétima campanha diferiu da terceira e da décima (*Tukey*, $p < 0,05$).



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a diferença de metodologia (arrastos verticais).

Figura V-49 – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplanctônicas (número de taxa) encontradas ao longo das campanhas de monitoramento do PMPR_PIL-LL.

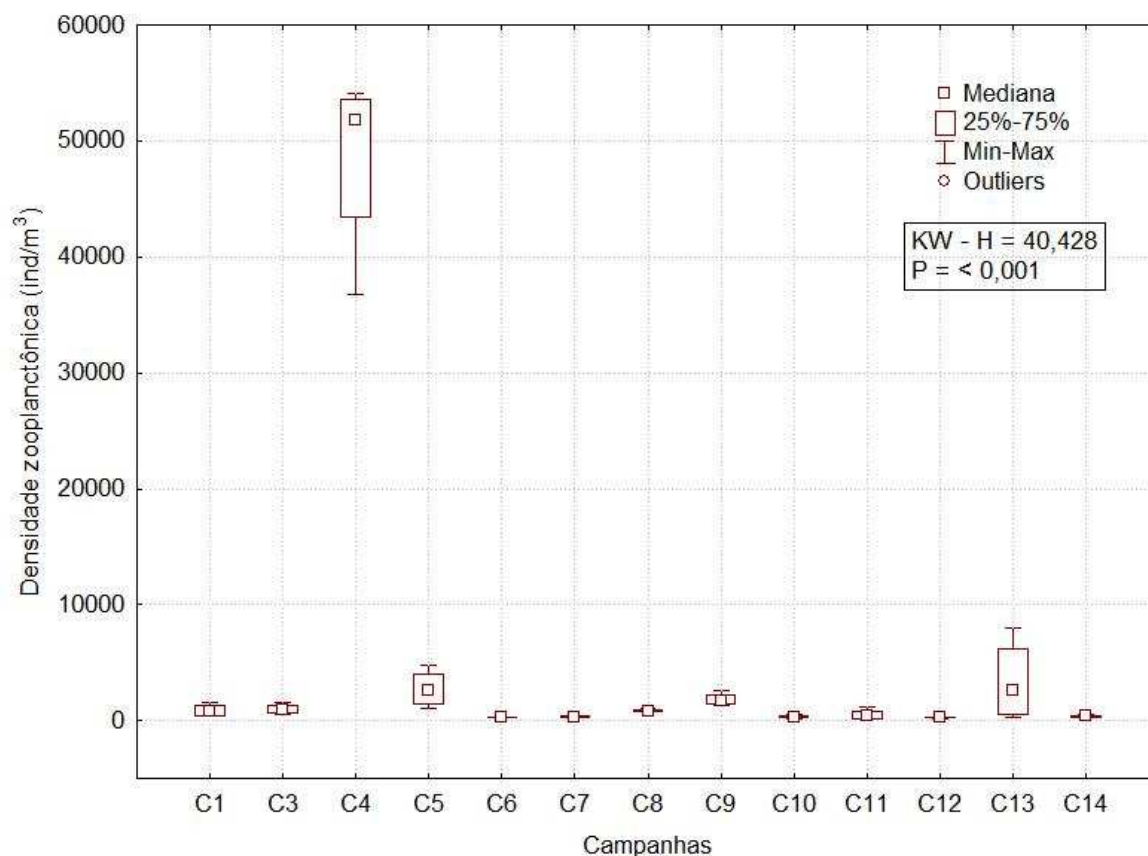
A densidade média de organismos zooplanctônicos na atual campanha foi de $398,81 \pm 87,20$ ind/m³, variando entre 301,75 ind/m³ a 510,96 ind/m³, nos arrastos horizontais e oblíquos da estação PIL-LL_M1000, respectivamente (Tabela V-19). Como pode ser observado na Tabela V-20V-20, os valores de densidade variaram bastante nas campanhas realizadas anteriormente na região, registrando, em sua maioria, valores mínimos bem inferiores aos encontrados nas campanhas quatro, cinco e treze, sendo que a campanha quatro (PIL-LL_C4), apresentou valor máximo superior.

A densidade de zooplâncton no Bloco BM-S-11 variou de 4.926 a 35.835 ind/m³ (PETROBRAS/HABTEC, 2003) e no talude continental, de 2 a 4×10^5 cél/L (CENPES/PDEDS/AMA, 2013). 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 na plataforma continental do 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, 2022), 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).

Na Figura V-50, são apresentados os valores de densidade encontrados nas amostras de zooplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do PMPR_PIL-LL. O resultado da atual campanha registrou uma densidade média semelhante à maioria das campanhas anteriores, e inferior em relação à quarta, quinta e décima terceira campanha de monitoramento (Figura V-50). Foram

encontradas diferenças significativas entre as treze campanhas consideradas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A quarta campanha diferiu significativamente da segunda, sexta, sétima, décima e décima segunda campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a diferença de metodologia (arrastos verticais).

Figura V-50 – Box plots representativos dos valores de densidade zooplancônicas (ind/m³) longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Arthropoda registrou o maior número de taxa, mas Mollusca apresentou a maior densidade média de organismos ($164,84 \pm 72,56$ ind/m³ correspondendo a cerca de 41% dos organismos, seguido pelo filo Arthropoda ($98,18 \pm 11,64$ ind/m³), Chordata ($61,03 \pm 11,52$ ind/m³), Foraminífera ($32,52 \pm 13,16$ ind/m³), Chaetognatha ($19,87 \pm 6,26$ ind/m³) e Cnidaria ($17,02 \pm 5,29$ ind/m³). Os demais grupos somados totalizam aproximadamente 1% dos organismos (Annelida com $1,56 \pm 0,76$ ind/m³, Bryozoa com $1,35 \pm 1,27$ ind/m³, Echinodermata com $0,45 \pm 0,22$ ind/m³ e Ctenophora com $0,003 \pm 0,01$ ind/m³) (Figura V-51).

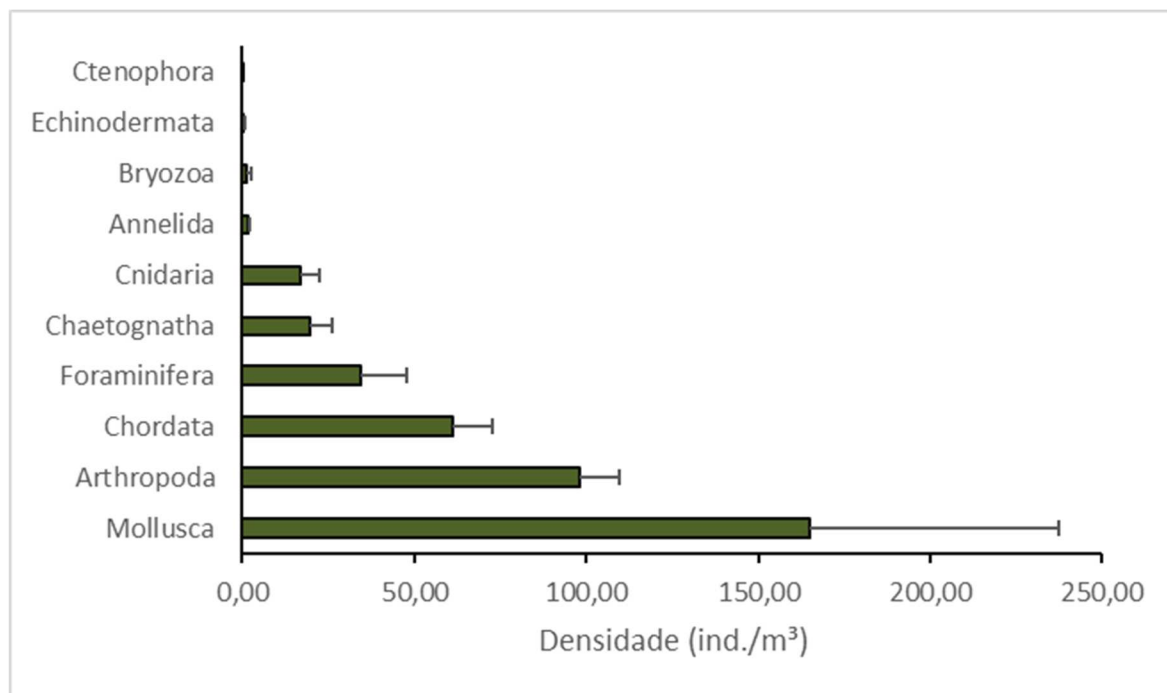


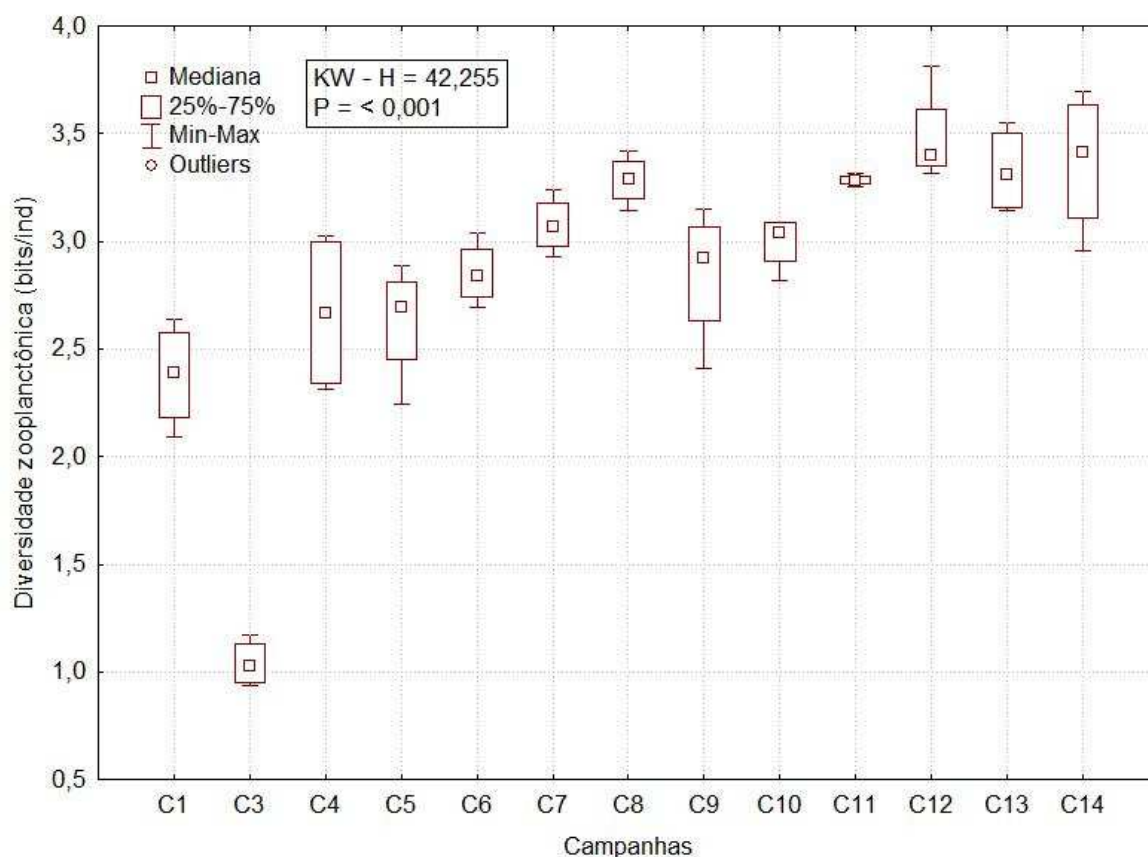
Figura V-51 – Densidade zooplancônica (ind./m³) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média dos filos $\pm$ desvio-padrão.

Nas treze campanhas de monitoramento realizadas anteriormente no local por Petrobras/Analytical Solutions (2010, 2012a, 2012b), Petrobras/Bourscheid (2014, 2015, 2016, 2017, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a) e Petrobras/Bioconsult (2022a), foram registradas altas densidades de artrópodes, sendo o grupo com maior densidade em todas as campanhas, não corroborando os dados do presente trabalho e do anterior (Petrobras/Bioconsult, 2022b), em que Mollusca e Chordata apresentaram maior densidade, respectivamente. Nas campanhas anteriores, esse resultado está atribuído às altas densidades de copépodes, que é um grupo reconhecidamente muito abundante nessas comunidades na plataforma continental brasileira, de maneira geral (BRANDINI *et al.*, 1997), e no talude, onde representam de 70 a 90% do total de organismos (PETROBRAS/HABTEC, 2003; CENPES/PDEDS/AMA, 2013), enquanto na atual campanha a alta densidade está atribuída às altas densidades de gastrópoda.

A diversidade média da atual campanha foi relativamente alta, com valor de 3,37 ($\pm$ 0,33 bits/ind), variando de 2,95 (arrasto oblíquo da estação PIL-LL_M1000), a 3,69 bits/ind no arrasto horizontal da mesma estação (Tabela V-19). Pode-se observar que os dados da atual campanha apresentaram valores mínimos e

máximos superiores aos registrados na maioria das campanhas anteriores (Tabela V-20).

Na Figura V-52, são apresentados os valores de diversidade encontrados nas amostras de zooplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do PMPR_PIL-LL. A oitava, a décima primeira, a décima segunda, a décima terceira e a décima quarta campanhas apresentaram maiores valores de diversidade, enquanto a quarta campanha apresentou maior amplitude de valores (Figura V-52). Foram observadas diferenças significativas entre a diversidade das doze campanhas de monitoramento consideradas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A terceira campanhas diferiu da oitava, décima primeira, décima segunda, décima terceira e décima quarta, e a décima segunda campanha diferiu da primeira (Tukey, $p < 0,05$).



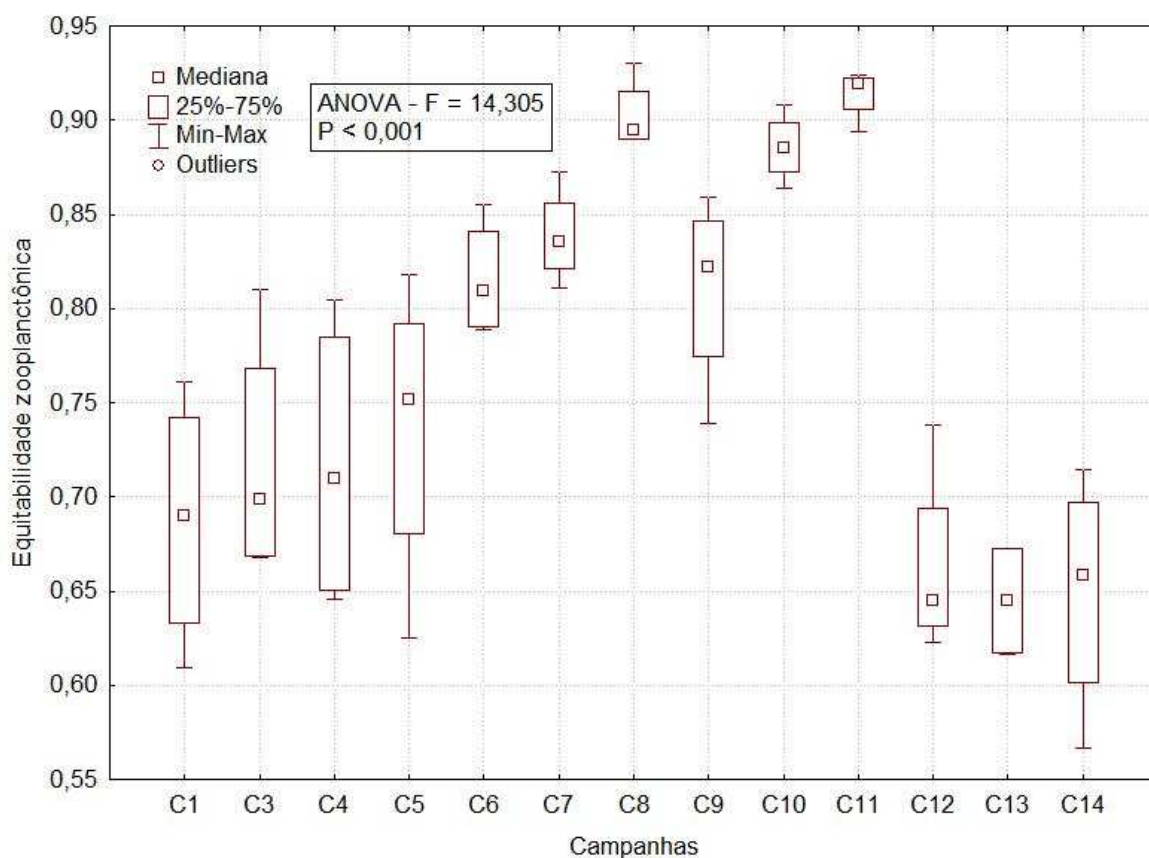
*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a diferença de metodologia (arrastos verticais).

Figura V-52 – Box plots representativos dos valores de diversidade zooplânctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

A equitabilidade média da atual campanha foi intermediária, com valor de 0,65 ($\pm 0,06$) variando de 0,57 (arrasto oblíquo da estação PIL-LL_M1000), a 0,71 no

arrasto horizontal da mesma estação (Tabela V-19). Pode-se observar que os dados da atual campanha foram ligeiramente inferiores aos registrados nas campanhas anteriores (Tabela V-20).

Na Figura V-53, são apresentados os valores de equitabilidade encontrados nas amostras de zooplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do PMPR_PIL-LL. A oitava e a décima primeira campanhas registraram os maiores valores de equitabilidade média em comparação com as demais (Figura V-53), enquanto a décima quarta registrou o menor valor mínimo e a décima terceira, o menor valor médio. Foram observadas diferenças significativas entre a equitabilidade das 13 campanhas de monitoramento consideradas (ANOVA, $p < 0,05$). A oitava, a décima e a décima primeira campanha diferiram significativamente da primeira, terceira, quarta, quinta, décima segunda, décima terceira e décima quarta campanha, a sexta e a nona diferiram da décima segunda, da décima terceira e da décima quarta, e a sétima diferiu da primeira, da décima segunda, da décima terceira e da décima quarta campanha (Tukey, $p < 0,05$).



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a diferença de metodologia (arrastos verticais).

Figura V-53 – *Box plots representativos dos valores de equitabilidade zooplancônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.*

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, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório. No entanto, é possível que existam diferenças oriundas da troca de laboratório ocorrida entre a terceira e a quarta, entre a sexta e a sétima campanhas e entre a décima primeira e décima segunda campanhas, além 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.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton

Os valores de riqueza variaram de 35 a 36 taxa nos arrastos horizontais e de 37 a 38 taxa nos arrastos oblíquos (Tabela V-19). A contribuição relativa dos filos foi semelhante entre as amostras, com maior riqueza do filo Arthropoda. A maioria dos filos foi encontrado em todas as amostras, exceto Ctenophora, que ocorreu apenas em PIL-LL_M1000_OBL. Assim, essas pequenas diferenças observadas provavelmente representam uma variação natural da distribuição espacial dessas comunidades. A maior parte dos filos contribuiu com 1 a 2 taxa nas amostras (Figura V-54).

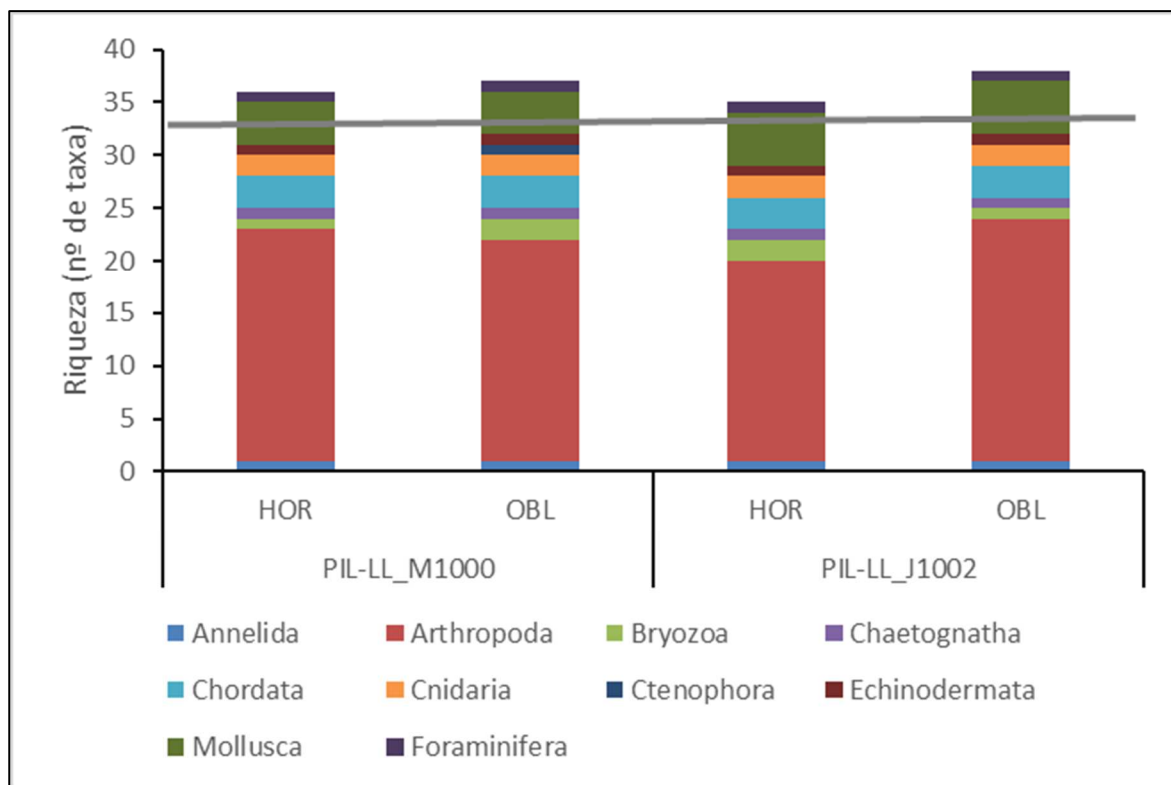


Figura V-54 – Riqueza zooplancônica (nº de taxa) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Com relação à densidade de organismos nas duas estações, foram observados maiores valores nos arrastos oblíquos de ambas as estações, sendo a estação PIL-LL_M1000 com a maior densidade. As contribuições mais evidentes à densidade foram dos filos Mollusca, Arthropoda e Chordata. Nas demais estações, a composição proporcional da comunidade foi similar, também com dominância dos filos Mollusca, Arthropoda e Chordata, e menores contribuições dos demais filos (Figura V-55). A elevada abundância de Chordata e Arthropoda pode ser justificada devido ao grande número de apendicularios e copépodes em todas as estações.

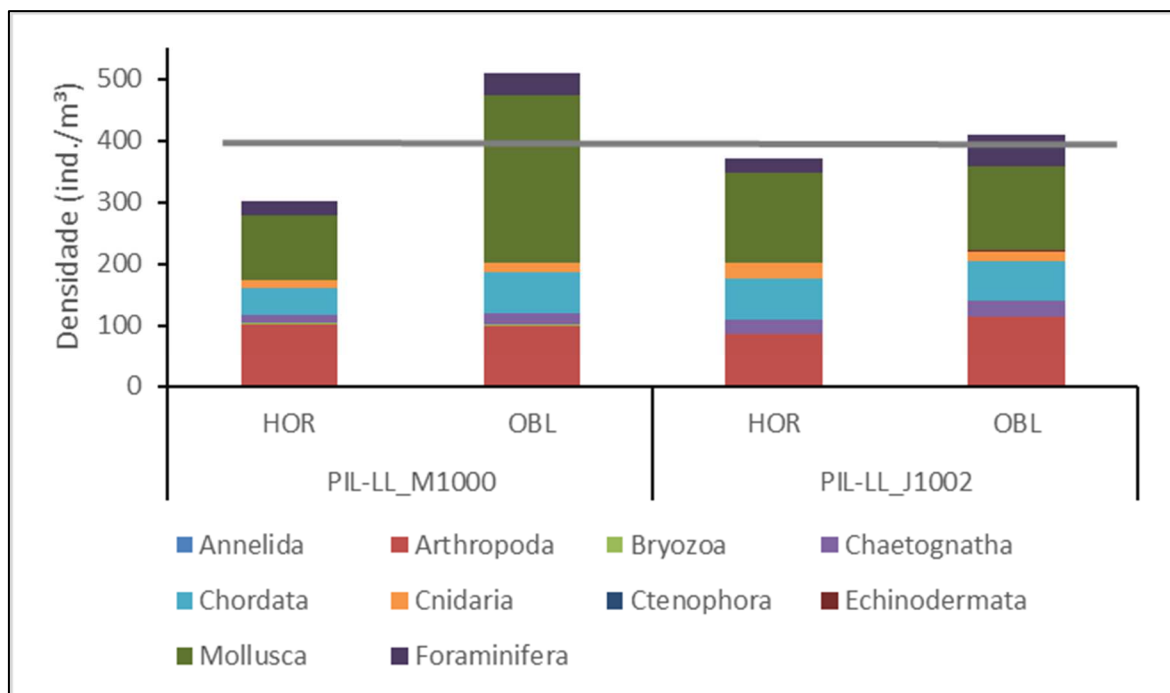


Figura V-55 – Densidade zooplânctônicas (ind./m³) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

O índice de diversidade e a equitabilidade apresentaram os maiores valores em PIL-LL_M1000_HOR, seguido pela amostra PIL-LL_J1002-OBL. Os resultados apontam para uma composição específica relativamente bem distribuída e com média a alta diversidade (Figura V-56).

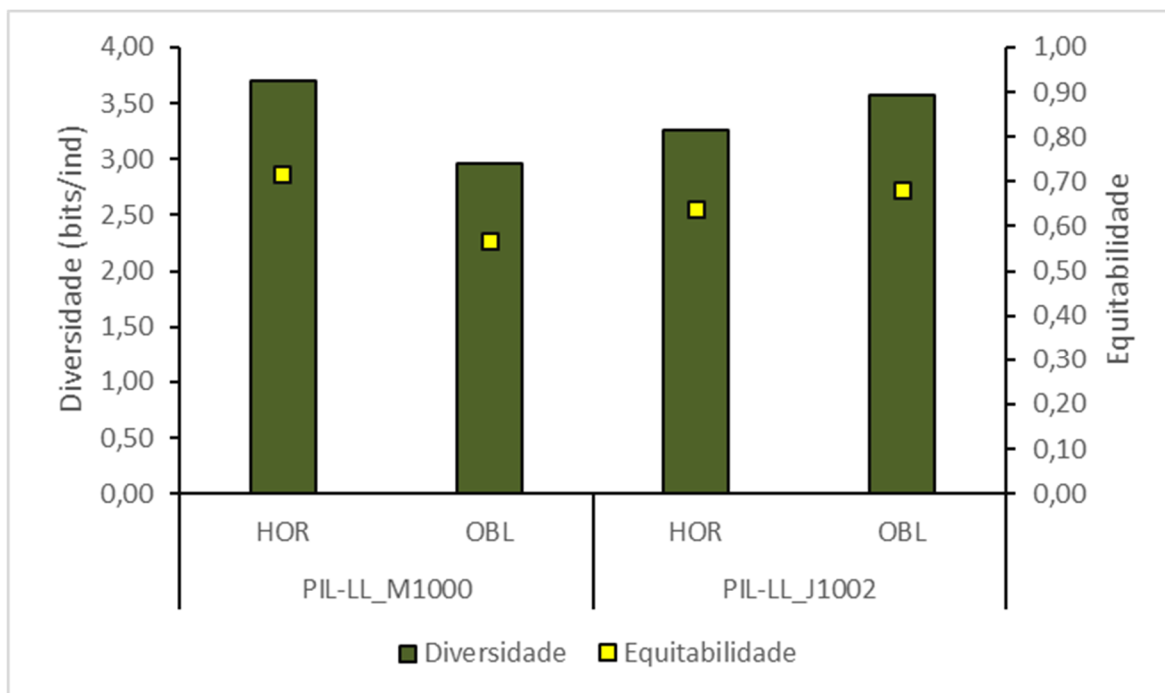
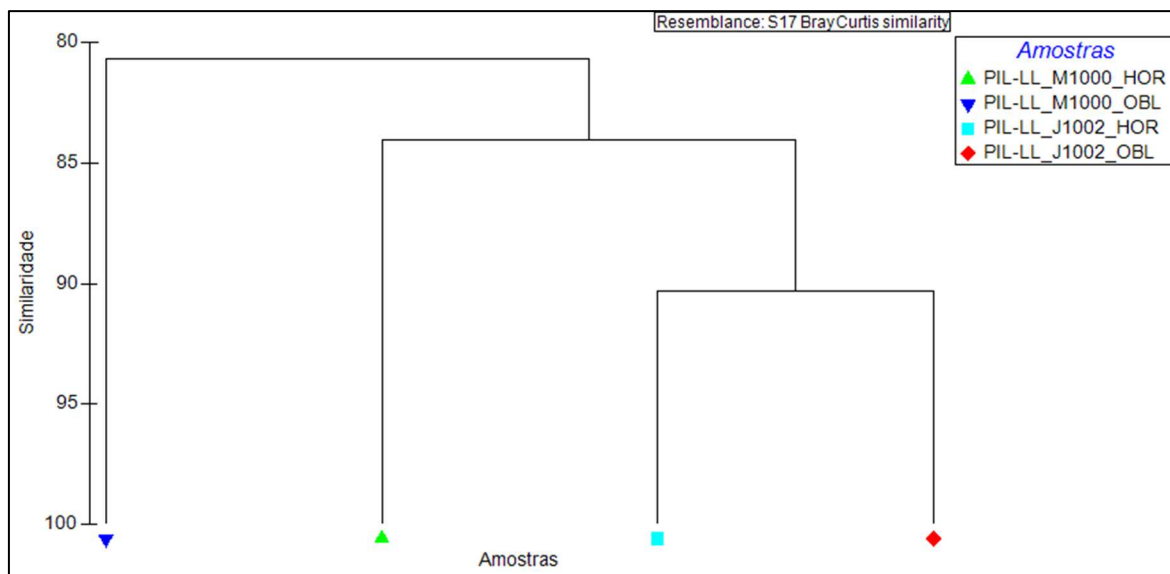


Figura V-56 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.

V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS

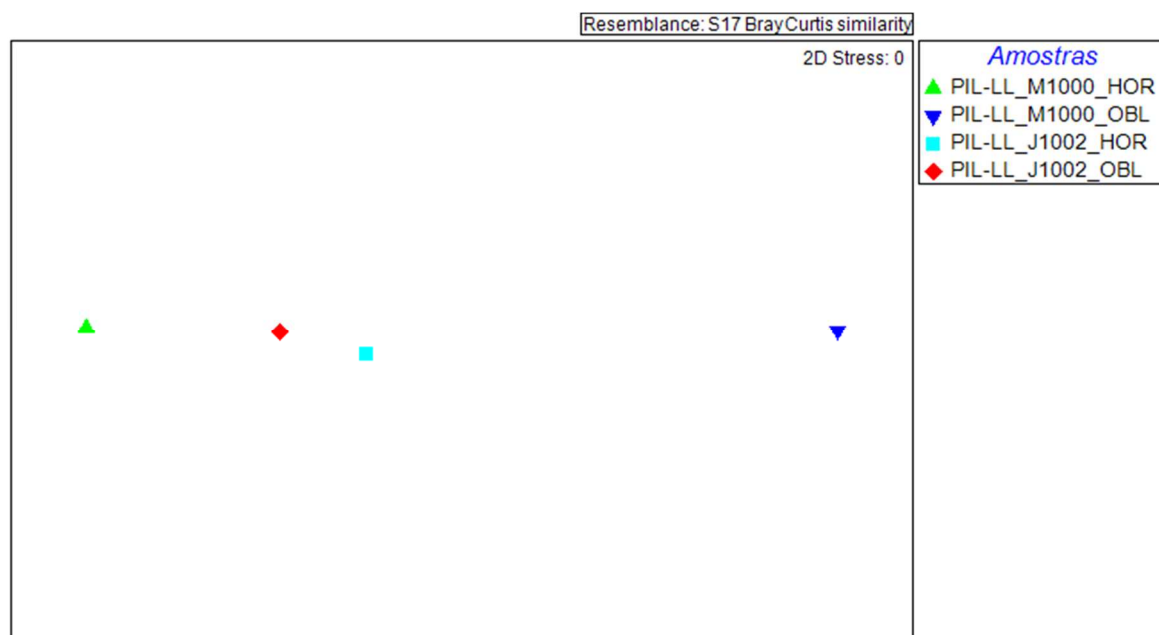
A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 81 e 90%, demonstrando alta similaridade entre as amostras. As amostras PIL-LL_J1002_HOR e PIL-LL_J1002_OBL foram agrupadas com 90% de similaridade, destacando-se nessa relação a grande similaridade nos valores de densidade de Chaetognata, Chordata, Mollusca e Bryozoa. Esse grupo, juntamente com PIL-LL_M1000_HOR formaram um grupo com aproximadamente 85% de similaridade e 81 % de similaridade juntamente com PIL-LL_M1000_OBL (Figura V-57).



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-57 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade zooplancônica da atual campanha de monitoramento.

Esta condição também foi observada na análise de MDS (Figura V-58). O MDS apresentou *stress* nulo. 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: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-58 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade zooplânctônica na atual campanha de monitoramento

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 certa 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-59 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).

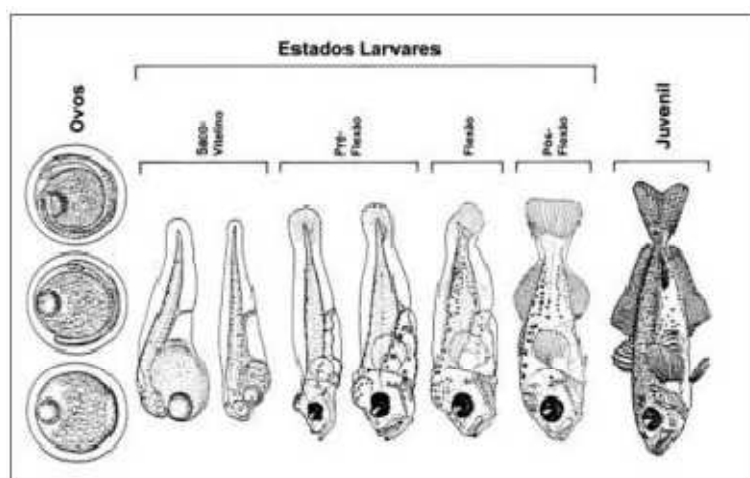


Figura V-59 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de *Trachurus symmetricus*. Adaptado de Moser (1984).

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 108 amostras para esse grupo, uma vez que na campanha 2 foram realizados apenas arrastos oblíquos ao invés de arrastos oblíquos e horizontais, gerando

somente 4 amostras, ao invés de 8. Durante a C14, houve acréscimo de 6 novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas evidencia um incremento maior de taxa entre a 1ª e 22ª amostra, que contabilizaram 52 taxa. Ou seja, 38% do total de taxa obtido foi coletado até o início da quarta campanha de monitoramento (Figura V-60). O comportamento da curva aponta para um adequado esforço amostral, garantindo que grande parte dos taxa presentes na comunidade local seja amostrada durante a realização de poucas campanhas. A partir da quarta campanha até a oitava, houve um incremento de poucos taxa em cada campanha, com tendência a estabilização da curva entre a quinta e a sexta campanhas e ao longo da oitava campanha também, quando ocorre um grande novo incremento da riqueza com a realização da nona campanha. Na décima campanha, há nova tendência a estabilização da curva que se mantém na campanha seguinte com dois novos incrementos na décima segunda e na décima terceira campanhas. Na décima quarta campanha, há novos incrementos, mas uma tendência a estabilização da curva. Ressalta-se a possibilidade de que as mudanças no laboratório executor das análises taxonômicas (entre a 3ª e a 4ª campanhas, a 6ª e a 7ª campanhas, e a 11ª e 12ª campanhas) tenham influenciado o número de taxa encontrado, mas 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.

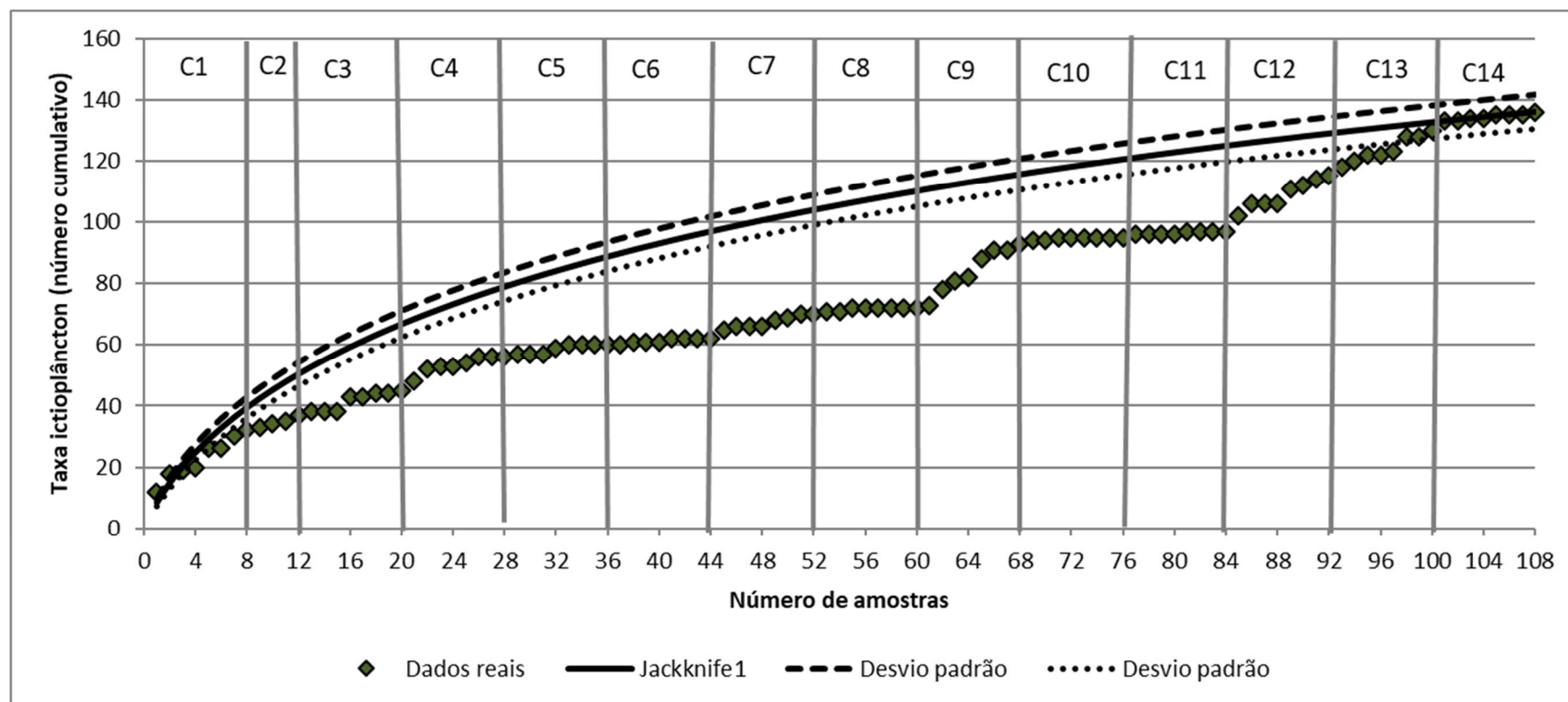


Figura V-60 – Taxa de ictioplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.

Em comparação com a curva de Jacknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve muito próxima da distribuição esperada somente nas amostras iniciais da primeira campanha, bem como nas amostras finais da décima terceira campanha e em todas as amostras da décima quarta campanha, onde os pontos estiveram sobre a curva de Jacknife. Nas demais campanhas, a distribuição real esteve sempre abaixo da distribuição esperada.

V.2.3.2 - Análise Qualitativa

As larvas e ovos encontrados pertenciam a nove ordens de peixe: Stomiiformes (Família Stomiidae, Phosichthyidae e Gonostomatidae), Carangiformes (famílias Coryphaenidae e Carangidae), Myctophiformes (família Myctophidae), Aulopiformes (famílias Evermannellidae e Chlorophthalmidae), Beloniformes, Eupercaria incertae sedis (famílias Gerreidae, Lutjanidae e Scaridae), Dactylopteriformes (família Dactylopteridae) Scombriformes (famílias Gempylidae, Nomeidae, Chiasmodontidae, Bramidae e Scombridae) e Acanthuriformes (Família Ehippidae, Caproidae, Pomacanthidae, Pomacentridae). No presente estudo, a ordem Myctophiformes foi dominante, com 7 taxa, seguida por Stomiiformes, com 6 taxa (Figura V-61). As campanhas anteriores do monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL destacaram a ordem Perciformes como dominante (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018d, 2018f, 2019e, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022). As larvas e ovos coletados foram identificados ao menor grupo taxonômico possível e resultou na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3.

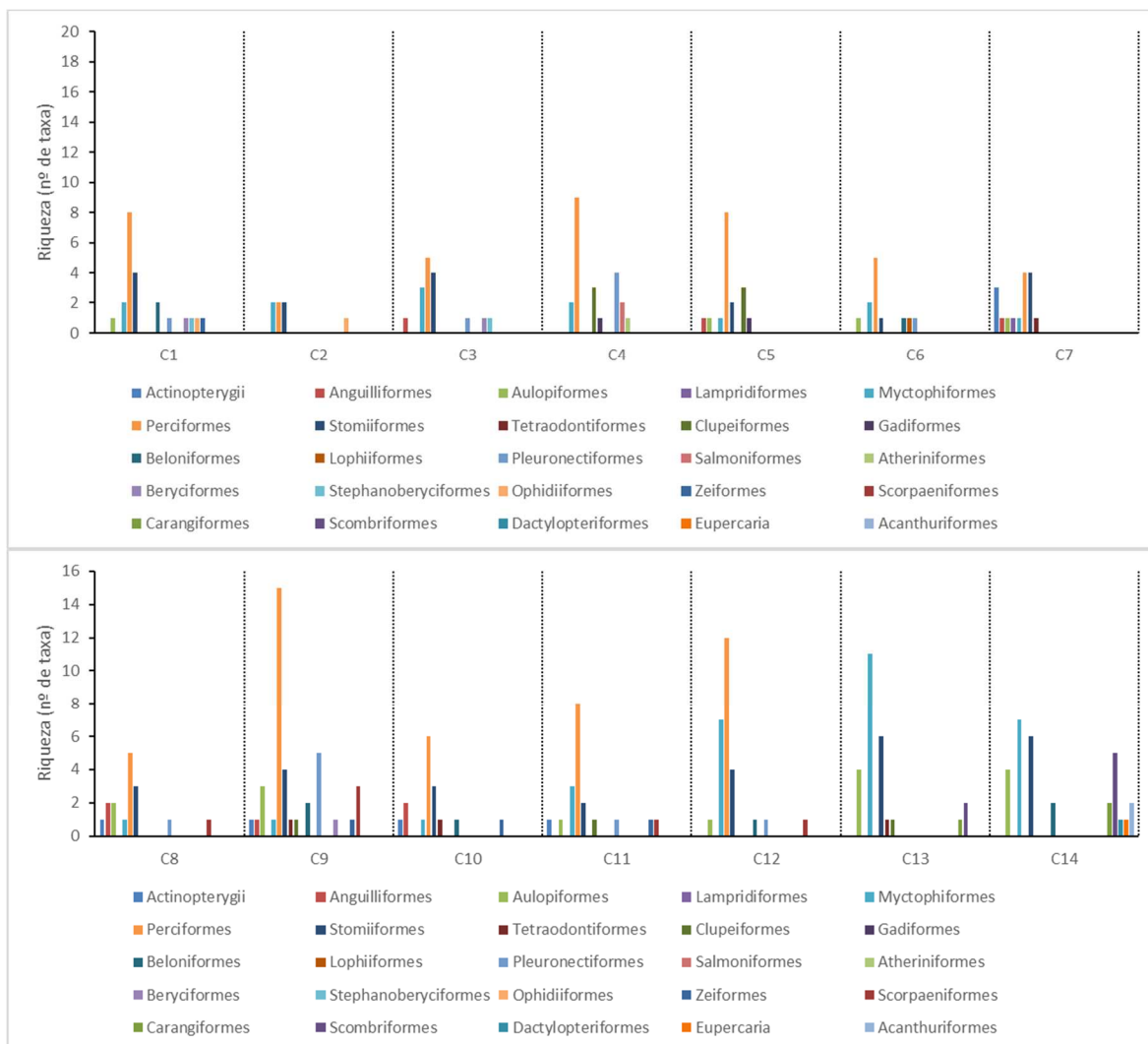


Figura V-61 – Riqueza ictioplancônica (nº de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

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 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 outros 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).

A ordem Aulopiformes é marinha e as larvas dessa família possuem corpo alongado e estreito. Dezoito espécies foram identificadas no Brasil, considerando as fases de larva e adulto (BONECKER *et al.*, 2014).

Para as demais ordens não são apresentadas descrições, pois não foram encontradas informações específicas sobre ictioplâncton para esses grupos.

V.2.3.3 - *Análise Quantitativa*

Na Tabela V-21, são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade ictioplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-21 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade ictioplânctônica da atual campanha de monitoramento.

Estação	Arrasto	Malha (mm)	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/100m ³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-LL_M1000	HOR	300 µm	8,00	68,30	1,36	0,84
	HOR	500 µm	5,00	31,59	1,07	0,77
	OBL	300 µm	13,00	56,71	1,99	0,90
	OBL	500 µm	10,00	15,14	1,89	0,97
PIL-LL_J1002	HOR	300 µm	11,00	52,10	1,81	0,82
	HOR	500 µm	10,00	18,00	1,95	0,94
	OBL	300 µm	12,00	61,75	2,15	0,94
	OBL	500 µm	6,00	12,85	1,24	0,90
Mínimo			5,00	12,85	1,07	0,77
Máximo			13,00	68,30	2,15	0,97
Média			9,38	39,56	1,68	0,89
Desvio padrão			2,83	22,70	0,40	0,07

Já na Tabela V-22 são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplânctônica em campanhas de

monitoramento ambiental anteriores do PMPR_PIL-LL e em campanhas realizadas anteriormente na região.

Um total de 30 taxa de larvas de peixes foram coletados. Entre eles, seis foram identificados a nível de família, nove a nível de gênero e quinze a nível de espécie. A riqueza total variou de 5 a 13 taxa no arrasto horizontal com a malha de 500 da estação PIL-LL_M1000 e no arrasto oblíquo com a malha de 300 da mesma estação, respectivamente, e a média geral foi de $9,38 \pm 2,83$ taxa. Valores baixos, em número de taxa, em comunidades ictioplanctônicas são considerados comuns, visto que existe um menor número desses organismos na coluna d'água.

Tabela V-22 - Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos encontrados para o ictioplâncton nos estudos.

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	6	19	24,72	304,60	0,52	0,86	0,55	0,93
PIL-LL_C2 ^{2*}	5	7	50,60	122,19	0,47	0,68	0,68	0,88
PIL-LL_C3 ³	4	11	98,93	1340,15	0,09	0,57	0,11	0,68
PIL-LL_C4 ⁴	7	12	43	1060	0,18	1,60	0,08	0,69
PIL-LL_C5 ⁵	3	8	6	30	0,95	1,58	0,49	0,96
PIL-LL_C6 ⁶	3	7	3	49	0,96	1,59	0,59	1
PIL-LL_C7 ⁷	4	8	46,83	129,55	1,05	1,66	0,53	0,73
PIL-LL_C8 ⁸	3	10	26,54	192,55	0,64	1,66	0,36	0,80
PIL-LL_C9 ⁹	9	20	46,89	126,08	0,82	2,10	0,38	0,73
PIL-LL_C10 ¹⁰	4	8	35,66	77,84	1,13	1,34	0,64	0,82
PIL-LL_C11 ¹¹	6	11	53,67	159,63	1,10	1,51	0,48	0,69
PIL-LL_C12 ¹²	6	16	6,82	69,64	1,24	1,71	0,65	0,90
PIL-LL_C13 ¹³	7	12	30,60	74,95	1,47	2,11	0,79	0,96
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	2	10	3	42	0,63	2,08	0,80	0,96
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	3	10	8	66	1,04	2,00	0,71	0,96
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	6	13	34,47	323,84	0,84	1,45	0,39	0,71
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	5	13	39,36	123,86	0,99	1,44	0,43	0,64
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	5	18	30,78	124,65	0,50	2,08	0,24	0,76
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	1	8	9,87	84,20	0,00	1,59	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	4	11	29,87	144,87	0,34	1,11	0,19	0,57
PIL-LL-NE_C8 ²¹	9	31	12,11	374,61	1,57	2,04	0,63	0,90
PIL-LL-NE_C9 ²²	4	12	14,03	86,95	1,04	2,04	0,84	0,97

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL-NE_C10 ²³	4	16	4,12	89,06	1,04	2,19	0,76	0,95
PIL-SAP_C1 ²⁴	3	9	9	60	0,33	1,96	0,25	0,89
PIL-SAP_C2 ²⁵	0	6	0	40	0,00	1,55	0,00	0,98
PIL-SAP_C3 ²⁶	8	16	100,15	252,75	1,10	1,59	0,43	0,66
PIL-SAP_C4 ²⁷	5	12	130,66	1280,39	0,61	1,32	0,27	0,53
PIL-SAP_C5 ²⁸	5	10	36,14	88,72	0,87	1,84	0,45	0,82
PIL-SAP_C6 ²⁹	3	10	37,06	84,18	1,00	1,58	0,62	0,91
PIL-SAP_C7 ³⁰	3	9	16,66	234,16	0,80	1,16	0,41	0,73
PIL-SAP_C8 ³¹	3	17	1,88	91,34	0,69	2,47	0,88	1,00
PIL-SAP_C9 ³²	4	12	14,16	274,93	0,69	1,82	0,77	1,00
DP-IRA-S_C1 ³³	1	9	1,00	13,00	0,00	2,10	0,00	0,95
DP-IRA-S_C2 ³⁴	8	17	50,44	253,17	0,90	1,70	0,36	0,67
DP-IRA-S_C3 ³⁵	7	14	33,15	306,04	0,85	2,17	0,39	0,82
DP-IRA-S_C4 ³⁶	10	19	62,29	181,60	1,10	1,94	0,44	0,79
DP-IRA-S_C5 ³⁷	5	10	25,72	90,85	1,03	1,75	0,64	0,91
DP-IRA-S_C6 ³⁸	2	8	16,81	66,41	0,50	1,30	0,41	0,90
DP-IRA-S_C7 ³⁹	4	10	4,88	49,29	0,56	1,75	0,62	1,00
DP-IRA-S_C8 ⁴⁰	9	20	37,93	237,19	1,09	2,67	0,61	0,94
DP-IRA-S_C9 ⁴¹	3	11	3,48	76,87	0	1,97	0	1,00

* Somente arrastos oblíquos

Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid, 2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 21 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2023a); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 26 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 27 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 30 =

Petrobras/Bourscheid (2020c); 31 = Petrobras/Bioconsult (2021); 32 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 33 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 34 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 35 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 37 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023b); 41 = Petrobras/Bioconsult (2023c).

Pode-se observar, de acordo com a Tabela V-22, que a atual campanha registrou valores de riqueza de ictioplâncton na faixa de variação dos resultados obtidos anteriormente, com valor mínimo ligeiramente maior que a maioria dos resultados registrados para a região.

Para tornar possível a comparação dos índices ecológicos entre as 14 campanhas, foram utilizados separadamente os dados dos arrastos oblíquos, para todas as campanhas (Figura V-62), e os dados dos arrastos horizontais, para a maioria das campanhas, exceto a segunda, onde não foram realizados arrastos horizontais (Figura V-63).

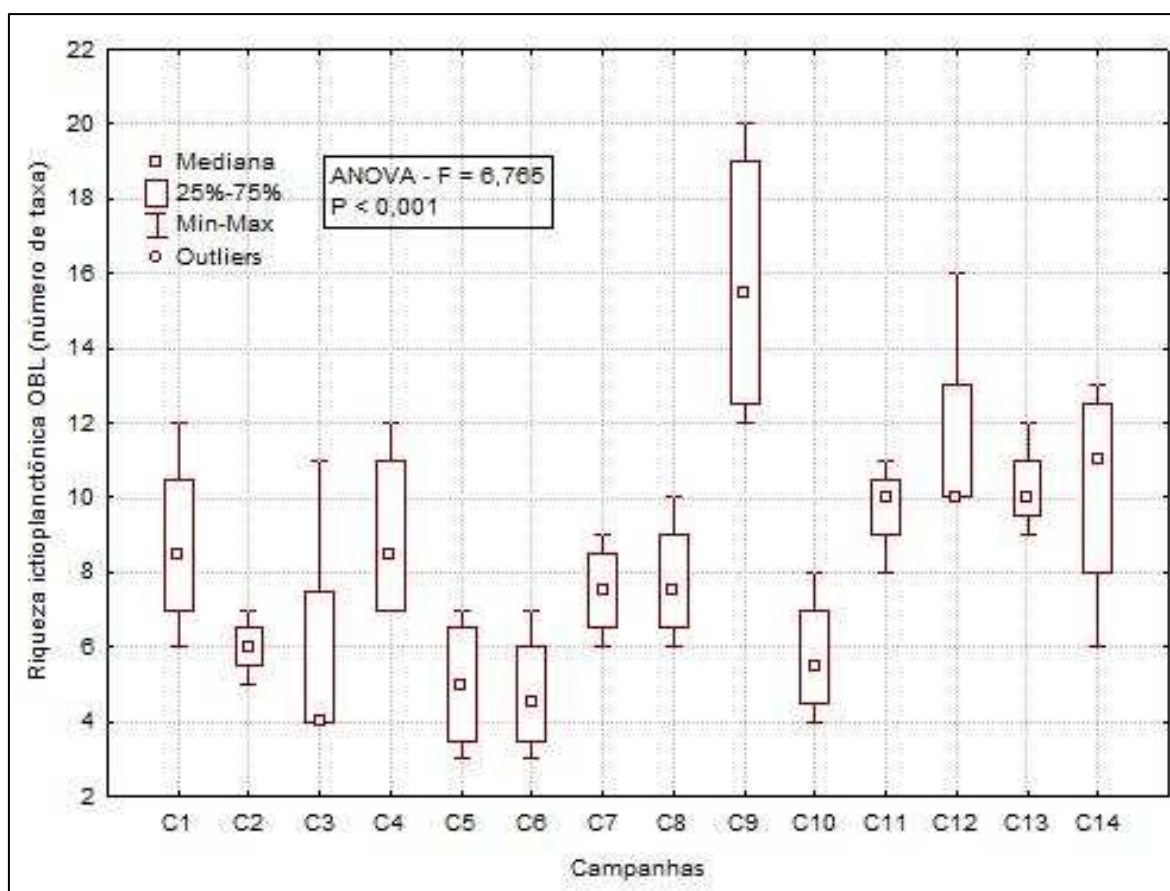
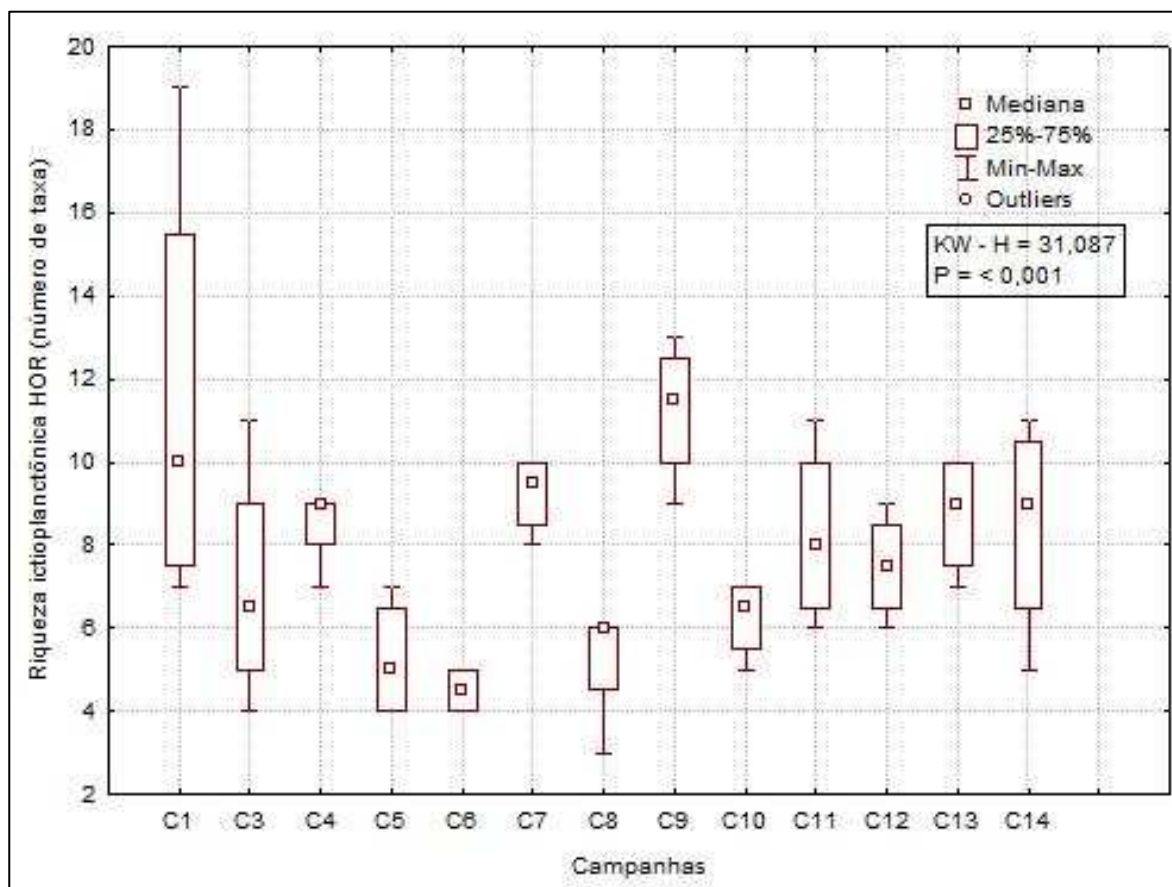


Figura V-62 – Box plots representativos de riqueza ictioplantônica (número de taxa) OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Para os arrastos oblíquos, as maiores riquezas foram observadas nas campanhas um, quatro, nove, doze e quatorze, sendo que durante a quinta e a sexta campanhas, o ictioplâncton apresentou o menor valor mínimo de riqueza de taxa (Figura V-62). Ao analisar estatisticamente as campanhas, observou-se que

houve diferença significativa entre as mesmas (ANOVA, $p < 0,05$), com a nona campanha diferindo significativamente da maioria das demais campanhas, exceto da décima segunda, décima terceira e décima quarta, e a décima segunda diferindo da quinta e da sexta campanha (Tukey, $p < 0,05$). Já para os arrastos horizontais, os maiores valores máximos de riqueza foram observados na primeira, na terceira, na nona campanha, na décima primeira e na décima quarta campanhas, que também apresentaram maior amplitude de valores, enquanto os maiores valores médios foram observados na nona e na décima quarta campanhas (Figura V-63). Para esses arrastos, também foram encontradas diferenças significativas entre as treze campanhas consideradas (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$), com diferenças entre a sexta e a nona campanha.



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a metodologia utilizada (arrastos verticais).

Figura V-63 – Box plots representativos de riqueza ictioplancônicas (número de taxa) HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

A densidade média de larvas da presente campanha foi de 39,56 ($\pm 22,70$ ind/100m³), variando entre 12,85 ind/100m³ (arrasto oblíquo com malha de 500 μ m

da estação PIL-LL_J1002) a 68,30 ind/100m³ (arrasto horizontal com malha de 300 µm da estação PIL-LL_M1000) (Tabela V-21).

No PCR-BS (Petrobras, 2022), na região oceânica, as densidades máximas, entre verão e inverno atingiram ocorreram entre cerca de 300 ind/m² e 150 ind/m². PIR2/TRANSPETRO (2009) realizaram levantamento do ictioplâncton no sudeste do Brasil e obtiveram densidades de larvas que variaram entre 6 e 29 larvas/100 m³. Na região do talude, mais especificamente nos blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21, os valores de densidade variaram entre 76 e 267 ind/m³ (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Baixos valores de densidade são comumente registrados nessas comunidades (BRANDINI *et al.*, 1997; MAFALDA JR. *et al.*, 2004).

Pode-se observar, de acordo com os dados da Tabela V-22, que os dados de densidade registrados nas campanhas de monitoramento da região são bastante variáveis, sendo encontradas densidades variando de 0 a 1.340,15 ind/100m³, corroborando os dados obtidos durante a atual campanha. Baixos valores de densidade são comumente registrados nessas comunidades (BRANDINI *et al.*, 1997; MAFALDA JR. *et al.*, 2004).

Nas Figura V-64 e Figura V-65, são apresentados os valores de densidade encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do PMPR_PIL-LL, obtidas nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente.

Para os arrastos oblíquos, a terceira e a quarta campanhas apresentaram maiores densidades ictioplanctônicas e a maior amplitude de valores, enquanto a quinta e sexta campanha apresentaram as menores densidades (Figura V-64). Nos mesmos arrastos foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A terceira campanha diferiu significativamente da quinta e da sexta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

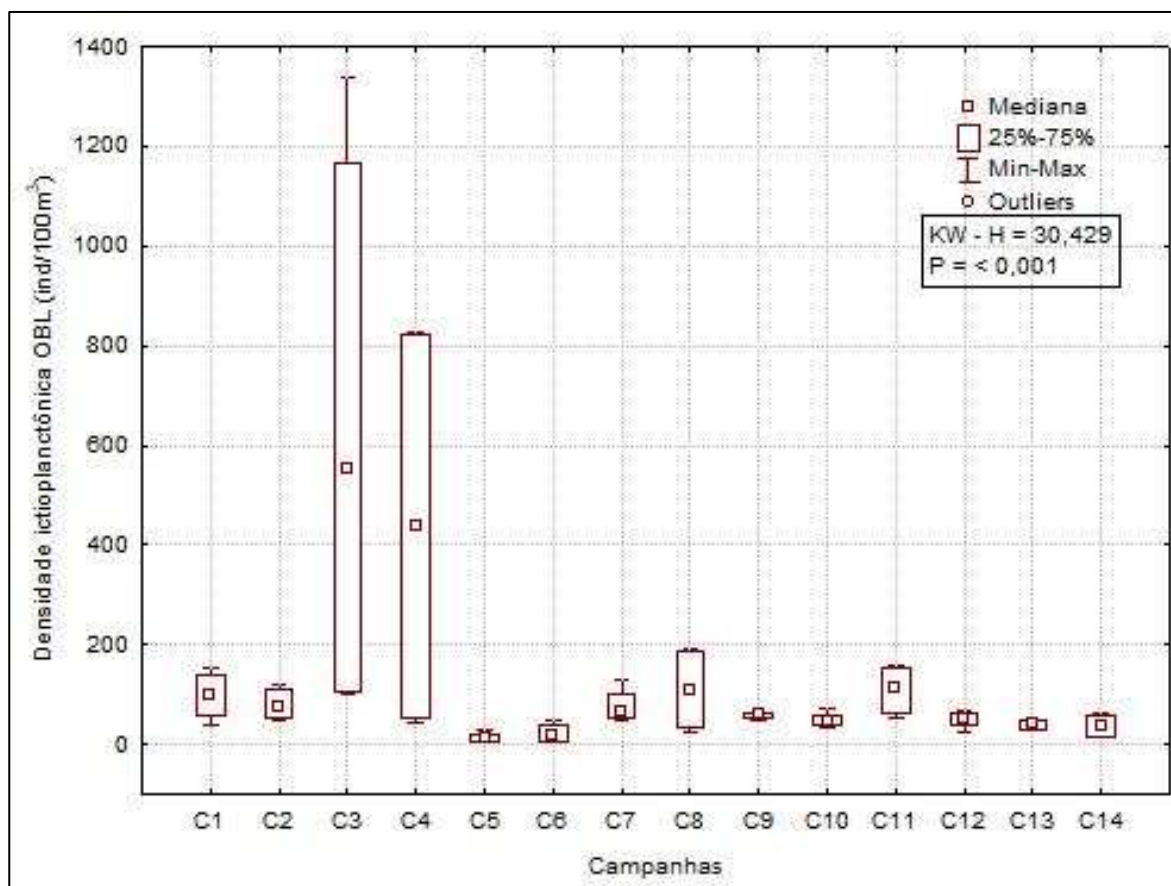
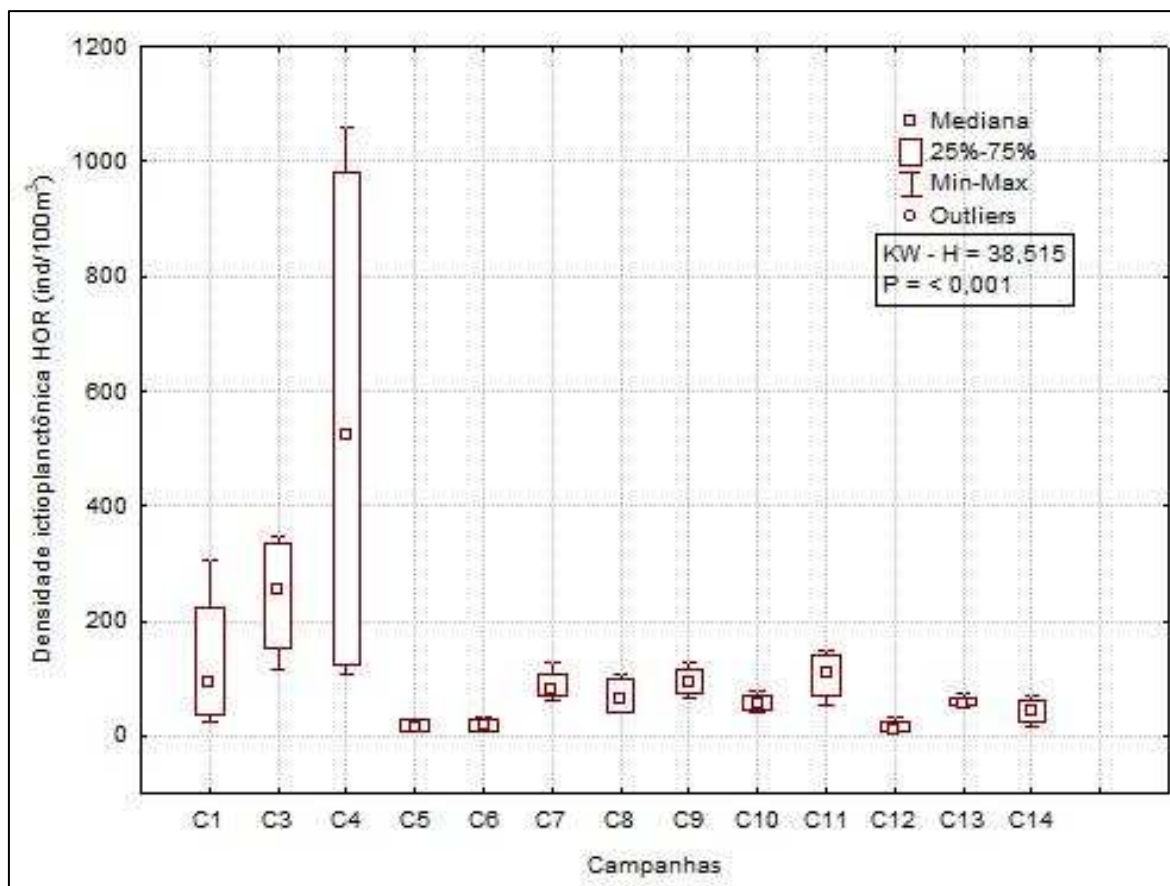


Figura V-64 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônica (ind/100 m³) OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Para os arrastos horizontais, a quarta campanha apresentou os maiores valores e a maior amplitude de resultados em relação as demais campanhas e, a quinta, a sexta e a décima segunda campanhas apresentaram as menores densidades (Figura V-65). Também foram encontradas diferenças significativas entre as doze campanhas consideradas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), com a quinta, a sexta e a décima segunda campanhas diferindo significativamente da terceira e da quarta campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a metodologia utilizada (arrastos verticais).

Figura V-65 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplancônica (ind/100 m³) HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

A Ordem Myctophiformes apresentou a maior riqueza de taxa e também apresentou a maior densidade média de organismos ($26,76 \pm 19,03$ ind/100m³), seguido de Scombriformes ($4,59 \pm 2,50$ ind/100m³) e Stomiiformes ($4,49 \pm 3,92$ ind/100m³). As demais ordens obtiveram médias variando entre $0,16 \pm 0,45$ e $1,41 \pm 2,05$ ind/100m³ (Figura V-66). Ocorreu grande dispersão da maioria dos valores encontrados, com desvios em torno de 54 a 283% em relação a média das classes/ordens. Esse resultado fica, portanto, muito sujeito a fenômenos estocásticos (do acaso) locais. A dispersão pelas correntes e outras variações ambientais relevantes, além das questões amostrais, podem influenciar nos resultados de amostragem desse grupo.

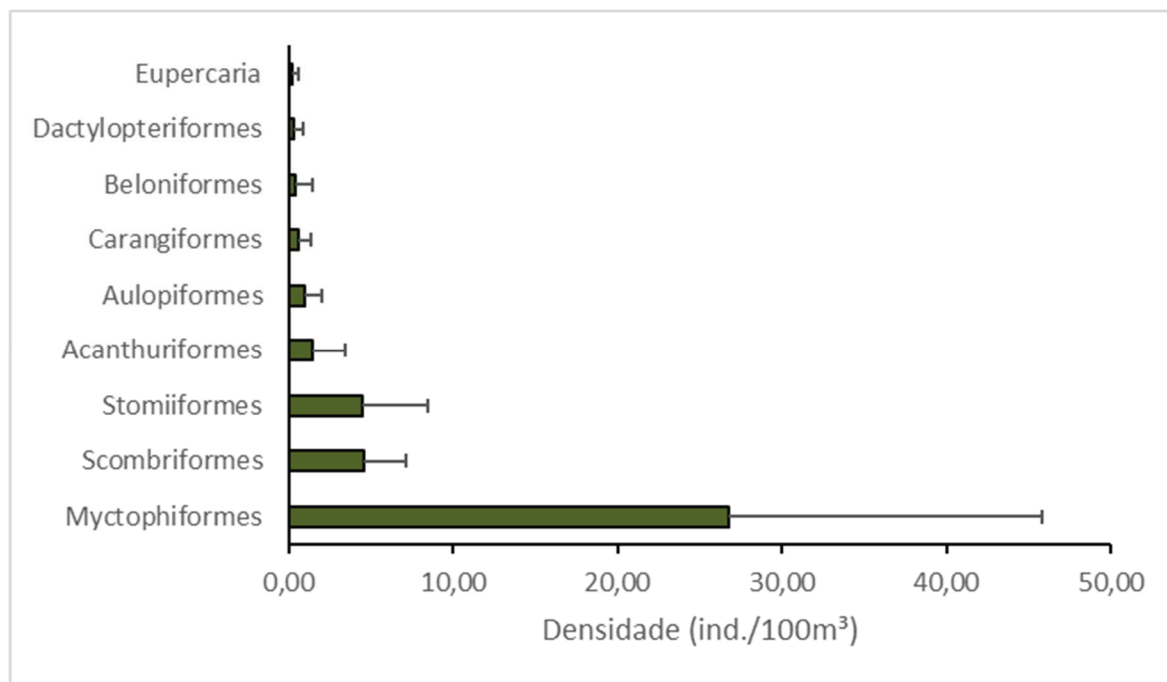


Figura V-66 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m³) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das ordens $\pm$ desvio-padrão.

A diversidade média na atual campanha foi baixa, com resultado de $1,68 \pm 0,40$ bits/ind, e valores variando entre 1,07 e 2,15 bits/ind, no arrasto horizontal com a malha de 500 da estação PIL-LL_M1000 e no arrasto oblíquo com a malha de 300 da estação PIL-LL_J1002, respectivamente (Tabela V-21). Os valores de diversidade encontrados para a região são baixos e corroboram os dados registrados na atual campanha (Tabela V-22).

Através da Figura V-67 e da Figura V-68, são apresentados os valores de diversidade encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do PMPR_PIL-LL, obtidas nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente.

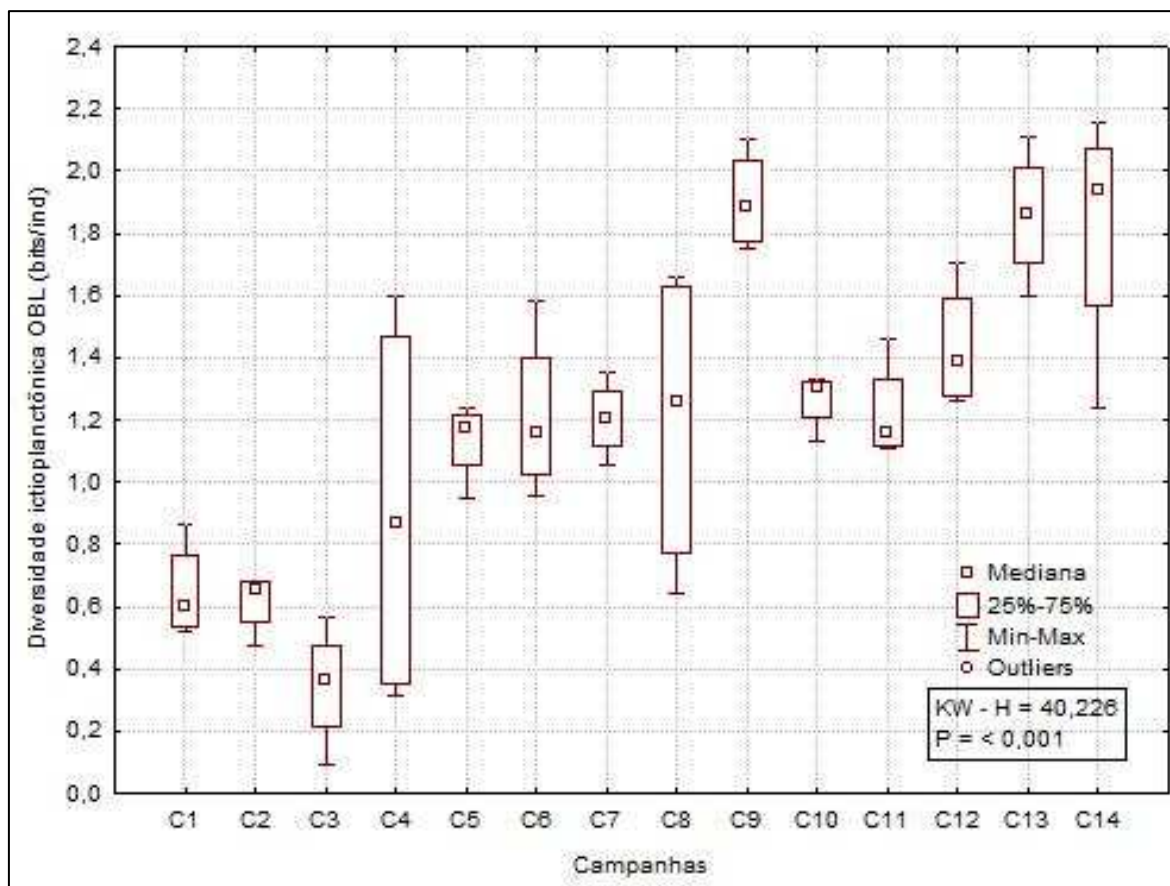
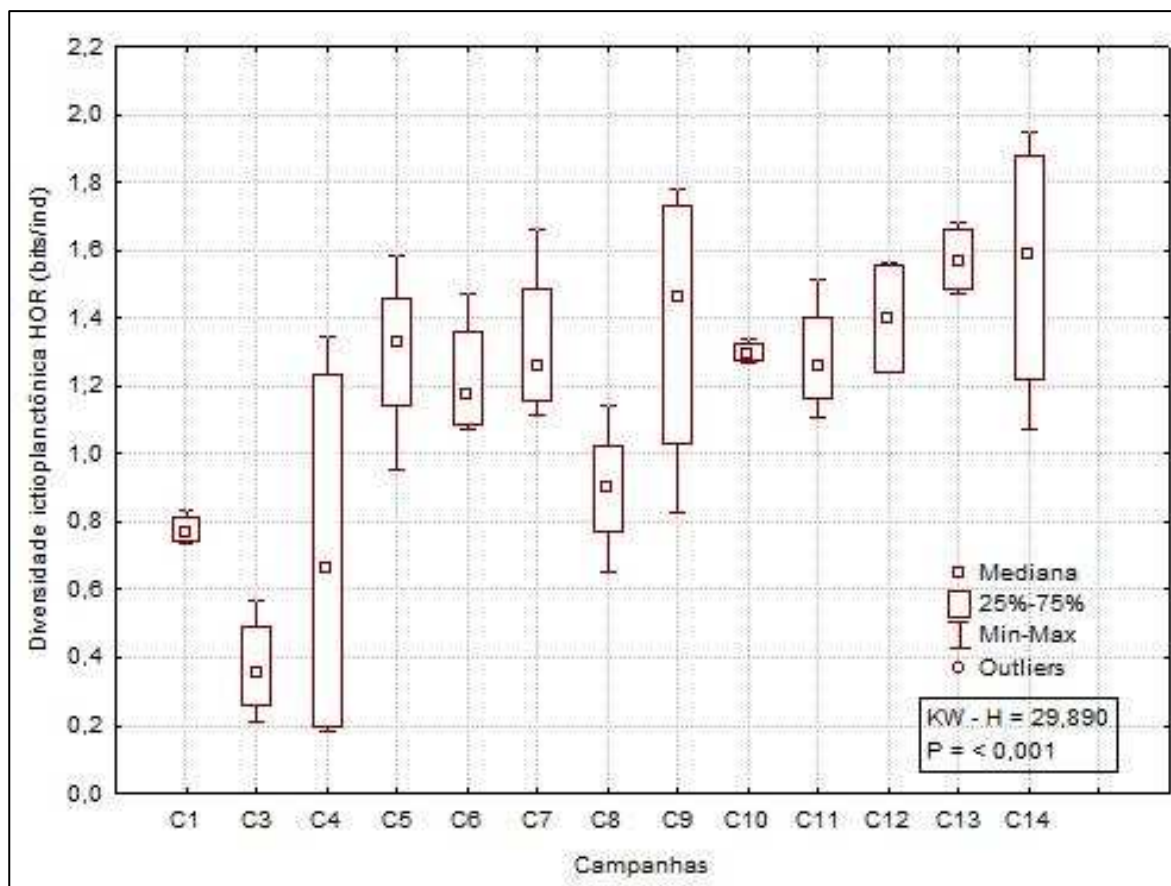


Figura V-67 – Box plots representativos da diversidade ictioplanctônica (bits/ind) OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Em ambos os arrastos, o ictioplâncton apresentou maior diversidade média na décima quarta campanha de monitoramento do PMPR_PIL-LL (Figura V-67), sendo que a quarta campanha apresentou a maior amplitude de valores para esse. Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas consideradas em ambos os arrastos (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$).

Nos arrastos oblíquos, a nona e a décima terceira campanha apresentaram diferenças significativas em relação as três primeiras campanhas, e a décima quarta diferiu da terceira campanha (Tukey, $p < 0,05$). Para os arrastos horizontais, foram encontradas diferenças entre a terceira e a décima terceira campanha (Tukey, $p < 0,05$).



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a metodologia utilizada (arrastos verticais).

Figura V-68 – Box plots representativos da diversidade ictio planctônica (bits/ind) HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

A equitabilidade média na atual campanha foi elevada com resultado de 0,89 ($\pm 0,07$) e valores variando entre 0,77 (arrasto horizontal com a malha de 500 μ m da estação PIL-LL_M1000) e 0,97 (no arrasto oblíquo com a malha de 500 da estação PIL-LL_M1000) (Tabela V-21). De acordo com a Tabela V-22, os valores de equitabilidade encontrados para o local variaram bastante ao longo do monitoramento, sendo que os dados da atual campanha apresentaram valores máximos ligeiramente superiores a maioria dos resultados obtidos anteriormente.

Na Figura V-69 e na Figura V-70, são apresentados os valores de equitatividade encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do PMPR_PIL-LL, obtidas nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente.

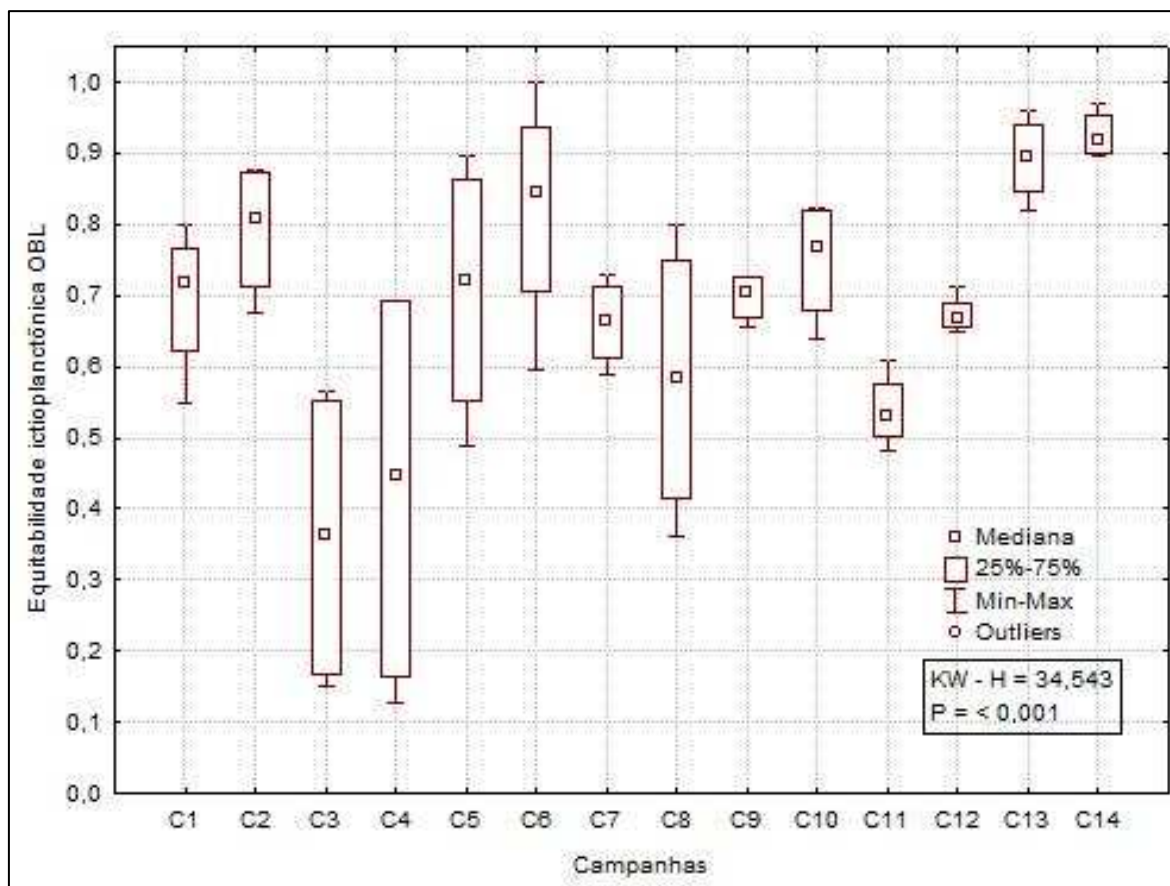
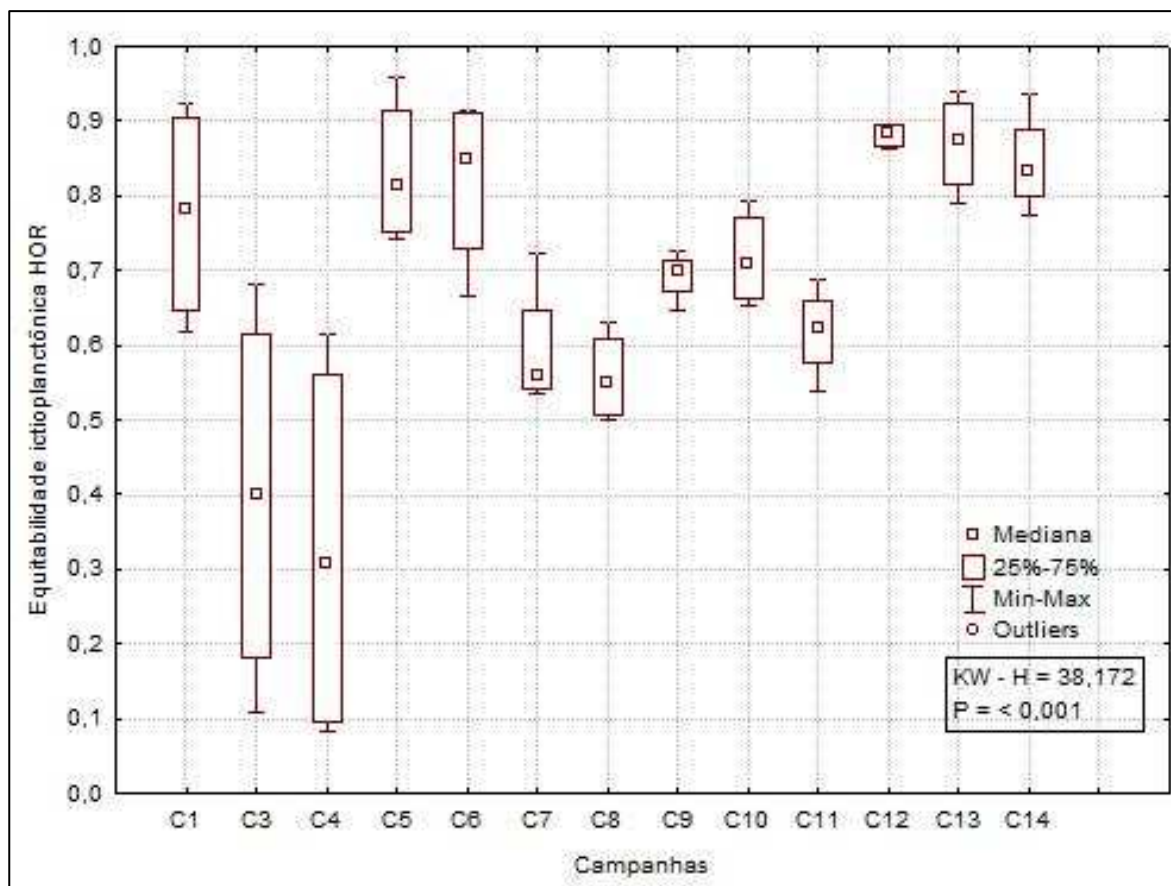


Figura V-69 – Box plots representativos da equitabilidade ictioplancônicas OBL ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Para os arrastos oblíquos, o ictioplâncton apresentou maior equitabilidade média na décima quarta campanha de monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL, porém a maior amplitude de valores foi observada na 4ª campanha, que encontrou também o menor valor mínimo (Figura V-69).



*A segunda campanha não foi incluída nesta análise devido a metodologia utilizada (arrastos verticais).

Figura V-70 – Box plots representativos da equitabilidade ictiofiteológica HOR ao longo das campanhas do PMPR_PIL-LL.

Já para os arrastos horizontais, o ictiofiteon apresentou maior amplitude de valores na terceira e quarta campanha e maior equitabilidade média na décima segunda campanha (Figura V-70).

Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas para ambos os arrastos (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Para os arrastos oblíquos, a décima quarta campanha diferiu da terceira e da décima primeira campanha, e a décima terceira diferiu da terceira (Tukey, $p < 0,05$). Para os arrastos horizontais, a quarta campanha diferiu significativamente da décima segunda e décima terceira campanha (Tukey, $p < 0,05$).

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 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, em parte, nos resultados gerados e, consequentemente, nas diferenças encontradas para os parâmetros analisados.

V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton

A amostra com maior número de taxa foi a do arrasto oblíquo com a malha de 300 da estação PIL-LL_M1000, com valor máximo de 13 taxa. As Ordens Myctophiformes, Scombriformes e Stomiiformes ocorreram em todas as amostras. A ordem Eupercaria ocorreu somente em PIL-LL_M1000_HOR_500, Beloniformes apenas em PIL-LL_J1002_HOR_500, Acanthuriformes nas amostras PIL-LL_M1000_HOR_300, nos arrastos oblíquos de PIL-LL_M1000, em PIL-LL_J1002_HOR_300 e em PIL-LL_J1002_OBL_300, enquanto Aulopiformes ocorreu em PIL-LL_M1000_HOR_300, nos arrastos oblíquos da estação PIL-LL_M1000 e em PIL-LL_J1002_OBL_300. Dactylopteriformes e Carangiformes ocorreram nos arrastos oblíquos de PIL-LL_J1002, Carangiformes também no arrasto horizontal malha de 300 µm em PIL-LL_J1002 (Figura V-71).

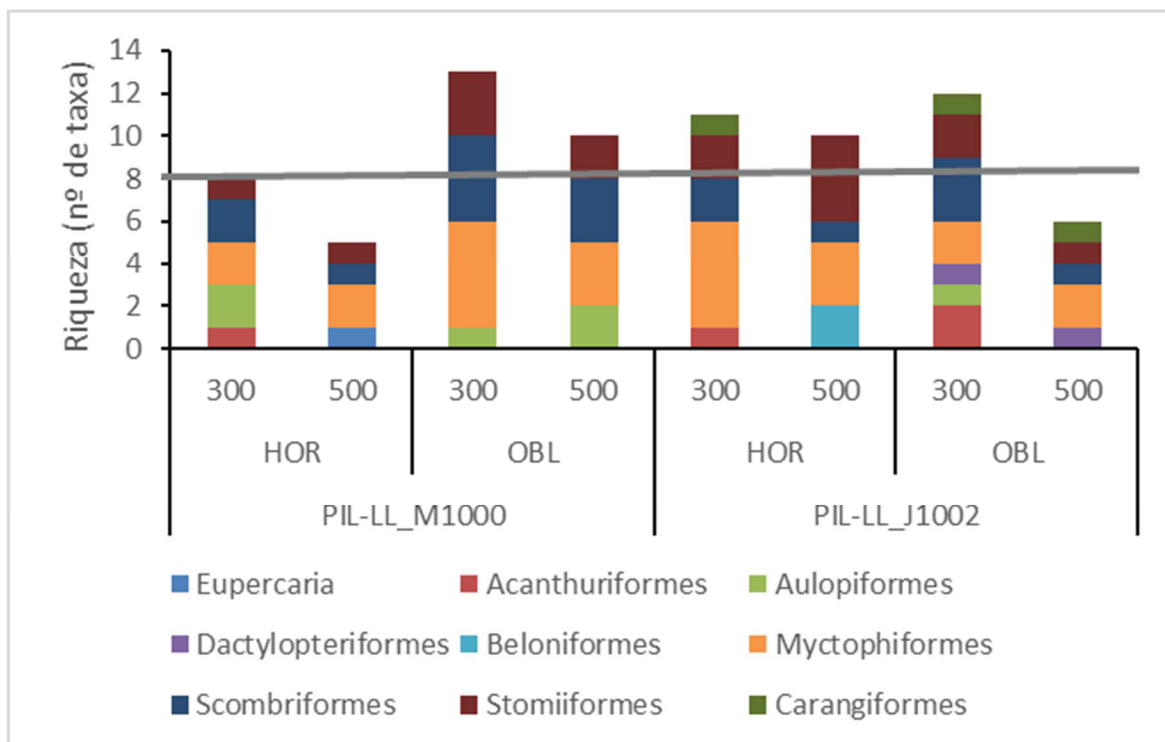


Figura V-71 – Riqueza ictioplancônica (nº de taxa) da atual campanha de monitoramento ambiental. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A densidade foi maior em ambos arrastos com malha de 300µm de ambas as estações. As maiores contribuições nas amostras ocorreram devido a dominância de Myctophiformes em todas as amostras. As demais ordens contribuíram em menor proporção para os valores de densidade (Figura V-72).

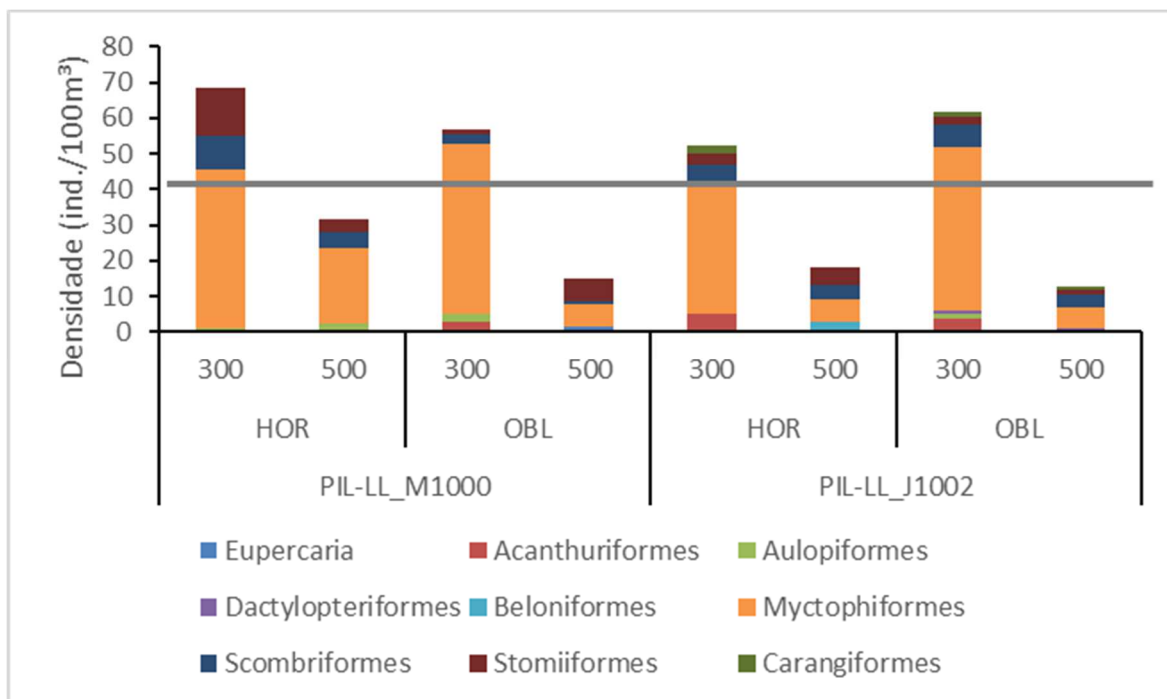


Figura V-72 – Densidade ictioplânctônicas (ind/100m³) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

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 ictioplânctônicas 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).

O índice de diversidade variou de baixo a médio, enquanto a equitabilidade foi elevada na maioria das amostras. A diversidade foi maior em PIL-LL_J1002_OBL_300, e a equitabilidade em PIL-LL_M1000_OBL_500. Em geral, os resultados apontam para uma comunidade pouco diversa e com uma composição específica relativamente igualitária nas amostras (Figura V-73).

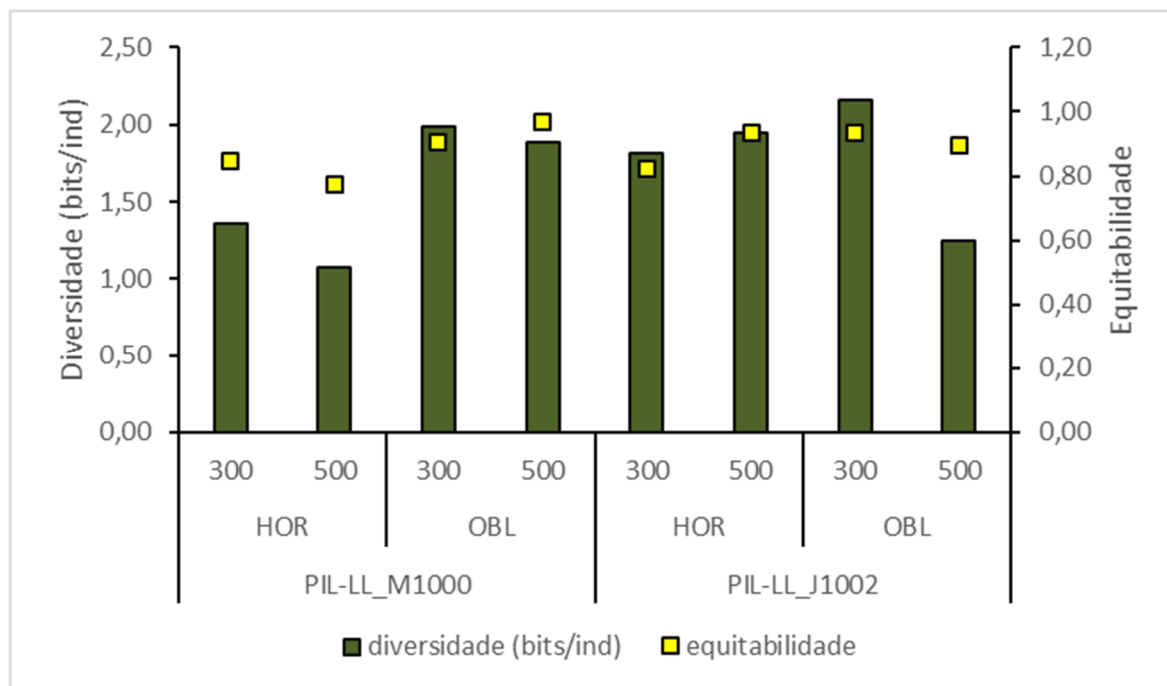
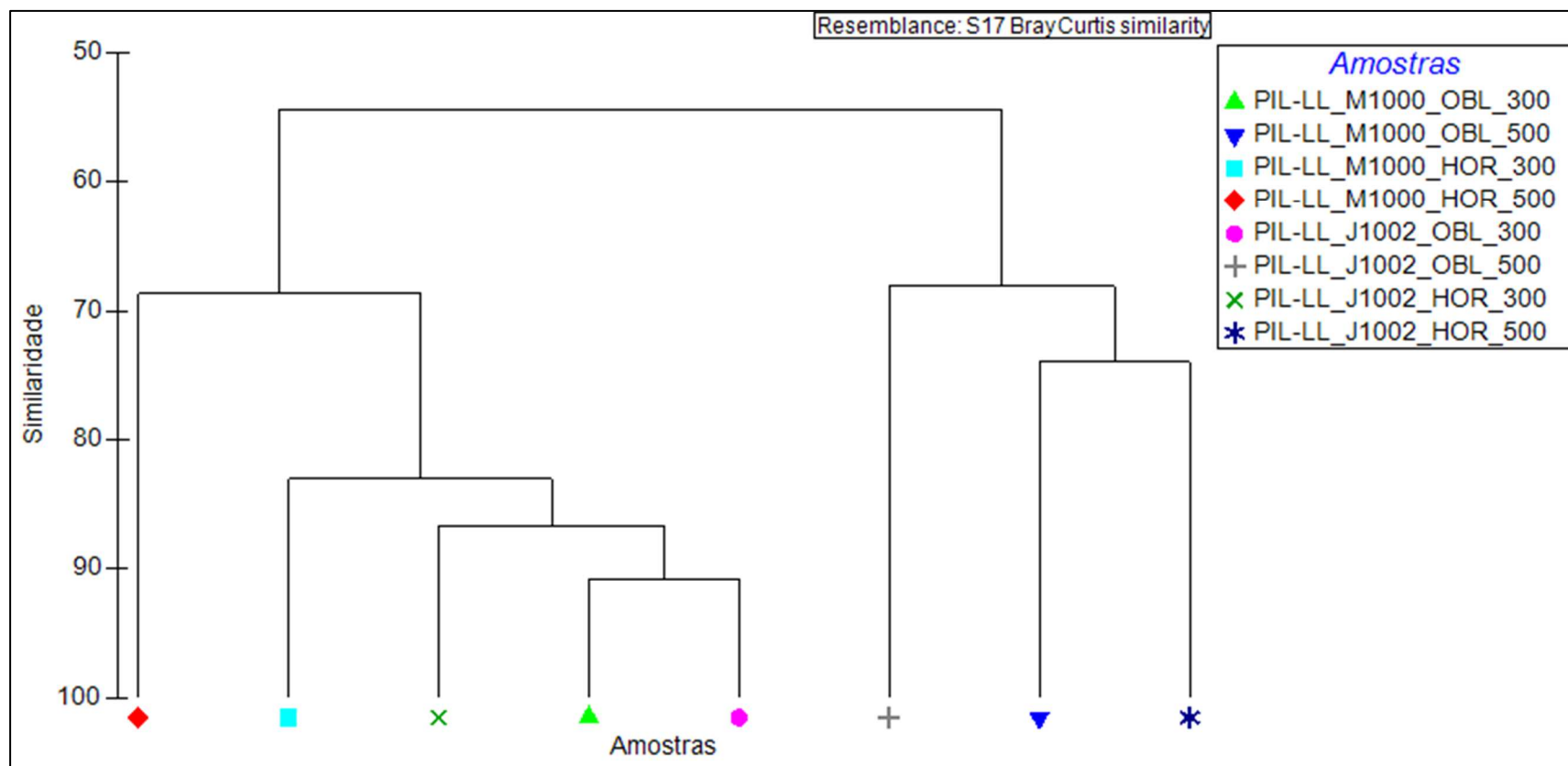


Figura V-73 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica (bits/ind) da atual campanha de monitoramento.

V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS

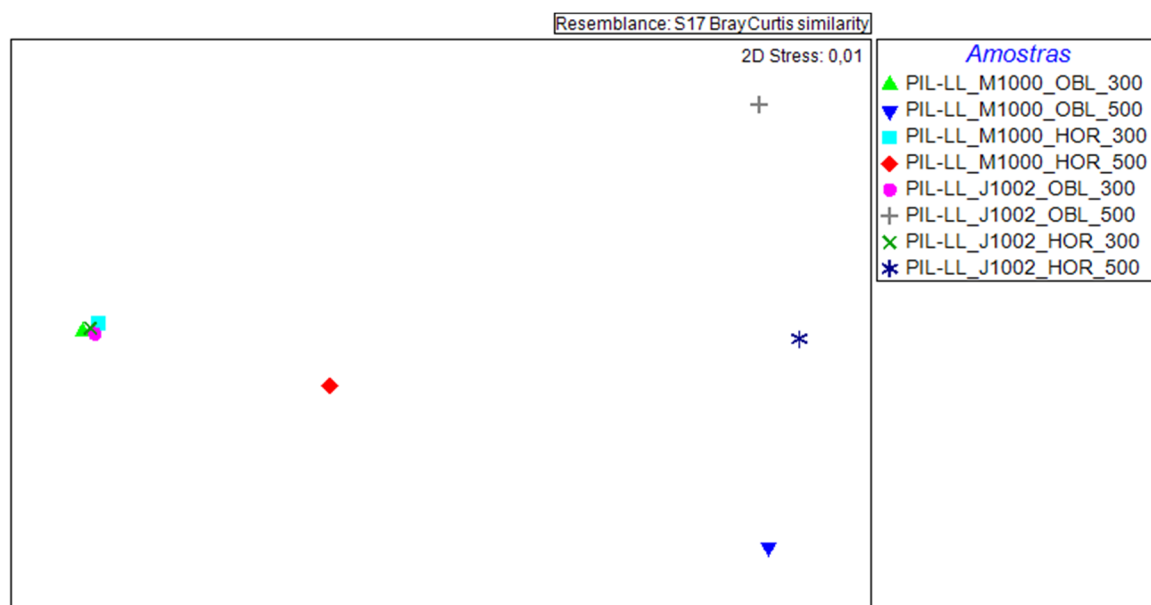
A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 55 e 90% (Figura V-75). Pode-se observar que a análise formou dois grandes grupos, com aproximadamente 70% de similaridade, separando as amostras PIL-LL_J1002_OBL_500, PIL-LL_M1000_OBL_500 e PIL-LL_J1002_HOR_500 das demais amostras, provavelmente devido aos menores valores de densidade e maiores valores de equitabilidade nessas amostras. A maior similaridade, de 90%, foi observada entre nos arrastos oblíquos de malhas de 300 µm de ambas as estações PIL-LL_M1000 e PIL-LL_J1002, devido aos valores semelhantes de todos os índices ecológicos avaliados.



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-74 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) do ictioplâncton da atual campanha de monitoramento.

A condição observada no cluster, também foi observada na análise de MDS (Figura V-75), que destacou ainda a grande semelhança entre as amostras de ambos os arrastos de malha 300µm de ambas as estações, devido aos maiores valores de densidade, principalmente. O MDS apresentou *stress* 0,01, representando bom ordenamento dos dados.



Legenda: OBL = arrasto oblíquo e HOR = arrasto horizontal.

Figura V-75 – Escalonamento multidimensional (MDS) do ictioplancôton da atual campanha de monitoramento.

VI - ANÁLISE INTEGRADA

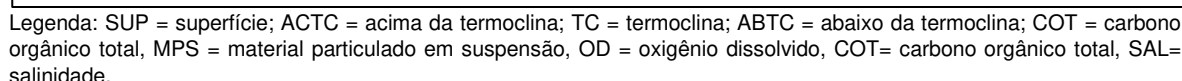
Neste capítulo é apresentada a análise integrada dos resultados das variáveis bióticas e abióticas da PMPR_PIL-LL_C14. A seguir são apresentadas análises, relacionando as variáveis biológicas e ambientais no ambiente pelágico.

VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO

VI.1.1 - Variáveis Físico-Químicas e Clorofila-a

Uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada visando avaliar a distribuição, no espaço bidimensional, de todas as unidades amostrais da PMPR_PIL-LL_C14 em relação às suas variáveis físico-químicas.

Na Figura VI.1-1 é apresentada a ACP, que explicou 96,47% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 93,28% de explicação e o segundo com 3,19%. As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.



A distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos ($p>0,05$). Contudo, se o autovalor observado para um eixo é maior do que o autovalor calculado ("*brocken-stick*"), este eixo é considerado como possível de se interpretar (JACKSON, 1993). Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,137 e 0,005 respectivamente, e o calculado de 0,050 e 0,031, respectivamente. Portanto apenas o eixo 1 apresentou autovalor observado maior que o calculado e, assim, foram interpretadas as variações principalmente sobre esse eixo.

Observa-se que a distribuição das amostras foi influenciada, principalmente, pelo MPS, correlacionado fortemente com a porção positiva do eixo 1 ($r=-1,00$). A distribuição das amostras, ao longo do eixo 1, expressa um gradiente de concentração crescente em direção à porção positiva do eixo. Nesse contexto, as amostras dividiram-se entre aquelas em que ocorreram menores concentrações de MPS, variando entre 0,62mg/L (PIL-LL_J1002_ABTC) a 5,14mg/L (PIL-LL_J5-2_TC), distribuídas na porção negativa do eixo; e aquelas amostras com maiores concentrações de MPS, acima de 7,48 mg/L (PIL-LL_J503_SUP) até 31,94 mg/L (PIL-LL_J100_TC), ocorrendo na porção positiva do eixo 1. Em relação ao eixo 2, embora as relações sobre esse eixo não tenham sido significativas, observa-se a tendência de influencia da concentração de silicato na distribuição das amostras. Assim, as amostras dispostas na porção positiva do eixo, tenderam a apresentar maiores valores desse parâmetro, variando entre 0,191 mg/L em PIL-LL_J1002_ACTC a 0,786 mg/L em PIL-LL_J1003_TC, separando-se das amostras dispostas na porção negativa do eixo, que apresentaram menores valores de silicato, entre 0,132mg/L em PIL-LL_J502_TC, e não detectável em PIL-LL_J1002_SUP.

VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico

A correlação de Spearman realizada entre os indicadores biológicos de fitoplâncton e as variáveis ambientais indicou três correlações negativas significativas, entre riqueza e diversidade com MPS e equitabilidade e temperatura, e uma correlação positiva significativa, entre diversidade e OD, conforme Tabela VI.1-1.

Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica (densidade, riqueza, diversidade e equitatividade) e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMPR_PIL-LL_C14.

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitabilidade
Temperatura	0,61	-0,09	-0,44	-0,74
Salinidade	0,08	0,04	-0,08	-0,33
OD	-0,46	0,67	0,83	0,49
pH	-0,54	-0,01	0,29	0,59

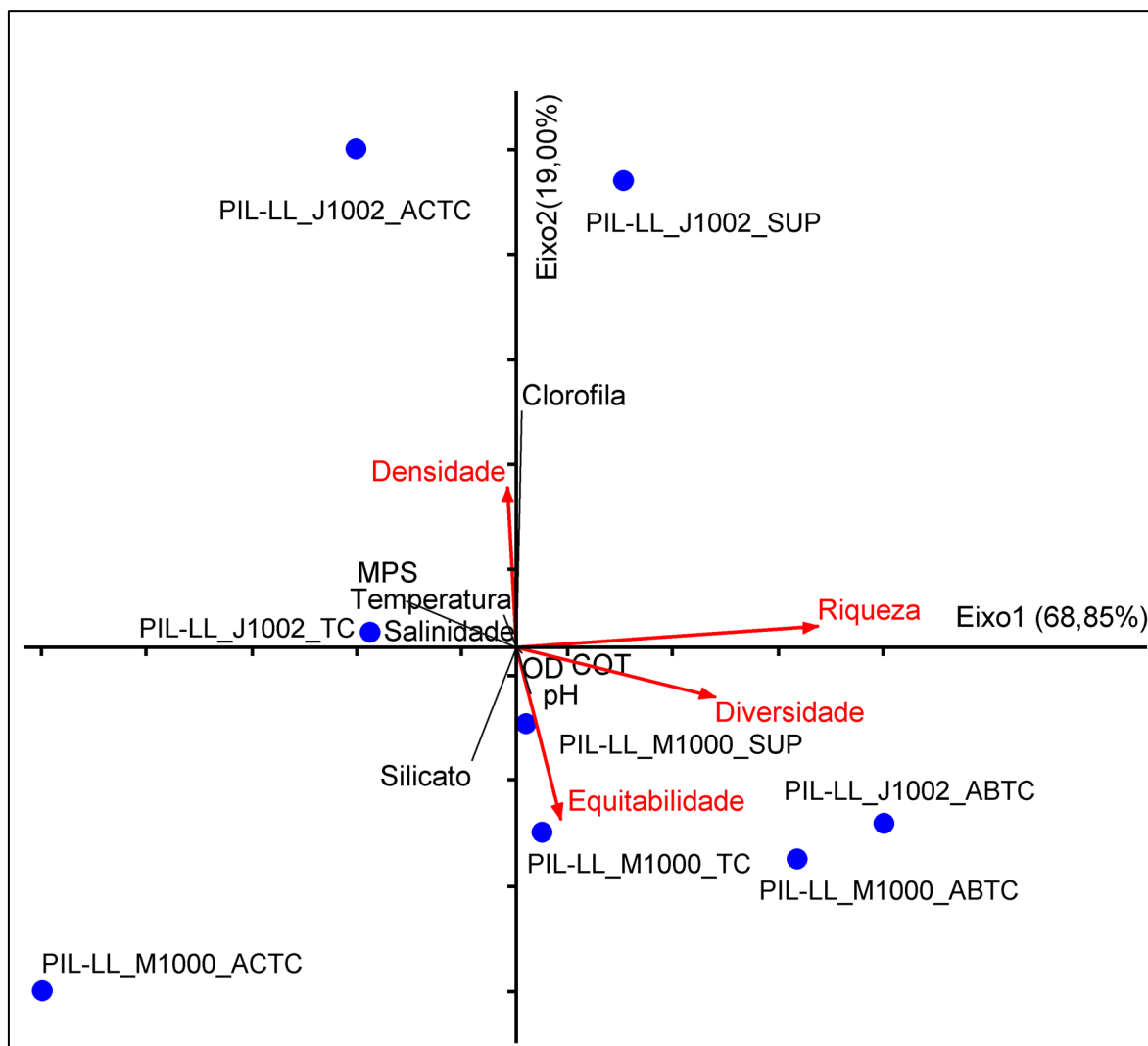
Silicato	-0,52	-0,67	-0,14	0,29
MPS	0,38	-0,90	-0,81	-0,50
Clorofila a	0,07	0,45	0,21	-0,14
COT	0,21	0,06	0,00	-0,31

Legenda: OD, oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão; COT, carbono orgânico total.

A análise de componentes principais (ACP) realizada entre as estações em que houve coleta biológica concomitantemente à coleta ambiental (PIL-LL_M1000 e PIL-LL_J1002), explicou 87,85% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 68,85% de explicação e o segundo com 19,00% (Figura VI.1-2). Para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, conforme Bocard *et al.* (2011), todas aquelas com distâncias d ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.

De maneira geral, a distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos ($p > 0,05$). No entanto, conforme sugerido por Jackson (1993), se o autovalor observado para um eixo é maior do que o autovalor calculado (*broken-stick*), este eixo é considerado como possível de interpretar. Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,023 e 0,006 respectivamente, e o calculado de 0,011 e 0,007, respectivamente. Assim, apenas o eixo 1, com o autovalor observado maior que o calculado, foi significativo para interpretações.

Observa-se a separação das amostras (Figura VI.1-2), no plano da ACP, influenciada principalmente pelo MPS, que se correlacionou negativamente com o eixo 1 ($r = -0,99$). As amostras PIL-LL_J1002_TC, PIL-LL_J1002_ACTC e PIL-LL_M1000_ACTC distribuíram-se na porção negativa do eixo 1, separando-se das demais, devido às maiores concentrações de MPS (entre 2,26 mg/L, 2,18 mg/L e 3,32 mg/L, respectivamente). Nas demais amostras, dispostas na porção positiva do eixo, o MPS variou desde 0,62 mg/L em PIL-LL_J1002_ABTC a 1,52 mg/L em PIL-LL_M1000_SUP. Ainda, a diversidade ($r = 0,69$) e a riqueza fitoplanctônica ($r = 0,85$) apresentaram correlação positiva com o eixo 1, tendendo a apresentar relação positiva com as amostras sobre essa porção do eixo, em condição de menor concentração de MPS.



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 das estações PIL-LL_M1000 e PIL-LL_J1002. Sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.

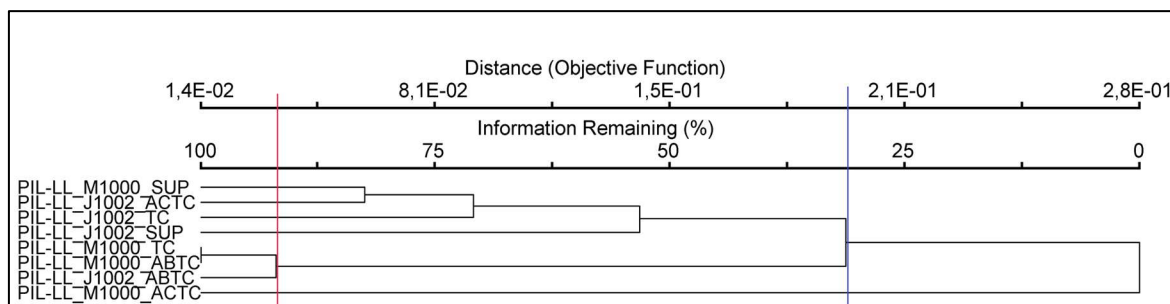
Em relação ao eixo 2, embora as relações sobre esse eixo não tenham sido significativas, observa-se a tendência de influencia da concentração de clorofila a na distribuição das amostras. Assim, as a maioria das amostras de PIL-LL_J1002 estiveram dispostas na porção positiva do eixo, e tenderam a apresentar maiores valores desse parâmetro, variando entre 0,206 mg/L em PIL-LL_J1002_TC, 0,674 mg/L em PIL-LL_J1002_SUP, a máximo de 0,732 mg/L em PIL-LL_J1002_ACTC, separando-se das demais amostras dispostas na porção negativa do eixo, que

apresentaram menores valores de clorofila *a*, entre 0,12mg/L em PIL-LL_M1000_ACTC, e 0,254 mg/L em PIL-LL_J1002_ABTC.

Ainda sobre esse eixo 2, a densidade fitoplanctônica ($r=0,62$) e a equitabilidade ($r=-0,64$), correlacionaram-se positivamente e negativamente com o eixo 2, respectivamente. Isso pode indicar tendência de correlação positiva da densidade e negativa da equitabilidade com as amostras dispostas na porção positiva do eixo 2, na condição de maior clorofila, e o inverso, entre as amostras dispostas na porção negativa desse eixo. Ressalta-se que as demais variáveis não apresentaram correlação significativa com os eixos da ACP, pois não apresentaram distância *d* ao centro do plano maior ou igual a 0,50.

Outras duas análises foram realizadas, visando complementar a análise dos dados das amostras do ambiente pelágico em relação às variáveis ambientais e fitoplanctônicas: uma análise de agrupamento e uma análise de escalonamento multidimensional.

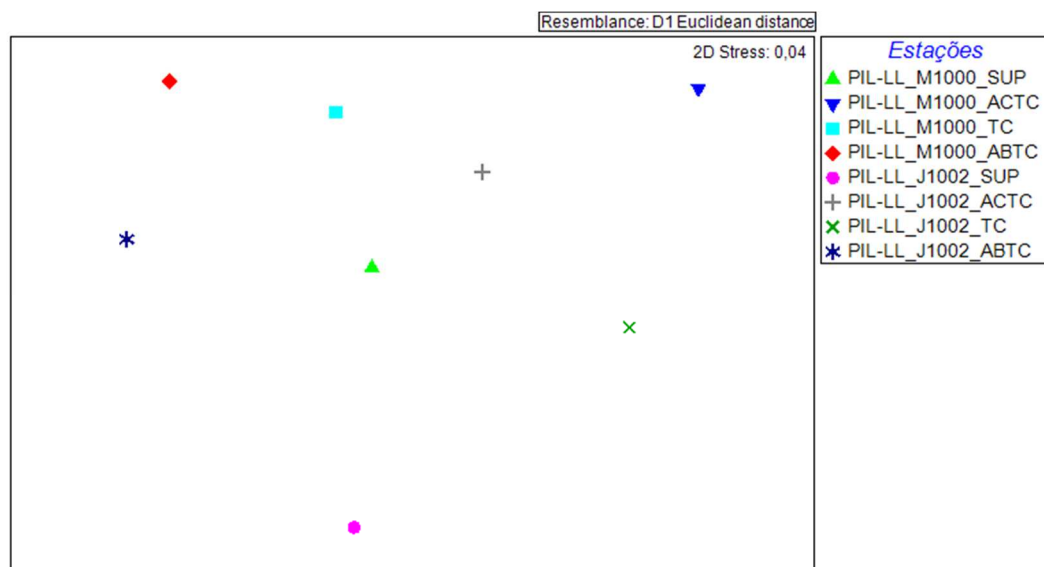
O agrupamento (*cluster*) avalia a aproximação das unidades amostrais em relação às respostas ambientais e biológicas. O agrupamento realizado (Figura VI.1-3) indicou, entre 31,2 e 92% de similaridades. A menor similaridade formou dois grupos principais, separando a amostra PIL-LL_M1000_ACTC das demais, devido, principalmente, à maior concentração de silicato nessa amostra, em relação às demais. Considerando a maior similaridade 92% (linha vermelha), verifica-se o agrupamento entre as amostras PIL-LL-M1000-TC, PIL-LL_M1000_ABTC (com 100% de similaridade) e PIL-LL_J1002_ABTC, devido, provavelmente, às concentrações intermediárias de clorofila *a*, e valores semelhantes de densidade, diversidade e equitabilidade fitoplanctônica.



Legenda: PIL-LL_M1000 = estação 1000 m à montante; PIL-LL_J1002 = estação 1002, 1000 m à jusante; SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina;

Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das estações de amostragem de fitoplâncton da PMPR_PIL-LL_C14.

A análise de escalonamento multidimensional (MDS) é uma técnica de ordenação adequada a dados não-normais, ou em escalas arbitrárias, descontínuas, ou de outra forma questionável (MCCUNE & MEFFORD, 2011). Nessa análise, obteve-se valor de stress igual a 0,04, sendo que quanto menor o valor de stress e mais próximo de zero, melhor a representação dos dados na MDS (KRUSKAL, 1978; CLARKE, 1993). O resultado obtido com a MDS (Figura VI.1-4) mostra-se satisfatório e semelhante ao obtido no cluster, contudo, indica as amostras um pouco mais dispersas entre si, não indicando tanta similaridade entre PIL-LL-M1000-TC, PIL-LL_M1000_ABTC e PIL-LL_J1002_ABTC, como observado no *cluster*.



Legenda: SUP, coleta na superfície; ACTC, coleta acima da termoclina; 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 PMPR_PIL-LL_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). A diversidade de grupos do fitoplanctônico marinho, 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 taxos 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 mais discretas.

O fitoplanctônico encontra-se à deriva na coluna d'água, distribuindo-se vertical e horizontalmente (ESTEVES, 2011). Esse grupo está constantemente sujeito à interação de diferentes fatores ambientais e biológicos, variando em diferentes escalas espaciais e temporais (WILLIAM *et al.*, 1993). Diversos fatores ambientais, tais como temperatura da água, intensidade luminosa, concentração de CO₂,

disponibilidade de nutrientes, turbidez, MPS, pH, salinidade, acidificação, radiação, concentração de matéria orgânica, e também interações biológicas, exercem pronunciados efeitos à sua estrutura, dinâmica e, conseqüentemente, à produtividade fitoplanctônica (FRANCO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011, RICHA *et al.*, 2014).

No contexto do atual monitoramento foram verificadas algumas correlações de *Spearman* significativas, negativas e positivas. Destacam-se as correlações negativas entre riqueza e diversidade com o MPS e da equitabilidade com a temperatura e a positiva de diversidade com OD. Além das correlações, destaca-se também a principal influência do MPS na variação espacial das amostras, juntamente com a tendência de maior riqueza e diversidade entre as amostras com menor concentração de MPS.

Embora diferentes fatores ambientais tenham a propriedade de influenciar a variabilidade das amostras, apenas MPS mostrou influenciar a variabilidade espacial das amostras, juntamente com a riqueza e diversidade fitoplanctônica, que tenderam a apresentar relação positiva com as amostras, em condição de menor concentração de MPS (ACP, Figura VI.1-1). O MPS tem a propriedade de reduzir a transparência da água, podendo afetar e reduzir a produtividade primária fotossintética. 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). Com relação à correlação negativa da temperatura com a equitabilidade e a correlação positiva de OD com a diversidade, 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 temperatura também pode limitar a solubilidade do OD, ou seja, quanto e quanto mais fria a água (menor temperatura), maior solubilidade de OD (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009; LEVINTON, 2009, ESTEVES, 2011).

Em geral, as respostas biológicas às variações ambientais serão mais ou menos pronunciadas, dependendo da escala de variação e, portanto, influenciarão ou não a estrutura e a dinâmica da comunidade planctônica. Ao influenciarem a dinâmica e a estrutura fitoplanctônica, os parâmetros ambientais também influenciam, 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

Na Tabela VI.1-2 e Figura VI.1-5 a Figura VI.1-8 são apresentadas as características biológicas da comunidade zooplanctônica e ictioplanctônica e ambientais obtidas através de diferentes formas de coleta.

Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos e variáveis ambientais das comunidades zooplânctônicas e ictioplânctônicas do PMPR_PIL-LL_C14.

	Zooplâncton				Ictioplâncton							
	M100 0 (HOR)	J100 2 (HOR)	M100 0 (OBL)	J100 2 (OBL)	300µm -M1000 (HOR)	500µm m M1000 (HOR)	300µm -J1002 (HOR)	500µm -J1002 (HOR)	300µm -M1000 (OBL)	500µm -M1000 (OBL)	300µm -J1002 (OBL)	500µm -J1002 (OBL)
Densidade Zoo: ind/m³	301,75	372,53	510,96	410,00	68,30	31,59	52,10	18,00	56,71	15,14	61,75	12,85
Ictio: ind/100m³												
Riqueza	36,00	35,00	37,00	38,00	8,00	5,00	11,00	10,00	13,00	10,00	12,00	6,00
Diversidade (bits/ind)	3,69	3,26	2,95	3,57	1,36	1,07	1,81	1,95	1,99	1,89	2,15	1,24
Equitatividade	0,71	0,64	0,57	0,68	0,84	0,77	0,82	0,94	0,90	0,97	0,94	0,90
Temperatura °C	27,78	27,83	27,62	27,63	27,78	27,78	27,83	27,83	27,62	27,62	27,63	27,63
Salinidade (‰)	36,80	36,84	36,77	36,82	36,80	36,80	36,84	36,84	36,77	36,77	36,82	36,82
OD (mg/L)	6,66	6,66	6,62	6,63	6,66	6,66	6,66	6,66	6,62	6,62	6,63	6,63
pH	7,99	8,01	8,02	8,03	7,99	7,99	8,01	8,01	8,02	8,02	8,03	8,03
Silicato (mg/L)	0,09	<0,05	0,36	0,09	0,09	0,09	<0,05	<0,05	0,36	0,36	0,09	0,09
MPS (mg/L)	1,52	1,30	2,03	1,91	1,52	1,52	1,30	1,30	2,03	2,03	1,91	1,91
Clorofila a (mg/L)	0,17	0,67	0,17	0,54	0,17	0,17	0,67	0,67	0,17	0,17	0,54	0,54
COT (mg/L)	1,56	1,29	1,33	1,30	1,56	1,56	1,29	1,29	1,33	1,33	1,30	1,30

Legenda: M1000, estação montante; J1002, estação jusante; HOR, arrasto horizontal de superfície e OBL, arrasto oblíquo de termoclina para superfície; OD oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão.

A comunidade zooplancônica apresentou a maior densidade na amostra PIL-LL_M1000_OBL, seguida pela amostra PIL-LL_J1002_OBL. Nessas amostras também se observou maiores valores de riqueza, embora ela não tenha variado muito entre as amostras. Tais variações ocorreram juntamente com maior pH, maiores concentrações de MPS e menores de OD. A amostra PIL-LL_M1000_OBL, que deteve a maior densidade, também apresentou menor diversidade e equitabilidade, juntamente com maior concentração de silicato e MPS e menor salinidade. Nos arrastos horizontais de ambas as estações, ocorreram as menores densidades, riquezas, juntamente com maiores temperaturas e concentrações de OD. Considerando apenas a amostra PIL-LL_M1000_HOR, as maiores diversidades e equitabilidades foram registradas nessa amostra, quando também houve registro de maior concentração de COT e menor de clorofila *a*.

Com relação à comunidade ictioplanctônica, nas amostras de arrasto horizontal de PIL-LL_M1000, observou-se maior densidade na malha de 300 µm, enquanto que na malha de 500 µm foram registrados os menores valores de riqueza, diversidade e equitabilidade. Tais variações ocorreram juntamente com menor pH e maior concentração de COT, quando comparada às demais amostras. Ainda em PIL-LL_M1000, porém no arrasto oblíquo, observou-se maior riqueza, na malha de 300 µm e maior equitabilidade, na malha de 500 µm, juntamente com menor temperatura e salinidade e maior concentração de silicato e MPS. Por fim, na amostra PIL-LL_J1002_OBL, destaca-se a menor densidade na malha de 500 µm e a maior diversidade na malha de 300 µm, contudo não se observa variações dos parâmetros físicos químicos que se destaquem em relação às demais amostras, exceto, em relação ao pH que foi maior, embora esse parâmetro não tenha variado muito entre as amostras.

Destaca-se, que embora a exploração dos dados indique relação entre os indicadores biológicos e algumas variáveis ambientais não é possível estabelecer uma relação causal entre os parâmetros abióticos e indicadores biológicos com base nos dados analisados.

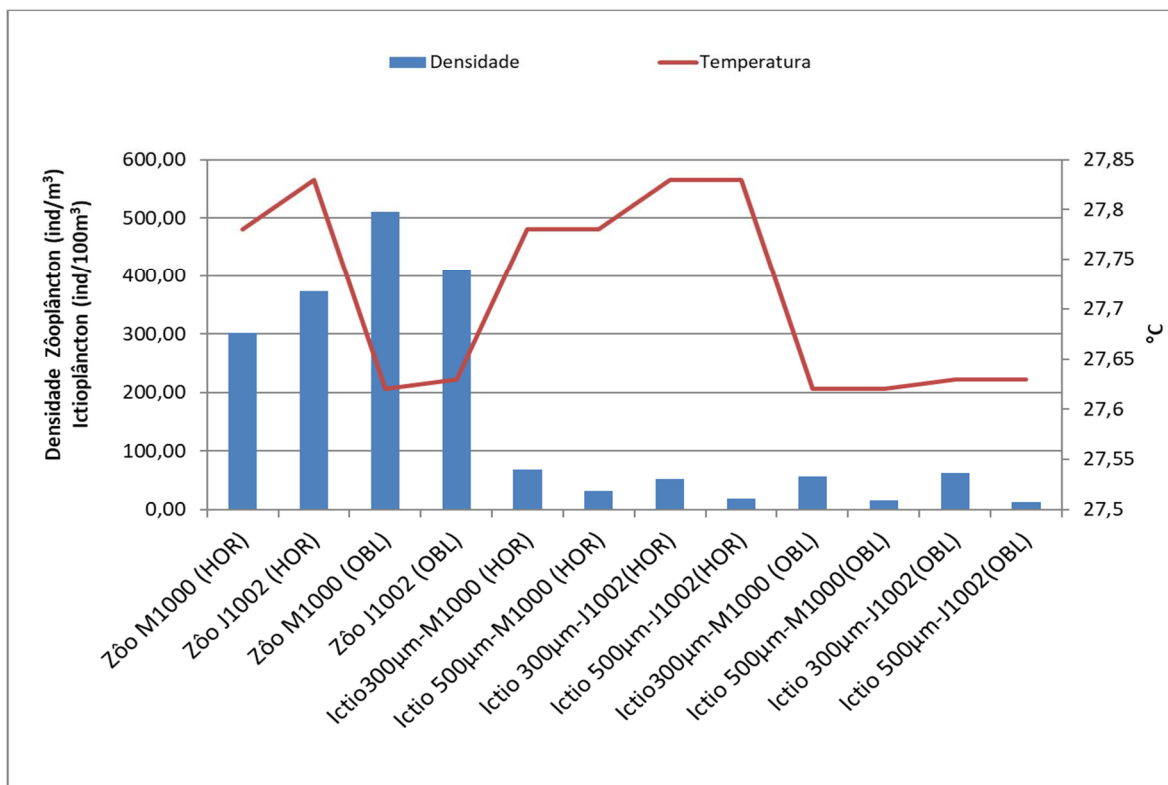


Figura VI.1-5 - Relação temperatura com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

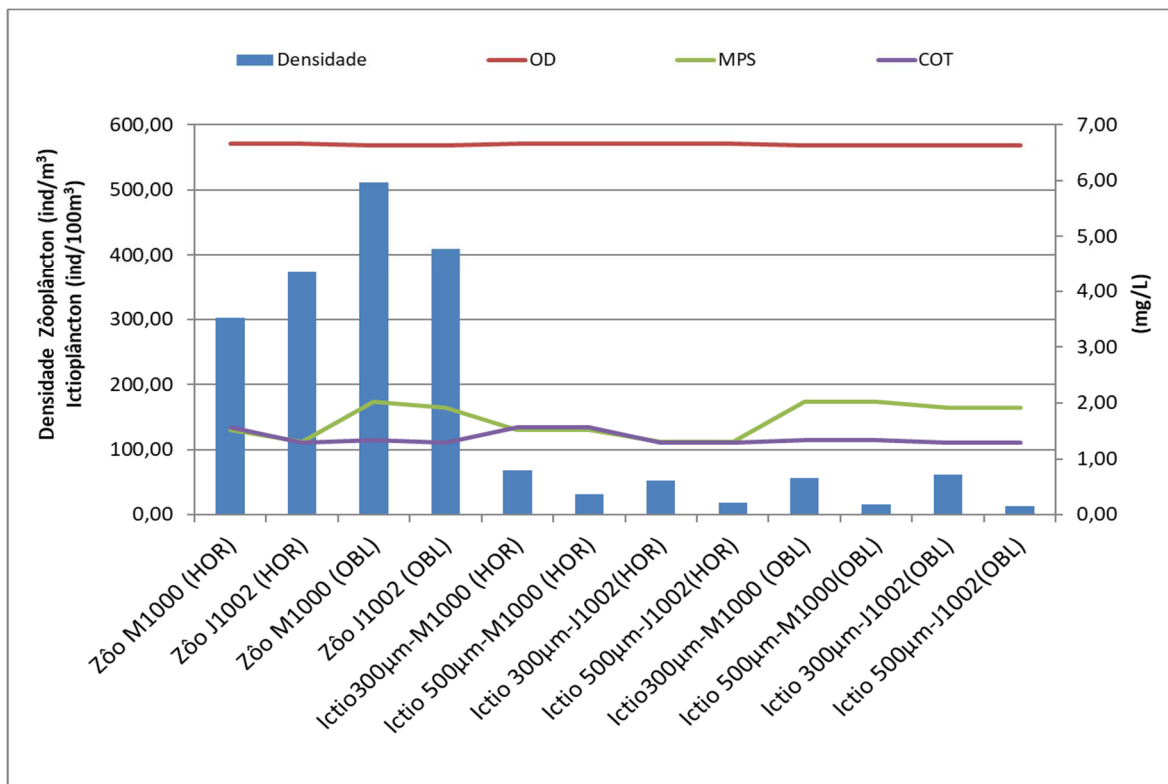


Figura VI.1-6 - Relação de MPS, COT e OD com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

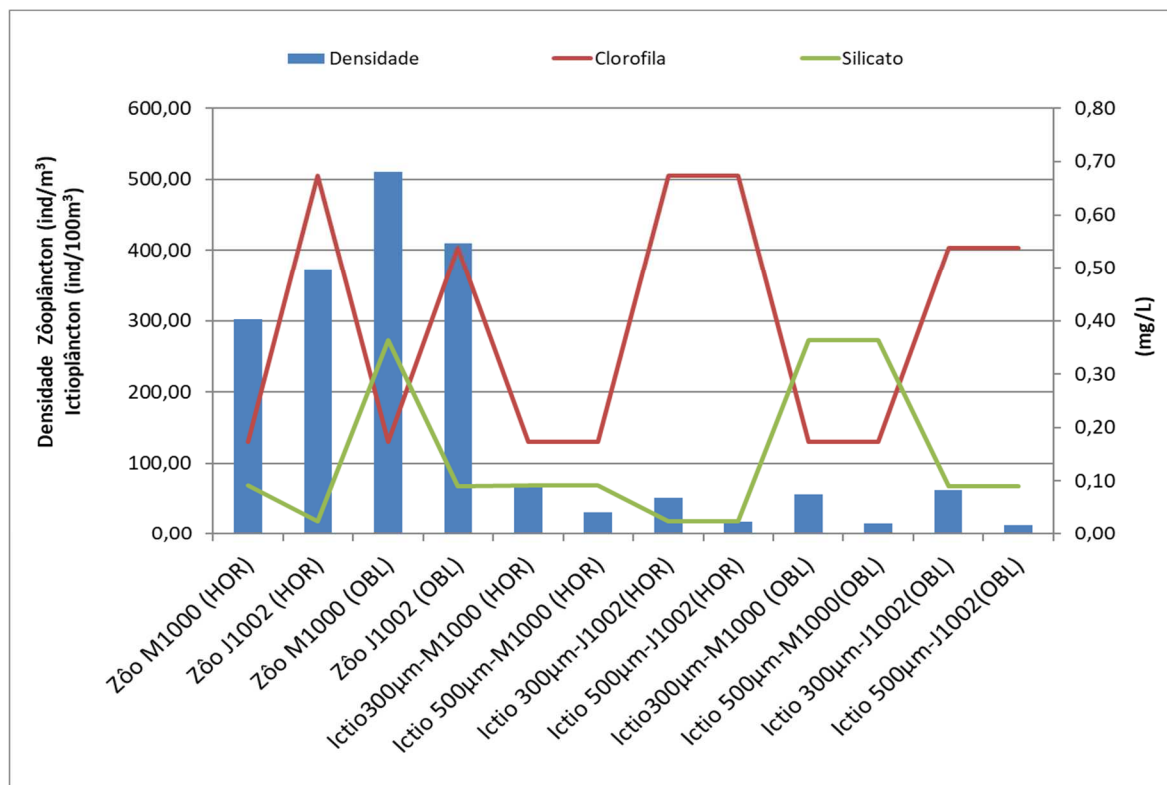


Figura VI.1-7 - Relação da clorofila-a e silicato com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

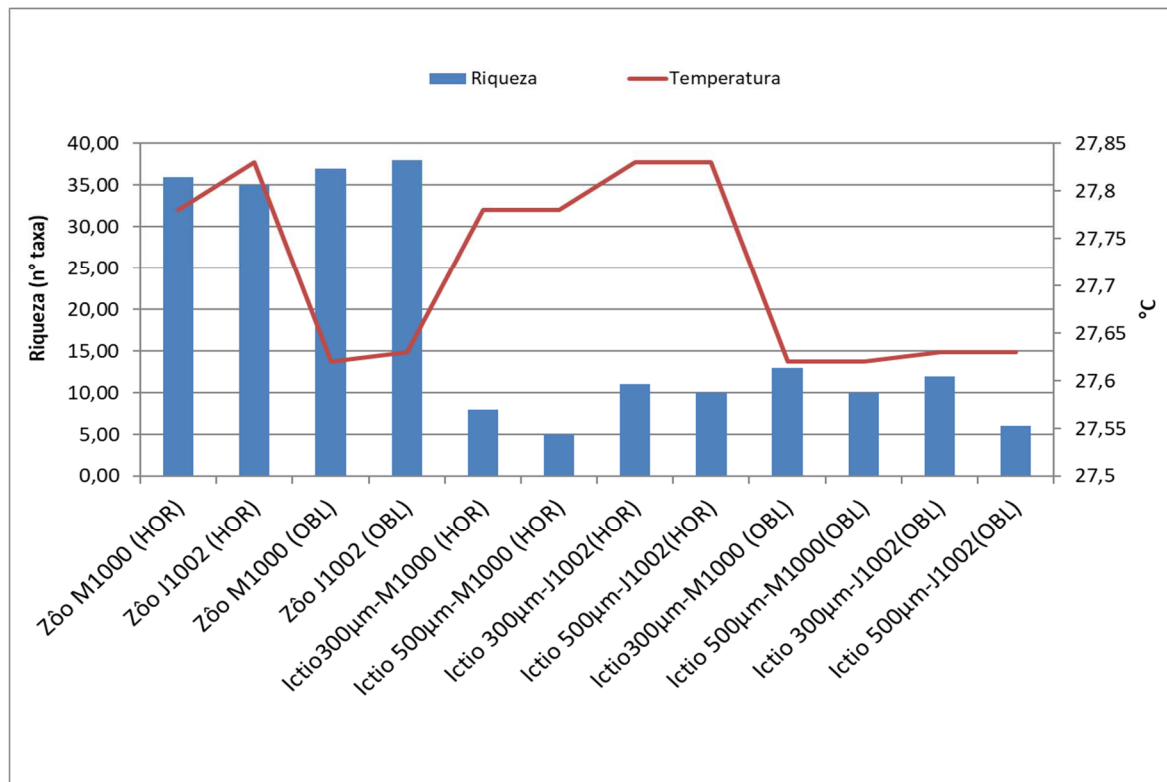


Figura VI.1-8 - Relação de temperatura com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

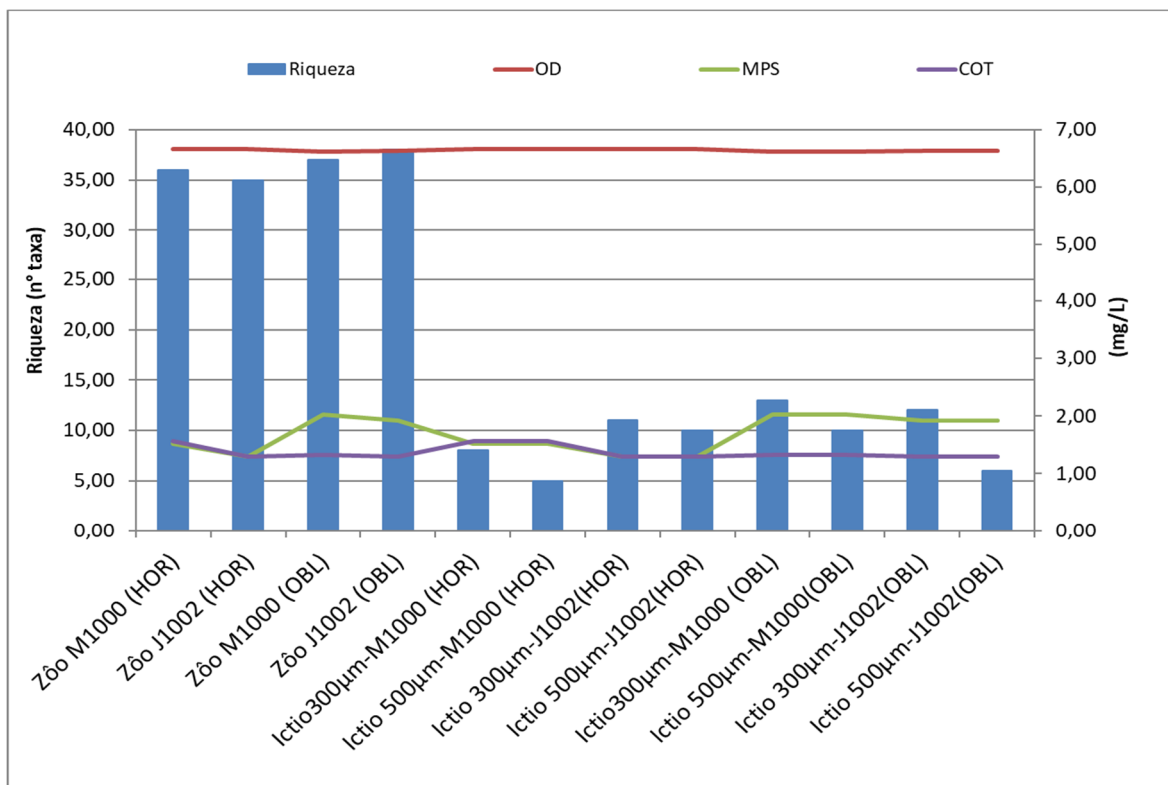


Figura VI.1-9 - Relação de MPS, COT e OD com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

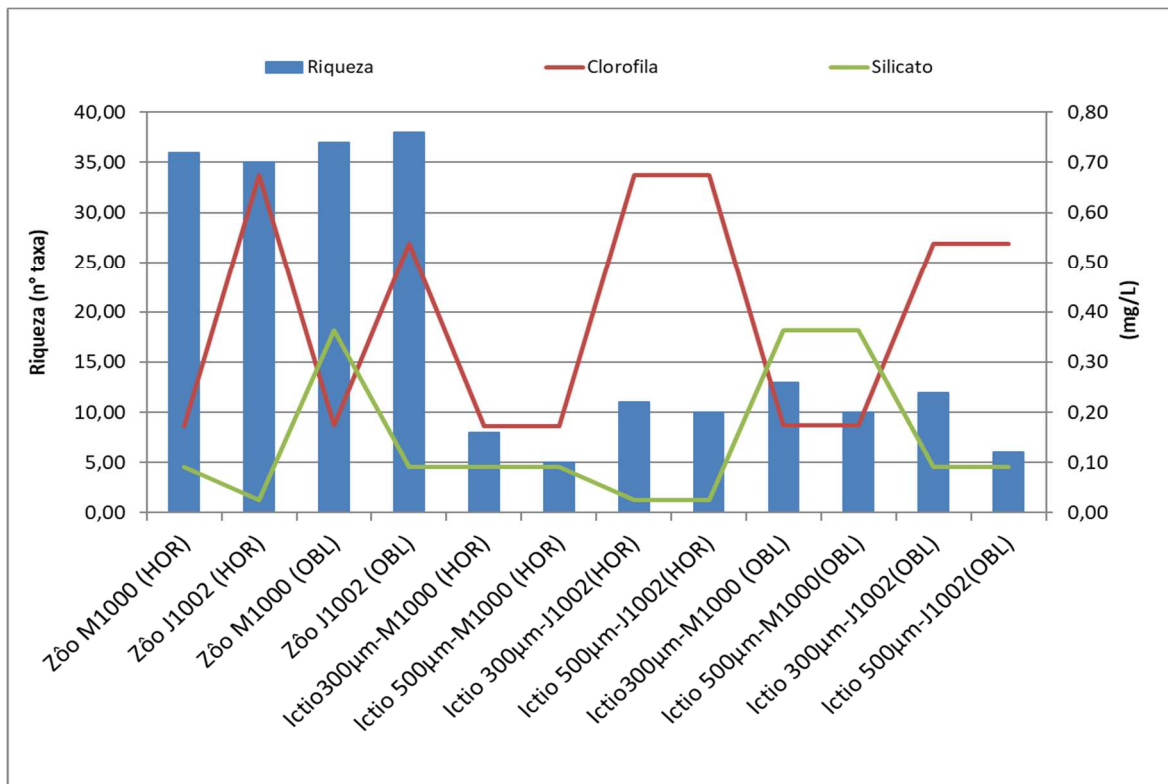


Figura VI.1-10 - Relação da clorofila-a e de silicato com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

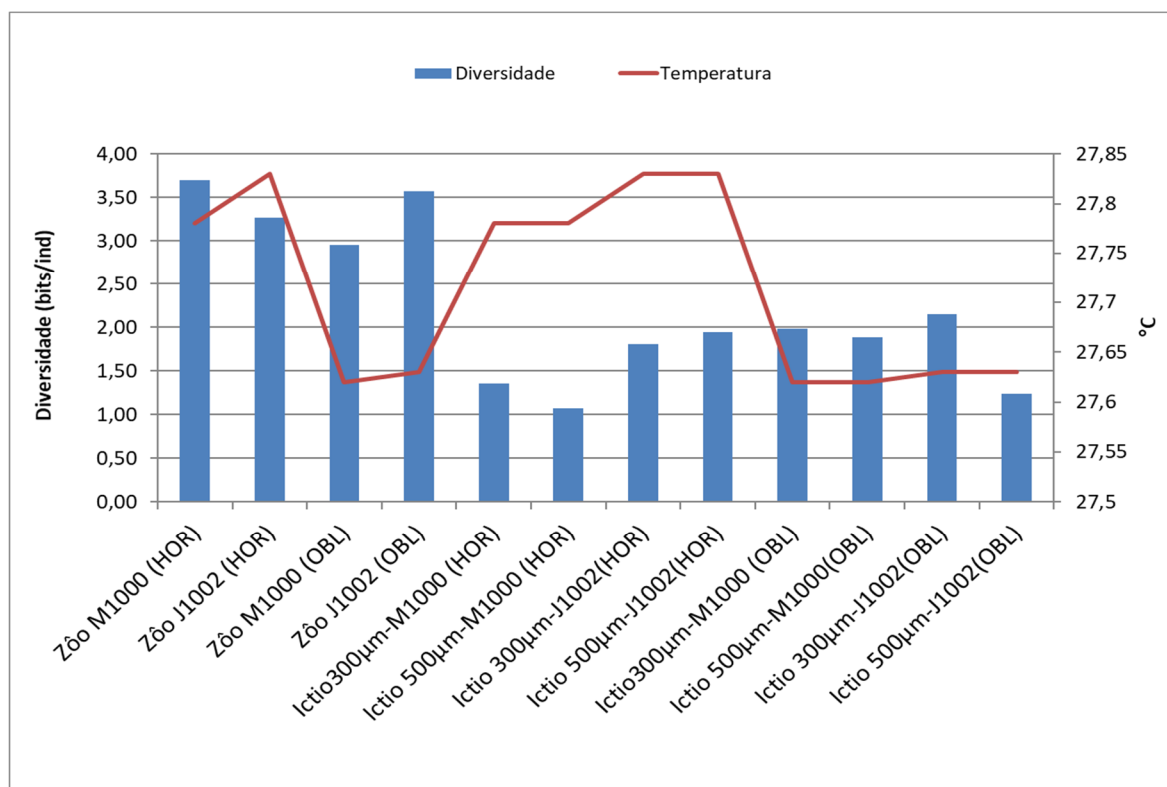


Figura VI.1-11 - Relação de temperatura com a diversidade zoo e ictiofite da PMPR_PIL-LL_C14.

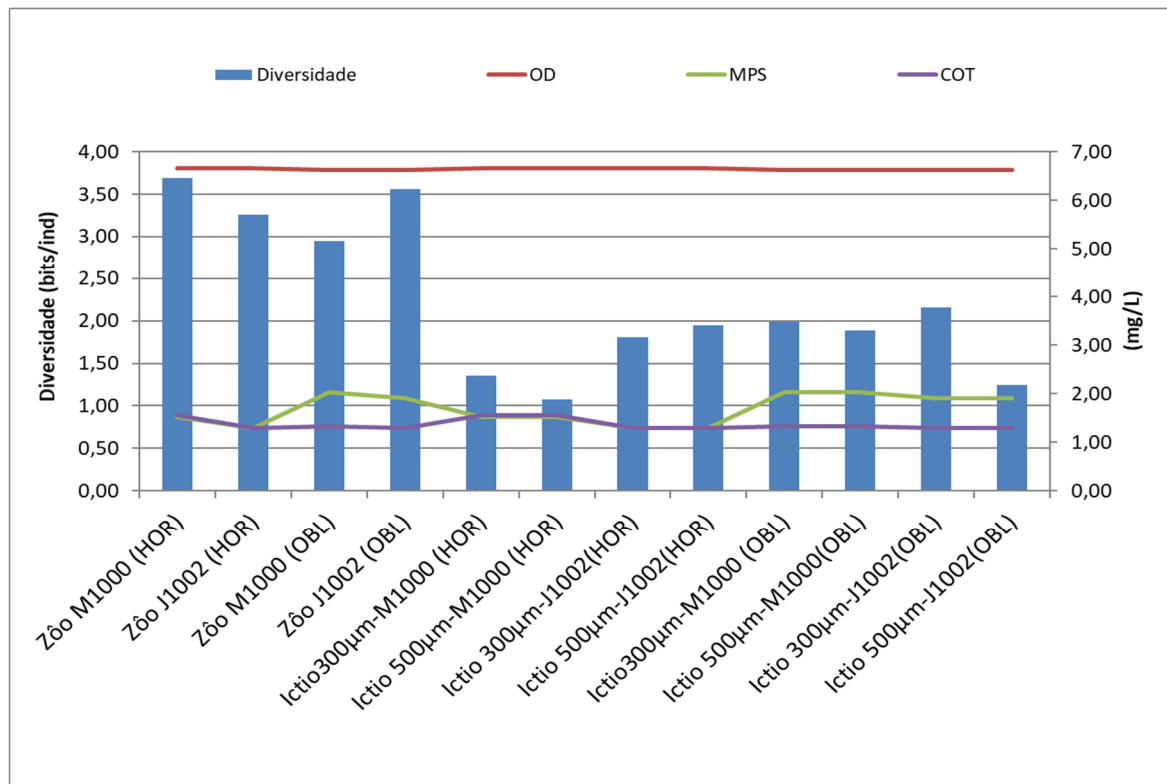


Figura VI.1-12 - Relação de MPS, COT e OD com a diversidade zoo e ictiofite da PMPR_PIL-LL_C14.

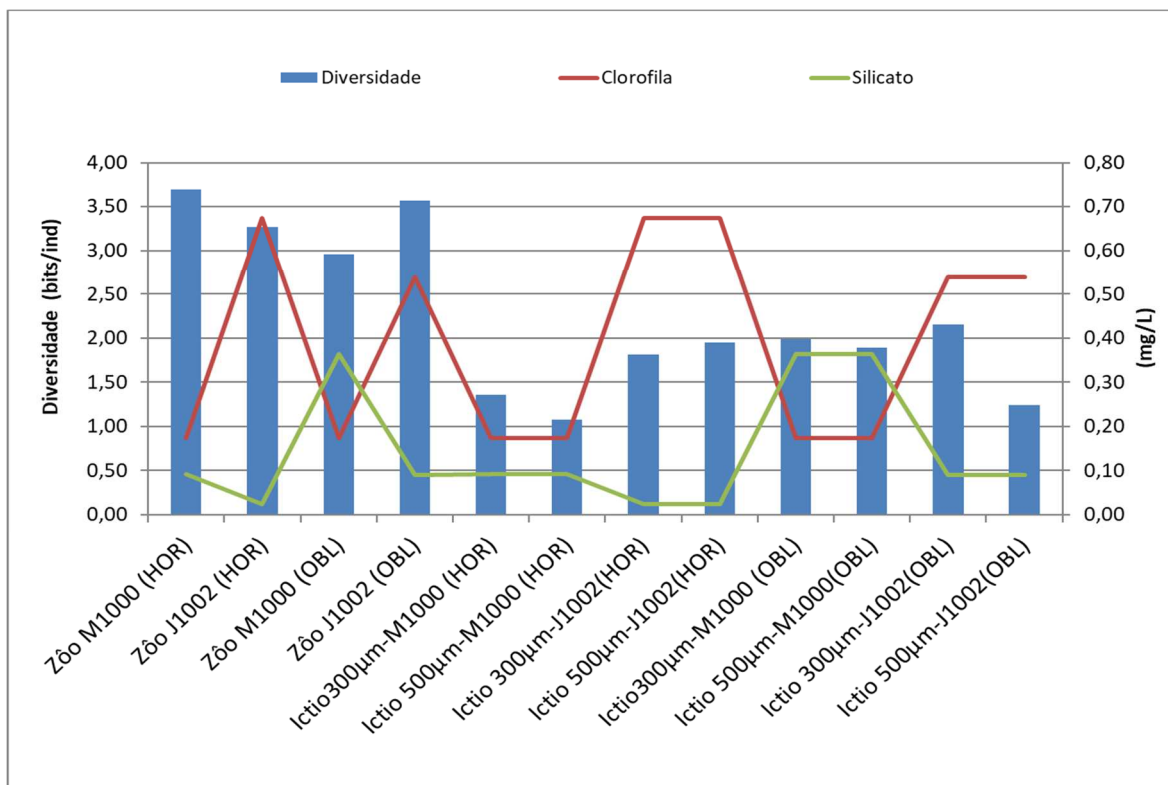


Figura VI.1-13 - Relação da clorofila-a e silicato com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

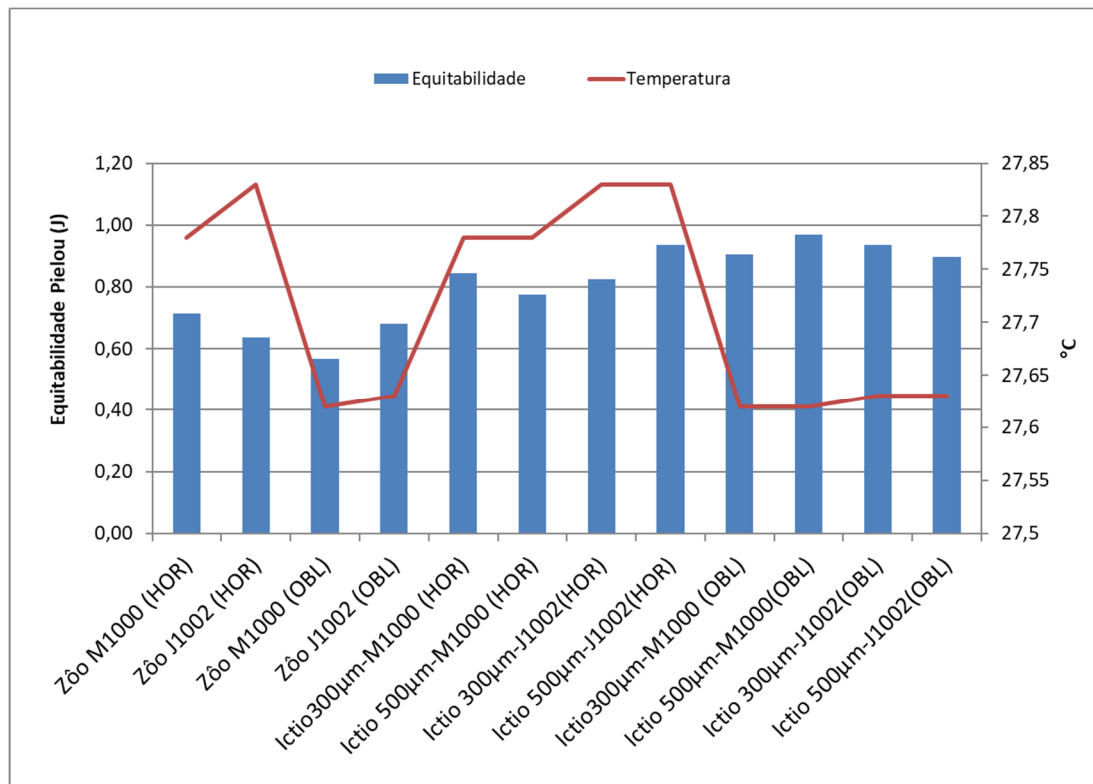


Figura VI.1-14 - Relação de temperatura com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

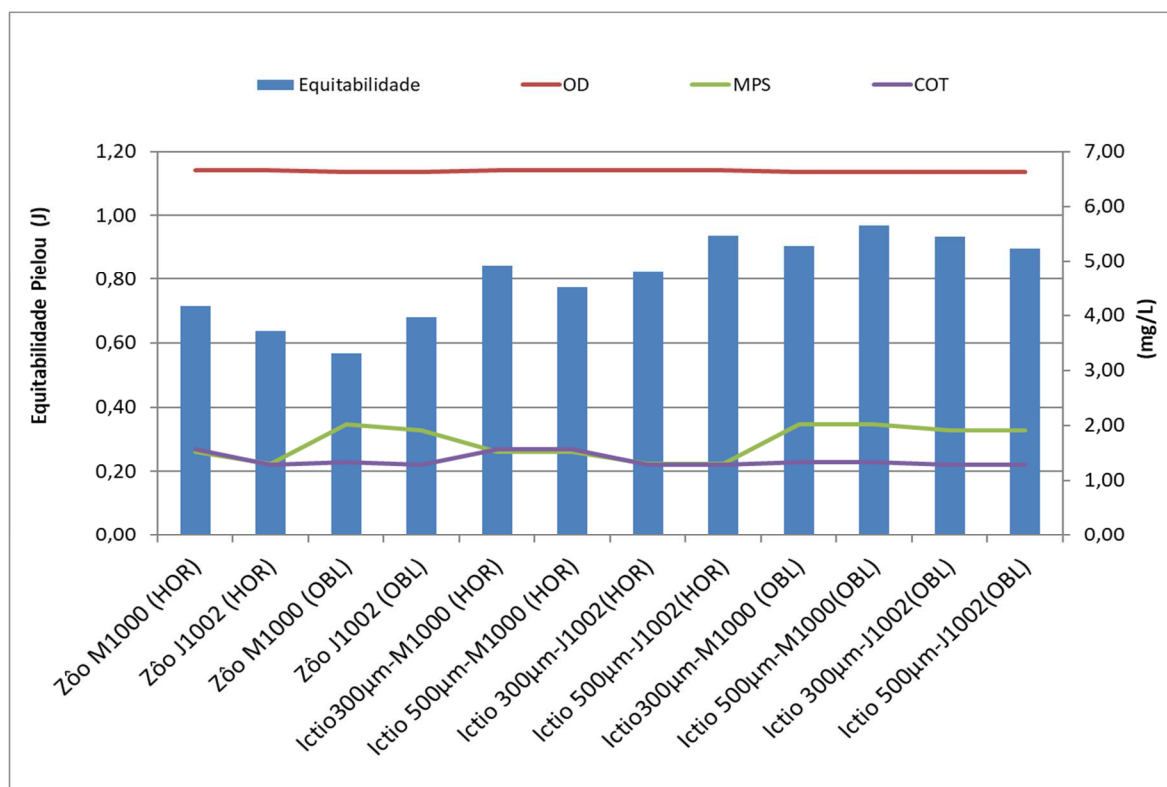


Figura VI.1-15 - Relação de MPS, COT e OD com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

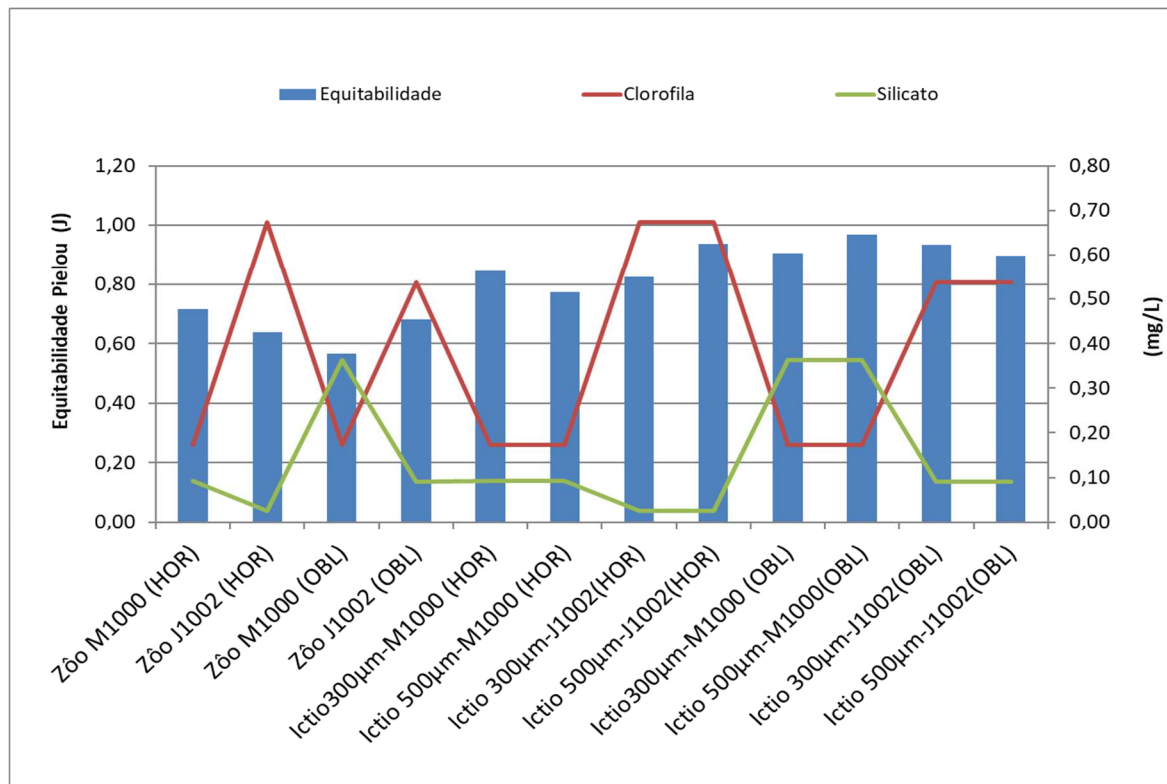


Figura VI.1-16 - Relação da clorofila-a e silicato com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-LL_C14.

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 (GARRISON, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017). 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). Dessa forma, juntamente com a comunidade ictioplanctônica, compõem importantes componentes do sistema, constituindo elos estruturadores das cadeias alimentares (BEAUGRAND *et al.*, 2003; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; STEINBERG & LANDRY, 2017).

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. 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).

Contudo, embora tenham sido observadas variabilidades conjuntas, e se saiba que os fatores ambientais desempenham importantes funções na dinâmica dessas comunidades (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009), é importante ressaltar que, para esse estudo, interpretações mais profundas acerca de relações entre os parâmetros ambientais e biológicos dessas comunidades podem ser mascaradas

ou inferidas erroneamente, devido ao pequeno número de estações amostrais, não indicando relações de causa e efeito.

Finalmente, o entendimento das inter-relações entre organismos e o ambiente é crescente em estudos ecológicos (WILLIAM *et al.*, 1993) e em monitoramentos ambientais. Considerando-se que os indicadores biológicos são estruturadores das comunidades planctônicas e respondem a um complexo conjunto de fatores físicos, químicos e biológicos (PINTO-COELHO *et al.*, 1999; FRANCO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011), é importante avaliar as variações espaciais e temporais das condições ambientais, devido à propriedade de promoverem mudanças na atividade planctônica e na abundância dessas comunidades.

VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 14ª campanha da fase de operação do Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos. Os resultados referem-se à qualidade da água e comunidade planctônica, sendo que os dados adquiridos subsidiaram a avaliação de possíveis alterações ambientais no local em decorrência da operação do PMPR_PIL-LL na região.

Com relação à qualidade da água, os resultados obtidos para os parâmetros de clorofila-a, MPS, COT e nutrientes durante a atual campanha de monitoramento são característicos de áreas oligotróficas (EKAU & KNOPPERS, 1999) e condizentes com os valores descritos para a região do empreendimento nas campanhas de monitoramento realizadas anteriormente (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2018b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 202c, 2023a, 2023b, 2023c), embora tenham sido verificadas algumas exceções, como da clorofila-a e MPS, que tenderam a apresentar concentrações superiores. Os dados de temperatura e salinidade obtidos evidenciaram que todas as amostras foram coletadas em Águas Tropicais (AT) e em profundidade onde ainda não havia influência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Além disso, todos os parâmetros avaliados na atual campanha estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

Na presente campanha, assim como na maioria das campanhas anteriores do monitoramento do PMPR_PIL-LL, as concentrações de fenóis, BTEX, n-alcanos, MCNR e HTPs estiveram sempre abaixo do limite de quantificação da análise, evidenciando, assim, que não há indícios de contaminação por essas substâncias no entorno do local de operação do empreendimento.

Com relação aos descartes da água de produção, a comparação dos parâmetros avaliados em comum com o monitoramento ambiental (temperatura,

salinidade, pH, nitrogênio amoniacal, COT, HPA, BTEX e fenóis) mostrou que a sua influência não pôde ser claramente identificada para nenhum dos parâmetros, a partir de 100 m à jusante do ponto de descarte em nenhuma das profundidades amostradas.

A comunidade fitoplanctônica da atual campanha corrobora com os dados obtidos em campanhas realizadas anteriormente na região. Não foi observado um padrão de distribuição para os parâmetros analisados, nem zonação vertical, exceto em relação à densidade, principalmente, em que foram observados maiores na superfície de ambas as estações. Estes organismos são diretamente influenciados pela incidência luminosa na coluna d'água e, portanto, maior riqueza e densidade são esperados na camada mais superficial.

Os dados de zooplâncton na atual campanha são condizentes com os dados registrados nas campanhas anteriores. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas anteriores do monitoramento da atividade do PMPR_PIL-LL para todos os indicadores biológicos analisados. As amostras da atual campanha apresentaram contribuição relativa dos filos bastante similar, assim como sua composição proporcional, com dominância de taxa de Arthropoda e dominância de densidade de Mollusca. As amostras PIL-LL_J1002_HOR e PIL-LL_J1002_OBL foram agrupadas com 90% de similaridade, devido, provavelmente, aos valores muito similares de densidade de Chaetognata, Chordata, Mollusca e Bryozoa entre essas amostras.

Os dados de ictioplâncton corroboram a literatura citada ao longo da discussão, pois os valores registrados na atual campanha encontram-se na faixa de variação dos valores obtidos em campanhas realizadas anteriormente na área do monitoramento da atividade do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL. Foram observadas diferenças significativas para todos os parâmetros analisados. O maior valor de riqueza foi observado no arrasto oblíquo com a malha de 300 da estação PIL-LL_M1000, enquanto maiores densidade foram observadas nas amostras dos arrastos horizontais e oblíquos com malhas de 300µm de ambas as estações. De maneira geral, diversidade variou de baixa a média diversidade, enquanto a equitabilidade foi elevada na maioria das amostras, apontando para uma comunidade pouco diversa e com uma composição específica relativamente igualitária nas amostras. A análise *Cluster* separou as amostras em dois grupos,

com 70% de similaridade, um composto pelas amostras PIL-LL_J1002_OBL_500, PIL-LL_M1000_OBL_500 e PIL-LL_J1002_HOR_500 e outro, pelas demais amostras, provavelmente devido aos menores valores de densidade e maiores valores de equitabilidade nessas amostras.

Na análise integrada realizada verifica-se a variação espacial das estações amostrais do ambiente pelágico em termos ambientais e biológicos. Considerando-se as características ambientais, a variação entre as amostras ocorre, principalmente em função das concentrações de MPS. Em relação às características ambientais e fitoplanctônicas analisadas nas estações PIL-LL_M1000 e PIL-LL_J1002, foram identificadas correlações de *Spearman* negativas significativas entre riqueza e diversidade fitoplanctônica e MPS, entre equitabilidade e temperatura, e positiva entre diversidade e OD. Também se observou que a variação das amostras ocorreu principalmente em função das concentrações de MPS. E nesse contexto, observou-se a tendência de maior riqueza e diversidade entre as amostras com menores concentrações e MPS, são elas: PIL-LL_M1000_SUP, PIL-LL_M1000_TC, PIL-LL_M1000_ABTC, PIL-LL_J1002_SUP e PIL-LL_J1002_ABTC.

Quanto à dinâmica da comunidade zooplanctônica, as maiores densidades e riquezas ocorreram no arrasto oblíquo de ambas as estações, juntamente com tendência a maior pH, concentração de MPS, e menor OD. O inverso ocorreu em nos arrastos horizontais de ambas as estações, apresentando os menores valores de densidade, riqueza zooplanctônica, juntamente com maior temperatura e OD.

Em relação à comunidade ictioplanctônica, a estação PIL-LL_M1000 se destacou com os maiores e menores valores da maioria dos índices ecológicos. Nos arrastos horizontais, houve maior densidade (malha de 300 µm) e menor riqueza, diversidade e equitabilidade (malha de 550 µm), quando observou-se maior COT e menor pH. Nos arrastos oblíquos, houve maior riqueza (malha de 300 µm) e equitabilidade (500 µm), juntamente com maior silicato e MPS e menor salinidade e temperatura.

A partir dos resultados obtidos nesta 14ª campanha do PMAEpro-BP_PMPR_PIL-LL, Bacia de Santos, foi possível concluir que, atualmente, a região no entorno do empreendimento não apresenta resultados acima dos limites permitidos pela legislação para todos os parâmetros. Também não há indicativos

de contaminação pelas atividades de produção realizadas pelo empreendimento em questão. Ressalta-se ainda que não foram observadas alterações nos indicadores biológicos do plâncton em relação ao *background* da região que pudessem ser relacionadas com a atividade.

VIII - BIBLIOGRAFIA

AIDAR, E., GAETA, S.A., GIANESELLA-GALVÃO, D.M.F., KUTNER, M.B.B. & TEIXEIRA, C. 1993. Ecossistema 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, 10: 9-13.

AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. 1983. Manuel dês analyses chimiques em milieu Marin. **1 ère Ed. Brest Cedex**, Centre National pour l'Exploitation dês Océans (CNEXO), 395p.

ARAÚJO, H. & MONTÚ, M. 1993. Novo registro de *Temora turbinata* (Dana, 1949) (Copepoda, Crustacea) para águas atlânticas. **Nauplius**, Rio Grande, 1: 89-90.

BAINES, S.B. & PACE, M.L. 1991. The production of dissolved organic matter by phytoplankton and its importance to bacteria: Patterns across marine and freshwater systems. **Limnol. Oceanogr.**, 36: 753-762.

BAIRD, C. 2002. **Química ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Brookman.

BAMBI, P., DIAS, C.A.A. & PINTO-SILVA, V. 2008. Produção primária do fitoplâncton e as suas relações com as principais variáveis limnológicas na baía das pedras, pirizal nossa senhora do livramento, Pantanal de Poconé – MT. **Uniciências**, v.12.

BARBOSA, J.E.L. 2002. **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**. Universidade Federal de São Carlos.

BASSANI, C. et al. 1999. Plâncton do litoral norte do Estado do Rio de Janeiro (21°00' a 23°30'S): análise e síntese do conhecimento. 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, p.99-120.

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.

BJÖRNBERG, T.K.S. 1981.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, p. 587-679.

BOCARD, D., GILLET, F. & LEGENDRE, P. 2011. Numerical Ecology with R. **Springer Science+Business Media**, 306p.

BOLD, H.C. & WYNNE, M.J. 1985. **Introduction to the algae**. 2. ed. New Jersey: Prentice -Hall, p. 720.

BOLTOVSKOY, E. 1981. **Atlas del zooplancton del atlantico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplankton marino**. pp. 760-791.

BONECKER, A.C.T., BONECKER, S.L. & BASSANI, C. 2009. Plâncton marinho. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 104-125.

BONECKER, A. C. T. et al. 2014. Ordem Anguilliformes. In Catalogo dos estágios iniciais de desenvolvimento dos peixes da bacia de Campos [online]. Curitiba: Sociedade Brasileira de Zoologia, pp. 11-30. **Zoologia: guias e manuais de identificação series**. ISBN 978-85-98203-10-2.

BOULOUBASSI, I. 1990. **Aspects de labiogéochimiedeshydrocarbures non aromatiques et aromatiques danslacolonne d'eau et lessediments Du 42 milieucôtier:casdu delta du Rhône**. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, France, 344 p.

BOULOUBASSI, I. & SALIOT, A. 1993. Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbons markers (NAH, LAB, PAH). **Oceanologica Acta**, 16(2): 145-161.

BOYD, C.E. 2001. **Manejo da qualidade da água na aquicultura e no cultivo do camarão marinho**. Associação Brasileira de Criadores de Camarão – ABCC. Recife, PE, p. 157.

BOYD, C.E. 1990. **Water Quality in Pond Aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, AL, p. 442.

BRADFORD-GRIEVE, J. M. et al. 1999. Copepoda. In: BOLTOVSKOY, D. (ed.). **South Atlantic Zooplankton**. Leiden, Backhuys. 2: 869-1098.

BRAGA, E.S. & NIENCHESKI, L.F.H. 2006. 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, p. 161-218.

BRANCO, L.H.Z. et al. 2003. Biodiversidade e considerações biogeográficas das Cyanobacteria de uma área de manguezal do estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, 17: 585-596.

BRANDINI, F.P. et al. 1997. **Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisão bibliográfica**. MMA, CIRM, FEMAR, 196 p.

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, 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, de 09 de agosto de 2007. Seção 1, p. 72-73.

BYRNE, G.J. et al. 1988. Observations of the statospheric conductivity and its variation at three latitudes. **Journal of Geophysical Research** 93(D4): doi: 10.1029/88JD01635. issn: 0148-0227.

CAROLA, M. 1994. Checklist of the marine planktonic Copepoda of Southern Africa and their worldwide geographic distribution. **S. Afr. J. Mar. Sci.**, 14: 225- 253.

CASTRO FILHO, B.M. & MIRANDA, L.B. 1998. Physical oceanography of the Western atlantic continental shelf located between 4º N and 34º 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. p. 209-251.

CASTRO, B.M., LORENZZETTI, J.A., SILVEIRA, I.C.A. & MIRANDA, L. B. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L.S.P. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. **Editora da Universidade de São Paulo**. 472 p.

CASTRO, N.O. & MOSER, G.A. 2012. Florações de algas nocivas e seus efeitos ambientais. **OecologiaAustralis**, v. 16, n. 2, p. 235-264.

CENPES/PDEDS/AMA. 2019. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico.**

CENPES/PDEDS/AMA. 2013. Caracterização Ambiental da Bacia de Santos: Fase I: Síntese dos Dados Ambientais Pretéritos: Anexo II: Meio Biológico: Domínio Pelágico. RT AMA nº 15/2013. **Relatório Síntese: Final.**

CETESB. 2008. **Variáveis de Qualidade de Águas.** Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 08 de julho de 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. 2003. **Marine Geochemistry.** 2nd Ed. Liverpool: Blackwell Publishing Company.

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

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

COELHO-BOTELHO, M. J. et al. 1999. Aspectos do zooplâncton da baía de Sepetiba (R), Brasil. **Oecologia brasiliensis**, 7: 1-33.

CUSHING, D. H. 1977. **Marine ecology and fisheries.** Cambridge Univ. Press, Cambridge. 278 p.

DODSON, A.N. & THOMAS, W.H. 1978. Reverse filtration. In Sournia, A. (ed.), **Phytoplankton Manual, Monographs on Oceanographic Methodology 6.** UNESCO, Paris, pp. 104-107.

DUGDALE, R.C. & GOERING, J.J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary production. **Limnol Oceanogr**, 12:199-206.

EKAU, W. & KNOPPERS, B. 1999. 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.

ESKINAZI-SANT'ANNA, E.M. & BJORNBERG, T.K.S. 2000. **Conhecimento atual sobre o comportamento alimentar de copépodoscalanoida em ambientes marinhos**. Trab. Oceanog. Univ. Fed. PE, Recife, 28(1):11-20.

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

ESTEVEES, F. A. 1988 Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro. Ed. **Interciência**/ FINEP, 573p.

ESTEVEES, F. DE A. et al. 2012. Comunidade Zooplanctônica. In: ESTEVEES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 523-580.

ESTEVEES, F.A. & SUZUKI, M.S. 2011. Comunidade Fitoplanctônica. In: ESTEVEES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 375-445.

FALKOWSKI, P.G. et al. 2001. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. **Nature**, London, v. 352, p. 55-58.

FARRINGTON, B.W. & TRIPP, B.W. 1977. Hydrocarbons in western North Atlantic surface sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 41: 1627-1641.

FIALA, M., MACHADO, M.C. & ORIOL, L. 2002. Phytoplankton biomass in the Indian sector of the Ocean during spring. A comparison with the summer situation. **Deep-Sea Research II**, 19: 144-158.

FONSELIUS, S.H. 1983. Determination of hydrogen sulphide. In: GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M., KREMLING, K. (Eds.) **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie Weinheim, New York, p. 73-80.

FRANCO, B.C., MUELBERT, J.H. & MATA, M.M.O. 2005. ictioplâncton da quebra da plataforma da região sul do Brasil e sua relação com as condições ambientais. **Série Documentos Revizee – Score Sul- USP**.

GAETA, S.A. & BRANDINI F.P. 2006. 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, pp. 265,358.

GANNON, J.E. & STEMBERGER, R.S. 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. **Trans. American. Microsc. Soc.**, v. 97, n. 1, p. 16-35.

GARCIA, A. & BRUNE, D.E. 1991. Transport limitation of oxigen in shrimp culture ponds. **Aquac. Eng.** 10: 269-279.

GARRISON, T.S. 2011. **Essentials of Oceanography**. 6ed. Brooks/Cole, USA 466pp.

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

HALLEGRAEFF, G.M., ANDERSON, D.M. & CEMBELLA, A.D. 1995. Manual on harmful marine microalgae UNESCO. 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, 77-97.

HARDY, E., ROBERTSON, B. & KOSTE, E. 1984. About the relationship between the zooplankton and fluctuating water levels of lago Camaleão, Central Amazonian várzea Lake. **Amazoniana** 9: 43-52.

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. 1983. Estimating specie richness using the Jakknife procedure. **Biometrics** 39(1):1-11.

HERCOS, C.M., SCHREINER, S. & FERREIRA, E.T.I. 2023. Deep-water seafloor geomorphic features of the Santos Basin, Southeastern Brazilian Margin, shown by analyses and integration of an extensive 3-D seismic data set. **Ocean and Coastal Research**, 71(suppl 3), e23059.

HILL, I. A., TAIRA, A., FIRTH, J.V., et al. 1993. Proc. ODP, **Sci. Results.**, 131: College Station, TX (Ocean Drilling Program).

HUGHES, R.N., HUGHES, D.J. & SMITHI, I. P. 2013. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review**. Volume 51. CRC Press 386p.

HUTCHINSON, G.E.A. 1967. Treatise on limnology: introduction to lake biology and the limnoplankton. [S.I.]: New York. John Wiley & Sons.

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.

JACKSON, D.A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology** 74: 2204-2214.

JEFFREY, S.W., MANTOURA, R.F.C. & WRIGHT, S.W. 1997. **Phytoplankton pigments in oceanography**. SCOR, UNESCO Publishing Paris.

JIANG, Z-P., TONG, Y., TONG, M., YUAN, J., CAO, Q & PAN, Y. 2021. The Effects of Suspended Particulate Matter, Nutrient, and Salinity on the Growth of *Amphidinium carterae* Under Estuary Environmental Conditions. **Frontiers in Marine Science**. DOI: 10.3389/fmars.2021.690764.

KOENING, M.L. & MACÊDO, S.J. 1999. Hydrology and phytoplankton community structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology** 42(2): 381-392.

KOLESNIKOVAS, C., OLIVEIRA, de E. & DUARTE, U. 2009. **Águas Subterrâneas**, 23(1): 31-44.

KREBS, C.J. 1999. **Ecological methodology**. [S.l.]: Addison Wesley Longman, p. 620.

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

LALLI, C.M. & PARSONS, T.R. 1997. **Biological Oceanography: Na Introductions**. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Ltd., pp. 220-233.

LAMPERT, W. & SOMMER, U. 1997. **Limnology: the ecology of lakes and streams**. New York: Oxford University, 382 p.

LOURENÇO, S.O. & MARQUES-JR, A.N. 2009. Produção primária marinha. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). **Biologia Marinha**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 111-153.

MACEDO, J.A.B. 2007. **Águas & águas**. Belo Horizonte, MG: CRQ-MG., p. 52.

MAFALDA JR., P.O., SINQUE, C., MUELBERT, J.H. & SOUZA, C.S. 2004. Distribuição e abundância do ictioplâncton na costa norte da Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography** 32(1): 69-88.

MAGURRAN, A.E. 2003. **Measuring Biological Diversity**. Blackwell Publishing Limited, London, UK, 260 p.

MAGURRAN, A.E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Croom Helm, London, UK, 178p.

MAIER, M.H. 1987. 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.

MAINIER, F.B. & VIOLA, L.D.M. 2005. O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente. **II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT**.

MANN, K.H. & LAZIER, J.R.N. 2006. **Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the oceans**. Boston: Blackwell Publishing.

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

MCEWEN, G.F., JOHNSON, M.W. & FOLSOM, TH.R. 1954. A statistical analysis of the performance of the folsom plankton sample splitter, based upon test observations. **Meteorology and Atmospheric Physics** 7: 502-527.

MEDEIROS, C., MACEDO, S.J., FEITOSA, F.A. & KOENING, M.L. 1999. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian waters. **Arch. Fish. Mar. Res.** 47 (2/3): 133-151.

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

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.

MOSER, G. & GALVÃO, G.S. 1997. Biological and oceanography cup welling indicator sat Cabo Frio (RJ). **Revista Brasileira de Oceanografia** 45 (1/2):11-23.

MOSER, H. G. 1984. (ed.). Ontogeny and systematics of fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists ed., **Special publication Number** 1:760 pp.

NAKATANI, K. et al. 2001. **Ovos e larvas de peixes de água doce: Desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá, EDUEM, 378p.

NASCIMENTO, K.B. & OLIVEIRA, O.M.P. 2010. **Padrões de distribuição de *Aglaura hemistoma* e *Liriope tetraphylla* (Hydrozoa, Trachymedusae) na costa sudeste do Brasil (22-25 ° S, 40-45 ° W)**. Centro de Biologia Marinha da Universidade de São Paulo.

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., VAULOT, D., COURTIES, C. & FUKAI, E. 1989. Green photosintetic bacteria associated with clorophyll maximum of the Sargasso Sea. **Cr. Acad. Sci. Paris Sér III**, 308: 09-14.

NIENCHESKI, L.F.H., et al. 1999. 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, p. 67-81.

NOGUEIRA, C. R. et al. 1999. Studies on zooplankton and ichthyoplankton communities off the Rio de Janeiro Coastline. **Oecologia brasiliensis** 7: 73-98.

NUNES, R.C. 2012. **Posicionamento filogenético de Chaetognatha baseado em dados morfológicos**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba.

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

OLIVEIRA, O.M.P. et al. 2007. Identification key for the ctenophores from Brazilian coast. **Biota Neotrop.** Sep/Dez 2007 vol. 7, no. 3 <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?identification-key+bn03507032007>. ISSN 1676-0603.

PEREIRA, R. C. & SOARES-GOMES, A. 2009. **Biologia Marinha**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência.

PETROBRAS. 2022. Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS. Caracterização Química e Biológica do Sistema Pelágico da Bacia de Santos. Volume 5.

PETROBRAS. 2023. **Relatório de análise de dados meteo-oceanográficos para a região do FPSO cidade de Paraty entre 06 e 08 de março de 2023**.

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

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2010. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental de Tupi. 1ª Campanha. [S.l: s.n.], dez.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2012a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Área de Tupi. 2ª Campanha. [S.l: s.n.], abr.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. 2012b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Área de Tupi. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás da Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos. 3ª Campanha. [S.l: s.n.], jun.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 8ª Campanha (Janeiro e Fevereiro/2021). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 9ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2023a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 10ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 8ª Campanha (Janeiro/2021). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.** 9ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 7ª Campanha (fase de operação – Janeiro/2021). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2023b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul.** 8ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2023c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul.** 9ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2020b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 7ª Campanha (Janeiro /2020). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2020c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 7ª Campanha (Janeiro/2020). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2020d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 6ª Campanha (fase de operação – Janeiro/2020). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul.

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos.** 12ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2023. **Relatório Técnico de Análise. Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Tupi BM-S-11, Bacia de Santos.** 14ª campanha – (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2016c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 1ª Campanha (fase de operação). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 2ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** 3ª Campanha (fase de operação). Projeto de Monitoramento Ambiental

da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 3ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 3ª Campanha (Dezembro/2015). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 4ª Campanha (fase de operação). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018e. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 4ª Campanha (Dezembro/2016). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 4ª Campanha (Novembro/2016). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019g. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 5ª Campanha (fase de operação). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – DP de Iracema Sul.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 5ª Campanha (Dezembro/2017). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 5ª Campanha (Dezembro/2017). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019f. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 6ª Campanha (novembro/dezembro de 2018). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental**. 6ª Campanha (Novembro/2018). Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE.

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2014. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos**. 4ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015c. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá**. 1ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e**

**Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos –
Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá. 2ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 1ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2016b. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 2ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos. 5ª campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2016a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos. 6ª campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017a. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos. 7ª campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018d. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos. 8ª campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018f. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos.** 9ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019e. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos.** 10ª campanha (fase de operação).

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

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

PHILIPPI, JR. A. et al. 2004. **Gestão ambiental municipal:** subsídios para estruturação de sistema municipal de meio ambiente. v. 4. Salvador: CRA – Centro de Recursos Ambientais.

PIELOU, E.C. 1977. **Mathematical Ecology.** New York: John Wiley & Sons, 385p.

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. 553-572.

PIR2/TRANSPETRO. 2009. 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.].

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

PRAHL F.G., ERTEL J.R., GONI, M.A., SPARROW, M.A. & EVERSMEYER, B. 1994. Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin. **Geochim. Cosmochim. Acta** 58: 3035–3048.

RAND, G.M. & PETROCELLI, S.R. 1985. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications**. New York: Hemisphere Publishing Corporation.

RAVEN, P.H., EVERT, R.E. & EICHHORN, S.E. 2001. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 906p.

RÉ, P. 1986. Ecologia da postura e da fase planctónica de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) na região central da costa portuguesa. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais** 23: 5-81.

RÉ, P. 1984. **Ictioplâncton da região central da costa Portuguesa e do estuário do Tejo. Ecologia da postura e da fase planctónica de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) e de *Engraulis encrasicolus* (Linné, 1758)**. Universidade de Lisboa.

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.

REYNOLDS, C.S. 2006. **Ecology of Phytoplankton** (Ecology, Biodiversity and Conservation). Cambridge, Cambridge University Press.

RICHA, R., SINHA, P. & HÄDER, D-P. 2014. Phytoplankton productivity in a changing Global Climate. In Sebatia, M. T. **Phytoplankton: Biology, Classification and Environmental Impactcs**. New York: Nova Science Publishers.

RYTHER, J.H. & DUNSTAN, W.M. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. **Science** 171: 1008-1013.

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. 2000. A Corrente do Brasil ao largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.** 48(2):171-183.

SIMONEIT, B.R.T. & MAZURIK, 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** 63: 688.

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.

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

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.

SOURNIA, A. et al. 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? **Journal of Plankton Research** 13: 1093-99.

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.

TAYLOR, A.H., ALLEN, J.I. & CLARK, P.A. 2002. Extraction of a weak climatic signal by an ecosystem. **Nature** 416: 629–632.

THURMAN, H.V. & BURTON, E.A. 2001. **Introductory oceanography**. 9th Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 544p.

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. 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 3510C. Separatory funnel liquid-liquid extraction.

_____ Method 5030C. Purge-and-trap for aqueous samples.

_____ 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 Theorestische und Angewandte Limnologie** 10:109-122.

VALENTIN, J.L., ANDRÉ, D.L. & JACOB, S. 1987. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. **Continental Shelf Research** 7(1): 77-88.

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, 168p.

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.

VEGA-PÉREZ, L.M., CAMPOS, M.A.G. & SCHINKE, K.P. 2011. Checklist of class appendicularia (Chordata: Tunicata) from São Paulo State, Brazil. **Biota Neotrop**. 11:761-769.

<http://www.biotaneotropica.org.br/v11n1a/en/abstract?inventory+bn0401101a>.

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. 2008. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: Elsevier.

VILLAC, M.C. 1990. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: estudo de caso da Baía de Guanabara (RJ, Brasil)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VILLATE, F. et al. 1997. Mesozooplankton community indicates climate change in a shelf area of the inner bay of Biscay throughout 1988 to 1990. **J. Plank. Res** 19:1617-1636.

WILLIAM, 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.

WOOTTON, R.J. 1990. **Ecology of Teleost Fishes**. [S.l.]: Chapman and Hall, 404p.

YODER, J.A., McCLAIN, C.R., FELDMAN, G.C. & ESAIAS, W.E. 1993. Anual cycles of phytoplankton chlorophyll concentrations in the global oceans: A satellite view. **Global Biogeochem. Cycles** 5: 119-134.

IX - EQUIPE TÉCNICA

Profissional	Marla Sonaira Lima
Empresa	-
Formação Profissiona	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 e Plâncton, Análise integrada, Considerações Finais
Assinatura	p/

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	

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	

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	

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/

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 – Ressalva de Zooplâncton