

**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**

**RTAA - Relatório Técnico de Avaliação Ambiental  
10ª Campanha da Fase de Operação**

**Volume Único**

**RTAA\_PIL-SAP\_C10\_BCA\_01042024-04**

**Revisão 00  
Novembro/2024**



**E&P**



## **INDICE GERAL**

I - INTRODUÇÃO .....	21/265
II - OBJETIVO .....	23/265
II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23/265
III - ÁREA DE ESTUDO .....	24/265
III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPO DE SAPINHOÁ .....	24/265
III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE .....	25/265
IV - MATERIAL E MÉTODOS .....	32/265
IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO .....	32/265
IV.1.1 - Qualidade da Água .....	36/265
IV.1.2 - Fitoplâncton .....	40/265
IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton .....	40/265
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO .....	45/265
IV.2.1 - Qualidade da Água .....	45/265
IV.2.2 - Fitoplâncton .....	50/265
IV.2.3 - Zooplâncton .....	50/265
IV.2.4 - Ictioplâncton .....	51/265
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS .....	52/265
IV.3.1 - Qualidade da Água .....	52/265
IV.3.2 - Plâncton .....	61/265
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	67/265
IV.4.1 - Qualidade da Água .....	67/265
IV.4.2 - Biota Aquática .....	68/265
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA .....	69/265

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71/265
V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA .....	71/265
V.1.1 - Temperatura e Salinidade .....	71/265
V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD) .....	86/265
V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico (pH).....	92/265
V.1.4 - Clorofila-a .....	98/265
V.1.5 - Nutrientes.....	105/265
V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT) .....	118/265
V.1.7 - Sulfetos .....	130/265
V.1.8 - Fenóis .....	134/265
V.1.9 - Hidrocarbonetos.....	135/265
V.1.9.1 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's).....	137/265
V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR) .....	139/265
V.1.10 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX) .....	143/265
V.2 - PLÂNCTON .....	144/265
V.2.1 - Fitoplâncton.....	144/265
V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem .....	146/265
V.2.1.2 - Análise Qualitativa .....	149/265
V.2.1.3 - Análise Quantitativa .....	152/265
V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton.....	161/265
V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS.....	169/265
V.2.2 - Zooplâncton .....	170/265
V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem .....	172/265
V.2.2.2 - Análise Qualitativa .....	175/265
V.2.2.3 - Análise Quantitativa .....	178/265
V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton.....	188/265
V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS.....	191/265
V.2.3 - Ictioplâncton .....	192/265
V.2.3.1 - Avaliação da Amostragem .....	193/265

V.2.3.2 - Análise Qualitativa .....	196/265
V.2.3.3 - Análise Quantitativa .....	198/265
V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton	207/265
V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS .....	210/265
VI - ANÁLISE INTEGRADA.....	212/265
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO.....	212/265
VI.1.1 - Variáveis Ambientais.....	212/265
VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico	214/265
VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico- químico .....	221/265
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	234/265
VIII - BIBLIOGRAFIA.....	237/265
IX - EQUIPE TÉCNICA .....	258/265
X - ANEXOS.....	260/265

## FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura III-1 - Localização do FPSO-CSP na área de produção de Sapinhoá – Bacia de Santos.	25/265
Figura III-2 - Poços interferentes, poços interligados e estruturas de fundo no entorno do FPSO-CSP durante PMPR_PIL-SAP_C10.	26/265
Figura III-3 - Volume de água produzida descartada pelo FPSO-CSP.	27/265
Figura III-4 - Volume de efluente sanitário descartado pelo FPSO-CSP.	28/265
Figura III-5 - Volume de efluente oleoso descartado pelo FPSO-CSP.	29/265
Figura IV-1 – Embarcação Ocean Stawart utilizada durante a campanha.	32/265
Figura IV-2 – Gráficos com os dados fornecidos pelo ADCP para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostral móvel de água e plâncton.	34/265
Figura IV-3– Malha amostral para coleta de água e plâncton da PMPR_PIL-SAP_C10 (Datum Sirgas 2000).	35/265
Figura IV-4 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.	37/265
Figura IV-5– Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMPR_PIL-SAP_C10.	39/265
Figura IV-6– Rede cilindro-cônica com malha de 200 µm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMPR_PIL-SAP_C10.	42/265
Figura IV-7 – Redes bongô com malhas de 300 e 500 µm para coleta de amostras de ictioplâncton utilizadas durante a PMPR_PIL-SAP_C10.	43/265
Figura IV-8 – Localização dos FPSOs CSP, Cidade de Angra dos Reis, Cidade de Mangaratiba e Cidade de Paraty.	59/265
Figura V-1 – Perfil de Temperatura da água do mar (°C) da atual campanha de monitoramento.	73/265
Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) da água do mar obtidos com CTD da atual campanha de monitoramento.	74/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura V-3 – Perfis de salinidade da atual campanha de monitoramento.	76/265
Figura V-4 – Perfis de salinidade obtidos com CTD na atual campanha de monitoramento.	77/265
Figura V-5 – Diagrama T-S na atual campanha de monitoramento. Em vermelhos, limites estabelecidos por Castro et al., (2006).	81/265
Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'águas na atual campanha de monitoramento.	82/265
Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas estações da atual campanha de monitoramento.	88/265
Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos na atual campanha de monitoramento.	89/265
Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	92/265
Figura V-10 – Perfis de pH obtidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	95/265
Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	98/265
Figura V-12 - Mosaico de clorofila-a na superfície do mar do período de 09/03/2023 a 16/03/2023 para a Bacia de Santos. O círculo em branco representa a localização do FPSO-CSP.	101/265
Figura V-13 – Perfis de clorofila-a obtidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	102/265
Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	105/265
Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	108/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura V-16 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	110/265
Figura V-17 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	113/265
Figura V-18 – Perfis das concentrações de silicato da atual campanha de monitoramento.	115/265
Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	116/265
Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	118/265
Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS (mg/L) da atual campanha de monitoramento.	121/265
Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	124/265
Figura V-23 – Perfis das concentrações de COT (mg/L C) da atual campanha de monitoramento.	127/265
Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	130/265
Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	134/265
Figura V-26 - Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) Skeletonema; (B) Chaetoceros; (C) Pleurosigma. Dinoflagelados: (D) Noctiluca; (E) Ceratium. Primmnesiófita: (F) Coccolithus.	145/265



<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura V-27 – Taxa fitoplânctônico (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. 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.	148/265
Figura V-28 – Riqueza fitoplanctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	150/265
taxa) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	155/265
encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	156/265
Figura V-31 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média dos grupos $\pm$ desvio-padrão.	157/265
Figura V-32 - Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônicas (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	159/265
Figura V-33 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP	160/265
Figura V-34 – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da atual campanha de monitoramento ambiental. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).	161/265
Figura V-35 – Riqueza fitoplanctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).	162/265
Figura V-36 – Riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) da atual campanha de monitoramento. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões e filos fitoplanctônicos; a linha cinza representa a média de todas as amostras.	163/265
Figura V-37 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das estações $\pm$ desvio-padrão.	164/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura V-38 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) nos quatro estratos da atual campanha de monitoramento A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.	165/265
Figura V-39 – Densidade fitoplanctônicas (ind/L) da atual campanha de monitoramento. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade das divisões e filós fitoplanctônicos; a linha cinza representa a média de todas as amostras.	166/265
Figura V-40 – Diversidade e equitabilidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento.	167/265
Figura V-41 – Cluster da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento ambiental.	169/265
Figura V-42 – MDS da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento.	170/265
Figura V-43 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplanctônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).	171/265
Figura V-44 – Taxa zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. 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.	174/265
Figura V-45 – Riqueza zooplanctônica (nº de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	176/265
Figura V-46 – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplanctônica (número de taxa) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	182/265
Figura V-47 – Box plots representativos dos valores de densidade zooplanctônica (ind/m <sup>3</sup> ) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	184/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura V-48 – Densidade zooplanctônico (ind/m <sup>3</sup> ) dos filós na atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das amostras $\pm$ desvio-padrão.	185/265
Figura V-49 - Box plots representativos dos valores de diversidade zooplanctônicas (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	186/265
Figura V-50 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade zooplanctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	187/265
Figura V-51 – Riqueza zooplanctônica (número de taxa) na atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	189/265
Figura V-52 – Densidade zooplanctônica (ind/m <sup>3</sup> ) na atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	190/265
Figura V-53 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade na atual campanha de monitoramento.	190/265
Figura V-54 – Cluster da comunidade zooplanctônica na atual campanha de monitoramento.	191/265
Figura V-55 –MDS da comunidade zooplanctônica na atual campanha de monitoramento.	192/265
Figura V-56 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de <i>Trachurussymmetricus</i> . Adaptado de Moser (1984).	193/265
Figura V-57 – Taxa ictioplâncton (número cumulativo) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP. 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.	194/265
Figura V-58 – Riqueza ictioplanctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	197/265
Figura V-59 – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônica (número de taxa) encontrada ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	201/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura V-60 – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônicas (ind/100m <sup>3</sup> ) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	202/265
Figura V-61 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m <sup>3</sup> ) na atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das ordens $\pm$ desvio-padrão.	203/265
Figura V-62 - Box plots representativos dos valores de diversidade ictioplanctônicas (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	205/265
Figura V-63 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade ictioplanctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	206/265
Figura V-64 – Riqueza ictioplanctônicas (número de taxa) da atual campanha de monitoramento I. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	207/265
Figura V-65 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m <sup>3</sup> ) na atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	209/265
Figura V-66 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica da atual campanha de monitoramento.	210/265
Figura V-67 – Cluster da comunidade ictioplanctônica na atual campanha de monitoramento.	211/265
Figura V-68 – MDS da comunidade ictioplanctônica na atual campanha de monitoramento	211/265
Figura VI-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico da PMPR_PIL-SAP_C10.	213/265
Figura VI.1-2 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico das estações PIL-SAP_M1000 e PIL-SAP_J1002, sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.	216/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura VI.1-3 - Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das estações de amostragem de fitoplâncton da PMPR_PIL-SAP_C10.	218/265
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-SAP_C10.	219/265
Figura VI.1-5 – Relação de temperatura com a densidade total zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	224/265
Figura VI.1-6 – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a densidade total zoo e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) da PMPR_PIL-SAP_C10	224/265
Figura VI.1-7 – Relação do pH com a densidade total zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	225/265
Figura VI.1-8 – Relação da salinidade com a densidade total zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	225/265
Figura VI.1-9 – Relação de temperatura e a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	226/265
Figura VI.1-10 – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorifila a com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	226/265
Figura VI.1-11 – Relação do pH com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	227/265
Figura VI.1-12 – Relação da salinidade com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	227/265
Figura VI.1-13 – Relação da temperatura com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	228/265
Figura VI.1-14 – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	228/265
Figura VI.1-15 – Relação do pH com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	229/265
Figura VI.1-16 – Relação da salinidade com a diversidade zooplanctônica e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	229/265

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura VI.1-17 – Relação de temperatura com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica	230/265
Figura VI.1-18 – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) da PMPR_PIL-SAP_C10	230/265
Figura VI.1-19 – Relação do pH com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10	231/265
Figura VI.1-20 – Relação da salinidade com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_PIL-SAP_C10.	231/265

## TABELA E QUADRO

TABELA E QUADRO	PÁG.
Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP, com suas respectivas fases e períodos.	22/265
Tabela III-1 - Concentrações dos parâmetros monitorados na água de produção do FPSO-CSP para o 1º semestre de 2023.	29/265
Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário das ETE-BB e ETE-BE do FPSO-CSP no 1º trimestre de 2023.	31/265
Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton para a PMPR_PIL-SAP_C10.	36/265
Tabela IV-2– Profundidades das diferentes camadas amostradas nas coletas de água e fitoplâncton na atual campanha.	38/265
Tabela IV-3 - Volume de água do mar filtrado durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMPR_PIL-SAP_C10.	41/265
Quadro IV-1 - Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a PMPR_PIL-SAP_C10.	44/265
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 nas amostras de água do mar.	46/265
Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a qualidade da água.	53/265
Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na atual campanha.	57/265
Tabela IV-6 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	61/265
Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota planctônica.	66/265

Tabela V-1 – Valores de temperatura da água do mar (°C) medidos na atual campanha de monitoramento.	72/265
Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos na atual campanha de monitoramento.	75/265
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água do mar nos estudos anteriores.	78/265
Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água nos diferentes estratos das campanhas do PMPR_PIL-SAP.	85/265
Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	87/265
Tabela V-5 - Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) encontrados na água do mar nos estudos anteriores.	90/265
Tabela V-6 – Valores de pH medidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	94/265
Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água nos estudos anteriores.	96/265
Tabela V-8 – Valores de clorofila-a medidos na atual campanha de monitoramento.	100/265
Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	103/265
Tabela V-10 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L N), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/L P) encontrados na água nos estudos anteriores (nd = não detectado e nq = não quantificado).	111/265
Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) na atual campanha de monitoramento.	114/265
Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	120/265
Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	122/265



Tabela V-14– Concentração de COT (mg/L C) na atual campanha de monitoramento.	124/265
Tabela V-15 - Concentrações de COT (mg/L C) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	128/265
Tabela V-16 - Concentrações de sulfetos (mg/L S) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	132/265
Tabela V-17 - Valores de HPA's (µg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	138/265
Tabela V-18 - Valores de HTP's (µg/L), n-alcanos (µg/L) e MCNR (µg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	140/265
Tabela V-19 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônica encontradas na atual campanha de monitoramento.	152/265
Tabela V-20 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica nos estudos anteriores.	152/265
Tabela V-21 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/m <sup>3</sup> ), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.	178/265
Tabela V-22 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplanctônica na região de interesse .	178/265
Tabela V-23 - Riqueza (número de taxa), densidade (ind/100m <sup>3</sup> ), diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônicas encontradas na atual campanha de monitoramento.	198/265
Tabela V-24 - Dados ecológicos ctioplanctônicos (mínimo e máximo) obtidos nos estudos anteriores.	199/265
Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMPR_PIL-SAP_C10.	214/265

Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos e variáveis ambientais das comunidades zooplanctônicas e ictioplanctônicas da PMPR_PIL-SAP_C10.	222/265
--	---------

## ANEXOS

<b>Anexo X-1</b> – Carta de aceite de material biológico
<b>Anexo X-2</b> – Laudos Analíticos das amostras Físico-químicas
<b>Anexo X-3</b> – Laudos Analíticos das amostras biológicas
<b>Anexo X-4</b> – Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) e Cadastro Técnico Federal da equipe técnica
<b>Anexo X-5</b> – Ressalva Zooplâncton



## **I - INTRODUÇÃO**

A atividade de instalação do Piloto de Sapinhoá teve seu início em agosto de 2012. Após a instalação do duto e a chegada da FPSO Cidade de São Paulo (FPSO-CSP) ao local iniciou-se a interligação dos poços e seguiu-se o início da operação. A licença de operação (LO nº 1120/2012) foi concedida pelo IBAMA em 21 de dezembro de 2012 e a unidade opera desde janeiro de 2013 produzindo gás natural e petróleo.

Conforme o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré Sal da Bacia de Santos – Etapa 1, elaborado em setembro de 2013, e que subsidiou o licenciamento ambiental dos empreendimentos do Etapa 1 do Pré Sal, incluindo o Piloto de Sapinhoá (processo IBAMA/MMA nº 02022.002287/2009), é possível que o descarte de água de produção em mar aberto afete a qualidade da água do mar e da biota associada (PETROBRAS/ICF, 2013). 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 da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Sapinhoá (PMAEpro-BS\_PMPR\_PIL-SAP), o qual é realizado em atendimento às condicionantes da LO.

A primeira campanha do projeto (PMAEpro-BS\_PMPR\_PIL-SAP\_C1), referente à fase de operação, foi realizada em fevereiro de 2014 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015d). Na ocasião, o empreendimento já operava. Entretanto, ainda não havia geração e descarte de água de produção por ele. As demais campanhas, também da fase de operação, ocorreram com periodicidade anual. As campanhas estão detalhadas abaixo, no Quadro I-1.

**Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMAEpro-BS\_PMPR\_PIL-SAP, com suas respectivas fases e períodos.**

<b>Campanha</b>	<b>Data</b>	<b>Fase</b>
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C1	Fevereiro de 2014	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C2	Fevereiro de 2015	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C3	Dezembro de 2015	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C4	Dezembro de 2016	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C5	Dezembro de 2017	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C6	Novembro/ Dezembro de 2018	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C7	Janeiro de 2020	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C8	Janeiro de 2021	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C9	Dezembro de 2021	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-SAP_C10	Março de 2023	Operação

O presente relatório descreve os procedimentos técnicos realizados em campo, as metodologias de análise e os resultados obtidos durante a PMAEpro-BS\_PMPR\_PIL-SAP\_C10, aqui referido como PMA do Piloto de Sapinhoá (PIL-SAP) ou simplesmente PMPR\_PIL-SAP\_C10. A campanha foi realizada no período de 12 a 18 de março de 2023, a bordo do navio *Ocean Stalwart*, e envolveu a coleta de amostras e análise de parâmetros físicos e químicos da água e parâmetros biológicos do plâncton. Os resultados obtidos foram tratados para a investigação de possíveis impactos decorrentes do descarte de água de produção em mar aberto pela unidade marítima de produção que opera no Piloto de Sapinhoá, o FPSO-CSP.

## **II - OBJETIVO**

O objetivo principal do PMPR\_PIL-SAP é monitorar e avaliar a qualidade ambiental na área de influência direta do empreendimento, permitindo a identificação de possíveis impactos decorrentes das atividades de 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:

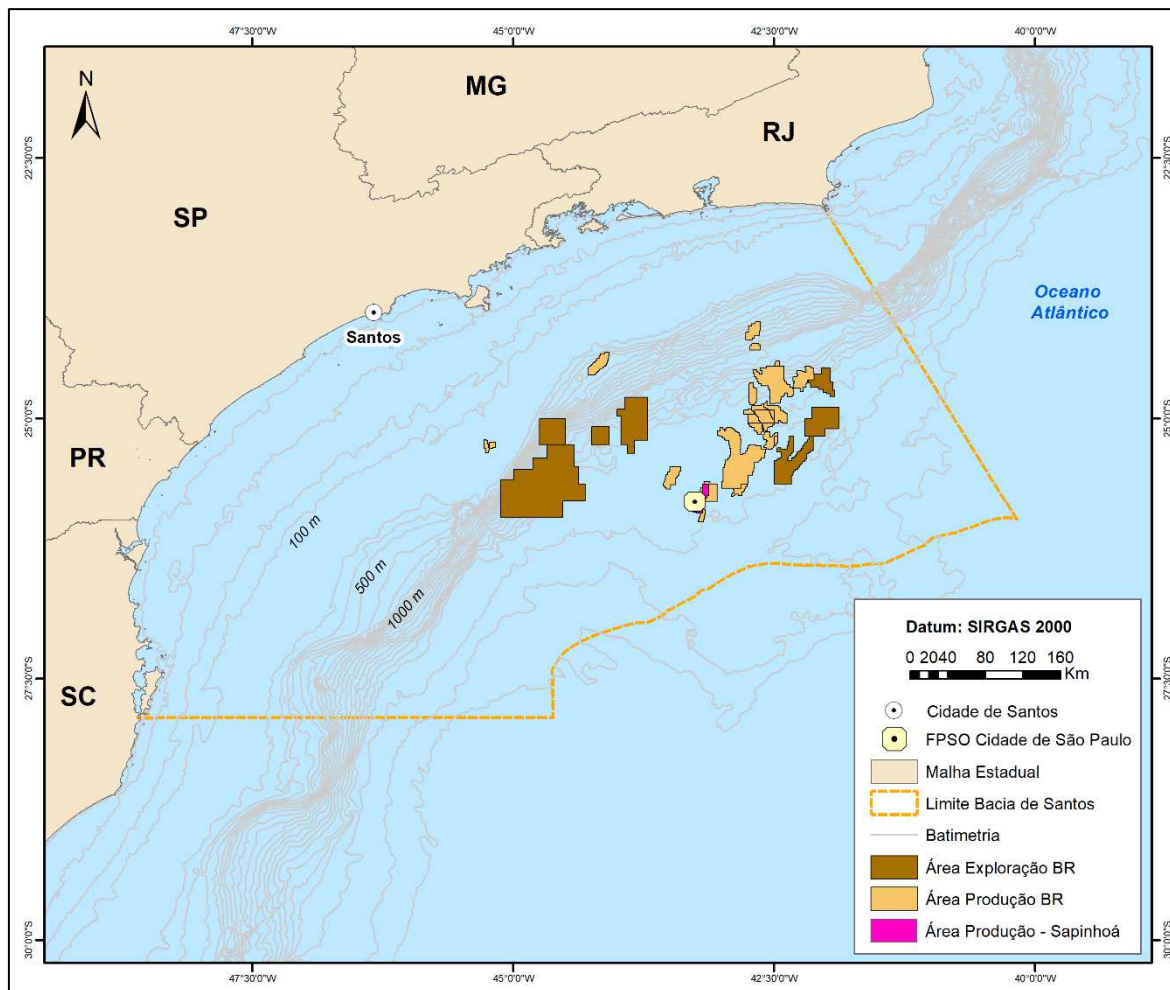
- Monitorar as características físicas e químicas da água do mar na área de influência do empreendimento;
- Caracterizar quali-quantitativamente as comunidades planctônicas da região, e;
- Comparar os resultados obtidos com a legislação aplicável, bem como com os dados de campanhas anteriores e com a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

### **III - ÁREA DE ESTUDO**

#### **III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPO DE SAPINHOÁ**

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km<sup>2</sup>, entre os paralelos 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). A área de produção de Sapinhoá (antiga Área de Guará) está localizada a proximadamente 310 km da costa do estado de São Paulo (Figura III-1) em uma região com lâmina d'água de aproximadamente 2.141 metros de profundidade (Figura III-1).



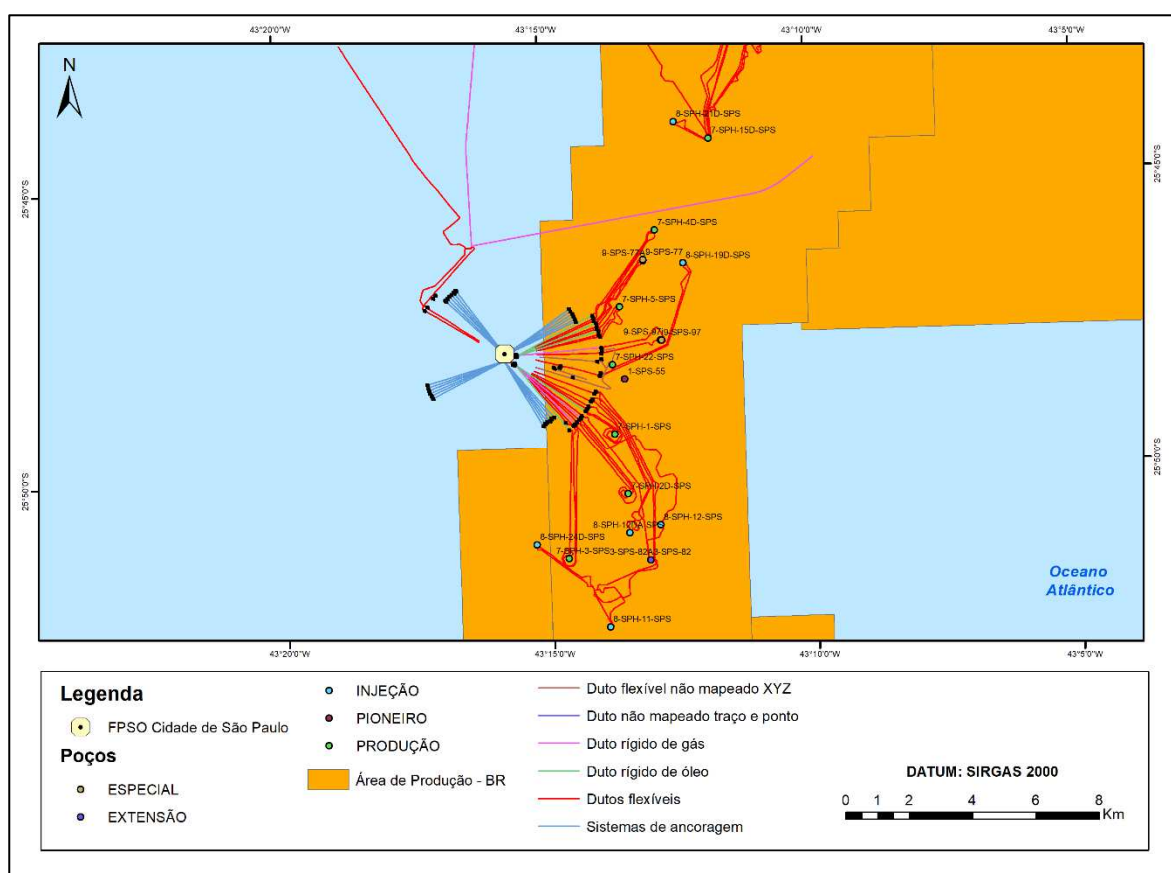


**Figura III-1 - Localização do FPSO-CSP na área de produção de Sapinhoá – Bacia de Santos.**

### III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

À época da execução da PMPR\_PIL-SAP\_C10, a exploração de petróleo do empreendimento se dava através da unidade de produção FPSO-CSP interligada a treze poços, sendo sete produtores (7-SPH-4D-SPS, 7-SPH-1-SPS, 7-SPH-5-SPS, 7-SPH-2D-SPS, SPH-22, 7-SPH-3-SPS e 9-SPS-77A), sendo que o último se encontrava fechado no momento da campanha), quatro injetores de água (8-SPH-12DA-SPS, 8-SPH-19-SPS, 8-SPH-11-SPS e 8-SPH-24) e dois injetores de gás (9-SPS-97 e 3-SPS-82), sendo que este último também encontrava-se fechado no momento da campanha (Figura III-2). O escoamento do gás produzido é realizado por meio de um gasoduto com aproximadamente 54 km de extensão interligando o

FPSO-CSP a uma estrutura de válvulas submarinas instaladas atualmente na base do FPSO Cidade Angra dos Reis (Piloto de Lula). Nessa estrutura existe um entroncamento com o gasoduto Tupi-Mexilhão (atual Lula-Mexilhão), que escoo o gás produzido nessas áreas até a plataforma de Mexilhão (PMXL-1). Em PMXL-1 há outro entroncamento, onde o gás segue para a Unidade de Tratamento de Gás Monteiro Lobato (UTGCA), no município de Caraguatatuba, onde é tratado (PETROBRAS/ICF, 2013). O escoamento do óleo é realizado por meio de navios aliviadores.

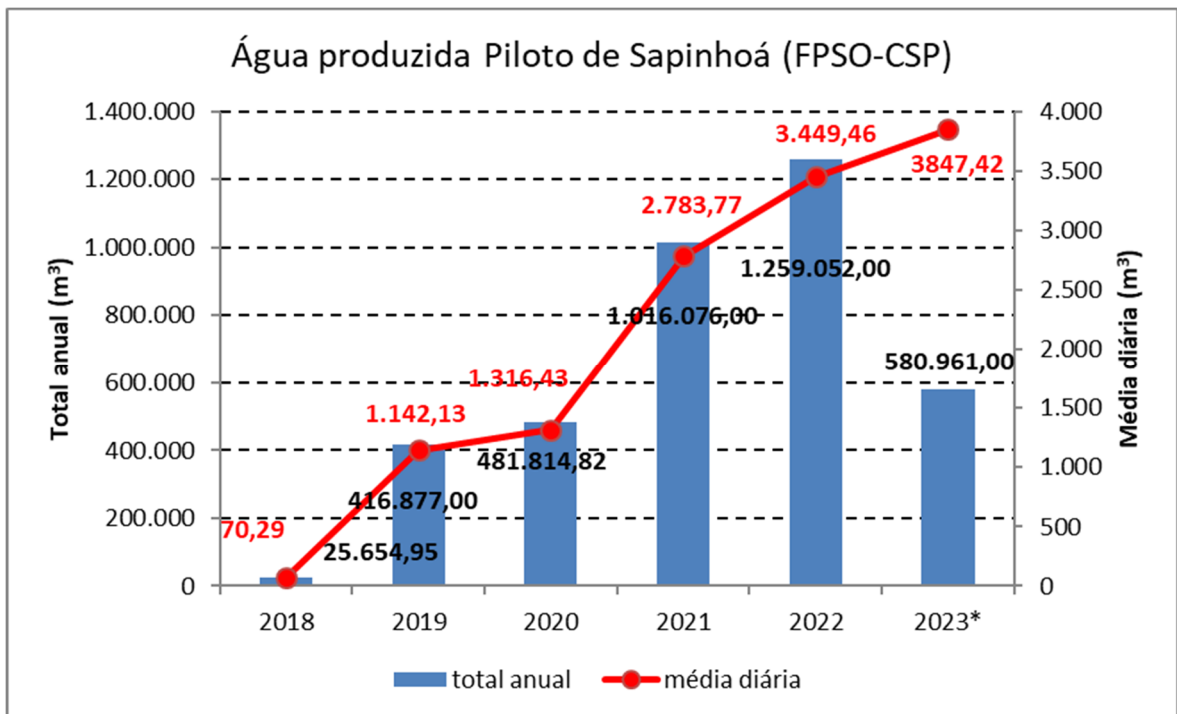


**Figura III-2 - Poços interferentes, poços interligados e estruturas de fundo no entorno do FPSO-CSP durante PMPR\_PIL-SAP\_C10.**

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.

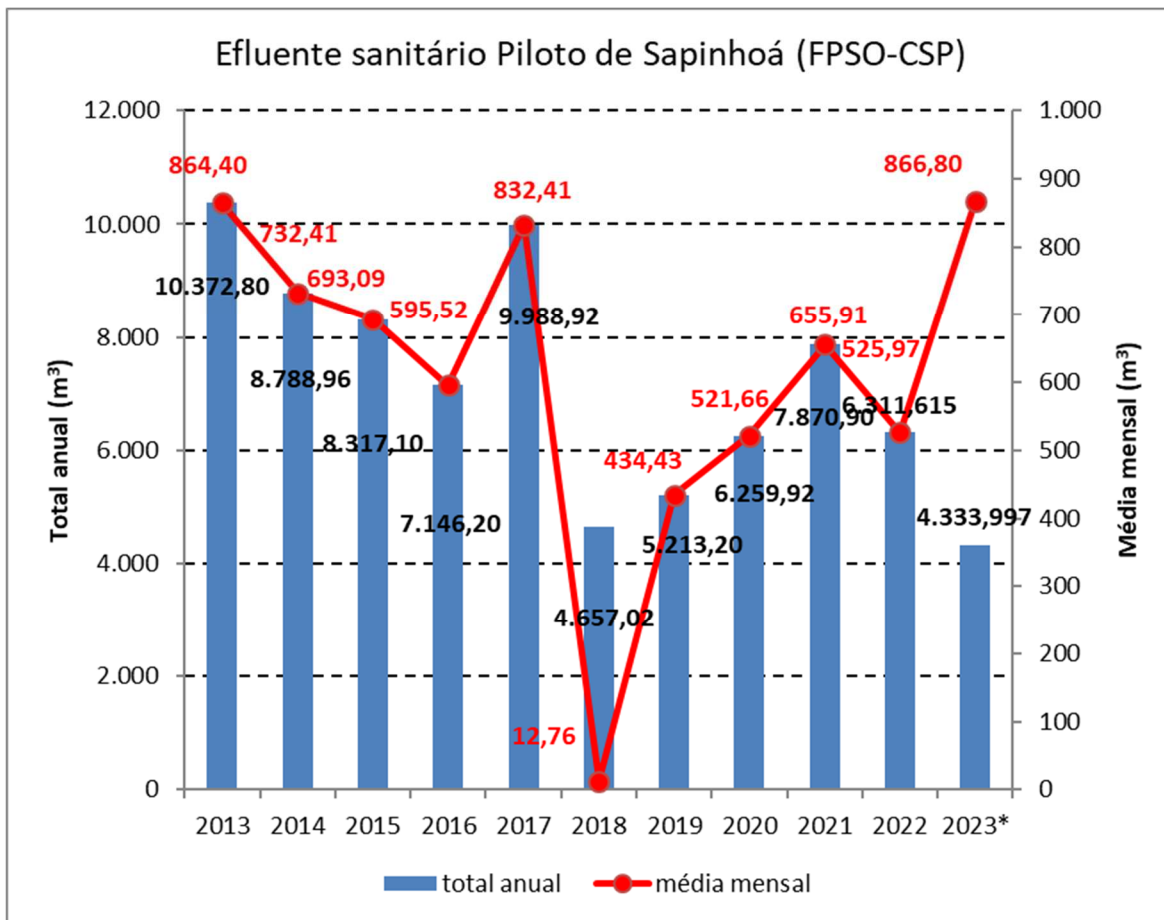
Até o momento da realização da 5ª campanha de monitoramento, ainda não havia sido iniciada a geração e o descarte de água produzida pelo FPSO-CSP, o que ocorreu somente em 2018, tendo a 6ª campanha de monitoramento ocorrido já durante a geração e descarte deste efluente. A unidade descarta também efluentes sanitário e oleoso desde o início de sua operação.

Os volumes dos efluentes descartados pelo FPSO-CSP são apresentados a seguir na Figura III-3, Figura III-4 e Figura III-5. Importante ressaltar que a média diária do volume de descarte de água produzida durante o período de coleta de água da presente campanha foi de 4.136,67 m³/dia.



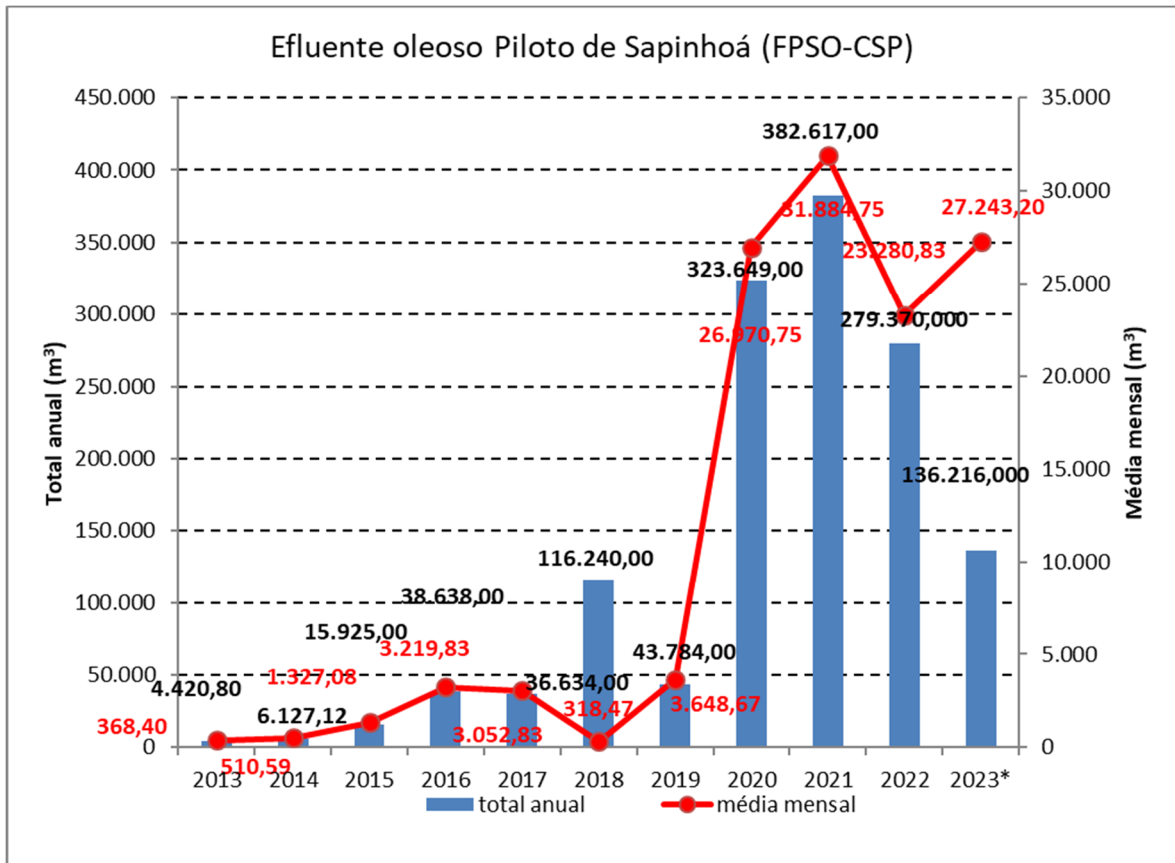
\* valor considerado de janeiro a maio/2023

**Figura III-3 - Volume de água produzida descartada pelo FPSO-CSP.**



\* valor considerado de janeiro a maio/2023

**Figura III-4 - Volume de efluente sanitário descartado pelo FPSO-CSP.**



\* valor considerado de janeiro a maio/2023

**Figura III-5 - Volume de efluente oleoso descartado pelo FPSO-CSP.**

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-CSP para o 1º semestre de 2023.**

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Inorgânicos	Arsênio	0,0005	mg/L
Inorgânicos	Bário	146618	mg/L
Inorgânicos	Cádmio	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cromo	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cobre	<0,005	mg/L
Inorgânicos	Ferro	0,596	mg/L
Inorgânicos	Manganês	0,221	mg/L
Inorgânicos	Níquel	<0,001	mg/L
Inorgânicos	Chumbo	<0,0002	mg/L
Inorgânicos	Vanádio	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Zinco	<0,05	mg/L

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Inorgânicos	Mercúrio	<0,00003	mg/L
Radioisótopos	Rádio -226	0,810	Bq/L
Radioisótopos	Rádio -228	<0,320	Bq/L
Orgânicos - HPA	Naftaleno	6,983	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenafteno	0,119	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenaftileno	0,092	µg/L
Orgânicos - HPA	Antraceno	0,098	µg/L
Orgânicos - HPA	Fenantreno	0,778	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoreno	0,425	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Pireno	<0,0015	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	Benzeno	61,656	µg/L
Orgânicos - BTEX	Tolueno	17,333	µg/L
Orgânicos - BTEX	Etilbenzeno	0,589	µg/L
Orgânicos - BTEX	o-Xilenos	1,067	µg/L
Orgânicos - BTEX	m,p-Xilenos	1,889	µg/L
Orgânico - Fenóis	Fenóis	38,050	µg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	8	mg/L
Complementares	Carbono Orgânico Total -COT	80,700	mg/L
Complementares	pH	6,210	
Complementares	Salinidade	62,30	%
Complementares	Temperatura	54,80	° C
Complementares	Nitrogênio Amoniacal Total	52,00	mg/L
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CENO	0,78	%
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CEO	1,56	%
Orgânico	Óleos e Graxas	10	mg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	6	mg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	10	mg/L

Os resultados das análises do efluente sanitário das estações de tratamento de esgoto (ETE's) existentes no FPSO-CSP, a ETE-BB (ETE Bombordo) e a ETE-

BE (ETE Boreste), referentes ao 1º trimestre de 2023, são apresentados na Tabela III-2.

**Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário das ETE-BB e ETE-BE do FPSO-CSP no 1º trimestre de 2023.**

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE-BB	DBO Entrada	265,90	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BB	DQO Entrada	376,80	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BB	DBO Saída	73,10	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BB	DQO Saída	193,50	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BB	TOG Total	<5,00	mg/L
ETE-BB	pH	7,90	-
ETE-BB	Cloro Residual	<0,02	mg/L
ETE-BB	Coliformes Totais	26,00	NMP/100mL
ETE-BB	Clorobenzenos	<0,003	mg/L
ETE-BB	Dicloroetano	<0,009	mg/L
ETE-BB	Tricloroetano	<0,003	mg/L
ETE-BB	Clorofórmio	0,0390	mg/L
ETE-BB	Tetracloroeto de Carbono	<0,003	mg/L
ETE-BB	PCBs	<0,14	µg/L
ETE-BE	DBO Entrada	595,10	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BE	DQO Entrada	927,50	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BE	DBO Saída	213,60	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BE	DQO Saída	358,10	mg O <sub>2</sub> /L
ETE-BE	TOG Total	<5,00	mg/L
ETE-BE	pH	7,74	-
ETE-BE	Cloro Residual	<0,02	mg/L
ETE-BE	Coliformes Totais	7.980,00	NMP/100mL
ETE-BE	Clorobenzenos	<0,003	mg/L
ETE-BE	Dicloroetano	<0,009	mg/L
ETE-BE	Tricloroetano	<0,003	mg/L
ETE-BE	Clorofórmio	0,960	mg/L
ETE-BE	Tetracloroeto de Carbono	<0,003	mg/L
ETE-BE	PCBs	<0,14	µg/L

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

## IV - MATERIAL E MÉTODOS

### IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO

A PMPR\_PIL-SAP\_C10 foi realizada no período de 12 a 18 de março de 2023, a bordo do navio *Ocean Stalwart* (Figura IV-1).



Fonte: Petrobras/Oceanpact (2023)

**Figura IV-1** – Embarcação *Ocean Stalwart* utilizada durante a campanha.

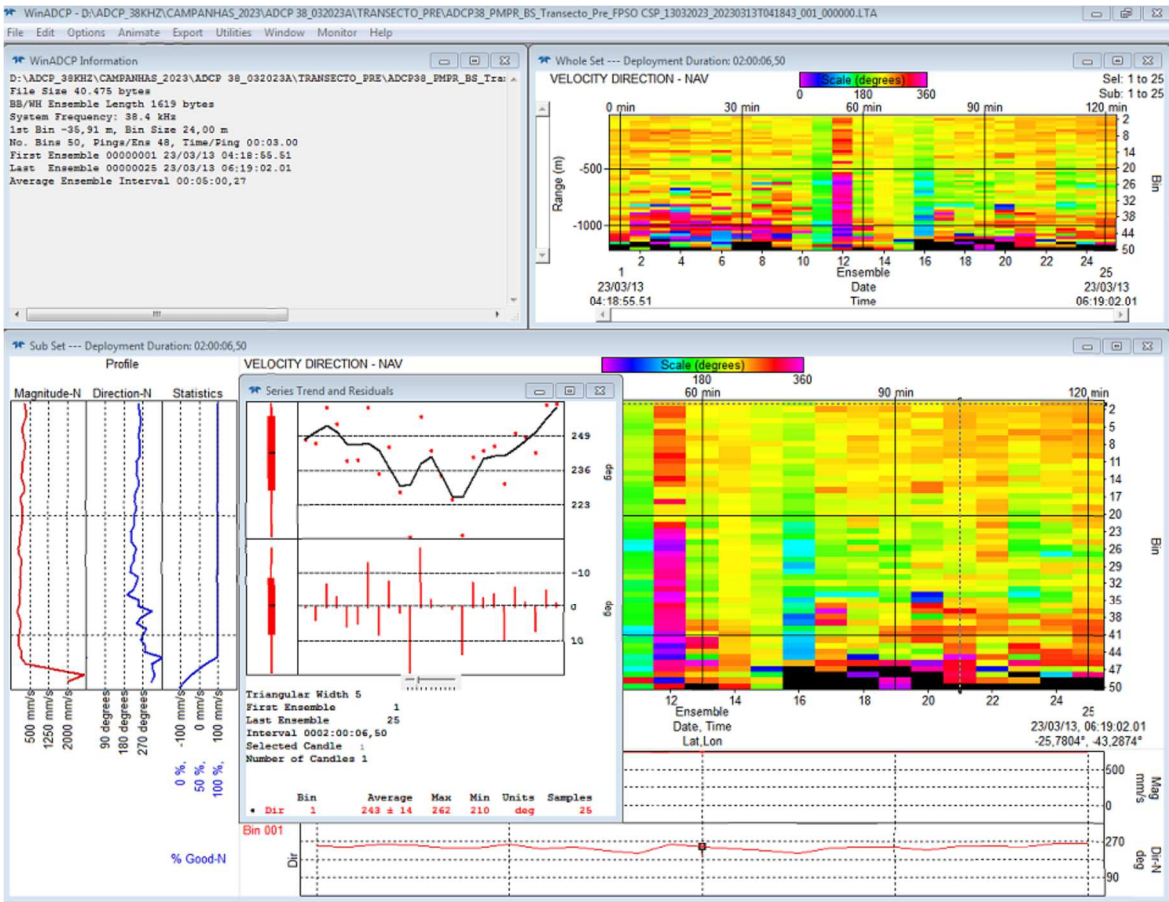
O início da navegação para o FPSO-CSP teve início no dia 12/03/2023 às 21h50min e o início das amostragens ocorreu no dia 13/03/2023 às 01h22min, com o lançamento do ADCP pré-amostragem. As operações de coleta ocorreram em regime de trabalho de 24 horas, e envolveu a coleta de dados físico-químicos e de amostras de água e plâncton.

As amostragens foram finalizadas às 10h53min do dia 15/03/2023, com o procedimento pós-amostragem com o ADCP. O desembarque das amostras



coletadas durante a campanha ocorreu entre as 08h40min e 14h30min do dia 18/03/2023 no Porto MacLaren Ponta da Areia, Niterói/RJ, com o envio das remessas das amostras de água 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).

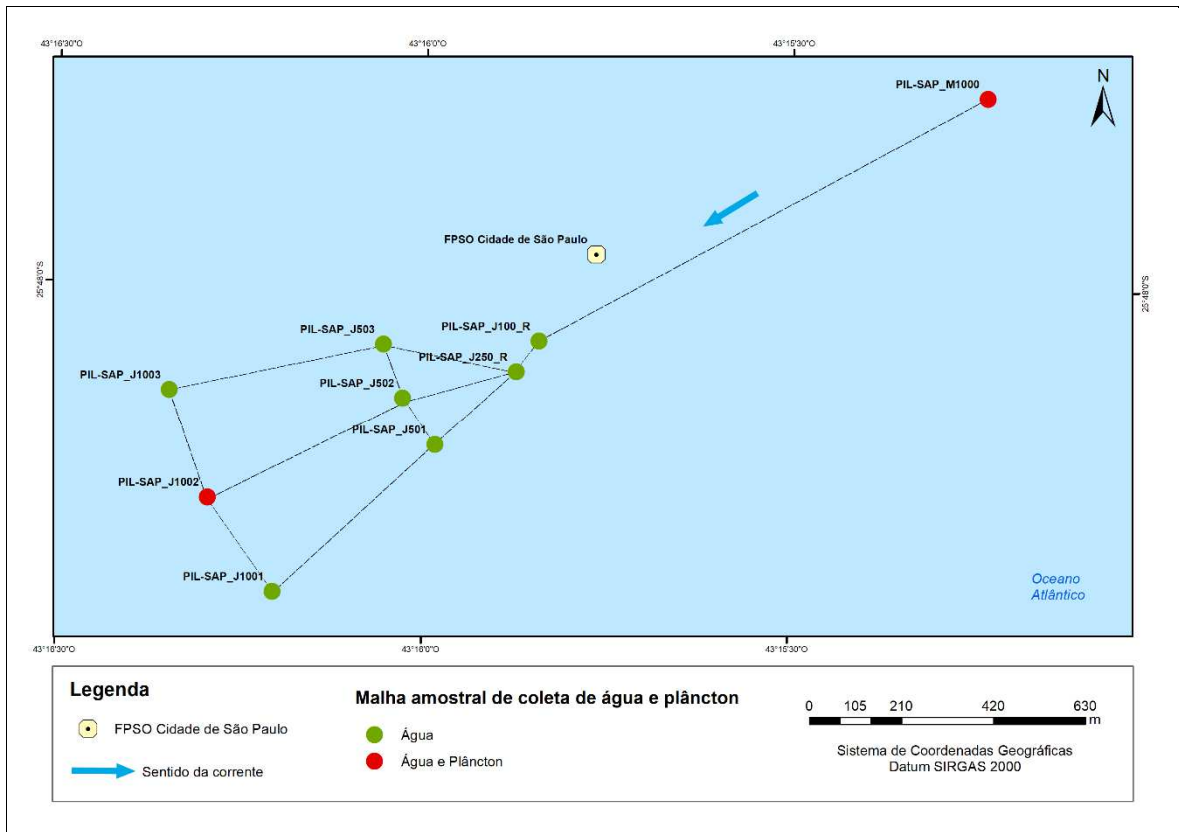
Para a malha de amostragem de água e plâncton, inicialmente, foi realizada uma medição da corrente no local para avaliar o sentido e direção preferenciais em superfície, através de perfilagem com o ADCP de casco do navio 38 kHz através de dois transectos, um localizado 500 m à montante da plataforma e o outro, 500 m a jusante (Figura IV-2). 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 243°, 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 15° entre si, e três estações 1.000 m a jusante, também dispostas com ângulos de 15° em relação à estação M1000.



Fonte: Petrobras/Oceanpact (2023)

**Figura IV-2** – Gráficos com os dados fornecidos pelo ADCP para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostral 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. As coordenadas das estações de coleta de água e plâncton realizadas durante a campanha podem ser observadas no Tabela IV-1.



**Figura IV-3**– Malha amostral para coleta de água e plâncton da PMPR\_PIL-SAP\_C10 (Datum Sirgas 2000).

Cabe destacar que ao término das amostragens, foi realizada nova medição da corrente no local através de perfilagem com o ADCP de casco do navio, nos mesmos transectos previamente perfilados, quando os dados mostraram a corrente com direção de 189º.

Devido à proximidade de dutos do FPSO, foi acordado a bordo a realocação de algumas estações e perfilagens. As estações PIL-SAP\_J100 e PIL-SAP\_J250 foram realocadas, sendo renomeadas para PIL-SAP\_J100\_R e PIL-SAP\_J250\_R, respectivamente. As estações PIL-SAP\_M1000 e PIL-SAP\_J1001 tiveram o estrato ACTC suprimido, pois a termoclina foi de 16m em ambas as estações. As estações PIL-SAP\_J250\_R, PIL-SAP\_J501 e PIL-SAP\_J1001 foram perfiladas até o fundo. As demais estações até 150m.

**Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton para a PMPR\_PIL-SAP\_C10**

Estações	N (UTM)	E (UTM)	Compartimento
PIL-SAP_M1000	7145742,89	675056,69	Água e Plâncton
PIL-SAP_J100_R	7145191,57	674031,67	Água
PIL-SAP_J250_R	7145121,62	673979,89	Água
PIL-SAP_J501	7144954,33	673794,11	Água
PIL-SAP_J502	7145061,9	673720,18	Água
PIL-SAP_J503	7145184,94	673676,61	Água
PIL-SAP_J1001	7144619,77	673422,54	Água
PIL-SAP_J1002	7144834,91	673274,67	Água e Plâncton
PIL-SAP_J1003	7145080,99	673187,53	Água
FPSO Cidade de São Paulo	7145389,03	674161,98	-

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento das amostras de água e plâncton empregados durante a PMPR\_PIL-SAP\_C10 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, definidos 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 o início da termoclina sazonal;
- termoclina (TC) – na profundidade onde foi identificado o início da termoclina sazonal;
- abaixo da termoclina (ABTC) – profundidade do início da termoclina sazonal acrescida do valor da meia profundidade entre esta e a superfície.

As profundidades dos estratos de cada estação são apresentadas na Tabela IV-2. As amostragens foram realizadas com a utilização de um conjunto composto

por uma rosette com 24 garrafas oceanográficas do tipo Niskin e do tipo Go-flo, um CTD SBE 19 plus V2 (Figura IV-4). Um disco de Secchi (Fonte: Petrobras/Oceanpact (2023)

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 o período do dia. As amostras de água foram coletadas entre 8:55 do dia 13/03/2023, e 08:33 do dia 15/03/2023.

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: Petrobras/Oceanpact (2023)

**Figura IV-4** – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.

**Tabela IV-2– Profundidades das diferentes camadas amostradas nas coletas de água e fitoplâncton na atual campanha.**

Estações	Níveis	Profundidade (m)
PIL-SAP_M1000	SUP	5,00
	ACTC	-
	TC	16,00
	ABTC	24,00
PIL-SAP_J100_R	SUP	5,00
	ACTC	22,00
	TC	44,00
	ABTC	66,00
PIL-SAP_J250_R	SUP	5,00
	ACTC	15,00
	TC	30,00
	ABTC	45,00
PIL-SAP_J501	SUP	5,00
	ACTC	23,0
	TC	45,00
	ABTC	68,00
PIL-SAP_J502	SUP	5,00
	ACTC	15,00
	TC	29,00
	ABTC	44,00
PIL-SAP_J503	SUP	5,00
	ACTC	12,00
	TC	25,00
	ABTC	36,00
PIL-SAP_J1001	SUP	5,00
	ACTC	-
	TC	17,00
	ABTC	26,00
PIL-SAP_J1002	SUP	5,00
	ACTC	14,00
	TC	28,0
	ABTC	42,00
PIL-SAP_J1003	SUP	5,00
	ACTC	11,00
	TC	22,00
	ABTC	33,00

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



Fonte: Petrobras/Oceanpact (2023)

**Figura IV-5**– Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMPR\_PIL-SAP\_C10.

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

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, 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.

Para avaliar os recipientes utilizados no acondicionamento das amostras foram coletados brancos de frascaria, selecionando-se aleatoriamente um frasco de vidro âmbar para hidrocarbonetos, um frasco de vidro âmbar para fenóis, um frasco de vidro âmbar para COT, um frasco plástico para COT, um frasco plástico para sulfetos, 1 frasco plástico para nutrientes e 1 vial de vidro para BTEX.

#### **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-SAP\_M1000 e PIL-SAP\_J1002).

#### **IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton**

As amostras de zooplâncton foram coletadas em arrastos horizontais de superfície e oblíquos realizados a partir da profundidade da termoclina, em direção à superfície, com uma rede cilindro-cônica de malha de 200 µm, 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 horizontais de superfície, e em arrastos oblíquos, da termoclina até a superfície, com rede bongô de malhas de 300 e 500 µm, com fluxômetro acoplado e diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-7). Os arrastos foram



realizados entre 18:14 e 19:21 do dia 13/03/2023, e entre 17:35 e 18:50 do dia 14/03/2023.

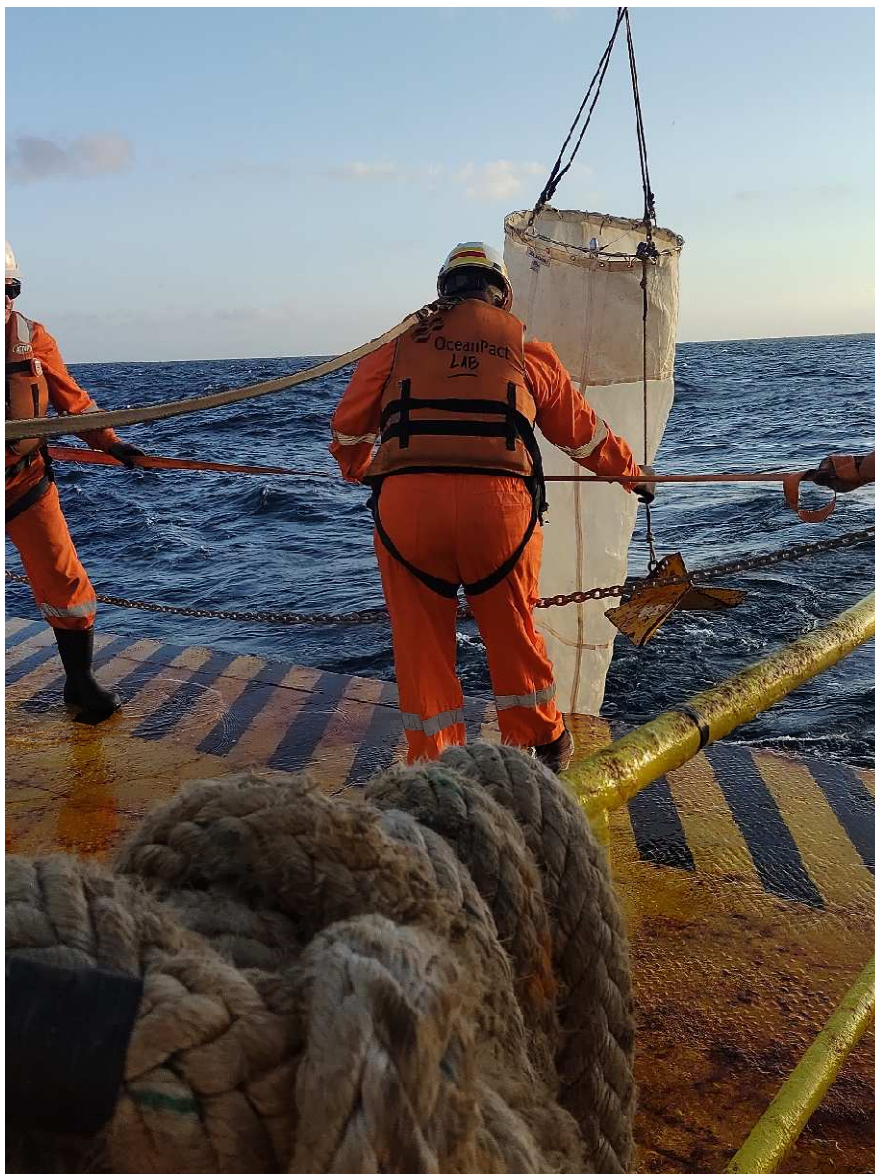
Para a validação das amostras de plâncton foram considerados os seguintes critérios:

- 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-SAP\_C10.

Grupo	Estação	Tipo de arrasto	Malha ( $\mu\text{m}$ )	Volume filtrado ( $\text{m}^3$ )
Zooplâncton	PIL-SAP__M1000	Horizontal	200	81,83
Zooplâncton	PIL-SAP__M1000	Obliquo	200	113,99
Ictioplâncton	PIL-SAP__M1000	Oblíquo	300	63,02
Ictioplâncton	PIL-SAP__M1000	Oblíquo	500	62,84
Ictioplâncton	PIL-SAP__M1000	Horizontal	300	85,79
Ictioplâncton	PIL-SAP__M1000	Horizontal	500	80,14
Zooplâncton	PIL-SAP__J1002	Horizontal	200	88,36
Zooplâncton	PIL-SAP__J1002	Obliquo	200	99,94
Ictioplâncton	PIL-SAP__J1002	Oblíquo	300	78,21
Ictioplâncton	PIL-SAP__J1002	Oblíquo	500	72,92
Ictioplâncton	PIL-SAP__J1002	Horizontal	300	100,13
Ictioplâncton	PIL-SAP__J1002	Horizontal	500	97,04



**Figura IV-6**– Rede cilindro-cônica com malha de 200  $\mu\text{m}$  para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMPR\_PIL-SAP\_C10.



**Figura IV-7** – Redes bongô com malhas de 300 e 500  $\mu\text{m}$  para coleta de amostras de ictioplâncton utilizadas durante a PMPR\_PIL-SAP\_C10.

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

**Quadro IV-1 - Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a PMPR\_PIL-SAP\_C10.**

PARÂMETROS	EQUIPAMENTO	VOLUME	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	ACONDICIONAMENTO
HPA, n-alcanos, MCNR, HTP	Garrafa go-flo	2 x 1 L	Frasco âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
Fenóis	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Refrigeração entre 0-6°C
Sulfetos	Garrafa go-flo	100 mL	Frasco polietileno de alta densidade	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 <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	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 0,4-0,7 µm	-	Congelamento rápido em Nitrogênio líquido e manter a ≤ -20°C
Fitoplâncton	Garrafa go-flo	2 x 1 L	Frasco polietileno escuros	Formaldeído tamponado com bórax a 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 de água 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 nas amostras de água do mar.**

	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 <sub>3</sub> F	-	0,200 mg/L	0,050 mg/L
	Nitrito	SMEWW 4500 NO <sub>2</sub> B	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L
	Silicato	SMEWW 4500 SiO <sub>2</sub> 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 3535A/ USEPA 8015D	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Indeno[1,2,3,c,d]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Naftaleno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
n-alca	n-C8	USEPA 3510C / USEPA 3535A/ USEPA 8015D	-	1,00µg/L	0,20 µg/L
	n-C9			1,00µg/L	0,20 µg/L

n-alcenos	n-C10		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C11		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C12		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C13		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C14		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C15		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C16		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C17		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C18		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C19		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C20		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C21		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C22	USEPA 3510C / USEPA 3535A/ USEPA 8015D		1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C23		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C24		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C25		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C26		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C27		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C28		1,00ug/L	0,20 ug/L	
	n-C29		1,00ug/L	0,20 ug/L	
n-C30		1,00ug/L	0,20 ug/L		
n-C31		1,00ug/L	0,20 ug/L		
n-C32		1,00ug/L	0,20 ug/L		
n-C33		1,00ug/L	0,20 ug/L		
n-C34		1,00ug/L	0,20 ug/L		

	n-C35		1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C36		1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C37		1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C38		1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C39		1,00ug/L	0,20 ug/L
	n-C40		1,00ug/L	0,20 ug/L
	Fitano		1,00ug/L	0,20 ug/L
	Pristano		1,00ug/L	0,20 ug/L
	HRP - Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo		1,00ug/L	0,20 ug/L
	UCM - Mistura Complexa Não Resolvida		1,00ug/L	0,20 ug/L
	HTP - Hidrocarbonetos totais de Petróleo		1,00ug/L	0,20 ug/L
Fenóis	Fenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	o-Cresol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	m-Cresol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	p-Cresol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Clorofenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,5-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,6-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
Fenóis	3,5-Dimetilfenol		0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Etilfenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E	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	
BTEX	Benzeno		1 µg/L	0,100µg/L	
	Tolueno		1 µg/L	0,100µg/L	
	Etilbenzeno	USEPA 5030C / USEPA 8260C	-	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  $\mu\text{m}$  (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, 1991).

A amostra contida na câmara foi triada em sua totalidade com auxílio de microscópio óptico invertido e os indivíduos presentes na amostra foram identificados (organismos  $> 20 \mu\text{m}$ ) 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 o fitoplâncton, 34,52% da abundância total foi identificada até o nível de gênero e 58,86% da abundância total 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-SAP\_C10\_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). Para o zooplâncton, 44,58% da abundância total foi identificada até o nível de ordem e 7,31% até o nível de espécie.

#### **IV.2.4 - Ictioplâncton**

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

Foi realizado o controle de qualidade das amostras com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram contabilizados durante a triagem inicial das amostras. Para tal, a cada lote de dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador para conferência. Neste caso, a amostra validada para cada lote foi PIL-SAP\_C10\_M1000\_HOR\_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, 68,21% da abundância total foi identificada 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.

**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.
Clorofila a	34	Validade da amostra	Validade > Data de análise	34	0	-	-
		Material de referência certificado	Dentro da faixa do certificado	34	0	-	Controle substituído por padrão certificado
		Análises em triplicata	RSD < 10%	34	0	-	-
QUALIDADE DA ÁGUA COT	34+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	34+1	0	-	-
		Branco de Frascaria	BF < LD	34+1			
		Branco de equipamento	BE < LD	34+1	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	34+1	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	34+1	0	-	-
		Material de referência certificado	Recuperação de 86 - 114% (sobre concentração real de 2 mg/L)	34+1	0	-	-
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R <sup>2</sup> > 0,99	34+1	0	-	-
		Amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	34+1	0	-	-
		Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	34+1	0	-	-
		Diferença percentual relativa	DRP < 20%	34+1	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 25%	34+1	0	-	-
		Incerteza do método	IM < 25% incerteza máx. aceitável	34+1	0	-	-
MPS	34	Validade da amostra	Validade > Data de análise	34	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 136+4 (34 amostras +1 branco por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	136+4	0		-		
		Branco de Frascaria	BF < LD	136+4					
		Branco de equipamento	BE < LD	136+4	0		-		
		Branco do método	BM < LD	136+4	0		-		
		Branco de reagentes	BR < LD	136+4	0		-		
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	136+4	0		-		
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R <sup>2</sup> > 0,99	136+4	0		-		
		Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 1,016 mg/L para nitrato; 0,152 mg/L para nitrito; 0,2 mg/L para fósforo total e 0,342 mg/L para silicato)		0		-		
			Análises em triplicata	RSD < 10%	136+4	0		-	
		Incerteza do método	-	136+4	0		-		
		Nitrogênio Amoniacal	34+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	34+1	0		-
				Branco de Frascaria	BF < LD	34+1			
				Branco de equipamento	BE < LD	34+1	0		-
				Branco do método	BM < LD	34+1	0		-
Branco de reagentes	BR < LD			34+1	0		-		
Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 90 - 110%			34+1	0		-		
Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,7 mg/L)			34+1	0		-		
Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R <sup>2</sup> > 0,99			34+1	0		-		
Análises em triplicata	RSD < 10%			34+1	0		-		
Incerteza do método	IM < 10% incerteza máxima aceitável			34+1	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	34+1	0	-	-	
		Branco de Frascaria	BF < LD	34+1	0	-	-	
		Branco de equipamento	BE < LD	34+1	0	-	-	
		Branco do método	BM < LD	34+1	0	-	-	
		Branco de reagentes	BR < LD	34+1	0	-	-	
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	34+1	0	-	-	
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R <sup>2</sup> > 0,99	34+1	0	-	-	
		Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,5 mg/L)	34+1	0	-	-	
	Análises em triplicata	RSD < 10%	34+1	0	-	-		
	Incerteza do método	-	34+1	0	-	-		
	Fenóis/ HPAs/ HTP/ BTEX	119+4 (BTEX: 17, Fenóis: 34, HPA: 34 e HTP: 34 +1 branco por parâmetro)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	119+4	0	-	-
			Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	119+4	0	-	-
			Branco de Frascaria	BF < LD	119+4	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	119+4	0	-	-
Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)			Recuperação de 80 - 120%	119+4	0	-	-	
Solução padrão intermediária <sup>1</sup>			Recuperação de 80 - 120%	119+4	0	-	-	
Amostra fortificada			Recuperação de 60 - 120%	119+4	0	-	-	
Duplicata da amostra fortificada			Recuperação de 60 - 120%	119+4	0	-	-	
Diferença percentual relativa	DRP < 30%	119+4	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%	119+4	0	-	-			
Incerteza do método	-	119+4	0	-	-			

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

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha são apresentados 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.

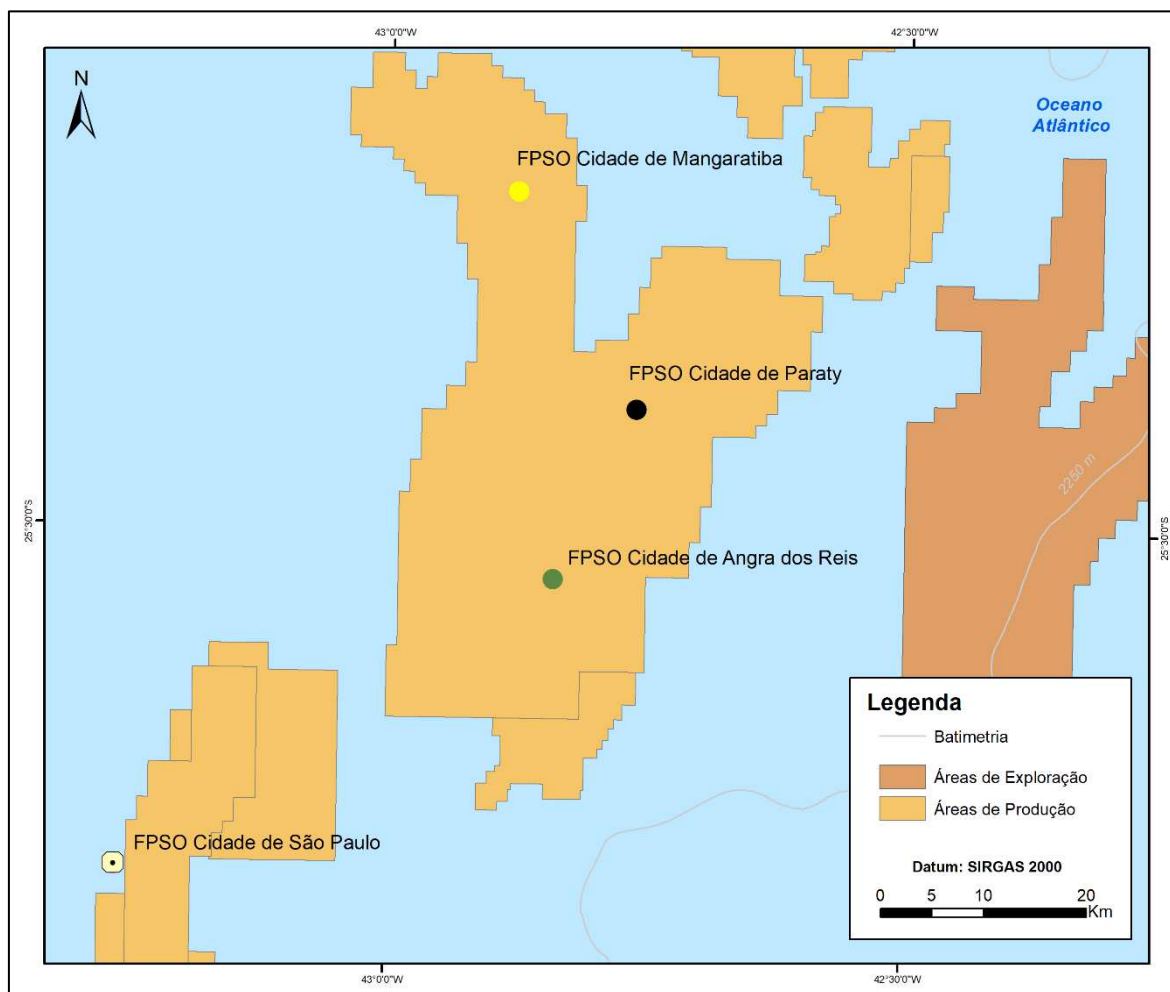


**Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na atual campanha.**

<b>Estudos</b>	<b>Referências</b>	<b>Data de realização</b>
Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS	PETROBRAS, 2022	inverno e primavera de 2019, verão e outono de 2021
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	-
Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para a Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré Sal da Bacia de Santos – Etapa 1	PETROBRAS/ICF, 2013	-
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	PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2016a, 2017a, 2018c, 2018d, 2019b, 2020a, 2022a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a.	Janeiro de 2010, janeiro de 2011, dezembro de 2011, janeiro/fevereiro de 2013, fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, e fevereiro de 2021, dezembro de 2021, respectivamente
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 Lula NE	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018b, 2019a, 2019c, 2020b, 2022b; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022b; 2023a.	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

Estudos	Referências	Data de realização
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	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015d, 2015e, 2017b, 2018e, 2019d, 2019g, 2020c, 2021; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022c	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
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	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016b, 2017c, 2018f, 2019e, 2019f, 2020d, 2022c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023b, 2023c	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
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/PDEDS/AMA, 2013	-

O monitoramento do FPSO Cidade de Angra dos Reis ( Piloto de Lula) e o monitoramento do DP Iracema Sul (FPSO Cidade de Mangaratiba) são realizados a partir de dados primários coletados a cerca de 51 e 76,4 km, respectivamente, a nordeste da área da atual campanha e o monitoramento do Piloto de Lula NE (FPSO Cidade de Paraty) a 67,4 km a nordeste da área onde está instalado o Piloto de Sapinhoá (FPSO-CSP)(Figura IV-8).



**Figura IV-8** – Localização dos FPSOs CSP, Cidade de Angra dos Reis, Cidade de Mangaratiba e Cidade de Paraty).

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, com exceção dos dados da 1ª campanha de monitoramento do Piloto de Lula

(PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), todas as demais foram realizadas quando já havia um empreendimento instalado e operando na área e, portanto, já havia uma fonte de possíveis alterações e os dados não podem ser considerados como representativos de um meio prístino. Entretanto, apesar dos empreendimentos já estarem instalados, é importante destacar que, com exceção de C7 em diante do monitoramento do Piloto de Lula, de C4 em diante do Piloto de Lula NE, de C6 em diante do monitoramento do Piloto de Sapinhoá e de C4 em diante do monitoramento do DP de Iracema Sul, 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.

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)	$34,59 < S < 34,87$	$2,04 < T < 3,31$

Por fim, os dados foram ainda interpretados em relação às condições meteoceanográficas vigentes durante as coletas.

### IV.3.2 - Plâncton

Inicialmente, foi feita uma avaliação do esforço amostral aplicado ao longo das nove campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá, através do gráfico do número cumulativo de taxa por amostra por campanha. Também foi utilizado o estimador de riqueza e a curva de Jacknife 1ª ordem, calculado a partir da fórmula abaixo:

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

onde,

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

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

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

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

A caracterização da biota aquática foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição e riqueza de taxa (número de taxa). A riqueza

de taxa foi utilizada em detrimento da riqueza de espécies dada a grande dificuldade na identificação desses indivíduos até este nível taxonômico. Esse impedimento ocorre devido à fragilidade desses exemplares em conjunto com a utilização de soluções com formol, que ajudam na conservação das amostras, mas também podem degradar estruturas dos organismos.

Os taxa foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos/classes), bem como quanto a distribuição quali e quantitativa dentro desses grupos. Os grandes grupos considerados para fitoplâncton foram: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Os grupos Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platelminotos foram considerados para as análises de zooplâncton. Já para o ictioplâncton, foram considerados os seguintes grandes grupos: Acanthuriformes, Aulopiformes, Carangaria, Carangiformes, Clupeiformes, Eupercaria, Gadiformes, Gobiiformes, Kurtiformes, Mugiliformes, Mulliformes, Myctophiformes, Ophidiiformes, Ovalentaria, Perciformes, Pleuronectiformes, Scombriformes, Stomiiformes e Tetraodontiformes. 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 ( $J'$ ). Eles foram calculados através do programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In MultiEcologicalResearch). 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/m<sup>3</sup>).

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

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 m<sup>3</sup> (ind/100 m<sup>3</sup>).

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

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

Hmax = diversidade máxima que a amostra poderia alcançar para o número total de N indivíduos

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

A equitabilidade varia no intervalo de 0 a 1, sendo as comunidades mais homogêneas aquelas com valores mais próximos de 1. 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 indicadoras 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	Fitoplâncton	8	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		8	Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
	Zooplâncton	4	Validade da amostra	Validade > Data de análise	4	0	-	-
		4	Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	4	0	-	-
		4	Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra PIL- SAP_C10_J1002_HOR_200
		8	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
	Ictioplâncton	8	Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
		8	Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	8	0	-	Validação na amostra PIL- SAP_C10_M1000_HOR_500

## IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

### IV.4.1 - Qualidade da Água

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade da água das nove 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 - *oneway*), 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* SystatSigmaPlot 12.5.

Importante destacar que, conforme manual do SigmaPlot 12.5, o *software* testa automaticamente a normalidade (Shapiro Wilk`stest) e homoscedasticidade (*Hartleytest*) do conjunto de dados previamente à análise de variância. Caso os pressupostos sejam atendidos, procede-se a ANOVA - *oneway*. 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 - *oneway*, 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 - oneway), 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* SystatSigmaPlot 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 - oneway, 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 (escalamento multidimensional – MDS e dendrograma de agrupamento - *cluster*), no programa PRIMER v6 (Plymouth Routines In MultiEcologicalResearch).

O MDS foi executado utilizando matriz de similaridade *Bray-Curtis* com os dados brutos. Essa análise é uma ferramenta útil para comparar similaridades na

composição de comunidades (CLARKE & WARWICK, 2001). Ela foi utilizada com intuito de comparar a estrutura das diferentes comunidades nas estações de coleta. O MDS gera um valor de *stress*. Quanto menor o valor do *stress* melhor é o ajuste entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados. Valores de *stress* ideais são aqueles menores que 0,20, correspondendo a uma boa ordenação dos dados (CLARKE & WARWICK, *op. cit.*).

O *Cluster* também é utilizado para verificar a similaridade na estrutura de comunidades (VALENTIN, 2012) e também foi realizado para comparar as estações de amostragem, utilizando matriz de similaridade de *Bray-Curtis* com os dados brutos. Através dessa análise foram gerados dendogramas de agrupamento por similaridade das estações de coleta.

#### **IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA**

A análise integrada foi realizada para o ambiente pelágico das estações de coleta amostradas para a 10<sup>a</sup> campanha de monitoramento ambiental do PIL-SAP. Essa análise objetiva integrar os dados biológicos e físico-químicos coletados na área de estudo para investigar possíveis respostas da biota às variações ambientais.

Para fins de comparação entre o ambiente abiótico e a porção biótica do ambiente pelágico (plâncton), foram utilizados apenas os dados das estações PIL-SAP\_M1000 e PIL-SAP \_J1002 (n=8) 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).

Previamente à realização das análises, 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 avaliar a variabilidade ambiental do ambiente pelágico, foi primeiramente realizada uma análise de componentes principais (ACP) para avaliar a distribuição de todas as estações amostrais da 10ª campanha. Nessa ACP foram considerados os dados dos parâmetros ambientais de todas as amostras (n=36) como variáveis ativas, com posterior plotagem das estações sobre o plano. Outra ACP foi realizada utilizando-se apenas as estações com coletas de dados ambientais e os dados biológicos. Nessa segunda ACP, as variáveis abióticas foram consideradas variáveis ativas, enquanto as variáveis biológicas foram utilizadas como variáveis suplementares, sendo sobrepostas sobre o plano da ACP. 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.

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

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

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 ficaram abaixo do limite de detecção ou quantificação nas análises laboratoriais em todas as amostras ou na maioria delas, e nem os dados que não apresentaram variação entre as estações amostrais. A falta de variação dos dados inviabiliza a realização de análise estatística.

## V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA

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

#### V.1.1 - Temperatura e Salinidade

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

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

Na atual campanha de monitoramento do Piloto de Sapinhoá, os maiores valores médios de temperatura foram registrados nas profundidades superfície ( $26,73 \pm 0,30$  °C) e acima da termoclina ( $26,46 \pm 0,42$  °C), com valores máximos de  $27,07$  °C, na superfície da estação PIL-SAP\_J1001, e  $26,89$  °C, na camada acima da termoclina da estação PIL-SAP\_J502.

Os valores de temperatura encontrados abaixo da termoclina variaram entre 22,88 °C, na estação PIL-SAP\_J501, e 26,06°C, na estação PIL-SAP\_J1001, com média de 24,98 ± 1,15 °C (Tabeça V-1). A termoclina apresentou valor médio de 25,55 ± 1,25 °C.

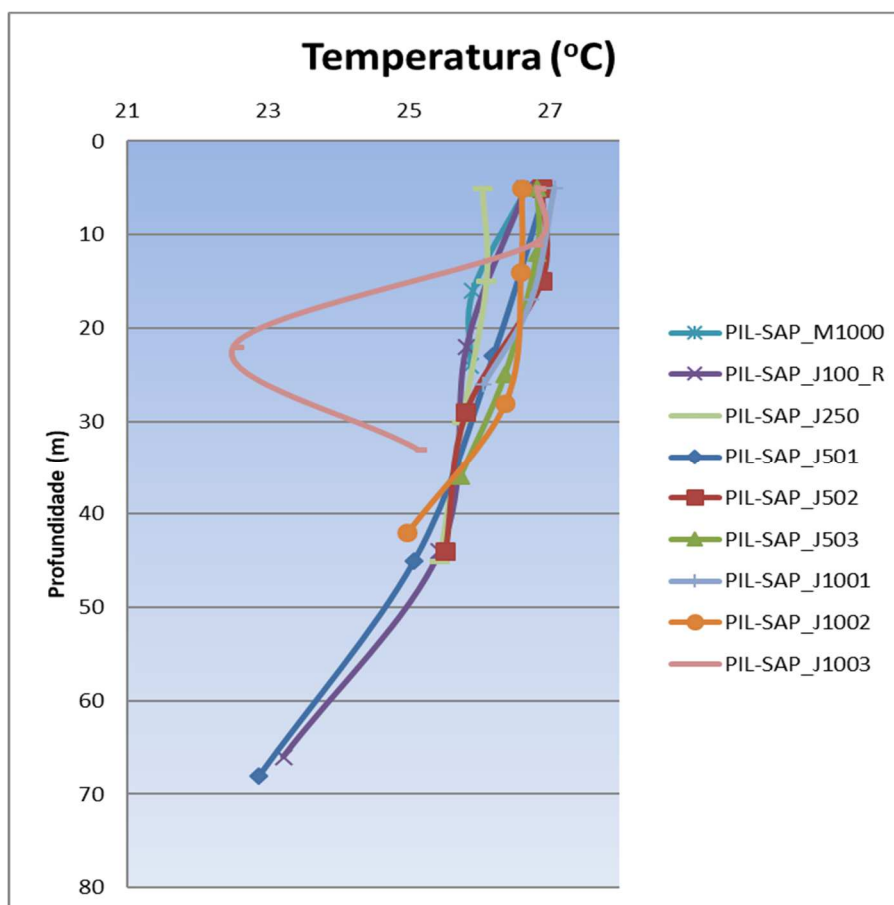
**Tabela V-1 – Valores de temperatura da água do mar (°C) medidos na atual campanha de monitoramento.**

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-SAP_M1000	PIL-SAP_J100_R	PIL-SAP_J250_R	PIL-SAP_J501	PIL-SAP_J502	PIL-SAP_J503	PIL-SAP_J1001	PIL-SAP_J1002	PIL-SAP_J1003		
<b>SUP</b>	26,68	26,66	26,04	26,95	26,89	26,83	27,07	26,60	26,81	26,73	0,30
<b>ACTC</b>	-	25,82	26,10	26,20	26,89	26,83	-	26,59	26,77	26,46	0,42
<b>TC</b>	25,91	25,44	25,76	25,08	25,81	26,37	26,74	26,37	22,51	25,55	1,25
<b>ABTC</b>	25,88	23,22	25,44	22,88	25,52	25,73	26,06	24,98	25,11	24,98	1,15
<b>Máx.</b>	26,68	26,66	26,10	26,95	26,89	26,83	27,07	26,60	26,81		
<b>Mín.</b>	25,88	23,22	25,44	22,88	25,52	25,73	26,06	24,98	22,51		
<b>Média</b>	26,16	25,29	25,84	25,28	26,28	26,44	26,62	26,14	25,30		
<b>DP</b>	0,45	1,47	0,30	1,77	0,72	0,52	0,52	0,78	2,02		

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

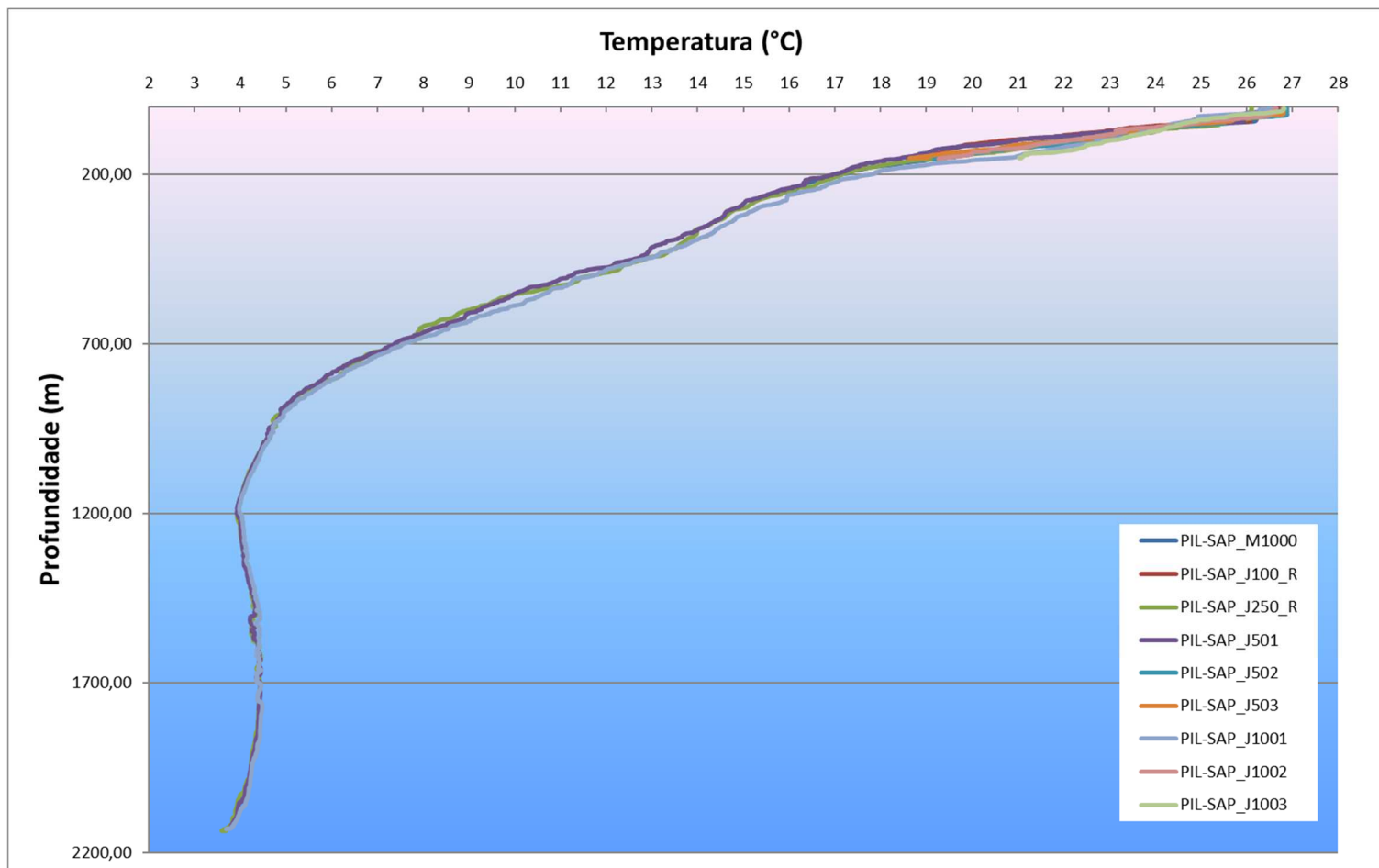


Na Figura V-1, verifica-se o perfil da temperatura nas estações de coleta ao longo da coluna d'água nas quatro profundidades amostradas. De maneira geral, a temperatura apresentou uma tendência de diminuição da superfície para as camadas mais profundas, para a maioria das estações amostrais. A amostra PIL-SAP\_J1003, se destacou das demais, apresentando um maior decaimento da temperatura da ACTC para TC, seguido do aumento da temperatura de TC para ABTC.



**Figura V-1** – Perfil de Temperatura da água do mar (°C) da atual campanha de monitoramento.

Na Figura V-2 são apresentados os valores de temperatura da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD. Na mesma, é possível identificar a presença da termoclina, entre 30 e 800 m, estando a mesma mais acentuada até os 300 m.



**Figura V-2** – Perfis de temperatura (°C) da água do mar obtidos com CTD da atual campanha de monitoramento

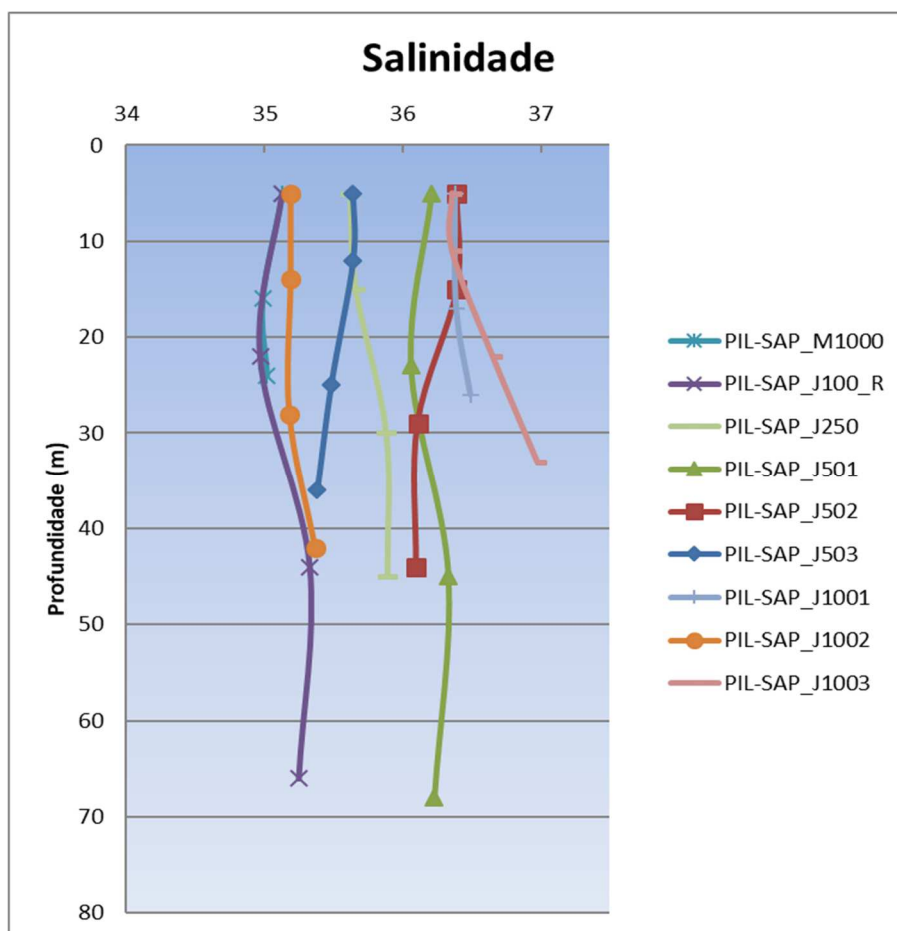
Em relação à salinidade, o menor valor medido foi de 34,97 na estação PIL-SAP\_J100\_R, na profundidade acima da termoclina, e o maior, 36,97 na estação PIL-SAP\_J1003, na camada abaixo da termoclina (Tabela V-2). Considerando todas as estações, a salinidade média variou entre  $35,75 \pm 0,55$  na camada acima da termoclina e  $35,86 \pm 0,65$  na camada abaixo da termoclina

**Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos na atual campanha de monitoramento.**

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-SAP_M1000	PIL-SAP_J100_R	PIL-SAP_J250_R	PIL-SAP_J501	PIL-SAP_J502	PIL-SAP_J503	PIL-SAP_J1001	PIL-SAP_J1002	PIL-SAP_J1003		
<b>SUP</b>	35,13	35,13	35,62	36,21	36,39	35,64	36,38	35,19	36,36	35,78	0,56
<b>ACTC</b>	-	34,97	35,66	36,06	36,39	35,64	-	35,19	36,36	35,75	0,55
<b>TC</b>	34,99	35,33	35,88	36,33	36,11	35,48	36,39	35,18	36,65	35,82	0,59
<b>ABTC</b>	35,02	35,25	35,89	36,23	36,10	35,38	36,49	35,37	36,97	35,86	0,65
<b>Máx.</b>	35,13	35,33	35,89	36,33	36,39	35,64	36,49	35,37	36,97		
<b>Mín.</b>	34,99	34,97	35,62	36,06	36,10	35,38	36,38	35,18	36,36		
<b>Média</b>	35,05	35,17	35,76	36,21	36,25	35,54	36,42	35,23	36,59		
<b>DP</b>	0,07	0,16	0,14	0,11	0,16	0,13	0,06	0,09	0,29		

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

Apesar das variações de salinidade entre as estações amostrais, a mesma se manteve relativamente constante ao longo da profundidade, com leve tendência de aumento da camada ACTC para TC, voltando a ficar constante para ABTC, na maioria das estações. Destaca-se PIL-SAP\_J1003, que aumentou de ACTC para ABTC, e PIL-SAP\_J502 e PIL-SAP\_J503, que tenderam a diminuir de ACTC para TC e estabilizar de TC para ABTC (Figura V-3).



**Figura V-3** – Perfis 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 20 e 800 m, estando esta mais acentuada até 300 m.

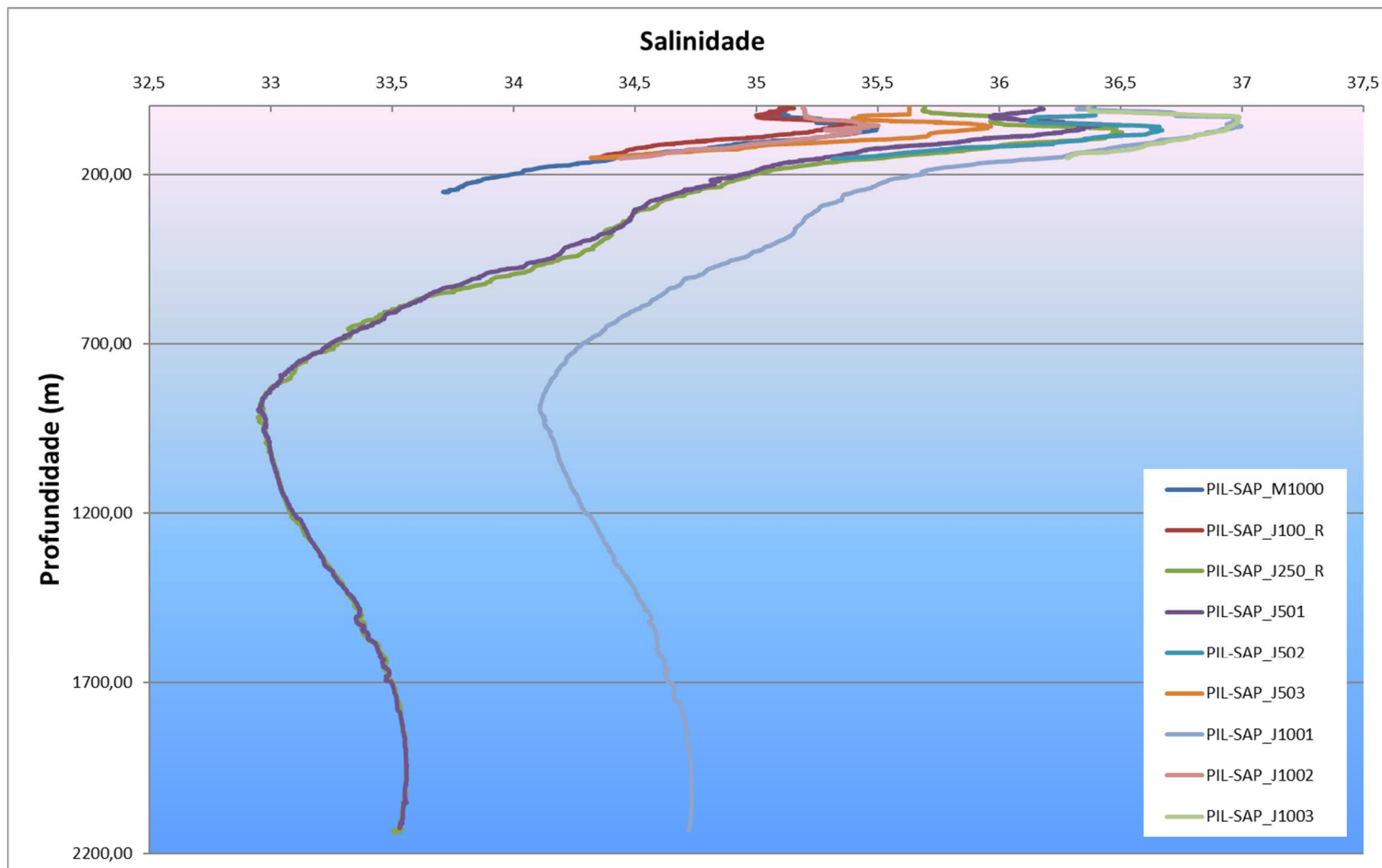


Figura V-4 – Perfis de salinidade obtidos com CTD na atual campanha de monitoramento.

Na caracterização regional da Bacia de Santos (PCR-BS), realizada entre 2019 e 2022, temperatura e salinidade média da camada de mistura variaram mais no inverno, entre 17 e 28°C e a salinidade entre ~32,8 e 37,6, enquanto no verão a temperatura variou menos, entre 23 e 28°C, e as salinidades baixas ocorreram em pontos restritos da costa.

Na Tabela V-3, são apresentados os valores mínimo e máximo 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 do mar nos estudos anteriores.**

Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	18,54 (210 m)	27,49 (SUP)	36,04	36,72
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	-	-	36,77	37,01
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	13,96 (200 m)	24,95 (SUP)	35,55 (25 m)	36,89 (200 m)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	23,57 (ABTC)	26,39 (SUP)	36,90 (SUP/ACTC)	37,14 (ABTC)
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	17,85 (ABTC)	27,59 (SUP)	35,99 (ABTC)	37,03 (ACTC)
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	22,74 (ABTC)	27,10 (SUP)	36,95 (ABTC)	37,18 (TC/ABTC)
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	23,24 (ABTC)	24,54 (SUP)	36,97 (ABTC)	37,08 (SUP/ACTC)
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	22,35 (ABTC)	24,12 (TC)	36,89 (ABTC)	37,13 (TC)
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	20,48 (ABTC)	25,28 (SUP)	36,59 (ABTC)	36,99 (TC)
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	22,05 (ABTC)	23,45 (SUP/ACTC)	36,85 (ABTC)	37,02 (SUP)
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	25,20 (ABTC)	26,87 (SUP/ACTC)	37,22 (SUP/ACTC/TC)	37,33 (ABTC)
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	23,78 (ABTC)	27,88 (SUP)	37,03 (ABTC)	37,29 (TC)
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	19,70 (ABTC)	23,64 (SUP)	36,32 (ABTC)	37,00 (ACTC)
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	20,32 (ACTC)	27,06 (SUP)	36,43 (ABTC)	37,12 (ACTC)
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	22,67 (ABTC)	27,24 (SUP)	36,99 (ABTC)	37,25 (TC)
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	22,64 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,92 (ABTC)	37,18 (SUP)
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	21,61 (ABTC)	24,51 (SUP)	36,76 (ABTC)	37,21 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	22,60 (ABTC)	25,11 (SUP)	36,78 (TC)	37,12 (TC)
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	22,72 (ABTC)	23,76 (SUP)	36,95 (TC)	36,99 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	24,72 (ABTC)	27,00 (SUP)	37,09 (ABTC)	37,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	21,30 (ABTC)	26,99 (SUP)	36,56 (ACTC/ABTC)	37,22 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	20,56 (ABTC)	23,54 (SUP)	36,54 (ABTC)	37,13 (SUP)
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	24,16 (ABTC)	27,77 (SUP)	36,24 (SUP/ACTC)	36,59 (ABTC)
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	14,51 (ABTC)	27,44 (SUP)	35,42 (ABTC)	36,94 (ACTC)
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	22,58 (ABTC)	27,43 (SUP)	36,93 (ABTC)	37,17 (TC)
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	22,60 (ABTC)	24,65 (SUP/ACTC)	36,90 (ABTC)	37,11 (SUP/ACTC)

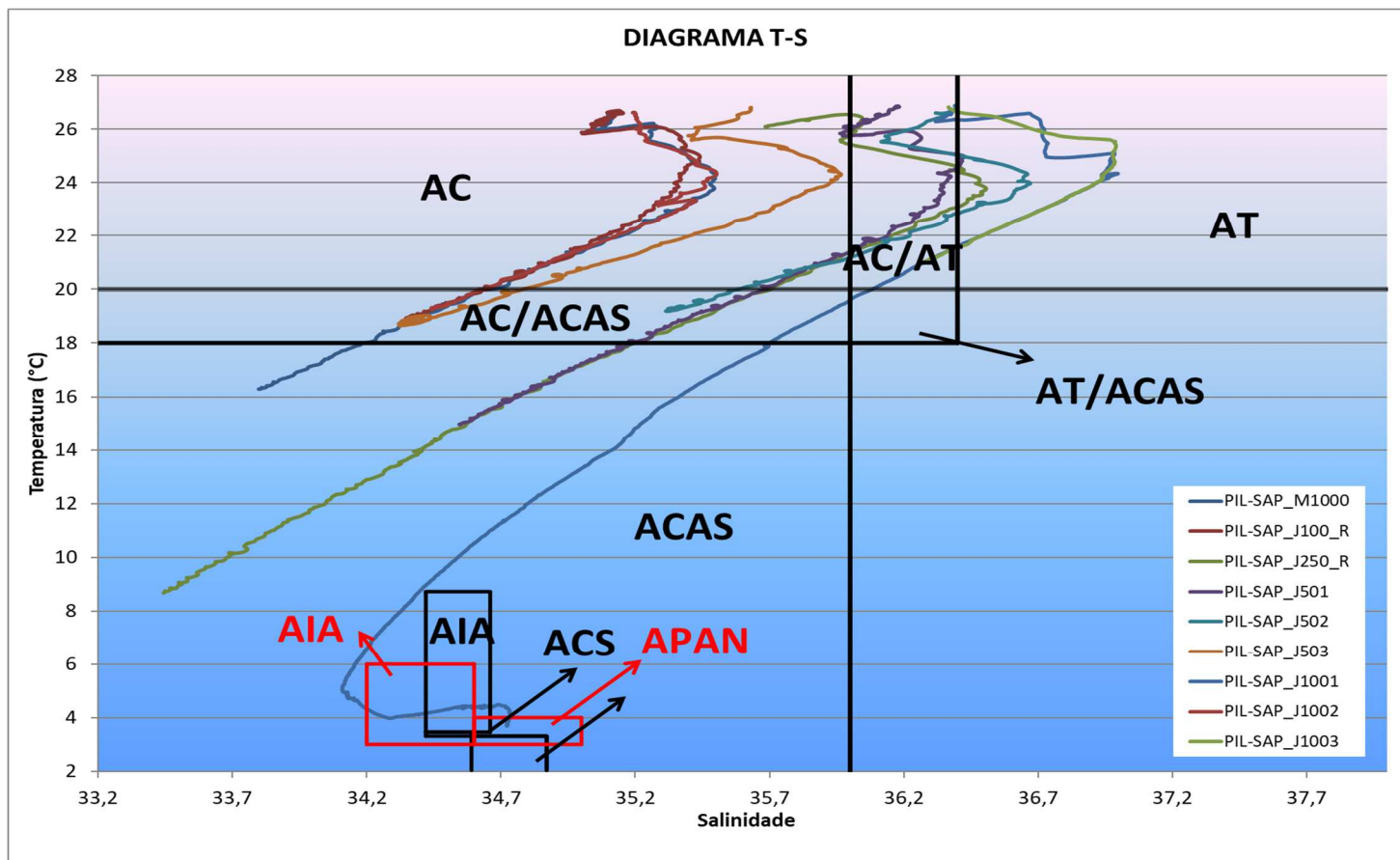
Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	20,37 (ABTC)	23,40 (SUP)	36,33 (ABTC)	36,76 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	21,93 (ABTC)	25,36 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,95 (TC)
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	22,42 (ABTC)	24,75 (SUP)	36,88 (ABTC)	37,11 (TC)
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	23,72 (ABTC)	26,48 (SUP)	36,73 (ABTC)	37,15 (ABTC)
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	23,94 (ABTC)	26,17 (SUP)	37,12 (ABTC)	37,22 (TC)
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	21,60 (ABTC)	23,78 (SUP)	36,48 (TC)	36,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	20,99 (ABTC)	27,12 (SUP)	36,58 (ABTC)	37,21 (ACTC)
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	22,60 (ABTC)	25,54 (SUP)	36,91 (ABTC)	37,20 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	21,26 (ABTC)	23,85 (SUP)	36,66 (ABTC)	37,06 (TC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	23,57 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,99 (SUP/ACTC)	37,29 (TC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	22,70 (ABTC)	23,61 (SUP)	36,96 (ABTC)	37,02 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	25,31 (ABTC)	26,90 (SUP)	37,27 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	37,36 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	22,20 (ABTC)	26,76 (SUP)	36,69 (ABTC)	36,99 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	21,59 (ABTC)	24,91 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,94 (ACTC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	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) (Tabela IV-6), conforme metodologia proposta no 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 com poucos dados e estudos que explorem as massas d'água e os limites especificamente para a Bs. 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.

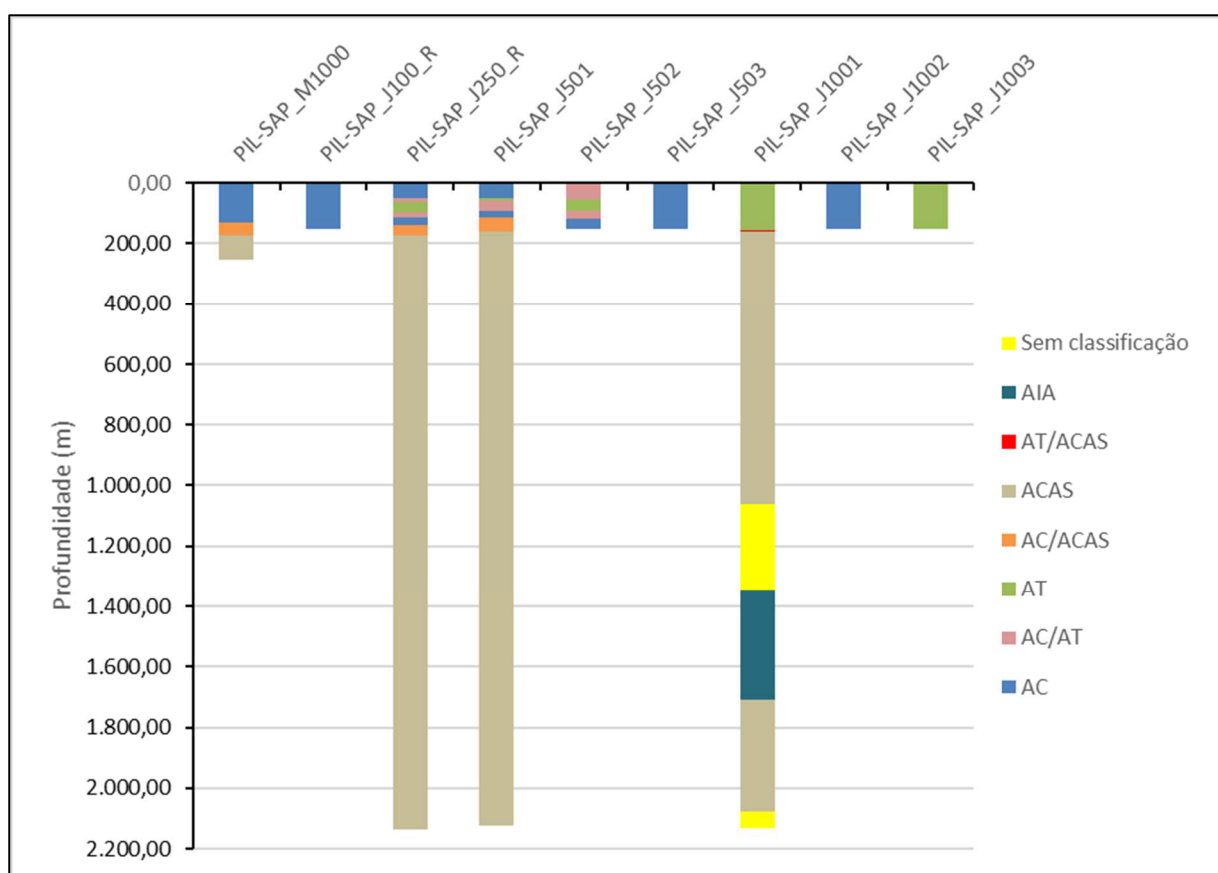




Legenda: AC=Água Costeira; AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AC/AT=mistura de AC e AT; AC/ACAS=mistura de AC e ACAS, AT/ACAS=mistura de AT e ACAS, AIA=Água Intermediária Antártica; ACS=Água Circumpolar Superior e APAN=Água Profunda do Atlântico Norte.

**Figura V-5 – Diagrama T-S na atual campanha de monitoramento. Em vermelhos, limites estabelecidos por Castro et al., (2006).**

A análise dos dados conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) mostrou uma distribuição estratificada das massas d'água ao longo da coluna, com a ocorrência de sete massas: AT, AC, AC/AT, AT/ACAS, AC/ACAS, ACAS e AIA (Figura V-6). Considerando-se a classificação de Castro *et al.*, (2006), em caráter complementar, verifica-se alteração das profundidades de ocorrência da AIA, bem como a presença de APAN, não sendo identificada, entretanto a ACS, uma vez que tal estudo, embora cite esta massa d'água e sua ocorrência na Bacia de Santos, caracterizada também através de um pico de oxigênio dissolvido em altas profundidades, não define seus limites de temperatura e salinidade.



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

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

A Água Costeira (AC) ocupou a porção mais superficial até o nível da camada abaixo da termoclina, na maioria das estações amostrais, atingindo o máximo de 153 m, na estação PIL-SAP\_J1002 e 151 m, nas estações PIL-SAP\_J100\_R e PIL-

SAP\_J503. Na estação PIL-SAP\_J502, a mistura de água costeira e água trocical (AC/AT) ocupou a porção mais superficial até o nível da camada abaixo da termoclina, até 53 m, enquanto nas estações PIL-SAP\_J1001 e PIL-SAP\_J1003 foi a água tropical (AT) que apresentou esse padrão, atingindo 157 e 151 m, respectivamente. A mistura AT/ACAS ocorreu numa pequena porção, entre 157 m e 162 m, apenas na estação PIL-SAP\_J1001. E a mistura AC/ACAS ocupou uma pequena faixa de profundidade, entre 108 e 174 m, apenas nas estações PIL-SAP\_M1000, PIL-SAP\_250\_R e PIL-SAP\_J501. Apenas nessas mesmas estações, ocorre a ACAS, que ocupou porções mais profundas da coluna d'água, a partir de aproximadamente 252 metros, em PIL-SAP\_M1000, até 2135 m, na estação PIL-SAP\_J250\_R. Na estação PIL-SAP\_M1000 a perfilagem foi realizada até 252 m, respectivamente, portanto, a profundidade máxima de ocorrência da ACAS correspondeu a profundidade máxima perfilada nessa estação. Nas demais estações em que não foi identificada ACAS, a perfilagem ocorreu até aproximadamente 150 m. A ACAS é formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical e transportada pelas correntes através do giro Subtropical do Atlântico Sul até atingir a costa brasileira, onde sofre bifurcação aproximadamente em 22º S, na região do Cabo de São Tomé (SILVEIRA *et al.*, 2000).

Conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000), a AIA ocupou maior profundidade, entre 1.344 m a 1.707 m, apenas na estação PIL-SAP\_J1001, estando sem classificação na profundidade da coluna d'água compreendida entre 1.060 a 1.344 m, em virtude dos seus mais baixos valores de salinidade. Os limites da APAN, conforme Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000), não classificaram os resultados de temperatura e salinidade encontrados na presente campanha.

Considerando-se, a classificação de Castro *et al.*, (2006), foi identificada a ocorrência de AIA e APAN, na presente campanha, apenas em PIL-SAP\_J1001. A AIA ocuparia a porção da coluna d'água compreendida entre 1.060 e 1.344 m, e a APAN, ocuparia profundidade superior a partir de 2.077 m, até a máxima profundidade perfilada, 2.130 m.

Assim como na atual campanha, a AT e a ACAS foram as massas que ocorreram de forma mais recorrente nas amostragens das treza campanhas de

monitoramento do Piloto de Lula, das dez campanhas de monitoramento do Piloto de Lula NE, das nove primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá e das nove primeiras campanhas de monitoramento do DP de Iracema Sul (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018e, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022a, 2022b, 2022c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023a, 2023b, 2023c) (Quadro V-1). As principais diferenças encontradas entre a atual campanha e as campanhas anteriores deste monitoramento foram a presença de AT/ACAS e de ACAS na termoclina durante a primeira campanha, a presença de AC e AC/AT na SUP, ACTC e TC na décima campanha, ausência de AT na ABTC durante a primeira campanha, a ausência de ACS na ABTC durante a sexta, a oitava, a nona e a décima campanha, e a presença de AC/AT na ABTC da oitava e décima campanha e a presença de AC/ACAS na ABTC da décima campanha.

**Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água nos diferentes estratos das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.**

Estratos	Campanhas									
	PIL-SAP_C1	PIL-SAP_C2	PIL-SAP_C3	PIL-SAP_C4*	PIL-SAP_C5	PIL-SAP_C6	PIL-SAP_C7	PIL-SAP_C8	PIL-SAP_C9	PIL-SAP_C10
<b>SUP</b>	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC AC/AT AT
<b>ACTC</b>	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC AC/AT AT
<b>TC</b>	AT AT/ACAS ACAS	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC AC/AT AT
<b>ABTC</b>	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 APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS APAN**	AT AC/AT AT/ACAS ACAS AIA APAN**	AT AT/ACAS ACAS AIA*** APAN**	AC AC/AT AT AC/ACAS ACAS AT/ACAS AIA*** APAN**

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 na maioria das estações.

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

\*\*\* Considerando a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) e 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. Assim sendo, sua medição é fundamental na avaliação das condições naturais da água e de sua capacidade para manter a vida aquática. Além disso, a concentração de oxigênio dissolvido pode auxiliar na detecção de impactos ambientais (ex. eutrofização e poluição orgânica).

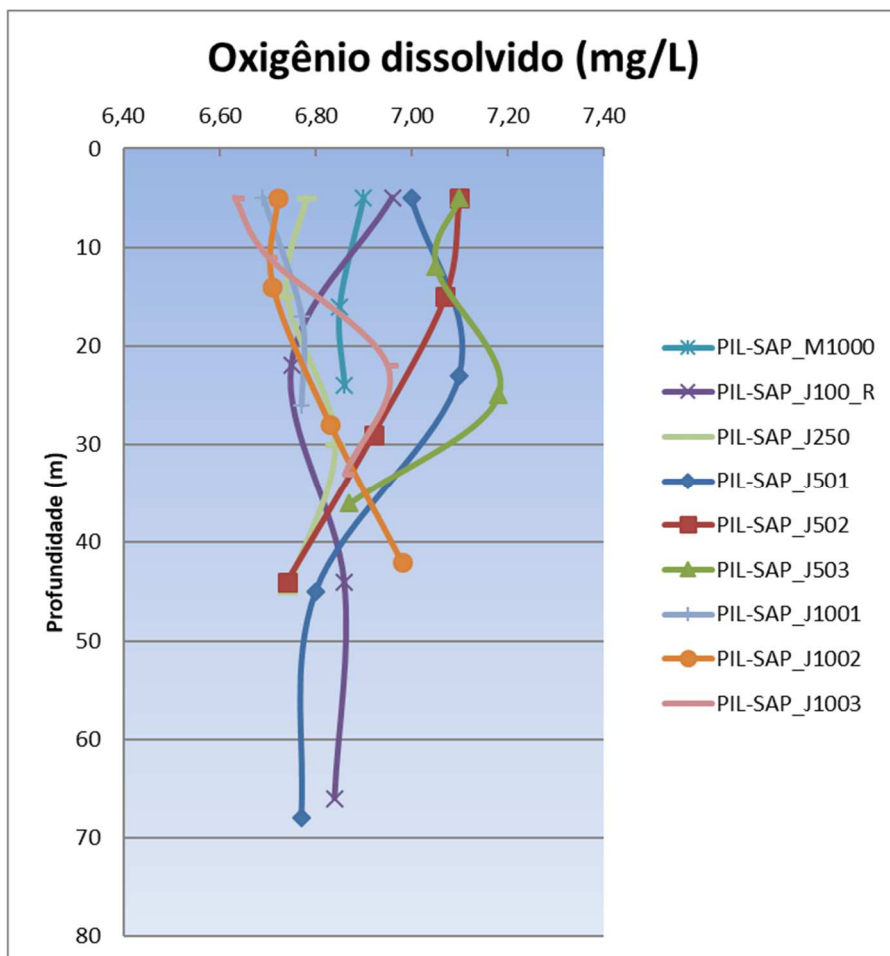
Na presente campanha de monitoramento os valores de oxigênio dissolvido registrados nas estações variaram entre 6,63 mg/L, na superfície da estação PIL-SAP\_J1003, e 7,18 mg/L, na termoclina da estação PIL-SAP\_J503 (Tabela V-4 e Figura V-7).

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

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- SAP_M1000	PIL- SAP_J100_R	PIL- SAP_J250_R	PIL- SAP_J501	PIL- SAP_J502	PIL- SAP_J503	PIL- SAP_J1001	PIL- SAP_J1002	PIL- SAP_J1003		
<b>SUP</b>	6,90	6,96	6,78	7,00	7,10	7,10	6,69	6,72	6,63	6,88	0,18
<b>ACTC</b>	-	6,75	6,74	7,10	7,07	7,05	-	6,71	6,70	6,87	0,19
<b>TC</b>	6,85	6,86	6,84	6,80	6,92	7,18	6,77	6,83	6,95	6,89	0,12
<b>ABTC</b>	6,86	6,84	6,74	6,77	6,74	6,87	6,77	6,98	6,86	6,83	0,08
<b>Máx.</b>	6,90	6,96	6,84	7,10	7,10	7,18	6,77	6,98	6,95		
<b>Mín.</b>	6,85	6,75	6,74	6,77	6,74	6,87	6,69	6,71	6,63		
<b>Média</b>	6,87	6,85	6,78	6,92	6,96	7,05	6,74	6,81	6,79		
<b>DP</b>	0,03	0,09	0,05	0,16	0,17	0,13	0,05	0,13	0,15		

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

Conforme observado na Tabela V-4, o menor valor médio de oxigênio dissolvido ocorreu na camada abaixo da termoclina (média =  $6,83 \pm 0,08$  mg/L). Já os maiores valores médios de OD ocorreram nas demais camadas (SUP, média =  $6,88 \pm 0,18$  mg/L; ACTC, média =  $6,87 \pm 0,19$  mg/L; TC, média =  $6,89 \pm 0,12$  mg/L). De acordo com os padrões CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, todos os valores medidos na atual campanha estavam acima do limite mínimo estabelecido para águas salinas de classe 1, de 6,0 mg/L.

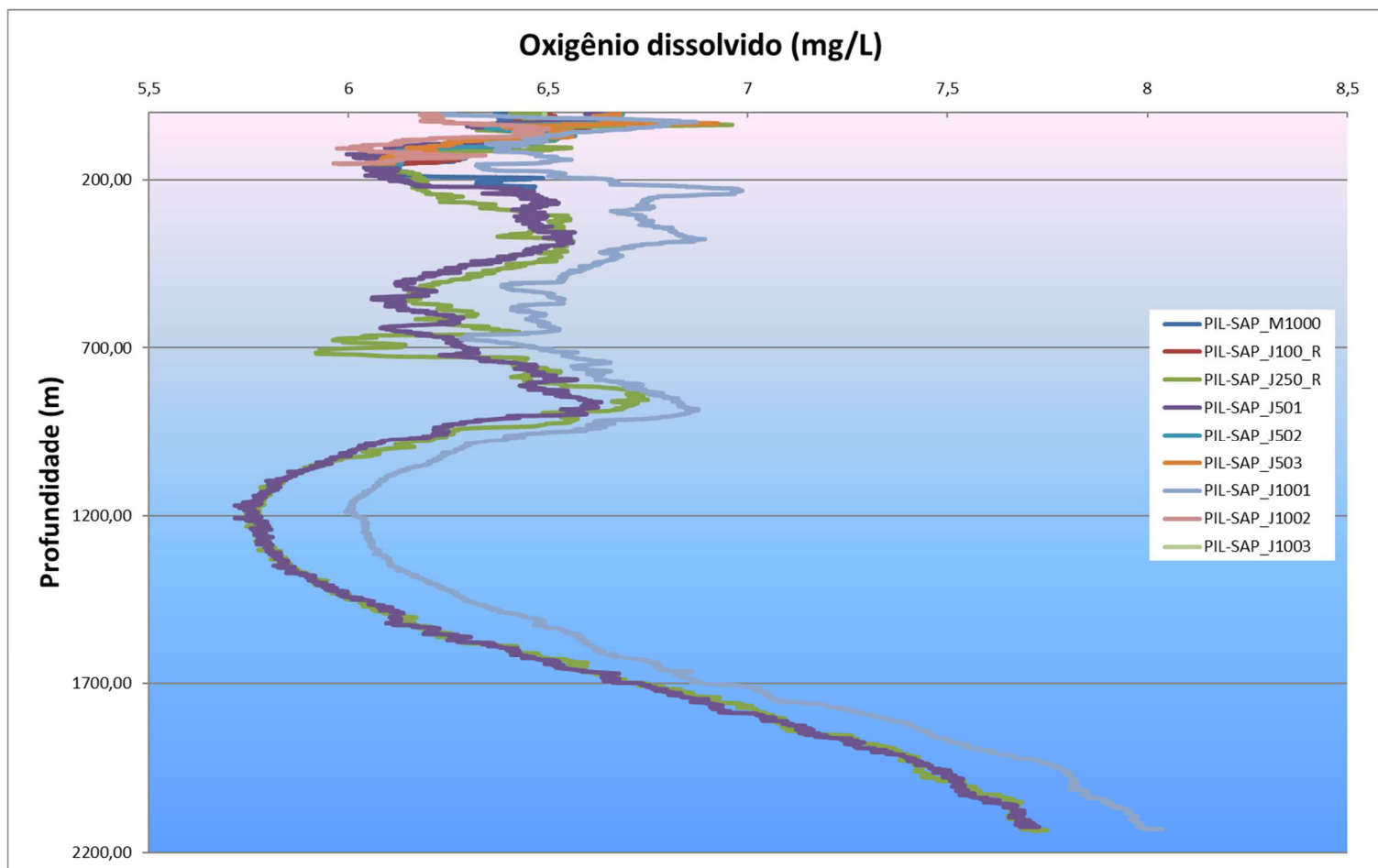


**Figura V-7** – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas estações da atual campanha de monitoramento.

A distribuição vertical das concentrações de OD na coluna d'água amostrada variou entre as estações, sem apresentar um padrão predominante. Destaca-se tendência de aumento das concentrações de ACTC a TC e diminuição de TC para ABTC, nas estações PIL-SAP\_J501 e PIL-SAP\_J1003. Nas estações PIL-SAP\_J250\_R e PIL-SAP\_J503 ocorre diminuição das concentrações de SUP para ACTC, aumento de ACTC para TC e novamente diminuição para ABTC. Em PIL-SAP\_J502, verifica-se tendência de diminuição de OD desde a superfície até a camada abaixo da termoclina, ocorrendo padrão inverso em PIL-SAP\_J1002 (Figura V-7).

O perfil vertical das concentrações de OD na coluna d'água obtidos com CTD revelou um padrão variável das concentrações de OD desde a superfície até a termoclina, decréscimo entre 800 m e 1.200 m de profundidade com 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), 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. Essas faixas de variação de oxigênio dissolvido são condizentes com a verificada na atual campanha, exceto em relação a minoria das campanhas realizadas na região, que apresentaram resultados levemente maiores.

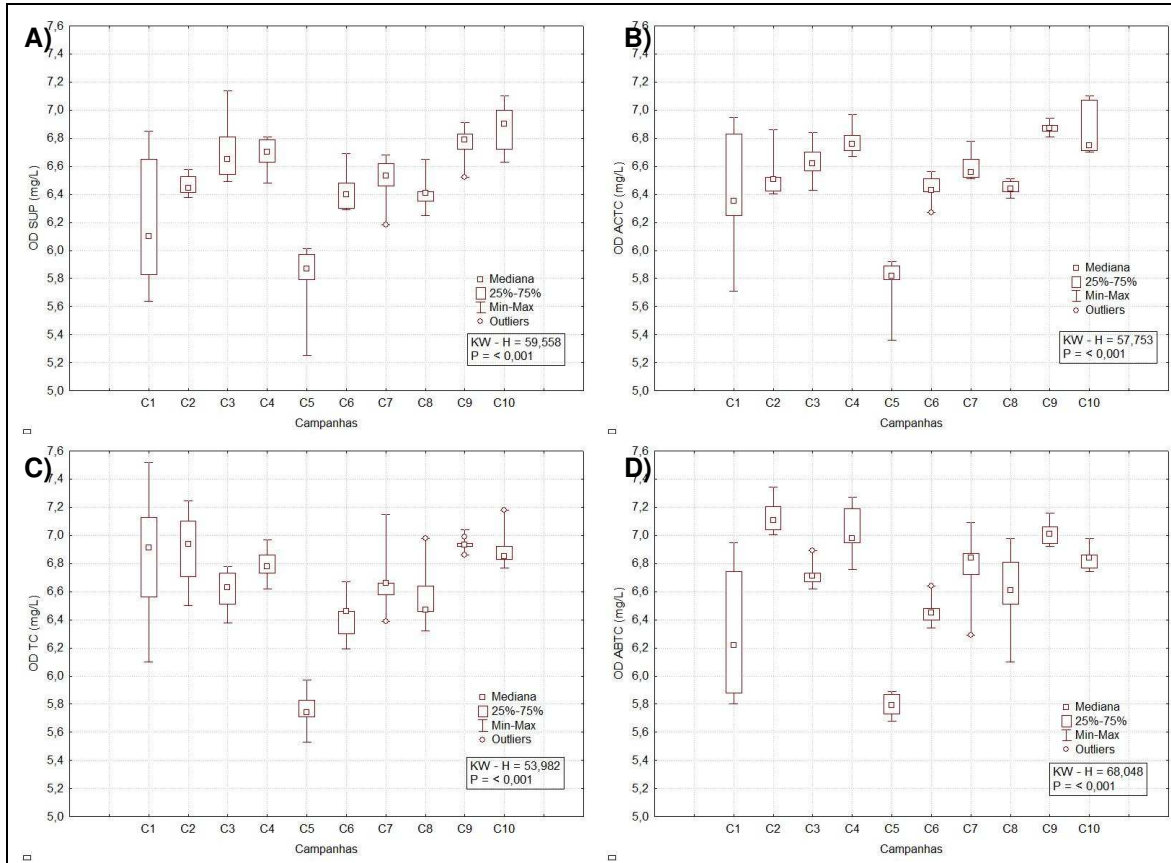
**Tabela V-5 - Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) encontrados na água do mar nos estudos anteriores.**

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

Campanha	Oxigênio dissolvido (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	6,10 (ABTC)	6,98 (ABTC)
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	6,52 (SUP)	7,16 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	6,26 (ACTC)	6,88 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	6,18 (SUP)	6,75 (TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	6,60 (SUP)	7,19 (SUP)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	6,29 (SUP)	6,70 (ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	5,90 (TC)	6,50 (ABTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	6,39 (ACTC)	7,00 (ACTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	6,58 (TC)	7,42 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	6,57 (SUP)	7,59 (TC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	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 de oxigênio dissolvido (OD) obtidas em cada profundidade nas campanhas da fase de operação do monitoramento do Piloto de Sapinhoá. É possível verificar que a 1ª campanha mostrou uma variação mais ampla nas concentrações de OD em cada profundidade. Na comparação dos resultados de concentração de OD obtidos em cada um dos níveis de profundidade nas campanhas da fase de operação, foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas para todas as profundidades (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). Na superfície, C9 diferiu C1, C5, C6 e C8, C10 diferiu de C1, C2, C5, C6 e C8, e C5 diferiu de C3 e C4 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ACTC, C9 diferiu de C2, C5, C6 e C8, C10 diferiu de C5, C6 e C8, e C5 diferiu de C3, C4 e C7 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na TC, C2 e C9 diferiram de C5, C6 e C8, C2 e C10 diferiram de C5 e C6, e C5 diferiu de C1 e C4 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ABTC, C2 diferiu da maioria das campanhas, exceto de C4, C7, C9 e C10, C4 e C9 diferiram de C1, C5 e C6, e C5 diferiu de C7 e C10 (Tukey,  $p < 0,05$ ).



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

### V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

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<sup>+</sup>, 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<sub>2</sub> 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.

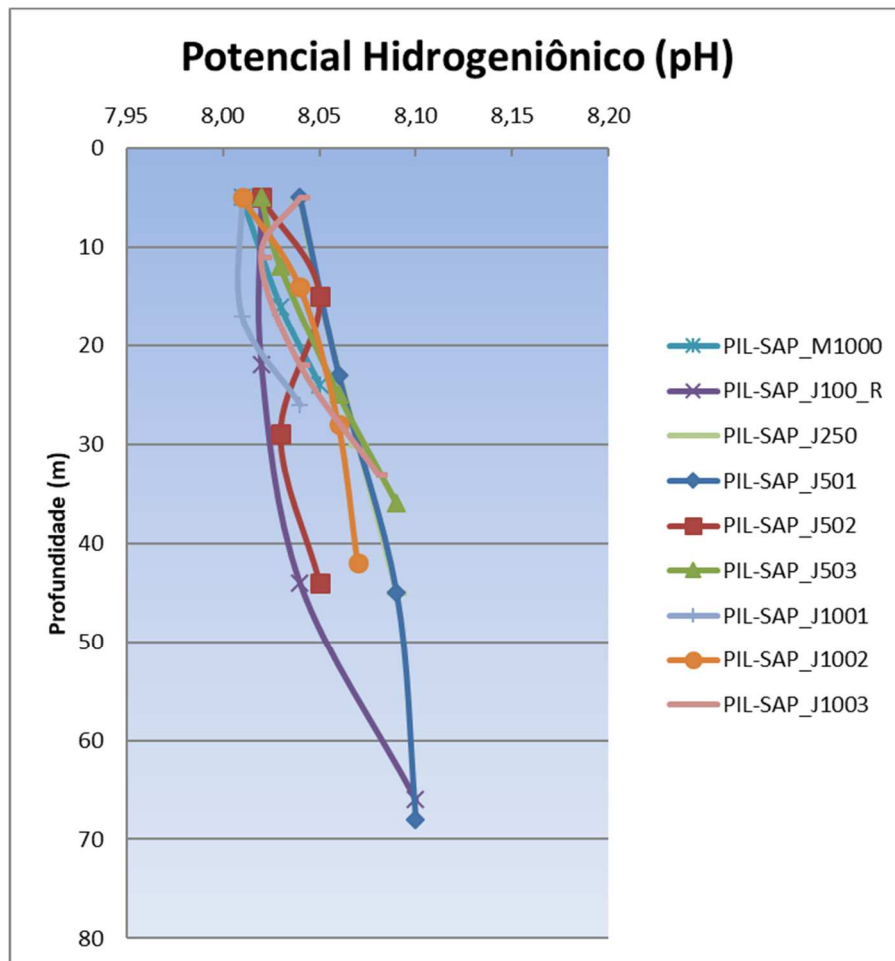
Os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH da água podem resultar no desaparecimento dos organismos, como também estresse (MACEDO, 2007). Já as reações de íons carbonato e bicarbonato com a molécula de água elevam os valores 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 8,01, na SUP das estações PIL-SAP\_M1000, PIL-SAP\_J1001 e PIL-SAP\_J1002 e na TC de PIL-SAP\_J1001, e 8,10, na ABTC da estação PIL-SAP\_J100\_R (Tabela V-6 e Figura V-10). A média entre as estações variou de  $8,02 \pm 0,02$  (PIL-SAP\_J1001) a  $8,07 \pm 0,03$  (PIL-SAP\_J501). Na SUP foi observado o menor valor médio de pH ( $8,02 \pm 0,01$ ), sendo os valores médios muito próximos entre as profundidades e alcançando máximo na ABTC ( $8,07 \pm 0,02$ ).

**Tabela V-6 – Valores de pH medidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.**

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- SAP_M1000	PIL- SAP_J100_R	PIL- SAP_J250_R	PIL- SAP_J501	PIL- SAP_J502	PIL- SAP_J503	PIL- SAP_J1001	PIL- SAP_J1002	PIL- SAP_J1003		
<b>SUP</b>	8,01	8,02	8,04	8,04	8,02	8,02	8,01	8,01	8,04	8,02	0,01
<b>ACTC</b>	-	8,02	8,05	8,06	8,05	8,03	-	8,04	8,02	8,04	0,02
<b>TC</b>	8,03	8,04	8,07	8,09	8,03	8,06	8,01	8,06	8,04	8,05	0,02
<b>ABTC</b>	8,05	8,10	8,09	8,10	8,05	8,09	8,04	8,07	8,08	8,07	0,02
<b>Máx.</b>	8,05	8,10	8,09	8,10	8,05	8,09	8,04	8,07	8,08		
<b>Mín.</b>	8,01	8,02	8,04	8,04	8,02	8,02	8,01	8,01	8,02		
<b>Média</b>	8,03	8,05	8,06	8,07	8,04	8,05	8,02	8,05	8,05		
<b>DP</b>	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03		

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



**Figura V-10** – Perfis de pH obtidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

É importante notar que os valores foram relativamente homogêneos entre as amostras, com baixos valores de desvio padrão, o que provavelmente está relacionado ao efeito tampão da água do mar sobre este parâmetro. Em virtude desta grande homogeneidade, não foi possível observar muita variação do comportamento do pH ao longo da coluna d'água amostrada, constata-se uma tendência de aumento de SUP a ABTC nos valores de pH para a maioria das estações. 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.

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 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. De maneira geral, as faixas de variação de pH verificadas nas campanhas anteriores corroboram as verificadas nesta campanha sendo os valores encontrados muito semelhantes aos verificados nas campanhas realizadas anteriormente na região.

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

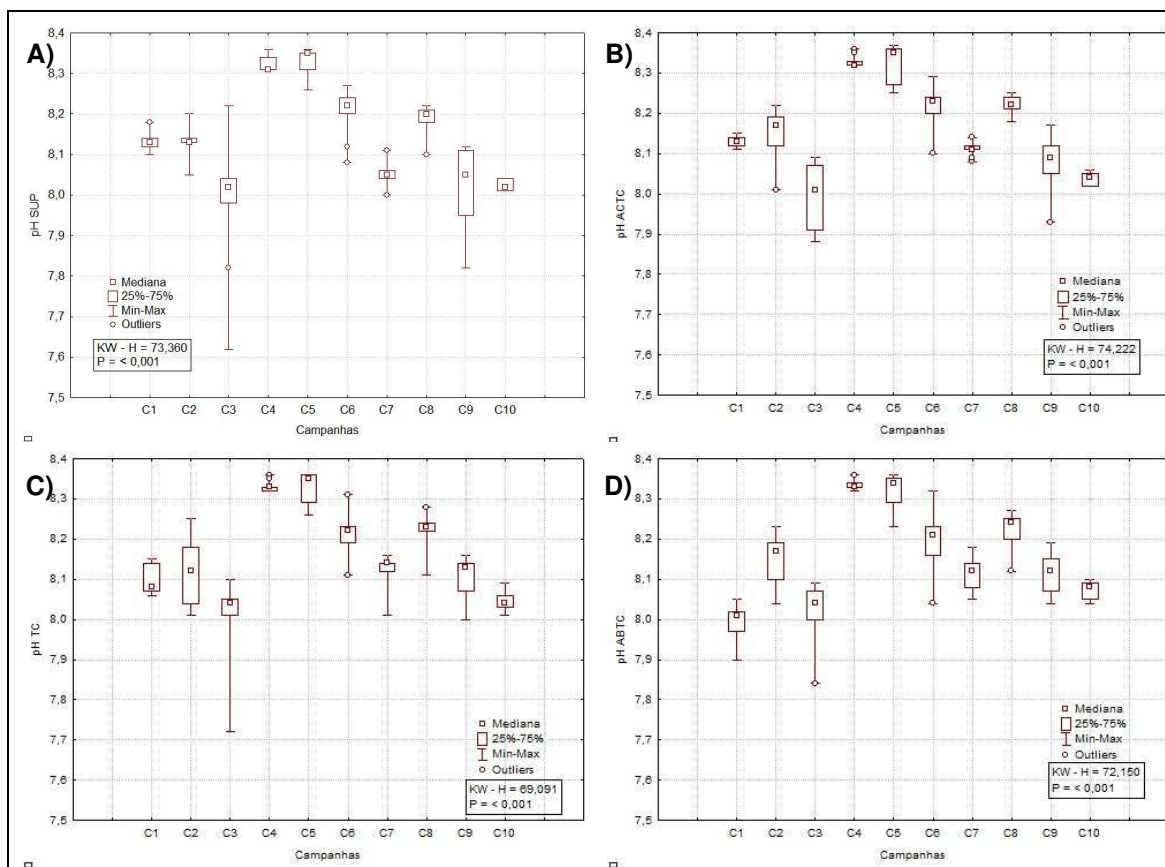
Campanha	pH	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	8,19 (SUP)	8,36 (SUP)
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	7,86 (SUP)	8,00 (TC)
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	8,10 (SUP)	8,31 (TC)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	6,65 (ACTC)	7,40 (TC)
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	5,79 (SUP)	7,92 (TC)
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	6,40 (SUP)	7,32 (ABTC)
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	7,85 (SUP)	8,10 (ACTC)
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	8,30 (SUP)	8,37 (SUP/TC/ABTC)
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	8,10 (ACTC)	8,29 (SUP/ACTC/ABTC)
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	8,09 (SUP)	8,29 (SUP)
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	8,00 (ABTC)	8,22 (TC)
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	8,06 (ABTC)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	8,08 (ACTC)	8,18 (SUP/ACTC)
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	8,11 (ABTC)	8,22 (TC)
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	8,14 (ACTC)	8,30 (ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	7,93 (ABTC)	8,10 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	8,05 (SUP/ACTC)	8,35 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	8,04 (ABTC)	8,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	8,06 (SUP)	8,27 (TC)
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	8,02 (SUP)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	8,03 (TC/ABTC)	8,18 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	7,95 (SUP)	8,17 (ACTC)
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	7,97 (SUP/ACTC)	8,16 (ACTC)
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	7,90 (ABTC)	8,18 (SUP)
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	8,01 (TC)	8,25 (TC)
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	7,62 (SUP)	8,22 (SUP)
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	8,31 (SUP)	8,36 (SUP/ACTC/TC/ABTC)



Campanha	pH	
	Mín.	Máx.
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	8,23 (ABCT)	8,37 (ACTC)
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	8,04 (ABTC)	8,32 (ABTC)
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	8,00 (SUP)	8,18 (ABTC)
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	8,10 (SUP)	8,28 (TC)
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	7,82 (SUP)	8,19 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	8,18 (ACTC)	8,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	7,91 (TC)	8,09 (TC)
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	8,07 (TC)	8,35 (ACTC/TC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	8,22 (ABTC)	8,32 (ACTC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	8,07 (ACTC)	8,25 (ACTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	8,03 (SUP)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	7,98 (ABTC)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	7,89 (ABTC)	8,18 (TC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	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).

Os valores de pH encontrados nas 10 campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá foram maiores na quarta e quinta campanha e apresentaram maior amplitude de valores na terceira campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os dados das 10 campanhas para todas as profundidades (Figura V-11). Para a superfície, C4 e C5 diferiram de C3, C7, C9 e C10, C6 diferiu de C3, C7 e C9, e C8 diferiu de C10 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na camada acima da termoclina C4 diferiu de C3, C7, C9 e C10, C5 diferiu de C1, C3, C7, C9 e C10, C6 e C8 diferiram de C3 e C10 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na termoclina, C4 e C5 diferiram de C1, C2, C3, C7, C9 e C10, e C6 e C8 diferiram de C3 e C10 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na camada abaixo da termoclina, C4 e C5 diferiram de C1, C3, C7, C9 e C10, C8 diferiu de C1 e C3, e C1 diferiu de C6 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-11** – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. 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 (JEFFREY *et al.*, 1997).

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

A absorção seletiva dos comprimentos de onda do azul e verde-azulado pelos pigmentos fotossintéticos, especialmente a clorofila-a, permite a quantificação da

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

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

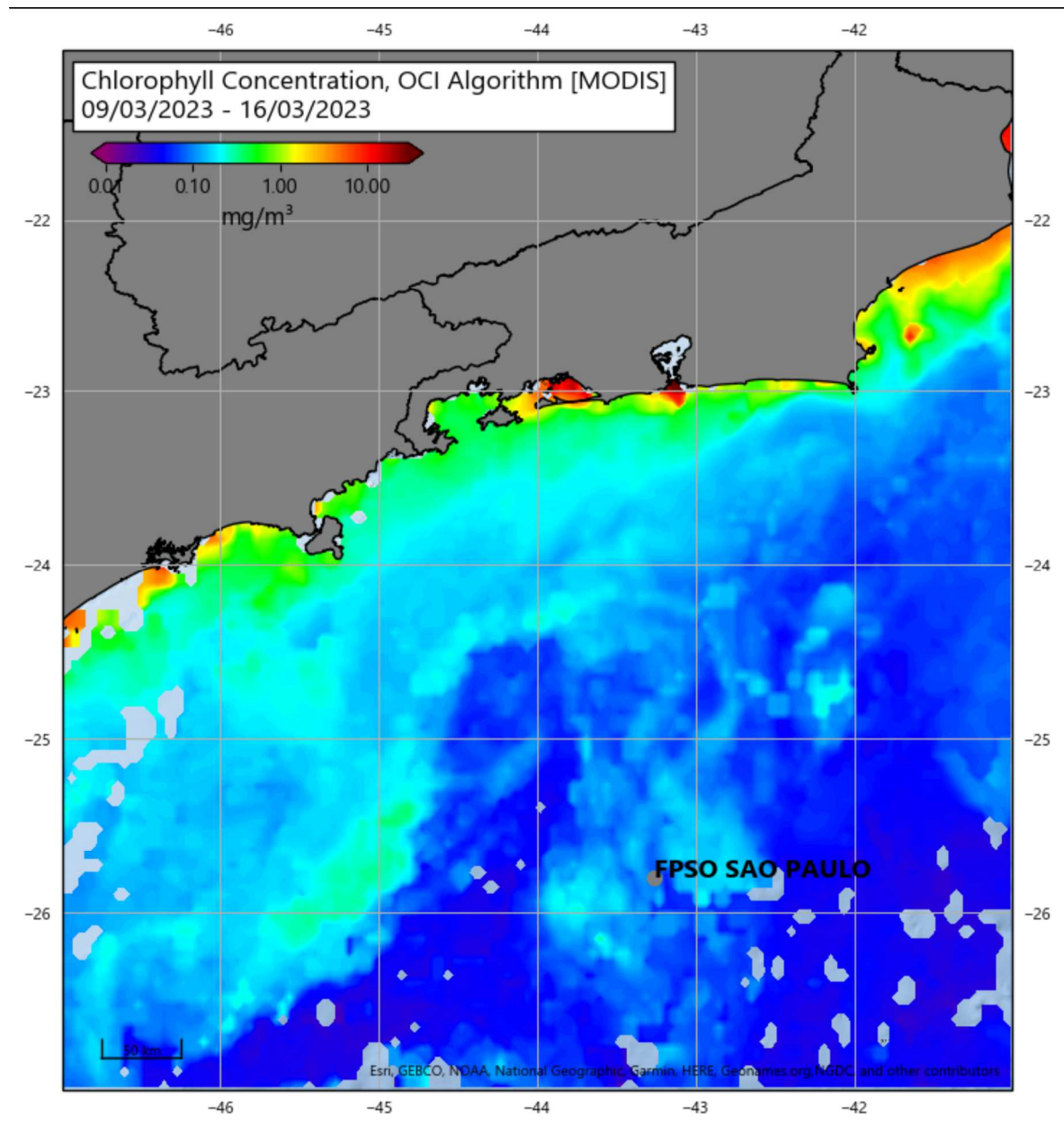
Na presente campanha de monitoramento, a clorofila-a variou entre 0,041 µg/L, na SUP da estação PIL-SAP\_J1003, e 1,316 µg/L, na TC da estação PIL-SAP\_J503 (Tabela V-8 e Figura V-12). Na ACTC foi observado o maior valor médio de clorofila-a ( $0,599 \pm 0,456$  µg/L), e menor valor médio na ABTC ( $0,341 \pm 0,350$  µg/L).

**Tabela V-8 – Valores de clorofila-a medidos na atual campanha de monitoramento.**

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- SAP_M1000	PIL- SAP_J100_R	PIL- SAP_J250_R	PIL- SAP_J501	PIL- SAP_J502	PIL- SAP_J503	PIL- SAP_J1001	PIL- SAP_J1002	PIL- SAP_J1003		
<b>SUP</b>	0,685	0,876	0,491	0,497	0,946	1,147	0,075	0,068	0,041	0,536	0,412
<b>ACTC</b>	-	0,759	0,383	0,688	1,073	1,187	-	0,055	0,049	0,599	0,456
<b>TC</b>	0,349	0,583	0,218	0,479	1,171	1,316	0,059	0,076	0,052	0,478	0,474
<b>ABTC</b>	0,478	0,460	0,252	0,185	0,284	1,177	0,082	0,067	0,080	0,341	0,350
<b>Máx.</b>	0,685	0,876	0,491	0,688	1,171	1,316	0,082	0,076	0,080		
<b>Mín.</b>	0,349	0,460	0,218	0,185	0,284	1,147	0,059	0,055	0,041		
<b>Média</b>	0,504	0,670	0,336	0,462	0,869	1,207	0,072	0,067	0,056		
<b>DP</b>	0,170	0,184	0,125	0,208	0,400	0,075	0,012	0,009	0,017		

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

Através de imagens de satélite durante o período da campanha (Figura V-12) foram observadas baixas concentrações de clorofila na região, em torno de 0,084  $\mu\text{g/L}$  (PETROBRAS, 2022).

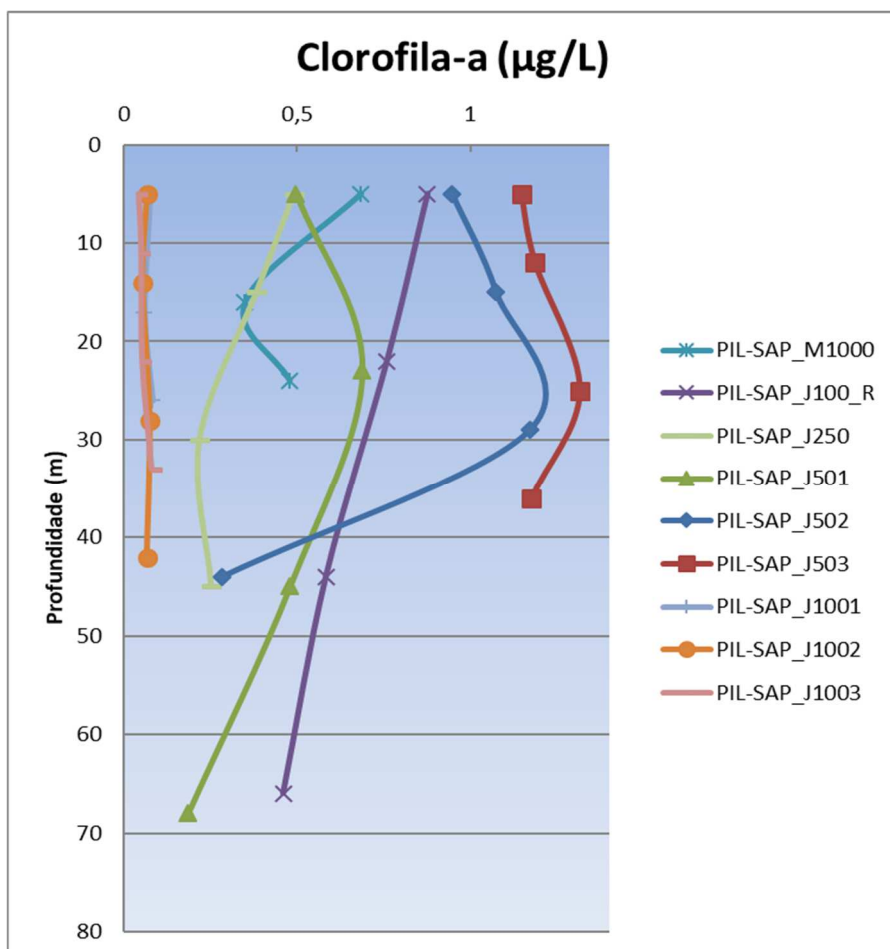


Fonte: Petrobras (2023).

**Figura V-12** - Mosaico de clorofila-a na superfície do mar do período de 09/03/2023 a 16/03/2023 para a Bacia de Santos. O círculo em branco representa a localização do FPSO-CSP.

É importante notar que os valores variaram bastante entre as amostras, com PIL-SAP\_J503 apresentando os maiores valores ao longo da coluna d'água e as

estações PIL-SAP\_J1001, PIL-SAP\_J1002 e PIL-SAP\_J1003 apresentando os menores valores ao longo da coluna d'água. Pode-se observar que, para as demais estações, as concentrações de clorofila-a tenderam a aumentar da SUP até a ACTC ou até a TC e diminuir até a ABTC (Figura V-13).



**Figura V-13** – Perfis de clorofila-a obtidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Petrobras/Habtec (2003) verificaram concentrações de clorofila-a variando entre não detectado (zero) 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/m<sup>2</sup>, 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, onde é possível verificar que a maioria das concentrações não foi detectada nem quantificada ao longo das campanhas realizadas na região, diferente do que ocorreu nas amostras da atual

campanha. Já o valor máximo observado para a região foi de 2,80 µg/L, na camada ACTC da 7ª campanha do Piloto de Lula. Os valores encontrados na atual campanha ficaram dentro da faixa de variação encontrada anteriormente na região.

**Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.**

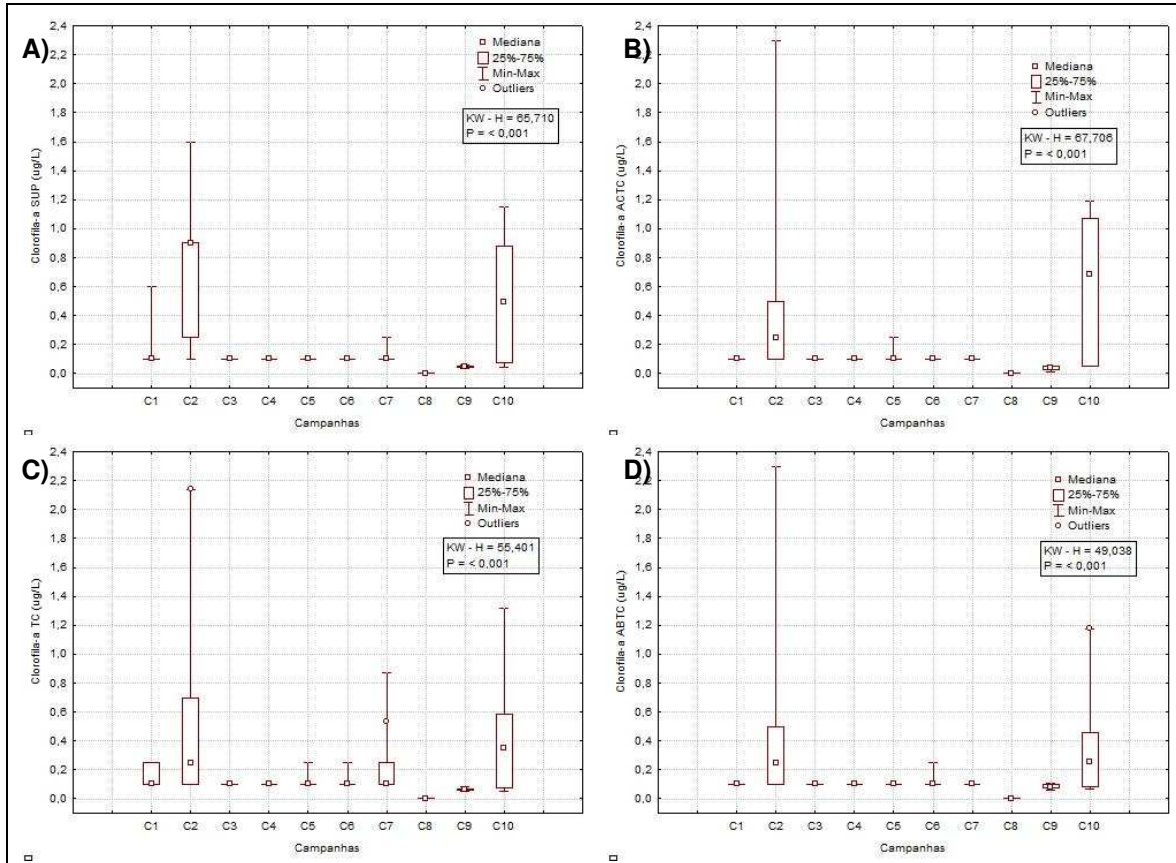
Campanha	Clorofila-a (µg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (SUP)
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,07 (TC/ABTC)
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)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

Campanha	Clorofila-a (µg/L)	
	Mín.	Máx.
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	0,045 (SUP)	0,188 (ACTC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	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 de clorofila-a encontrados nas amostras da segunda, seguida pela décima campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores e apresentaram maior amplitude de variação em relação às demais campanhas. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os dados das nove campanhas para todas as profundidades (Figura V-14). Na SUP, ACTC, TC e ABTC, a oitava campanha diferiu significativamente das demais, exceto de C9 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na SUP e na ACTC, C9 diferiu de C2 e C10 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na TC, C9 diferiu de C1, C2, C7 e C10 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na ABTC, C9 diferiu apenas de C2 (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Essa diferença possivelmente trata-se de apenas uma diferença matemática, uma vez que o limite empregado em C8 foi menor em relação às campanhas anteriores, que também não detectaram nem quantificaram concentrações para esse parâmetro, exceto C1, C2, C7, C9 e C10, que quantificaram concentrações para esse parâmetro.





**Figura V-14** – Concentrações de clorofila-a observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. 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 ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) (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 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), que engloba todas as formas de ortofosfatos presentes em uma amostra. O silicato ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) representa quase a totalidade das formas de silício encontradas na água do mar (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983).

No 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  $\mu\text{M}$  no inverno e entre 0,03 e 10,4  $\mu\text{M}$  nos meses do verão. Esse estudo também indicou uma concentração de fosfato na zona epipelágica variando entre 0,08 e 1,32  $\mu\text{M}$  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. Esse 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  $\mu\text{M}$

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

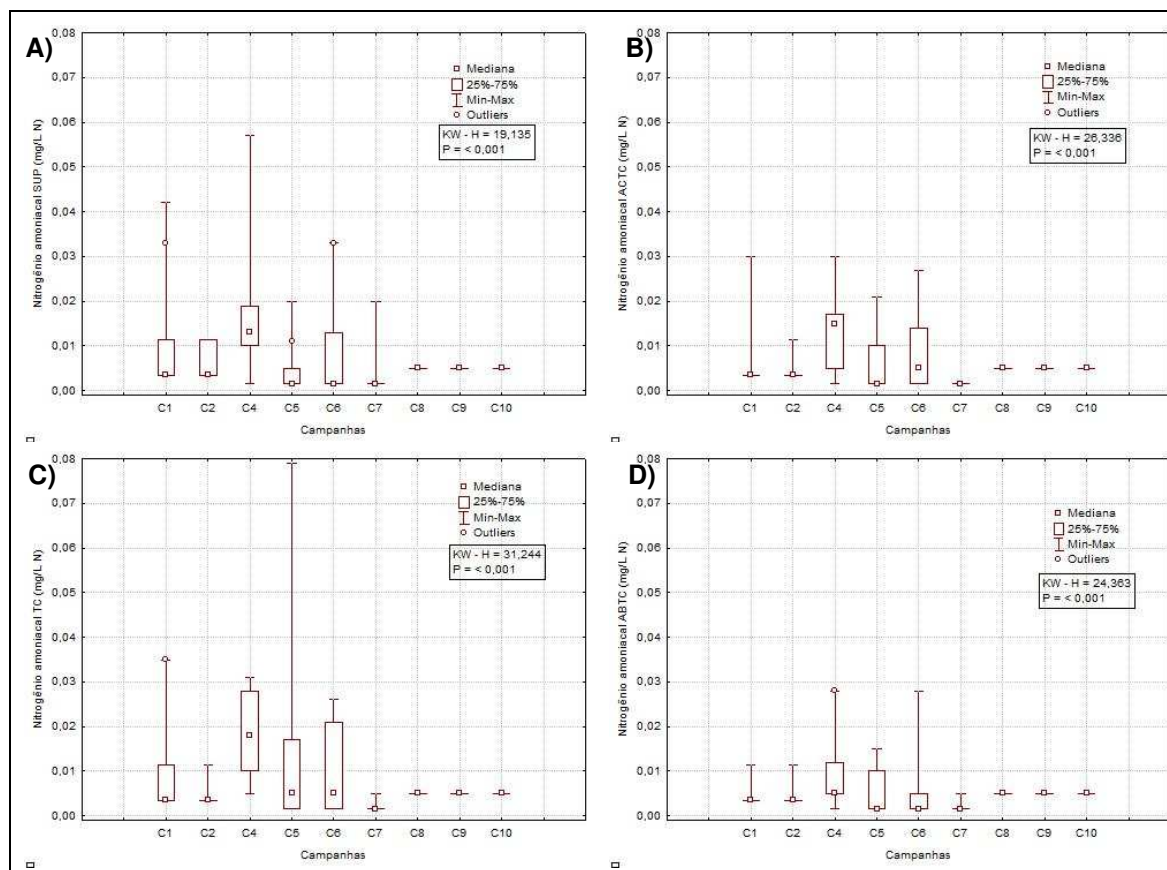
dos nutrientes das camadas mais profundas para as mais superficiais, funcionando como uma barreira (THUMAN & BURTON, 2001).

No PCR-BS (2022) 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, os resultados de nitrogênio amoniacal não foram quantificados (LQ = 0,01 mg/L N) em nenhuma das amostras. Devido a isso, não foi possível verificar um padrão de distribuição das concentrações para esse parâmetro. A Tabela V-1010 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.

Na Figura V-15, são apresentadas as faixas de concentrações de nitrogênio amoniacal obtidas em cada estrato durante as nove campanhas de monitoramento ambiental de PIL-SAP. Cabe ressaltar que não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante a terceira campanha, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que a quarta campanha apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas e médias, exceto na TC e ABTC, em que a quinta e a sexta campanha apresentaram maior amplitude, respectivamente. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram encontradas diferenças significativas para todas as profundidades ( $p < 0,05$ ). Na SUP, foram encontradas diferenças significativas entre a quarta e a sétima campanha, enquanto na ACTC e ABTC, a sétima campanha diferiu da quarta, da oitava, da nona e da décima campanha (Tukey,  $p$

< 0,05). Na TC foram encontradas diferenças entre a segunda e a quarta campanha e entre a sétima e a quarta campanha (Tukey,  $p < 0,05$ ).



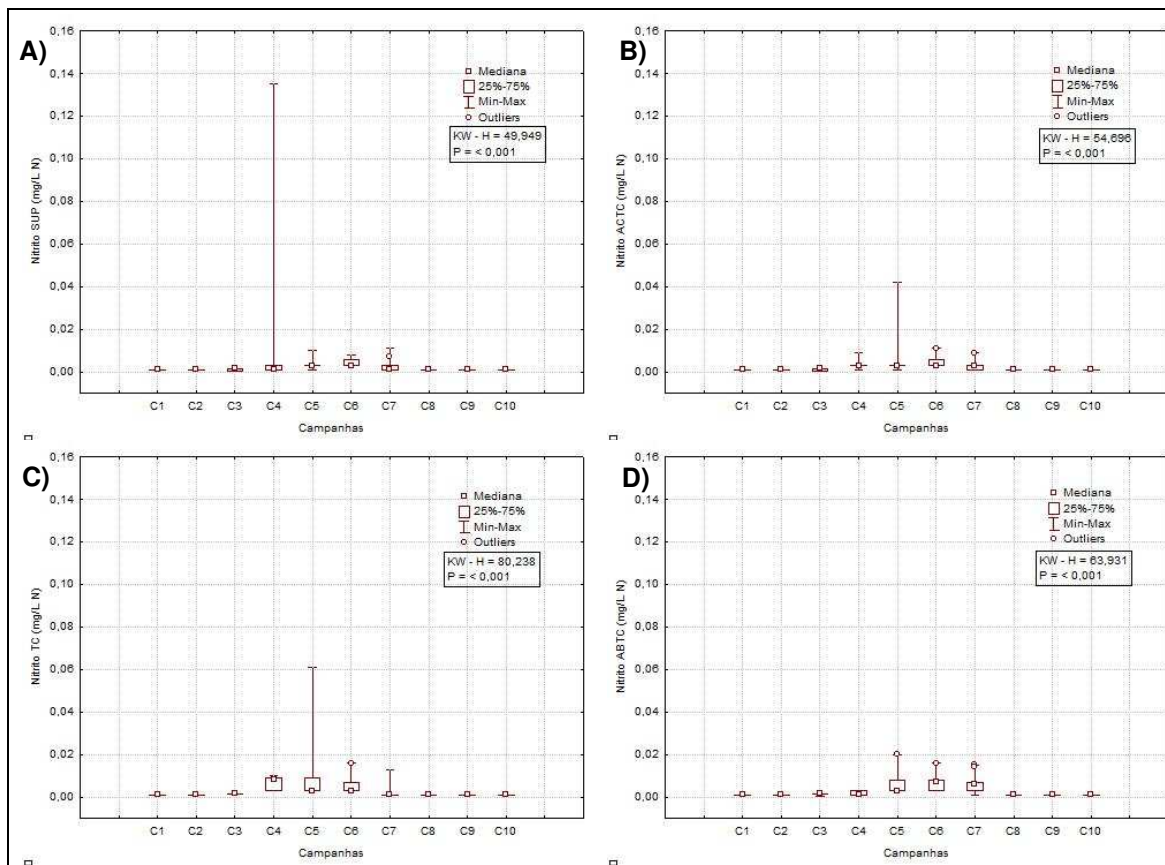
**Figura V-15** – Concentrações de nitrogênio amoniaco (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações de nitrito em nenhuma das estações (LQ = 0,002 mg/L N). Com isso, não foi possível verificar um padrão de distribuição vertical nem horizontal das concentrações.

As concentrações de nitrito verificadas na atual campanha são inferiores à concentração limite definida pela CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1 (0,07 mg/L N para nitrito). A Tabela V-1010 apresenta resultados obtidos para estes parâmetros em estudos anteriores na região de interesse, onde é possível observar que concentrações não detectadas e não quantificadas e, portanto, inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05, são rotineiramente observadas. As concentrações de nitrito verificadas anteriormente em campanhas

de monitoramento realizadas na região do Polo Pré-Sal variaram entre não detectado, mínimo detectado de 0,0014 mg/L N e máximo de 0,2310 mg/L N, contemplando os resultados encontrados na atual campanha.

Os valores de nitrito encontrados nas amostras da quarta, quinta, sexta e sétima campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores em relação às demais campanhas. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os dados das 10 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-17). Na superfície, a quinta e a sexta campanha diferiram significativamente da primeira, da segunda, da oitava e da nona e da décima campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na ACTC, a sexta campanha diferiu da primeira, segunda, terceira, oitava, nona e décima campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na termoclina, a quarta, quinta e sexta campanha diferiram da primeira, da segunda, da sétima, da oitava, da nona e da décima campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na ABTC, a quinta e a sexta campanha diferiram da primeira, segunda, oitava, nona e décima campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Importante ressaltar que o limite de detecção e os métodos analíticos variaram entre as campanhas (0,002 mg/L N para as duas primeiras e C4 a C7, 0,0001 mg/L N para a terceira campanha e 0,001 mg/L N para C8, C9 e C10 / MAOQ – FURG (1996) para a terceira 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-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Para o nitrato, não foram quantificadas concentrações em nenhuma das amostras (LQ = 0,2 mg/L N). Devido a totalidade de valores não quantificados, não foi analisado o padrão de distribuição vertical das concentrações para esse parâmetro. Todas as concentrações verificadas nas estações 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.

A Tabela V-10 também apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. Os resultados obtidos para a atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação apresentada pela literatura para o local. Através de estudos anteriores realizados na região de interesse, é possível observar que concentrações inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05 são rotineiramente observadas no local. No PCR-BS (Petrobras, 2022) observou-se concentrações de nitrato variando de níveis abaixo do limite de

detecção (<0,01µM) até máximos > 17 µM no nível da Água Geral do Atlântico Sul, principalmente na plataforma externa próximo ao talude continental.

**Tabela V-10 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L N), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/L P) encontrados na água 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 <sup>1</sup>	0,0084	0,0089	0,0076	0,0080	0,0156	0,0301	0,0150	0,0460	n.d.	0,0032
PIL-LL_C1 <sup>2</sup>	0,0016	0,0045	0,0015	0,0055	0,0058	0,0480	0,0096	0,0554	n.d.	0,0113
PIL-LL_C2 <sup>3</sup>	n.d.	0,0684	n.d.	n.d.	0,0126	0,0450	n.d.	0,9265	n.d.	0,0079
PIL-LL_C3 <sup>4</sup>	n.d.	0,0040	0,0070	0,0260	0,0120	0,0960	0,0170	0,0440	0,0110	0,0510
PIL-LL_C4 <sup>5</sup>	n.d.	0,0400	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5900	n.d.	n.d.
PIL-LL_C5 <sup>6</sup>	n.d.	0,0410	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,5555	n.d.	0,0230
PIL-LL_C6 <sup>7</sup>	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,5600	n.d.	0,0080
PIL-LL_C7 <sup>*8</sup>	-	-	0,0084	0,0089	0,0084	0,0089	0,0084	0,0089	0,0084	0,0089
PIL-LL_C8 <sup>9</sup>	n.d.	0,0580	n.d.	0,2310	n.d.	1,6500	n.d.	0,8500	n.d.	0,0580
PIL-LL_C9 <sup>10</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,3200	n.d.	0,5300	n.q.	0,0310
PIL-LL_C10 <sup>11</sup>	n.d.	0,0180	n.d.	0,0090	n.d.	0,2100	n.q.	0,1800	n.d.	n.d.
PIL-LL_C11 <sup>12</sup>	n.d.	0,0190	n.d.	0,0240	n.d.	0,2000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-LL_C12 <sup>13</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.
PIL-LL_C13 <sup>14</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	2,887	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C1 <sup>15</sup>	n.d.	0,0280	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,2350	n.d.	0,0260
PIL-LL-NE_C2 <sup>16</sup>	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,8990	n.d.	0,0800
PIL-LL-NE_C3 <sup>*17</sup>	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,004	0,018	0,025	n.q.	0,020
PIL-LL-NE_C4 <sup>18</sup>	n.d.	0,0540	n.d.	0,0150	n.d.	1,700	n.d.	0,180	n.d.	n.q.
PIL-LL-NE_C5 <sup>19</sup>	n.d.	0,0260	n.d.	n.d.	n.d.	0,2600	n.d.	0,2200	n.d.	0,0190
PIL-LL-NE_C6 <sup>20</sup>	n.d.	n.q.	n.d.	0,0070	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE_C7 <sup>21</sup>	n.d.	0,0300	n.d.	0,0180	n.d.	0,1000	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE_C8 <sup>22</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,070	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C9 <sup>23</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,565	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C10 <sup>24</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,075	1,05	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C1 <sup>25</sup>	n.d.	0,0420	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,2370	1,1030	n.d.	0,0270
PIL-SAP_C2 <sup>26</sup>	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,3230	n.d.	0,0080
PIL-SAP_C3 <sup>*27</sup>	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	0,0200	0,0410	n.q.	0,0300
PIL-SAP_C4 <sup>28</sup>	n.d.	0,0570	n.d.	0,1350	n.d.	0,5600	n.d.	0,7000	n.d.	0,0860
PIL-SAP_C5 <sup>29</sup>	n.d.	0,0790	n.d.	0,0610	n.d.	0,1000	n.d.	0,1800	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C6 <sup>30</sup>	n.d.	0,0330	n.q.	0,0160	n.d.	0,1900	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-SAP_C7 <sup>31</sup>	n.d.	0,0200	n.d.	0,0150	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-SAP_C8 <sup>32</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,1100	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C9 <sup>33</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	1,763	n.q.	n.q.
Bloco BMS-11 <sup>34</sup>	0,0080	0,0143	0,0014	0,1415	0,0155	0,1414	1,3969	6,9406	0,0067	0,4095
DP-IRA-S_C1 <sup>35</sup>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6130	n.d.	0,0080

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
DP-IRA-S_C2 <sup>*36</sup>	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	n.q.	0,0210	n.d.	0,0100
DP-IRA-S_C3 <sup>37</sup>	n.d.	0,0870	n.d.	0,0260	0,1500	1,2000	n.d.	0,5300	n.d.	0,0170
DP-IRA-S_C4 <sup>38</sup>	n.d.	0,0820	0,0090	0,0940	n.d.	0,1600	n.d.	0,2400	n.d.	0,0540
DP-IRA-S_C5 <sup>39</sup>	n.d.	0,0190	n.d.	0,0080	n.d.	0,1300	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S_C6 <sup>40</sup>	n.d.	0,0200	n.d.	0,0190	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S_C7 <sup>41</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,7470	n.q.	n.q.
DP-IRA-S_C8 <sup>42</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	-	-	-	-
DP-IRA-S_C9 <sup>43</sup>	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	1,323	n.q.	n.q.

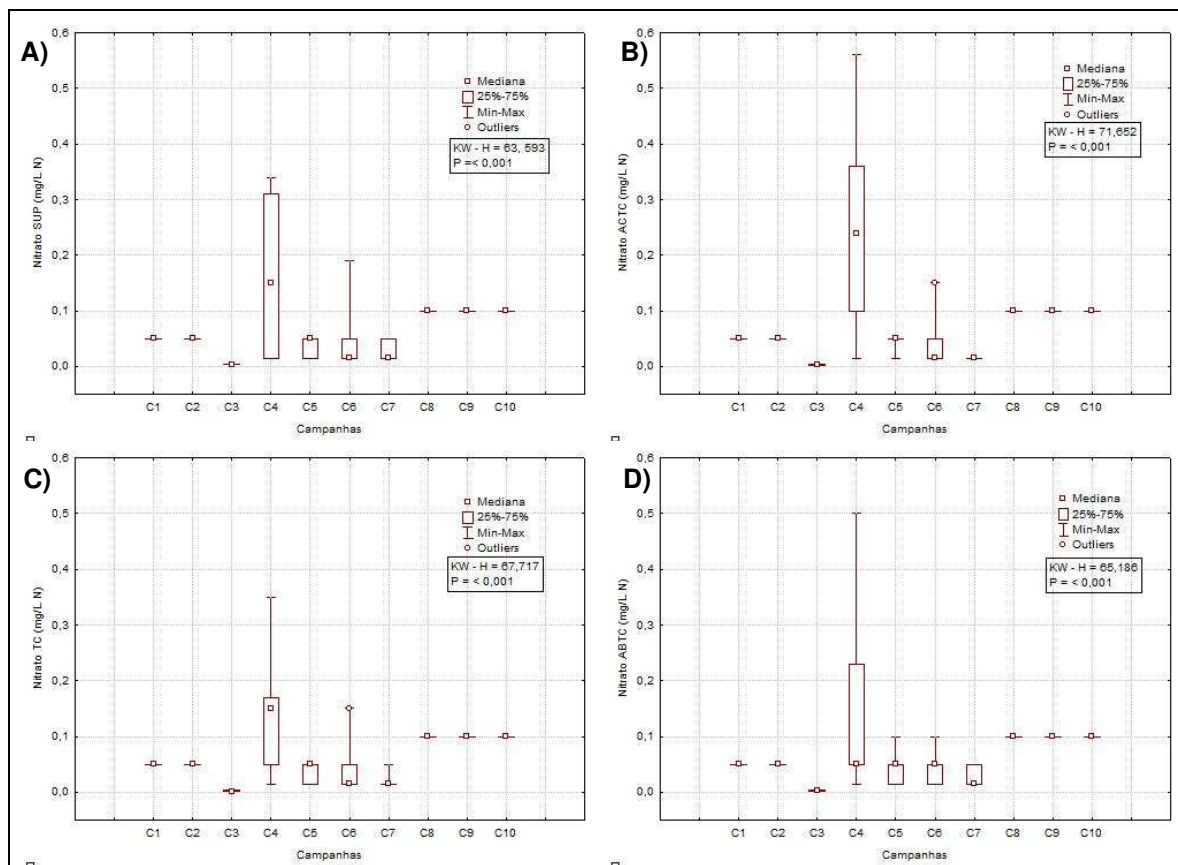
\* Não são apresentados resultados de nitrogênio amoniacal para essas campanhas, pois as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos.

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).

Os valores de nitrato encontrados nas amostras da primeira e da segunda campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, não foram detectados, enquanto os valores da sétima campanha não foram detectados nem quantificados e os da oitava, da nona e da décima campanha não foram quantificados. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os dados das 10 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-17). Na superfície e na ABTC, a terceira campanha diferiu da quarta campanha, a oitava, a nona e a décima campanha diferiram da terceira e sétima campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na ACTC, a quarta, a oitava, a nona e a décima campanha diferiram da terceira e da sétima campanha, e a quarta também diferiu da sexta campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Na TC, a quarta, a oitava, a nona e a décima diferiram da terceira e da sétima (*Tukey*,  $p < 0,05$ ). Importante ressaltar que o limite de detecção e os métodos analíticos variaram entre as campanhas (0,1 mg/L N para as duas primeiras campanhas, 0,0001 mg/L N para a terceira campanha, 0,05 mg/L N para a oitava, a nona e a décima campanha e 0,03 mg/L N para as demais



campanhas / HACH 8192 para a primeira e segunda campanha, MAOQ – FURG (1996) para a terceira campanha, SMEWW 4500 E para quarta a sétima campanha e SMEWW 4500 F para a oitava e nona campanha). Assim, não é possível ser conclusivo acerca das diferenças verificadas entre a terceira com as duas primeiras campanhas, pois o alto limite destas impossibilitou a detecção de resultados e é possível que as diferenças encontradas sejam meramente matemáticas, provenientes dos tratamentos aplicados aos dados.



**Figura V-17** – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Os valores de silicato registrados na presente campanha variaram entre 0,103 mg/L na superfície de PIL-SAP\_J100\_R a 2,035 mg/L na ABTC de PIL-SAP\_J1003 (Tabela V-11). Entre os estratos, a maior concentração média de silicato esteve associada à ACTC ( $0,90 \pm 0,67$  mg/L), enquanto a menor concentração média esteve associada à TC ( $0,33 \pm 0,17$  mg/L).

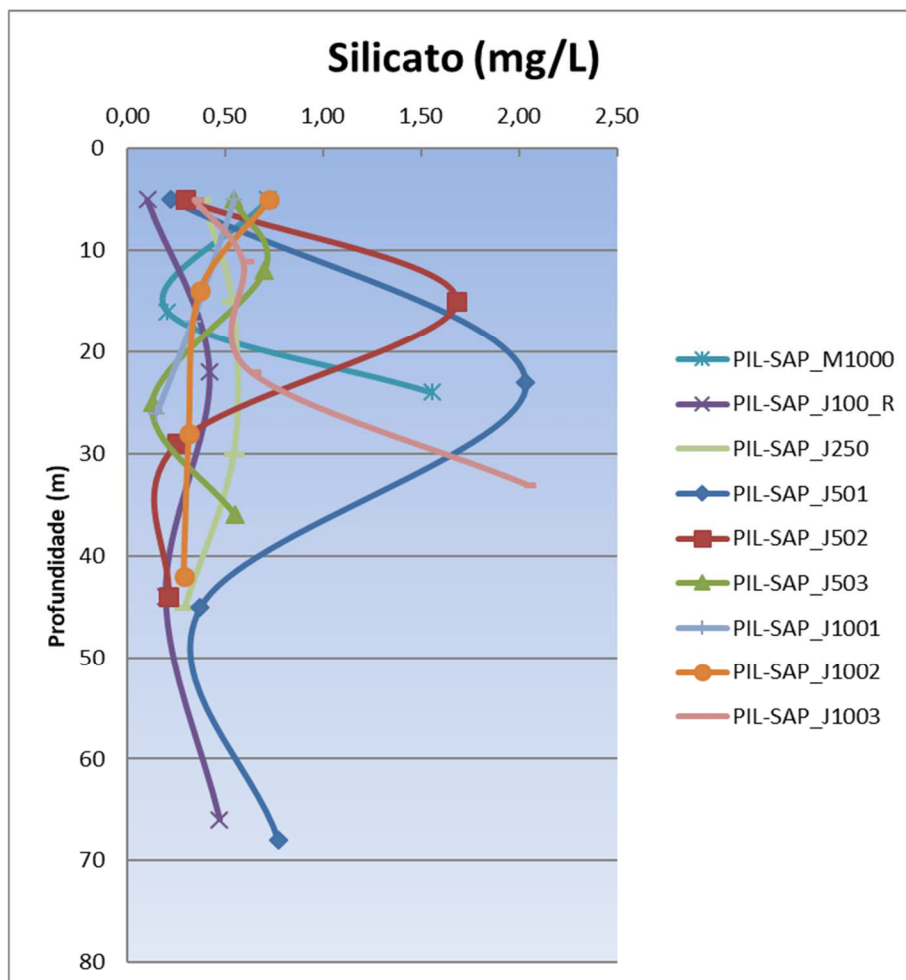
A Tabela V-11 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse, e os valores verificados na atual campanha são superiores em relação a maioria dos valores verificados anteriormente. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valor máximo de concentração de silicato para águas salinas classe 1.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-SAP_M1000	PIL-SAP_J100_R	PIL-SAP_J250_R	PIL-SAP_J501	PIL-SAP_J502	PIL-SAP_J503	PIL-SAP_J1001	PIL-SAP_J1002	PIL-SAP_J1003		
<b>SUP</b>	0,718	0,103	0,380	0,225	0,294	0,547	0,547	0,725	0,343	0,43	0,22
<b>ACTC</b>	-	0,418	0,534	2,034	1,682	0,701	-	0,372	0,591	0,90	0,67
<b>TC</b>	0,205	0,196	0,541	0,374	0,254	0,128	0,331	0,316	0,632	0,33	0,17
<b>ABTC</b>	1,557	0,470	0,293	0,772	0,210	0,552	0,149	0,290	2,035	0,70	0,66
<b>Máx.</b>	1,557	0,47	0,541	2,034	1,682	0,701	0,547	0,725	2,035		
<b>Mín.</b>	0,205	0,103	0,293	0,225	0,21	0,128	0,149	0,29	0,343		
<b>Média</b>	0,83	0,30	0,44	0,85	0,61	0,48	0,34	0,43	0,90		
<b>DP</b>	0,68	0,18	0,12	0,82	0,72	0,25	0,20	0,20	0,77		

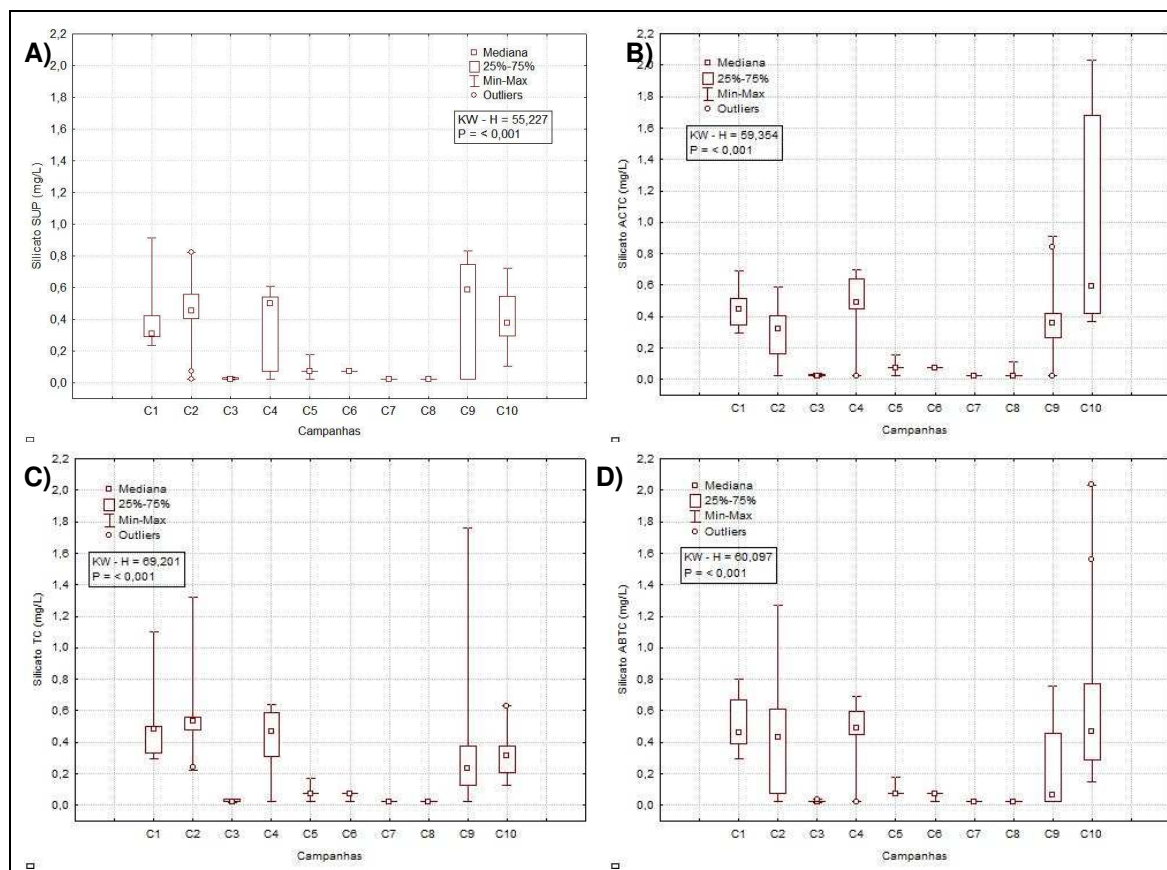
Legenda: SUP: Superior; ACTC: Acima da Termoclina; TC: Termoclina e ABTC: Abaixo da Termoclina. No PCR-BS (Petrobras, 2022) as concentrações de silicato variaram entre 0,03 e 15,3 µM no inverno de 2019 e entre 0,03 e 10,4 no verão de 2021-2022, na zona epipelágica.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de silicato na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-21. Através deles, não foi possível verificar um padrão regular de distribuição vertical das concentrações entre as estações. De qualquer maneira, foram observados valores mais elevados na ACTC das estações PIL-SAP\_J501, PIL-SAP\_J502 e na ABTC de PIL-SAP\_J1003.



Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os dados das 10 campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-19). Na superfície e na ACTC, C1, C2, C4 e C10 diferiram de C3, C7 e C8, ainda na SUP, C9 diferiu de C3, C7 e C8 e na ACTC, C2 e C9 diferiram de C3 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na TC, C1, C4, C9 e C10 diferiram de

C3, C7 e C8, e C2 diferiu de C3, C5, C7 e C8 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ABTC, C1, C2, C4 e C10 diferiram de C3, C7 e C8 (Tukey,  $p < 0,05$ ). É importante ressaltar que os métodos analíticos e os limites de detecção variaram entre as campanhas (método SMEWW 4500 C, LD = 0,05 mg/L para as duas primeiras e para a quarta, quinta, sexta e sétima campanha e LD = 0,02 mg/L para a oitava, a nona e a décima campanha, e MAOQ – FURG (1996) e LD = 0,001 mg/L para a terceira campanha).



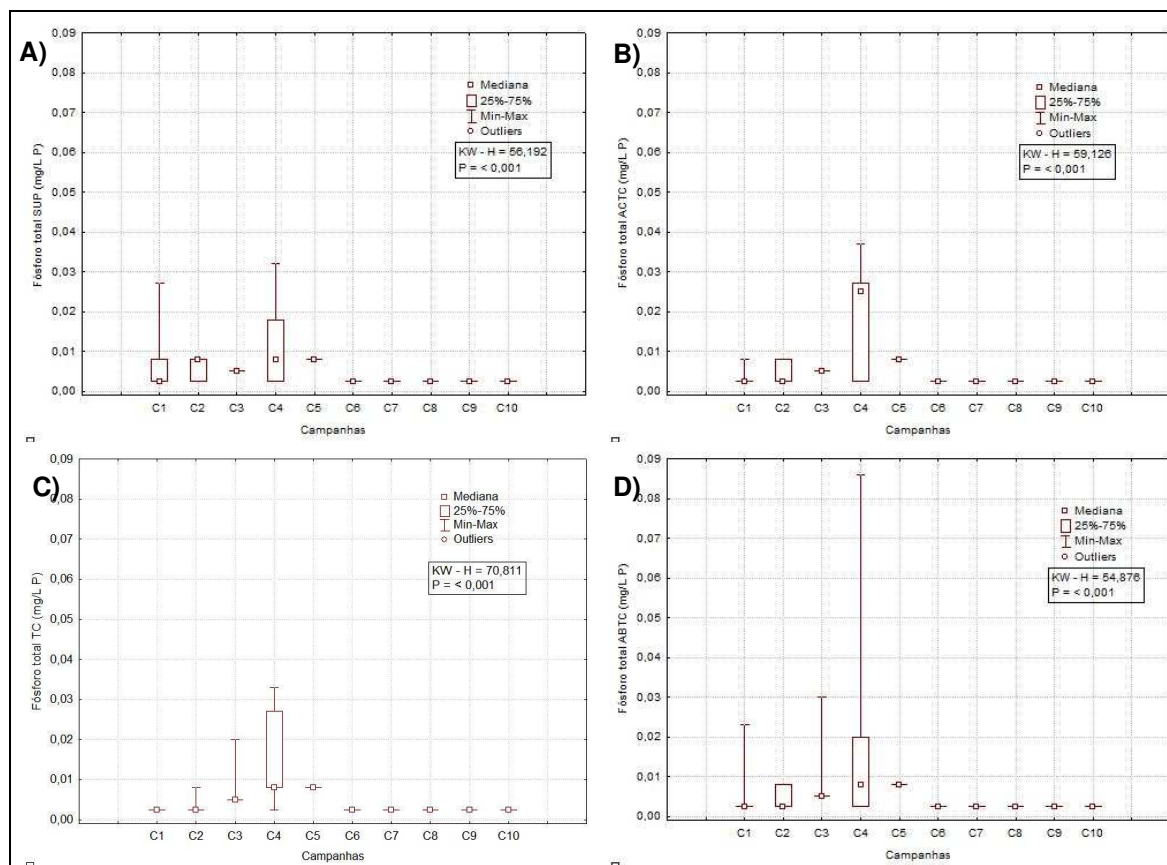
**Figura V-19 –** Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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, não foram quantificadas concentrações de fósforo total em nenhuma das amostras (LQ = 0,005 mg/L P). Por isso, não foi

possível observar um padrão de distribuição espacial das concentrações. 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 também apresenta concentrações de fósforo total obtidas em estudos anteriores na Bacia de Santos, onde é possível constatar que concentrações não detectadas são frequentemente encontradas na região. Os resultados encontrados nesta campanha para esse parâmetro foram inferiores aos resultados encontrados na maioria das campanhas realizadas na região.

Os valores de fósforo total encontrados nas amostras da quarta campanha foram maiores e apresentaram maior amplitude de valores em todas as profundidades (Figura V-20). Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foram verificadas diferenças significativas entre as 10 campanhas para todas as profundidades ( $p < 0,05$ ). Na superfície e na ABTC, a quinta campanha diferiu da sexta, sétima, oitava, nona e décima campanha (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ACTC, a quinta campanha diferiu da primeira, sexta, da sétima, da oitava, da nona e da décima campanha, enquanto na TC, a terceira, a quarta e a quinta campanha diferiram da primeira, sexta, sétima, oitava, nona e décima campanha (Tukey,  $p < 0,05$ ). É importante ressaltar que houve variação dos métodos analíticos e limites de detecção empregados entre as campanhas (método SMEWW 4500 PE, LD = 0,005 mg/L P para as duas primeiras campanhas e quarta, quinta, sexta e sétima campanha e LD = 0,002 mg/L P na oitava, nona e décima campanha, e EPA 365.2 e LD = 0,002 mg/L P para a terceira campanha).



**Figura V-20** – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. 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).

No PCR-BS (Petrobras, 2022), a concentração do material particulado em suspensão (MPS) na zona epipelágica variou entre <0,1 e 19,4 mg L<sup>-1</sup> no inverno

de 2019 e entre  $<0,1$  a  $21 \text{ mg L}^{-1}$  no verão de 2021-2022. Em ambos os cruzeiros o padrão de distribuição foi irregular, mas notam-se concentrações mais homogêneas entre 1 e  $3 \text{ mg L}^{-1}$  na plataforma externa e áreas oceânicas dominadas pela AT.

Os valores de MPS registrados na presente campanha variaram entre  $1,68 \text{ mg/L}$ , na TC da estação PIL-SAP\_J503, e  $65,88 \text{ mg/L}$ , na ACTC da estação PIL-SAP\_J501 (Tabela V-12). Entre os estratos, a maior concentração média de MPS esteve associada à ACTC ( $16,45 \pm 22,45 \text{ mg/L}$ ), enquanto a menor concentração média esteve associada à camada abaixo da termoclina ( $12,99 \pm 8,10 \text{ mg/L}$ ).

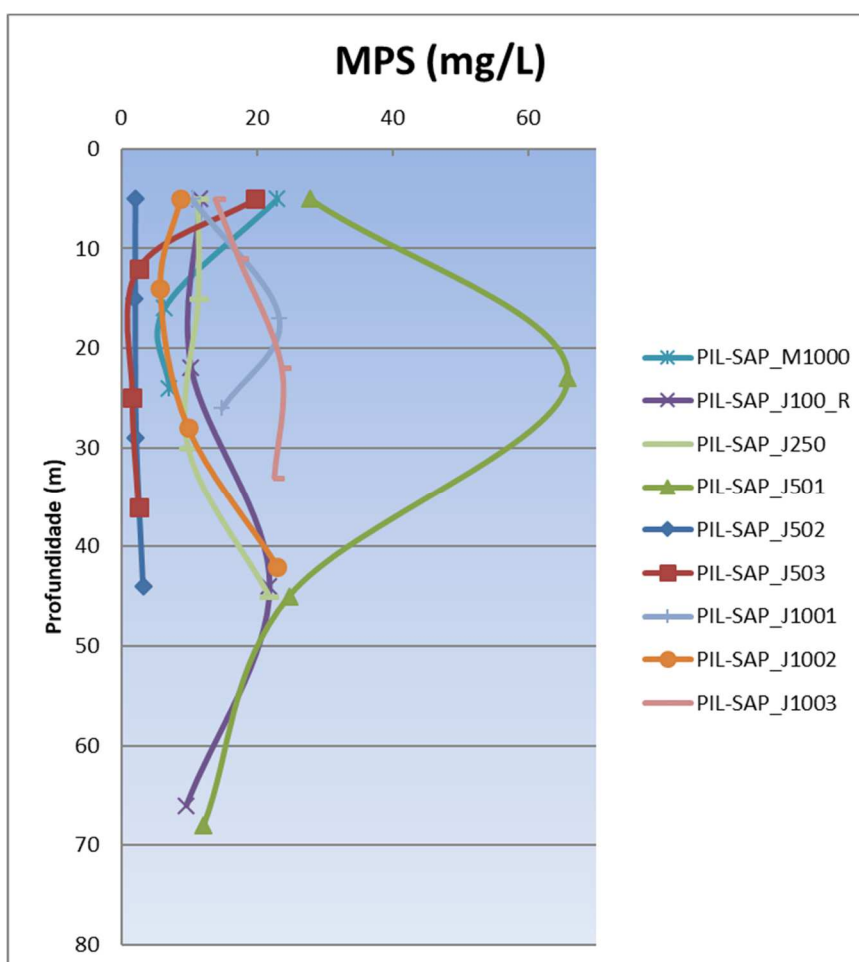
**Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.**

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- SAP_M1000	PIL- SAP_J100_R	PIL- SAP_J250_R	PIL- SAP_J501	PIL- SAP_J502	PIL- SAP_J503	PIL- SAP_J1001	PIL- SAP_J1002	PIL- SAP_J1003		
<b>SUP</b>	23,02	11,56	11,38	27,88	2,02	19,80	10,52	8,68	13,90	14,31	7,93
<b>ACTC</b>	-	10,28	11,40	65,88	2,00	2,54	-	5,72	17,36	16,45	22,45
<b>TC</b>	6,32	21,82	9,92	24,74	2,16	1,68	23,36	9,82	23,66	13,72	9,63
<b>ABTC</b>	7,04	9,56	21,82	12,18	3,28	2,56	14,90	23,02	22,56	12,99	8,10
<b>Máx.</b>	23,02	21,82	21,82	65,88	3,28	19,80	23,36	23,02	23,66		
<b>Mín.</b>	6,32	9,56	9,92	12,18	2,00	1,68	10,52	5,72	13,90		
<b>Média</b>	12,13	13,31	13,63	32,67	2,37	6,65	16,26	11,81	19,37		
<b>DP</b>	9,44	5,74	5,50	23,16	0,61	8,78	6,53	7,67	4,57		

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



Os perfis verticais de distribuição das concentrações de MPS na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-21. Através deles, não foi possível verificar um padrão regular de distribuição vertical das concentrações entre as estações. De qualquer maneira, foram observados valores mais elevados na ACTC da estação PIL-SAP\_J501.



Na Tabela V-13, são apresentados os valores mínimo e máximo de MPS, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. De maneira geral, as concentrações encontradas na atual campanha foram superiores às encontradas nas demais campanhas realizadas no local.

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

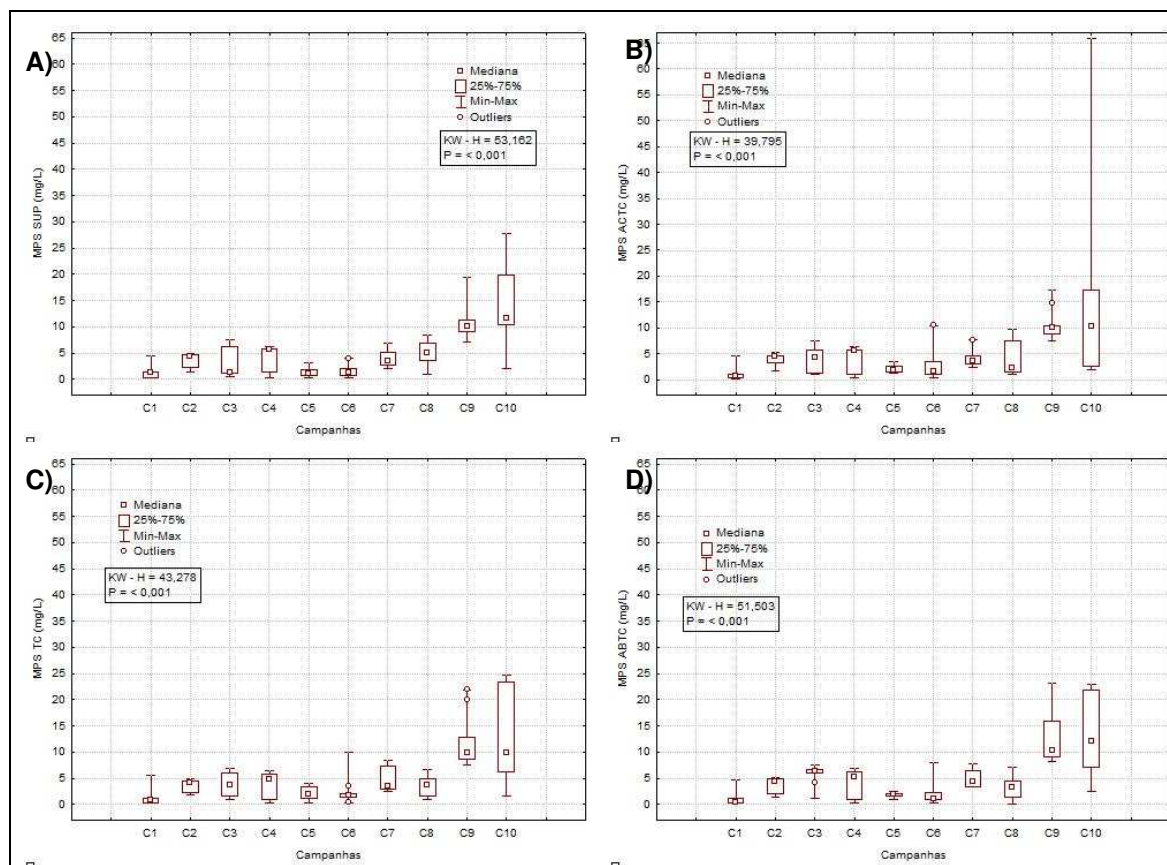
Campanha	MPS (mg/L)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	0,14 (SUP)	2,40 (ACTC)
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	0,58 (TC)	3,68 (SUP)
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	n.d. (SUP/ABTC)	3,88 (ABTC)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	3,00 (ACTC)	7,00 (ACTC)
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,00 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	1,40 (SUP)	6,90 (ACTC)
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	0,25 (ABTC)	8,55 (TC)
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	n.d. (ABTC)	6,62 (SUP)
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,60 (TC)
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	3,90 (ABTC)	6,65 (ABTC)
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	2,65 (ACTC)	7,48 (ABTC)
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	0,20 (ABTC)	6,65 (SUP)
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	0,63 (SUP)	19,83 (ABTC)
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,00 (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	n.d. (ABTC)	4,60 (SUP)
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	1,74 (SUP)	7,53 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,95 (SUP/TC)
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	n.q. (ACTC/TC)	3,45 (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	1,08 (SUP)	8,20 (ACTC)
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	2,00 (ABTC)	7,75 (SUP)
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	0,05 (SUP)	8,00 (TC)
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	0,65 (TC)	21,53 (TC)
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	0,12 (ABTC)	17,48 (TC)
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,50 (TC)
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	1,40 (ABTC)	5,30 (ACTC)
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	0,46 (SUP)	7,51 (SUP)
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,92 (ABTC)
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	n.q. (SUP/TC)	4,03 (TC)
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	10,43 (ACTC)
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	2,10 (SUP)	8,45 (TC)
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	n.q. (ABTC)	9,73 (ACTC)
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	7,13 (SUP)	23,25 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	n.d. (SUP/TC/ABTC)	4,40 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	n.q. (SUP/ACTC)	9,67 (TC)
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,55 (ACTC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	4,88 (TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	1,75 (ACTC)	6,95 (SUP)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	1,55 (SUP)	7,83 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	0,50 (SUP)	13,58 (SUP)

Campanha	MPS (mg/L)	
	Min	Máx
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	13,93 (TC)	30,73 (ABTC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	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.

A faixa de variação dos valores de MPS encontrados nas amostras da terceira, da sexta, da oitava, da nona e da décima campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foi superior às faixas de variação verificadas nas demais campanhas, sendo que a décima campanha apresentou a maior amplitude de variação e maior concentração máxima que as demais. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todos os estratos, foram verificadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os dados das 10 campanhas (Figura V-22). Na SUP, a nona e a décima campanha diferiram da primeira, terceira, quinta e sexta campanha, enquanto na ACTC, a nona diferiu da primeira, quinta e sexta, e a décima da primeira (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na TC, a nona e a décima diferiram da primeira, quinta e sexta (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ABTC, a nona diferiu da primeira, segunda, quinta, sexta e oitava campanha, a primeira diferiu da terceira, e a décima diferiu da primeira, da quinta e da sexta (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-22** – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. 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  $2 \times 10^{16}$  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 0,79 mg/L C (ABTC da estação PIL-SAP\_J100\_R e SUP da PIL-SAP\_J250\_R), a 1,22 mg/L C (ABTC da PIL-SAP\_M1000 e na ACTC e TC de PIL-SAP\_J503) (Tabela V-14, Figura V-23). As maiores concentrações médias de COT foram observadas na ACTC ( $1,07 \pm 0,09$  mg/L C) e na TC ( $1,06 \pm 0,14$  mg/L

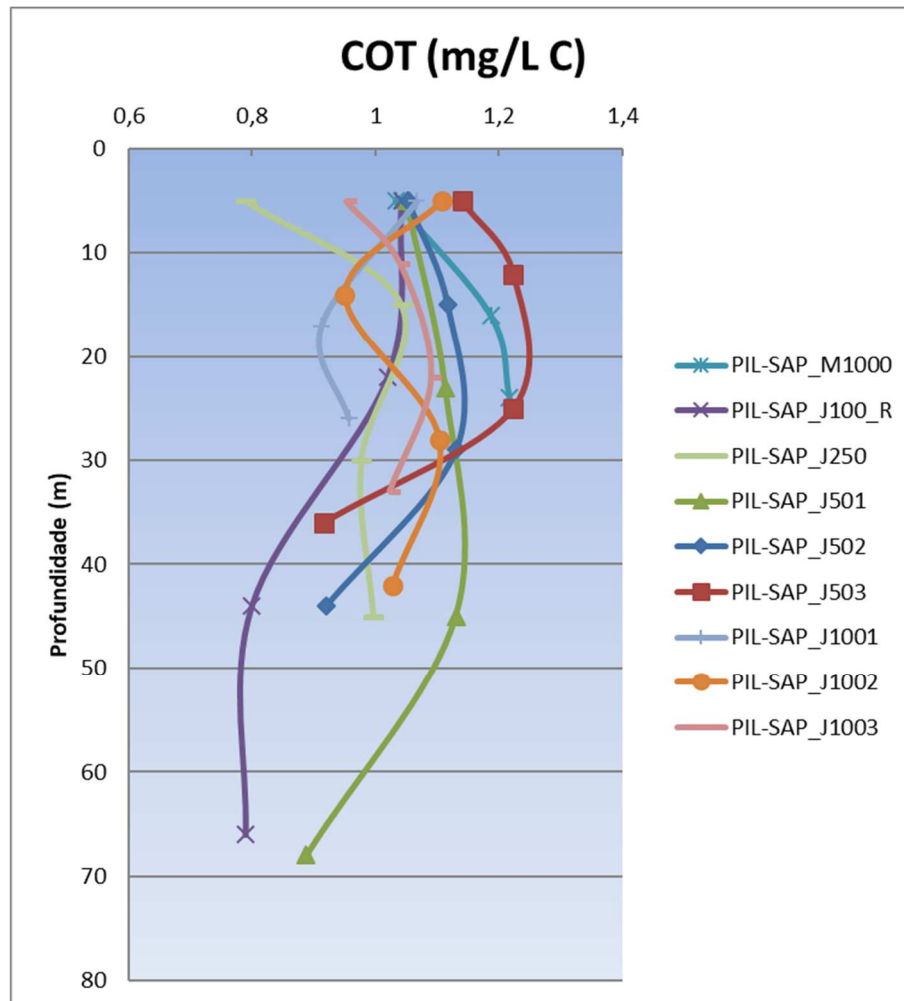
C), enquanto a menor concentração média foi encontrada na camada ABTC ( $0,97 \pm 0,12$  mg/L C). Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro COT é de 3,0 mg/L C, o qual não foi excedido em nenhuma amostra da presente campanha.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL- SAP_M1000	PIL- SAP_J100_R	PIL- SAP_J250_R	PIL- SAP_J501	PIL- SAP_J502	PIL- SAP_J503	PIL- SAP_J1001	PIL- SAP_J1002	PIL- SAP_J1003		
<b>SUP</b>	1,03	1,04	0,79	1,05	1,05	1,14	1,07	1,11	0,95	1,03	0,10
<b>ACTC</b>	-	1,02	1,04	1,11	1,12	1,22	-	0,95	1,04	1,07	0,09
<b>TC</b>	1,19	0,80	0,98	1,13	1,13	1,22	0,91	1,10	1,09	1,06	0,14
<b>ABTC</b>	1,22	0,79	1,00	0,89	0,92	0,92	0,96	1,03	1,02	0,97	0,12
<b>Máx.</b>	1,22	1,04	1,04	1,13	1,13	1,22	1,07	1,11	1,09		
<b>Mín.</b>	1,03	0,79	0,79	0,89	0,92	0,92	0,91	0,95	0,95		
<b>Média</b>	1,15	0,91	0,95	1,05	1,06	1,13	0,98	1,05	1,03		
<b>DP</b>	0,10	0,14	0,11	0,11	0,10	0,14	0,08	0,07	0,06		

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

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de COT na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-23. É interessante notar que, embora as amostras tenham variado ao longo do perfil de profundidade, a maioria das amostras apresentou concentrações de COT semelhantes, variando entre 0,90 e 1,22 mg/L C.



**Figura V-23** – Perfis das concentrações de COT (mg/L C) da 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 enquadradas dentro da faixa de variação já verificada para a região.

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

Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	0,96 (TC/ABTC)	1,14 (SUP)
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	1,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,20 (ACTC/ABTC)
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	1,11 (ACTC)	2,20 (TC)
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,90 (ACTC)
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,48 (ACTC)
PIL-LL_C7 <sup>*7</sup>	-	-
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	1,25 (TC)	2,26 (ACTC)
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,12 (TC)
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,35 (SUP)
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,37 (ACTC)
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	1,50 (SUP)	4,28 (TC)
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	1,00 (ABTC)	2,02 (SUP)
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (TC)
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	n.q. (SUP)	1,69 (TC)
PIL-LL-NE_C3 <sup>*16</sup>	-	-
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,56 (SUP/ABTC)
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	n.d. (TC/ABTC)	1,47 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	1,07 (SUP)	1,83 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	1,20 (ABTC)	1,99 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	0,60 (ABTC)	1,06 (TC)
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	0,74 (ACTC)	1,23 (TC)
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,20 (TC)
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	1,02 (TC)	1,65 (TC)
PIL-SAP_C3 <sup>*26</sup>	-	-
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	1,00 (ABTC)	1,65 (ABTC)
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC)	2,02 (TC)
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	n.q. (SUP/ACTC/ABTC)	2,34 (SUP)
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	n.q. (SUP/TC/ABTC)	2,76 (ACTC)
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	0,90 (SUP)	1,46 (ABTC)
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	1,24 (SUP)	2,32 (TC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	2,00 (SUP)
DP-IRA-S_C2 <sup>*34</sup>	-	-
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,00 (TC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	n.d. (SUP/ACTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	1,48 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	1,26 (ACTC)	1,64 (ABTC)

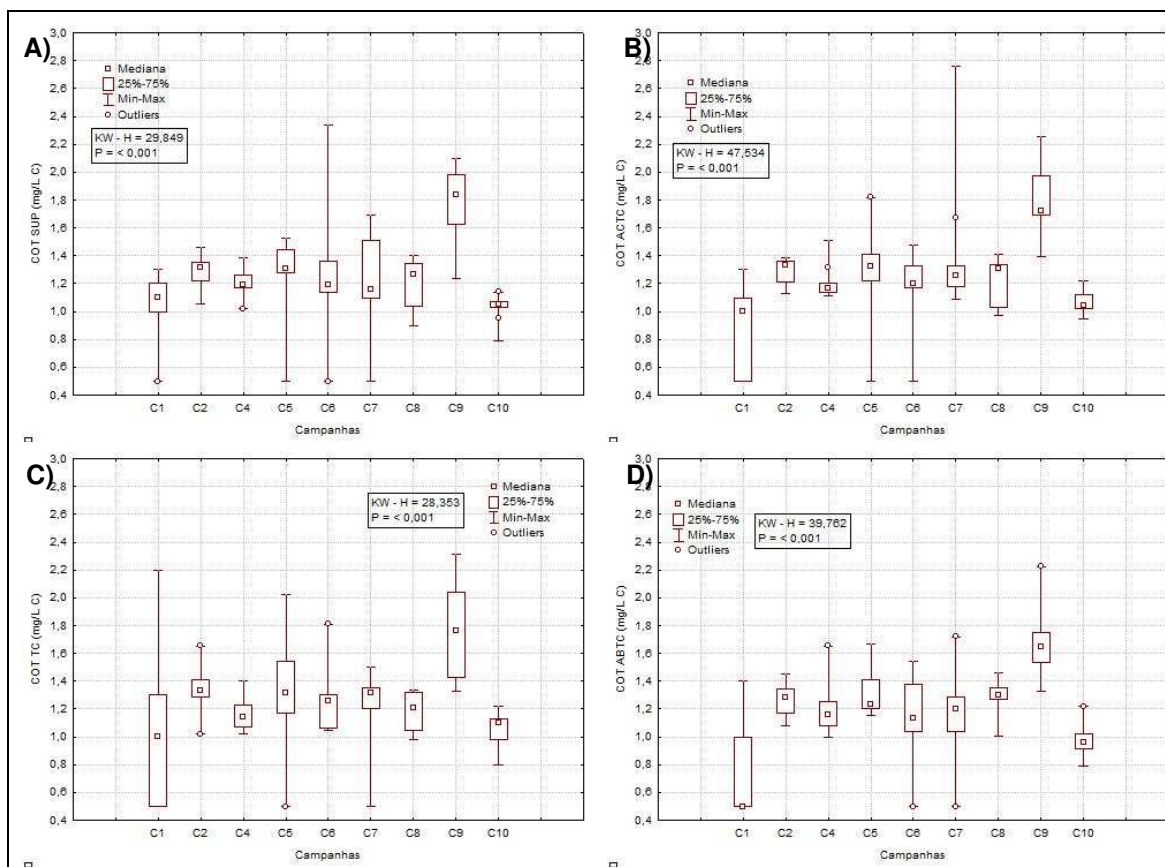


Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
DP-IRA-S C8 <sup>40</sup>	1,08 (TC)	2,50(ABTC)
DP-IRA-S C9 <sup>41</sup>	0,92 (SUP)	1,40 (ACTC)

\* 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 campanhas de monitoramento. Não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante a terceira campanha, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que a quinta, a sexta e a sétima campanha apresentaram maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas, exceto na TC e na ABTC, em que os maiores valores foram encontrados na nona campanha. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os dados das campanhas de monitoramento para todas as profundidades. Para a SUP e ACTC, C9 diferiu de C1 e C10 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ACTC, C9 também diferiu de C4. Na TC, C9 diferiu de C1, C4, C8 e C10 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Na ABTC, C9 diferiu de C1, C7 e C10, e C8 de C1 (Tukey,  $p < 0,05$ ). Cabe ressaltar que os limites de detecção e laboratórios foram diferentes entre as campanhas (LD C1 e C2 = 0,5 mg/L C, LD C4, C5, C6 e C7 = 0,3 mg/L C, LD C8, C9 e C10 = 0,10 mg/L C).



**Figura V-24** – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. 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<sub>2</sub>, 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 esperada 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 (LQ = 0,002 mg/L S). Com isso, todos os resultados estão enquadrados nas especificações da CONAMA 357/2005.

Na Tabela V-16, são apresentados os valores mínimo e máximo de sulfetos, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Da mesma maneira que ocorreu na atual campanha, baixos teores de sulfetos observados são esperados para ambientes pelágicos, conforme visto nos resultados da maioria das campanhas anteriores.

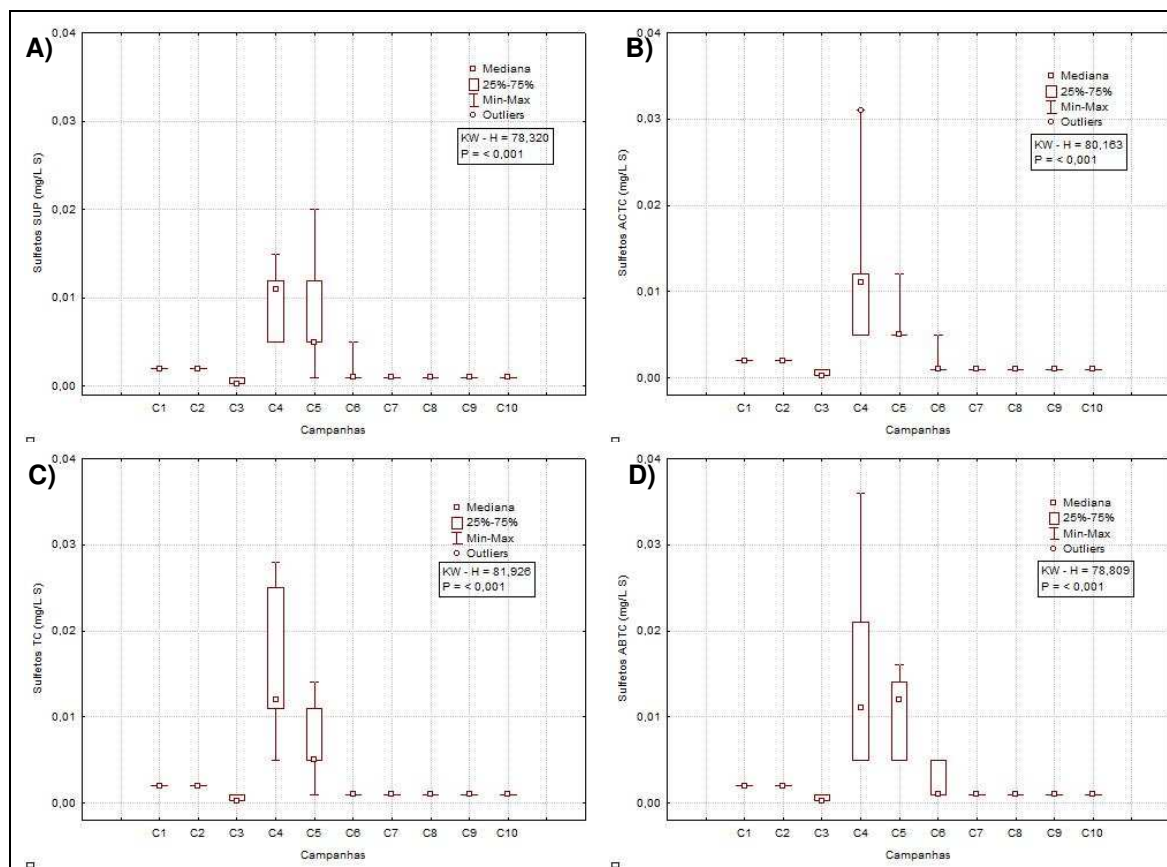
**Tabela V-16 - Concentrações de sulfetos (mg/L S) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.**

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

Campanha	Sulfetos (mg/L S)	
	Min	Máx
DP-IRA-S_C9 <sup>40</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C10 <sup>41</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
Bloco BM-S-11 <sup>42</sup>	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).

Observa-se que a quarta campanha apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas, exceto na superfície, em que a quinta campanha apresentou maior amplitude e maior valor máximo. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, foram verificadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os dados das campanhas de monitoramento para todas as profundidades. Para todas as profundidades, a quarta, quinta e décima campanha diferiram da terceira, sexta, sétima, oitava e nona campanha, e a terceira diferiu da primeira e a da segunda (Tukey,  $p < 0,05$ ), exceto na ABTC, em que C4 e C10 não diferiram de C6 (Figura V-25). Cabe ressaltar que os métodos utilizados foram iguais, mas os limites de detecção e laboratórios foram diferentes entre as campanhas (LD C1e C2 = 0,004 mg/L S, LD C3 = 0,0005 mg/L S, LD C4, C5, C6 e C7 = 0,002 mg/L S e LD C8, C9 e C10 = 0,001 mg/L S).



**Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. 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 quantificação do método de 0,04 µg/L.

Importante destacar que a ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis de fenóis na água é usual para a área de estudo, uma vez que em todas as campanhas de monitoramento ambiental realizadas anteriormente na região do polo Pré-Sal não foram encontradas concentrações detectáveis nem quantificáveis de fenóis (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022a, 2022b, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023a, 2023b, 2023c). Na caracterização do Bloco BM-S-11 foram encontradas concentrações de fenóis variando de não detectado a 0,012 mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Como também não foram detectadas nem quantificadas concentrações de fenóis nas campanhas anteriores deste projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

### **V.1.9 - Hidrocarbonetos**

Os hidrocarbonetos presentes no ambiente marinho consistem em misturas complexas de compostos derivados de múltiplas fontes, que incluem não só a contribuição resultante do uso do petróleo como fonte de energia e matéria-prima, mas também a combustão de biomassa, a biossíntese e a transformação diagenética recente de produtos naturais contendo heteroátomos em hidrocarbonetos. Em função de sua solubilidade limitada na água e de sua natureza hidrofóbica, evidenciadas pelos coeficientes de partição octanol-água ( $K_{ow}$ ) e carbono orgânico-água ( $K_{oc}$ ), a concentração dos hidrocarbonetos dissolvidos na água é muito baixa (Petrobras, 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-alcenos, 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-alcenos, 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-alcenos, 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-C<sub>18</sub> e n-C<sub>35</sub> e está relacionada à presença de resíduos de óleo bruto degradado por micro-organismos (FARRINGTON & TRIPP, 1977; BOULOUBASSI, 1990). Já na bimodal, pode ocorrer uma segunda ondulação entre n-C<sub>16</sub> e n-C<sub>22</sub> 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, semivoláteis, 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 dele. 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 CO<sub>2</sub> (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). Na Tabela V-17, são apresentados os valores mínimo e máximo de HPA's, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os resultados encontrados na atual campanha são corroborados pela ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis desse parâmetro na maioria das campanhas anteriores.

**Tabela V-17 - Valores de HPA's (µg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.**

Campanha	HPA's (µg/L)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	5,25 (ACTC)
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,19 (ACTC/ABTC)
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

Campanha	HPA's (µg/L)	
	Min	Máx
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	n.d. (ACTC/ABTC)	0,341 (ABTC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/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).

Como também não foram detectadas nem quantificadas concentrações de HPA's nas campanhas anteriores deste projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

#### **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). Na Tabela V-18 são apresentados os valores mínimo e máximo de HTP's, n-alcanos e MCNR encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os resultados encontrados na atual campanha são corroborados pela ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis desses parâmetros na maioria das campanhas anteriores.

**Tabela V-18 - Valores de HTP's ( $\mu\text{g/L}$ ), n-alcenos ( $\mu\text{g/L}$ ) e MCNR ( $\mu\text{g/L}$ ) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.**

Campanha	HTP's ( $\mu\text{g/L}$ )		n-alcenos ( $\mu\text{g/L}$ )		MCNR ( $\mu\text{g/L}$ )	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	n.d. (SUP)	16,72 (TC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	174.152,30 (ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	183,08 (SUP)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	94.211,00 (ABTC)
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	7,60 (ABTC)	25.666,00 (ACTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	23.911,80 (ACTC)
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	61,60 (ACTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

Campanha	HTP's (µg/L)		n-alcenos (µg/L)		MCNR (µg/L)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

Campanha	HTP's (µg/L)		n-alcenos (µg/L)		MCNR (µg/L)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	478,00 (ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	72,47 (ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	440,00 (ABTC)
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/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).

Como também não foram detectadas nem quantificadas concentrações de HTP's, N-alcanos e MCNR nas campanhas anteriores deste projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

### **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 (KOLESNIKOVAS *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 quantificadas concentrações (LQ = 1,0µg/L) para BTEX. Os valores encontrados foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/05 (benzeno = 700 µg/L; tolueno = 215 µg/L; etilbenzeno = 25 µg/L). 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, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022a, 2022b, 2022c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023a, 2023b, 2023c), exceto na segunda campanha do Piloto de Lula, que encontrou concentrações de BTEX de até 1.313,69 µg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a).

Como também não foram detectadas nem quantificadas concentrações de BTEX nas campanhas anteriores deste projeto, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

## V.2 - PLÂNCTON

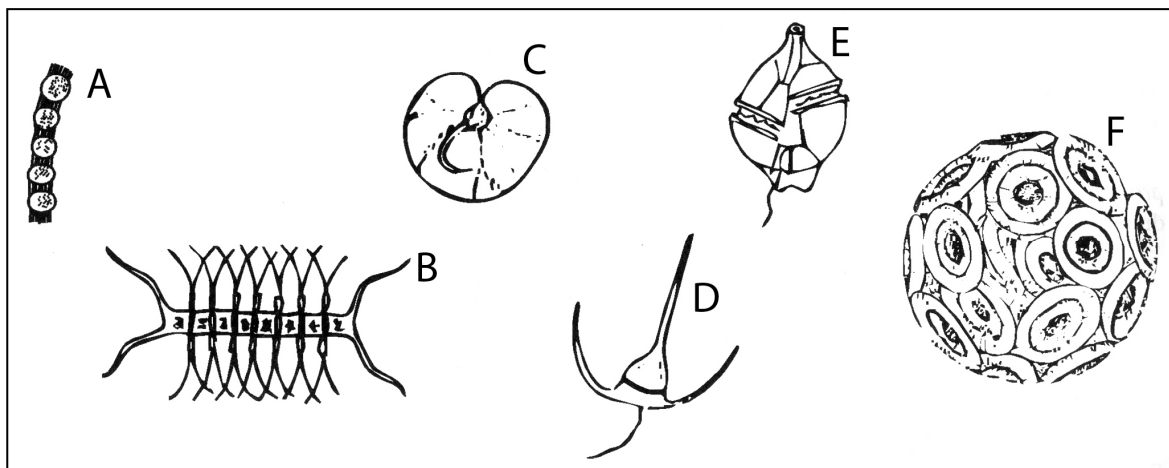
As comunidades planctônicas são formadas por uma grande diversidade de espécies de diminutos organismos uni e multicelulares, autotróficos e heterotróficos, representantes de diversos grupos taxonômicos (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

A categorização dos organismos planctônicos se baseia em inúmeros critérios como dimensão corpórea, habitat, tempo de residência no domínio planctônico e grupo taxonômico. A classificação do plâncton por grupos taxonômicos insere estes organismos marinhos nas categorias bacterioplâncton (bactérias), viroplâncton (vírus), fitoplâncton (algas e demais organismos unicelulares autotróficos), zooplâncton (metazoários e protistas heterotróficos) e ictioplâncton (ovos e larvas de peixes).

### V.2.1 - Fitoplâncton

O fitoplâncton é representado por procariotos e eucariotos, pluricelulares ou unicelulares, que podem ou não formar colônias. No entanto, a grande maioria é unicelular. São microrganismos autotróficos que pertencem a várias classes. Microalgas é um termo genérico, pois este grupo é constituído por diversos organismos nos mais variados tamanhos pertencentes às seguintes classes: Bacillariophyceae (diatomáceas); Dinophyceae (dinoflagelados); Chlorophyceae (clorofíceas); Prymnesiophyceae (cocolitoforídeos); Classe Crysophyceae (silicoflagelados); Cryptophyceae (criptofíceas) (BONECKER *et al.*, 2009; LALLI & PARSONS, 1995) (Figura V-26).





Fonte: Bonecker, Bonecker e Bassani (2009).

**Figura V-26** - Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) *Skeletonema*; (B) *Chaetoceros*; (C) *Pleurosigma*. Dinoflagelados: (D) *Noctiluca*; (E) *Ceratium*. Primnesiófita: (F) *Coccolithus*.

A comunidade fitoplanctônica possui grande importância nos ecossistemas, pois contribui com aproximadamente 90% da produção orgânica anual dos oceanos, formando a base da teia alimentar marinha (GAETA & BRANDINI, 2006). Portanto, oscilações em sua estrutura podem acarretar modificações em todos os níveis tróficos do ecossistema marinho.

O crescimento das populações fitoplanctônicas possui sazonalidade devido a diferenças na incidência luminosa, além de outras variáveis físico-químicas da água como temperatura, efeitos hidrodinâmicos das correntes, ventos e turbidez. A concentração de nutrientes e as interações ecológicas, tais como herbivoria, parasitismo e competição, também são fatores reguladores do tamanho populacional das espécies de fitoplâncton (SOUZA, 2008). Devido ao seu curto ciclo de vida e as elevadas taxas de reprodução de suas espécies, a comunidade fitoplanctônica responde rapidamente às alterações do meio aquático, seja por variações no regime meteorológico ou por impactos antropogênicos (GAETA & BRANDINI, 2006). Desta forma, este componente do plâncton é uma útil ferramenta para avaliação e para monitoramento das condições ambientais do meio aquático.

Densidades elevadas de microalgas indicam alta produtividade biológica (centenas de milhares de organismos por litro), sendo mais comumente observadas em áreas costeiras com reflexos geralmente positivos em ambientes naturais. De acordo com Sournia *et al.* (1991), são estimadas cerca de 5.000 espécies que

constituem o fitoplâncton, das quais aproximadamente 300 podem ocorrer em grandes densidades na água do mar. No entanto, em certas situações, algumas espécies podem ser nocivas ao produzirem toxinas ou por causar impactos negativos ao ecossistema. Dentre as 5.000 espécies estimadas, aproximadamente 40 produzem toxinas (HALLEGRAEFF *et al.*, 1995). Essas espécies podem se reproduzir de forma assexuada, por divisão celular, e intensivamente em espaço de tempo relativamente curto, aumentando consideravelmente a sua biomassa e/ou densidade celular, originando as chamadas florações ou *blooms*.

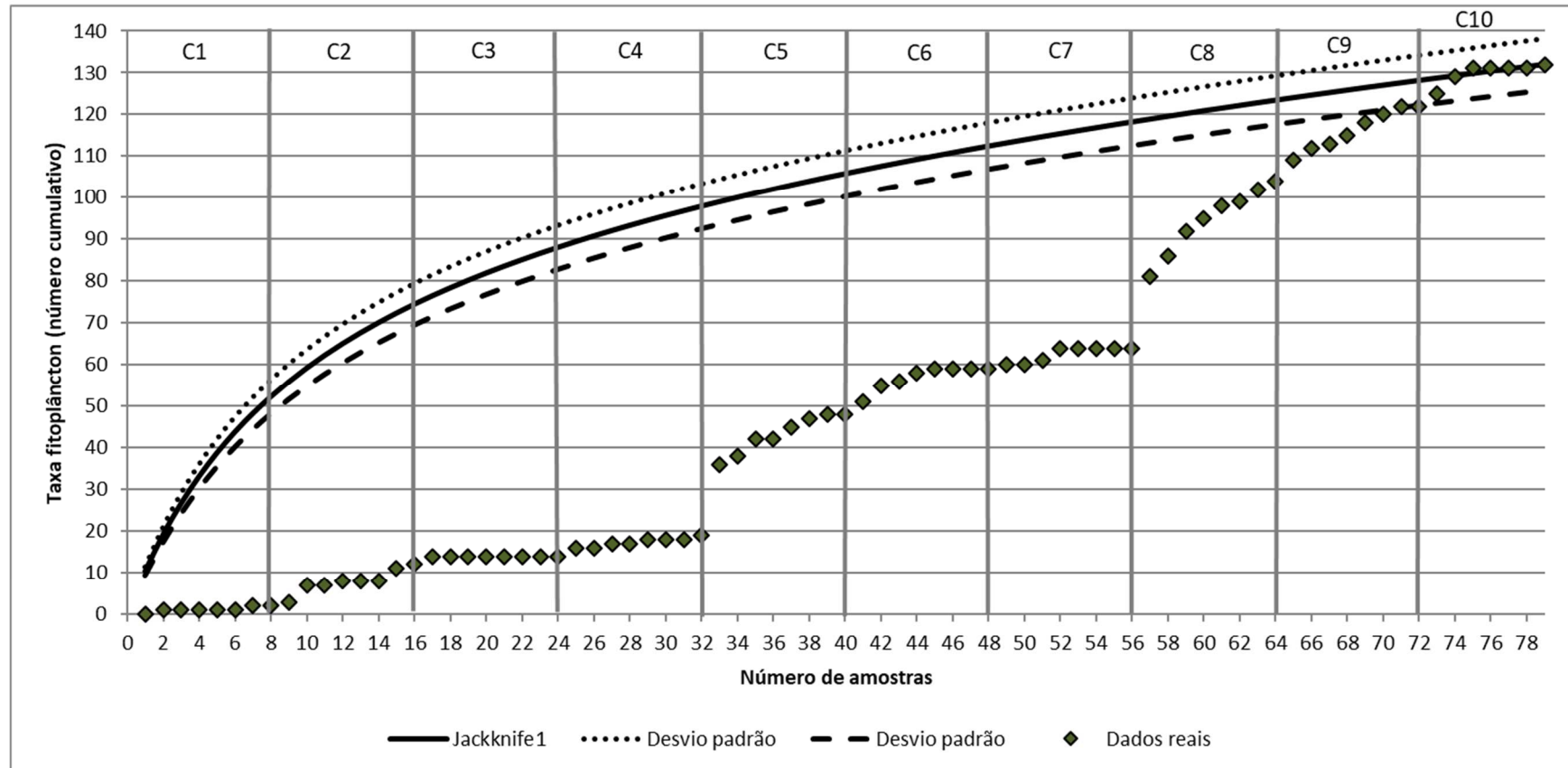
Na comunidade fitoplanctônica, os organismos presentes estabelecem relações intra e interespecíficas complexas, gerando uma intensa competição por espaço e recursos orgânicos e inorgânicos (BRANDINI *et al.*, 1997). A ecologia e composição do fitoplâncton são frequentemente utilizadas como ferramenta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

### **V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem**

Ao todo, considerando as 10 campanhas de monitoramento da fase de operação, foram coletadas 79 amostras de fitoplâncton. Na atual campanha, houve incremento de 10 novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 10 campanhas evidencia um incremento baixo de taxa ao longo da maioria das campanhas, contabilizando, de forma cumulativa, 132 taxa (Figura V-27). É interessante notar que a curva formada pelos dados reais não sofre um incremento contínuo ao longo das campanhas. Ao invés disso, a curva apresenta um incremento de taxa a cada nova campanha, apresentando uma feição com “degraus”. Observa-se que a curva apresenta um platô de estagnação do número de incrementos durante toda a terceira campanha, até a 24<sup>a</sup> amostra, quando iniciam novos, porém baixos, incrementos ao longo das amostras até o final da quarta campanha. Já na quinta e na sexta campanhas, os incrementos de taxa foram maiores em comparação com as campanhas anteriores, representando

aproximadamente 30% dos taxa amostrados. Na sétima campanha ocorrem poucos registros e uma tendência a estabilização da curva. Na oitava, na nona e na décima campanha, ocorreram novos incrementos de taxa, com um aumento menor durante C9, e um maior incremento em C10 e com tendência de estabilização da curva a partir da terceira amostra de C10. É possível que parte das diferenças verificadas no número de taxa entre as campanhas esteja associada a diferenças na identificação de alguns organismos em decorrência da mudança do laboratório executor das análises taxonômicas (entre a segunda e terceira, e entre a sétima e oitava campanha) e alteração do método analítico durante a quinta campanha (filtração reversa e sedimentação por 72 horas). 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.

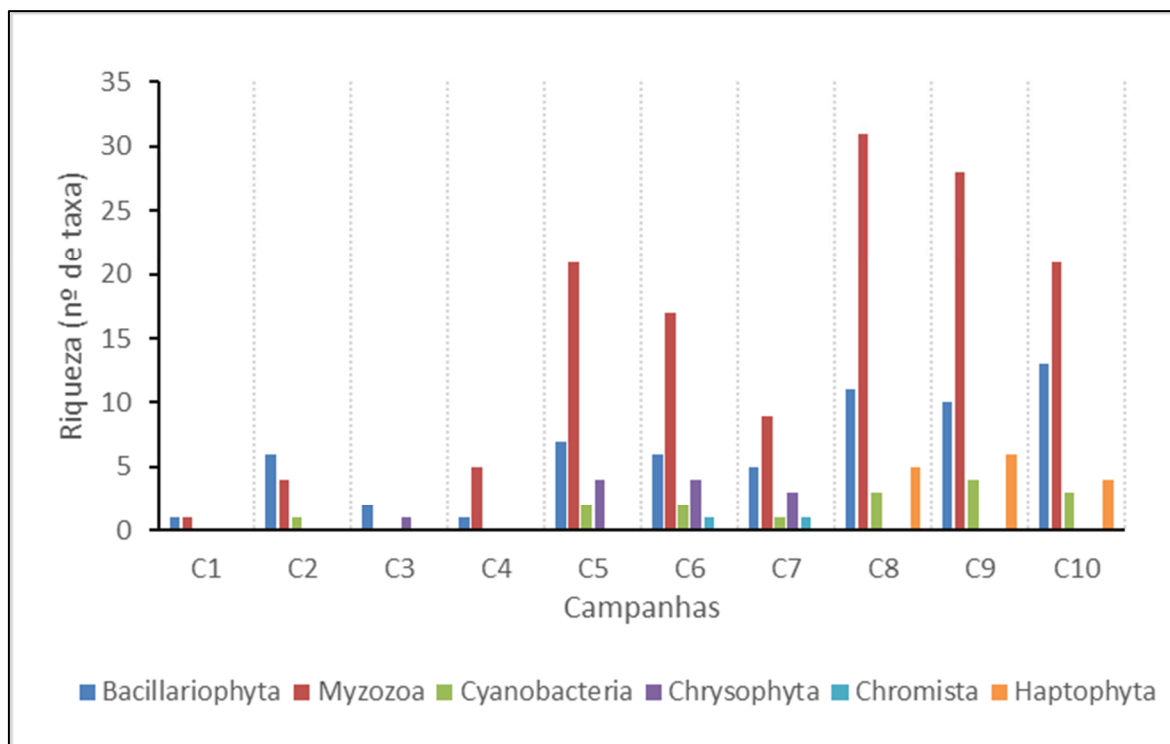


**Figura V-27** – Taxa fitoplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada ao longo da maioria das campanhas, enquanto a distribuição real foi mais semelhante a distribuição esperada a partir da sexta amostra da nona campanha em diante, pois a maioria dos pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife, sendo que a partir da terceira amostra de C10 a distribuição real ocorre sobre a curva de Jackknife. A feição da curva dos dados reais indica uma tendência de estabilização nas amostras finais.

### V.2.1.2 - *Análise Qualitativa*

Na presente campanha, foram registrados organismos pertencentes a quatro filos: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Myzozoa apresentou riqueza total de 21 taxa, Bacillariophyta, de 13 taxa e Haptophyta e Cyanobacteria, de 4 e 3 taxa, respectivamente (Figura V-28). Vale ressaltar que o nível taxonômico das identificações foi variável, e que podem existir mais espécies dentro dos *taxa* identificados em níveis superiores, como ordem e gênero. Apenas o filo Bacillariophyta (antigo Ochrophyta) foi registrado em todas as campanhas da fase de operação anteriores (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015d, 2015, 2017b, 2018e, 2019d, 2019g, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021). A listagem das espécies fitoplanctônicas coletadas na presente campanha está contida no Anexo IX-23.



**Figura V-28** – Riqueza fitoplanctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

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). Já ao longo do talude continental, o fitoplâncton é composto principalmente por diatomáceas, dinoflagelados, cocolitoforídeos, cianofíceas e silicoflagelados (PETROBRAS/HABTEC, 2003; CENPES/PDEDS/AMA, 2013).

Conforme Petrobras (2022) ficou constatada importante contribuição do nanoplâncton (1,8-20,0  $\mu\text{m}$ ) para a composição da comunidade localizada na plataforma externa e oceânica. A maior contribuição, tanto em termos de densidade (99%) quanto de biomassa (47-90%), foi observada na região de talude como oceânica onde predominam condições oligotróficas. Os cocolitoforídeos apresentaram uma importância inédita na Bacia de Santos, ocorrendo em quase todas as estações, tanto na superfície como na Profundidade de Máximos de Clorofila-a (PMC), representando entre 2 e 75% da biomassa total.

Tanto os dinoflagelados (Divisão Pyrrophycophyta) quanto as diatomáceas (Divisão Bacillariophyta) 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).

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

Em áreas com maior concentração de nutrientes as diatomáceas têm maior sucesso de colonização, 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 *et al.*, 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 compartimento planctônico e bentônico. 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-19 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-19** - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônica encontradas na atual campanha de monitoramento

Estação	Estratos	Riqueza (n° de taxa)	Densidade (ind/L)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-SAP_M1000	SUP	20,00	304,35	2,34	0,78
	ACTC	-	-	-	-
	TC	26,00	499,46	2,51	0,77
	ABTC	20,00	269,35	2,39	0,80
PIL-SAP_J1002	SUP	20,00	200,00	2,55	0,85
	ACTC	16,00	206,06	2,32	0,84
	TC	26,00	236,73	2,84	0,87
	ABTC	20,00	263,21	2,50	0,83
	mínimo	16,00	200,00	2,32	0,77
	máximo	26,00	499,46	2,84	0,87
	média	21,14	282,74	2,49	0,82
	desvio padrão	3,63	102,34	0,18	0,04

Já na Tabela V-20 são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos do fitoplâncton obtidos nas campanhas de monitoramento ambiental anteriormente realizadas no local, assim como em campanhas de outros projetos de monitoramento realizados na região.

**Tabela V-20** - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica nos estudos anteriores.

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	12	14	134.190	227.209	0,37	0,49	0,33	0,44
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	14	19	176.418	589.248	0,45	0,61	0,39	0,51



	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	17	27	1.206,84 5	2.440,89 2	0,01	0,07	0,01	0,05
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	3	8	1.000	39.000	1,10	1,94	0,81	1
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	0	4	0	31.000	0	1,33	0	0,96
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	1	6	100	800	0	1,67	0	1
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	0	3	0	60	0	1,10	0	1,00
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	1	2	20	80	0	0,69	0	1,00
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	6	21	46,89	126,08	1,24	2,79	0,50	1,00
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	7	17	32,09	94,78	1,85	2,63	0,92	0,97
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	9	13	41,86	268,05	0,85	2,23	0,37	0,93
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	14	22	427,50	511,24	1,79	2,22	0,68	0,79
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	11	26	355,79	539,13	1,54	2,43	0,64	0,76
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	0	5	0	8.0000	0	0,50	0	0,45
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	2	5	200	500	0,69	1,61	0,95	1
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	0	3	0	100	0,00	1,10	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	0	6	0	380	0	1,70	0	1,00
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	8	15	43,68	89,01	1,81	2,62	0,83	0,97
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	7	13	21,69	183,24	1,83	2,25	0,86	0,97
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	6	11	49,19	160,54	1,13	2,16	0,57	0,90
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	15	23	455,87	819,51	2,09	2,33	0,73	0,78
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	18	27	335,14	602,08	1,90	2,56	0,66	0,81
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	16	25	214,03	353,59	2,36	2,64	0,78	0,86
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	0	1	0	1.000	0	0	0	0
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	0	4	0	400	0	1,38	0	1,00
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	0	2	0	80	0,00	0,56	0,00	0,81
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	0	3	0	80	0	1,04	0	1,00
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	6	20	25,39	183,47	1,68	2,64	0,79	0,84
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	10	19	61,45	231,33	2,00	2,60	0,78	0,93
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	5	12	134,47	806,20	0,37	1,40	0,16	0,61
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	19	24	298,85	548,07	2,02	2,58	0,66	0,81
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	21	30	335,03	656,68	2,06	2,61	0,67	0,80
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	0	6	0	900	0,00	1,68	0,00	0,96
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	0	1	0	40	0,00	0,00	0,00	0,00
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	0	4	0	140	0	1,15	0	0,83
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	4	15	22,73	52,20	1,28	2,64	0,78	0,97
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	10	20	74,79	171,22	1,92	2,71	0,83	0,94
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	7	12	30,04	421,98	1,44	2,20	0,65	0,96
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	18	24	465,54	705,59	2,08	2,31	0,69	0,80
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	17	27	392,00	500,50	1,96	2,50	0,69	0,78
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	18	32	278,26	420,49	2,57	2,92	0,82	0,89

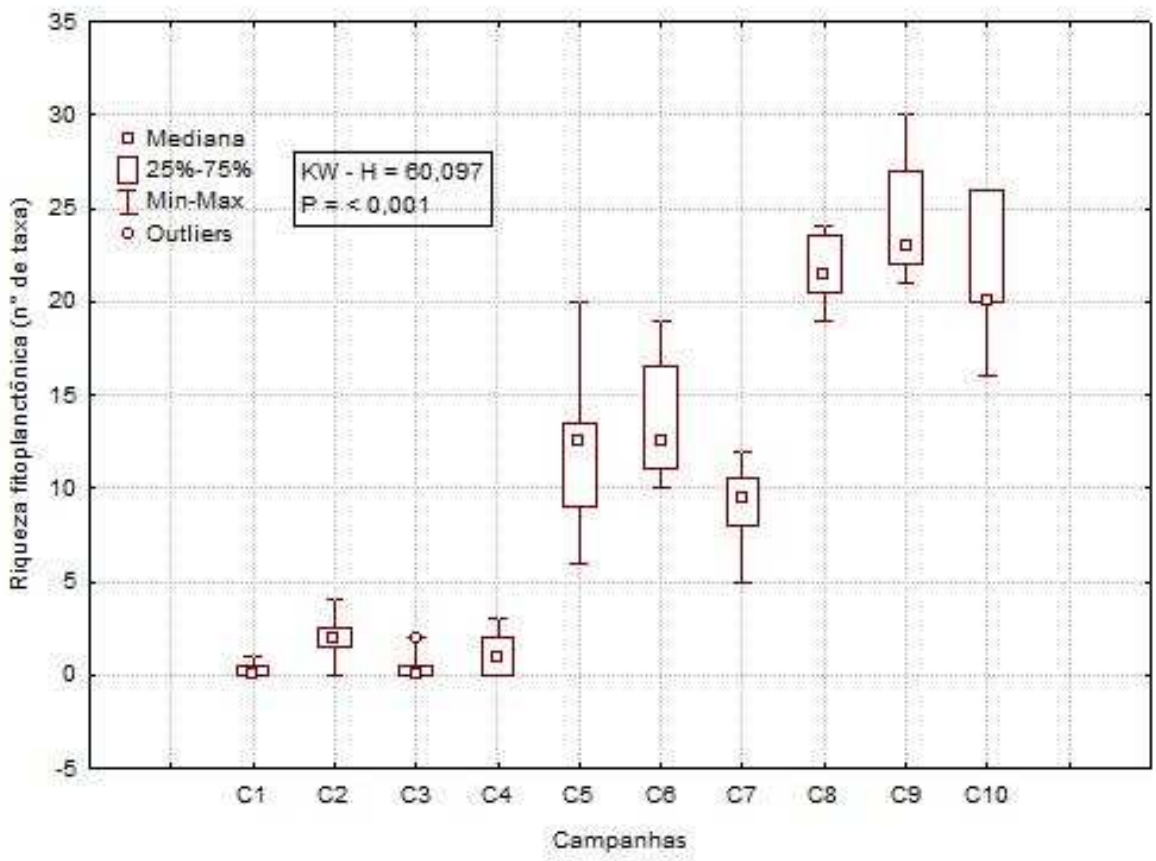
Fonte: 1 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2010), 2 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012a), 3 = Petrobras/AnalyticalSolutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid, (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 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 41 taxa, dentre os quais 2 foram identificados a nível de ordem, 8 a nível de gênero e 31 a nível de espécie. O número de taxa variou de 16 (PIL-SAP\_J1002\_ACTC) a 26 (nasTC das duas estações) com média de 21,14 ( $\pm 3,63$ ) taxa).

Os valores encontrados na atual campanha estiveram dentro da faixa de variação dos valores encontrados anteriormente para a região, onde a riqueza variou de nula a 32 taxa.

Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza de taxa das nove campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A a oitava, a nona e décima campanhas apresentaram os maiores valores de riqueza (Figura V-29). A primeira, segunda, quarta e décima campanha diferiram da terceira, da sétima e da oitava campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



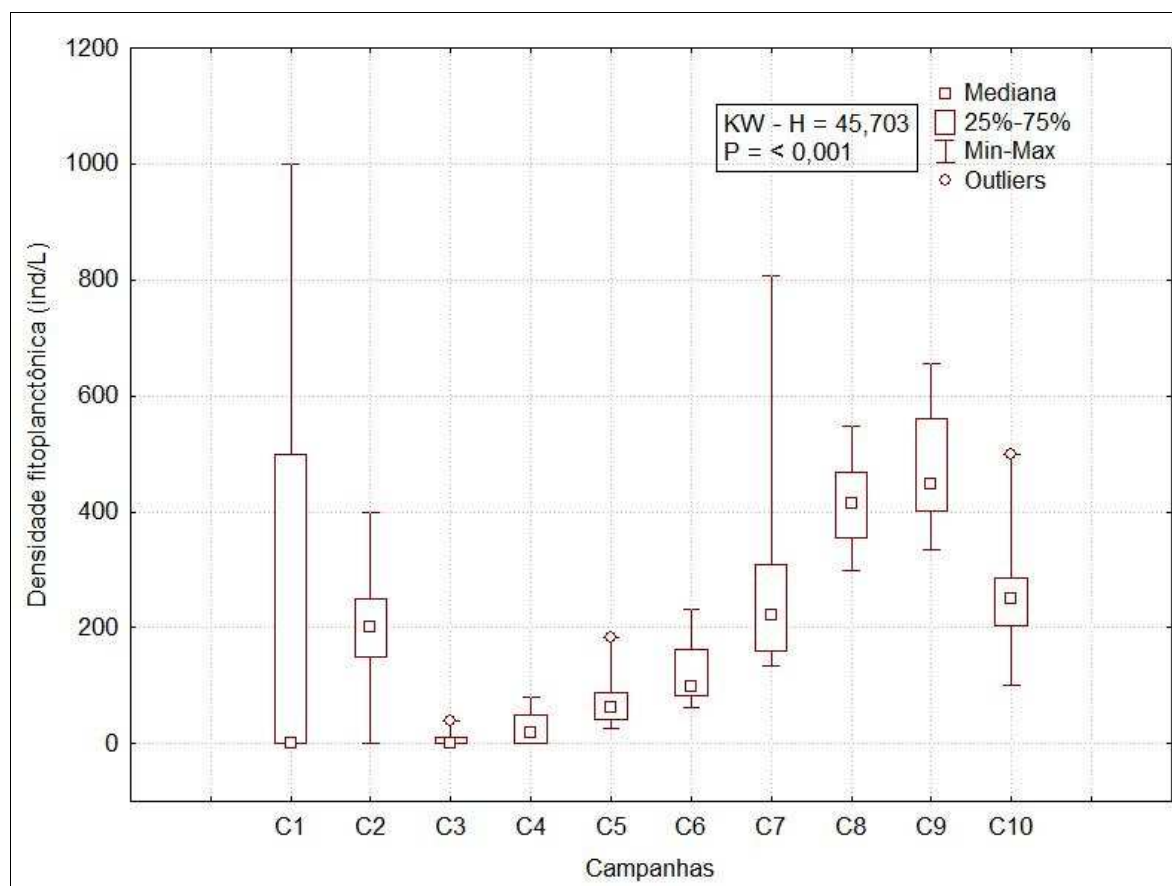
**Figura V-29** – Box plots representativos dos valores de riqueza fitoplanctônica (n° de taxa) encontrados ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

A densidade média dos organismos fitoplanctônicos da atual campanha foi de  $282,74 \pm 1012,34$  ind/L, variando de 200,00, na amostra PIL-SAP\_J1002\_SUP, a 499,46 ind/L, na amostra PIL-SAP\_M1000\_TC. Em comparação aos dados de densidade já verificados para a região, pode-se observar que os dados de densidade são muito variáveis. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-3.

Segundo Petrobras (2022), a média global da densidade do microplâncton na superfície foi de até  $1.026 \times 10^3$  cels/L, enquanto a densidade do nanoplâncton foi de  $52,4 \times 10^5$  cels/L, para o verão. No inverno, esses valores foram menores,  $385,9 \times 10^3$  cel/L e  $38,1 \times 10^5$  cel/L, respectivamente.

No âmbito do PMPR\_PIL-SAP, a primeira campanha apresentou a maior variação nos resultados de densidade entre as campanhas, enquanto a oitava e a nona campanha registraram as maiores densidades médias. Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de densidade de taxa das 10 campanhas

de monitoramento (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ) e a oitava e nona campanhas diferiram significativamente da primeira, da terceira e da quarta campanhas. A terceira campanha também diferiu da sétima e da décima (*Tukey*,  $p < 0,05$ ) (Figura V-30).



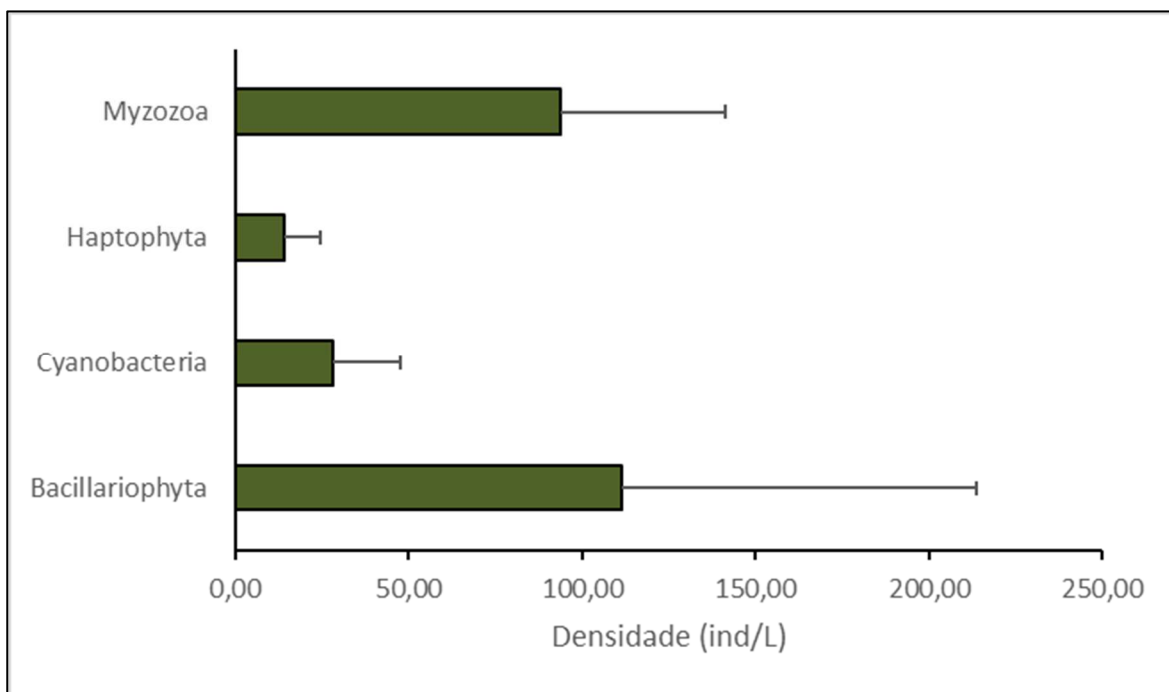
**Figura V-30** – Box plots representativos dos valores de densidade fitoplanctônica (ind/L) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

Nas áreas oceânicas do Brasil, a densidade fitoplanctônica varia de  $50 \times 10^3$  a  $200 \times 10^3$  ind/L (KOENING & MACEDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 1999). No entanto, altas densidades podem ser encontradas devido a florações de espécies de algas oportunistas a 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. O microplâncton ( $>20 \mu\text{m}$ ) presente na camada de superfície alcançou uma contribuição relativa de carbono em torno de 46% de carbono, tendo um valor

máximo de  $1.026 \times 10^3$  cels.L<sup>-1</sup>. O nanoplâncton (1,8-5 µm), embora tenha apresentado uma menor contribuição em termos de carbono (cerca 4%), teve registro de picos de densidade, alcançando o valor máximo na camada de superfície de  $52,4 \times 10^5$  cels.L<sup>-1</sup>.

O filo Bacillariophyta apresentou valores superiores de densidade média, com valor de  $111,20 \pm 102,36$  ind/L, seguida por Myzozoa, com densidade média de  $93,87 \pm 47,38$  ind/, Cyanobacteria, com  $28,12 \pm 19,34$  ind/L, e Haptophyta, com  $14,21 \pm 10,22$  ind/L (Figura V-31), sendo observada certa dispersão dos dados em torno da média para a maioria dos registros (entre 50 e 92%).

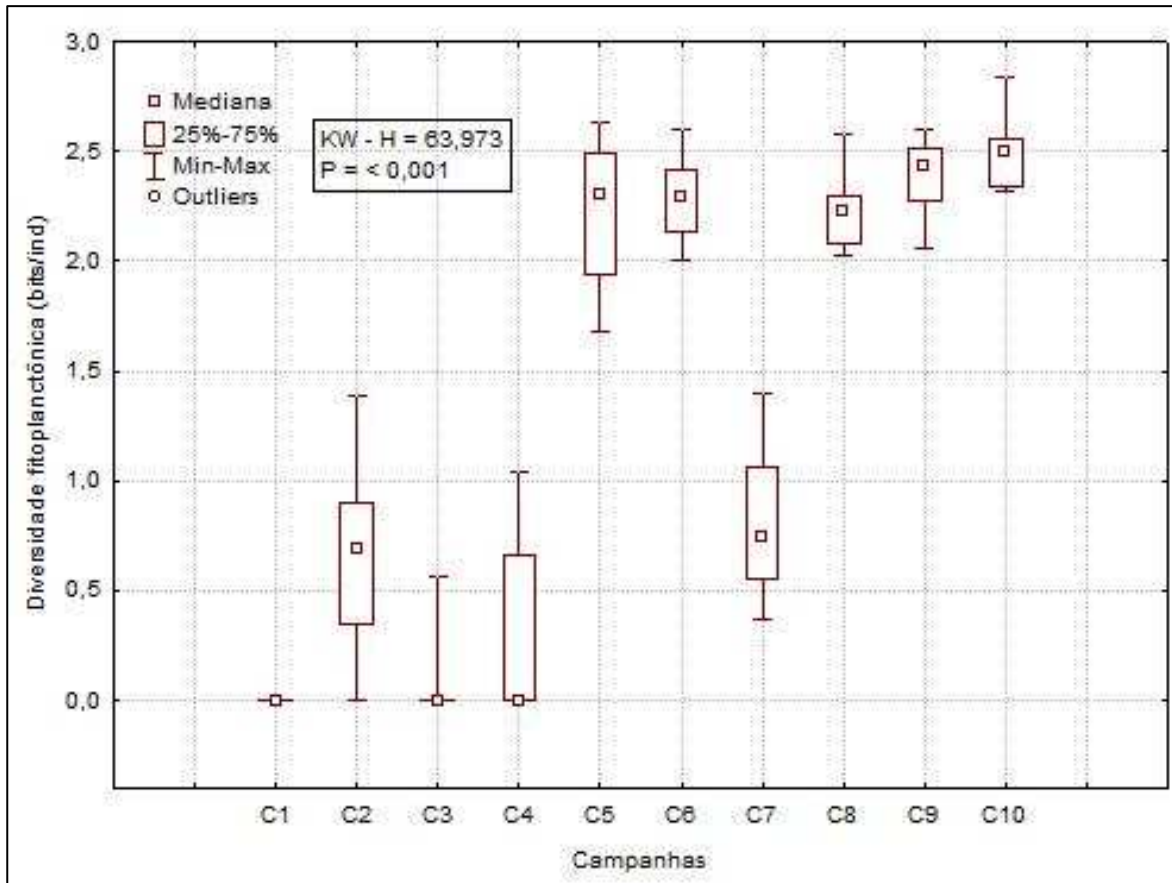


**Figura V-31** – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média dos grupos  $\pm$  desvio-padrão.

Na primeira campanha de monitoramento do Piloto de Sapinhoá, as divisões Bacillariophyta (antiga Ochrophyta) e Myzozoa (antiga Dinophyta) apresentaram a mesma densidade, enquanto na segunda, na terceira, na quarta, na sétima e na décima campanha a predominância novamente foi de Bacillariophyta (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015d, 2015, 2017b, 2020c). Na quinta e na sexta campanhas, Pyrrophytophyta apresentou a maior densidade média, enquanto na oitava e nona campanha, Myzozoa predominou em densidade (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022c).

A diversidade média dos organismos fitoplanctônicos da atual campanha foi de  $2,49 \pm 0,18$  bits/ind, variando entre 2,32, na estação PIL-SAP\_J1002\_ACTC a 2,84 bits/ind na estação PIL-SAP\_J1002\_TC), valores representativos de resultados esperados para a região, embora seu valor máximo seja superior a maioria dos valores de diversidade máxima já registrados anteriormente.

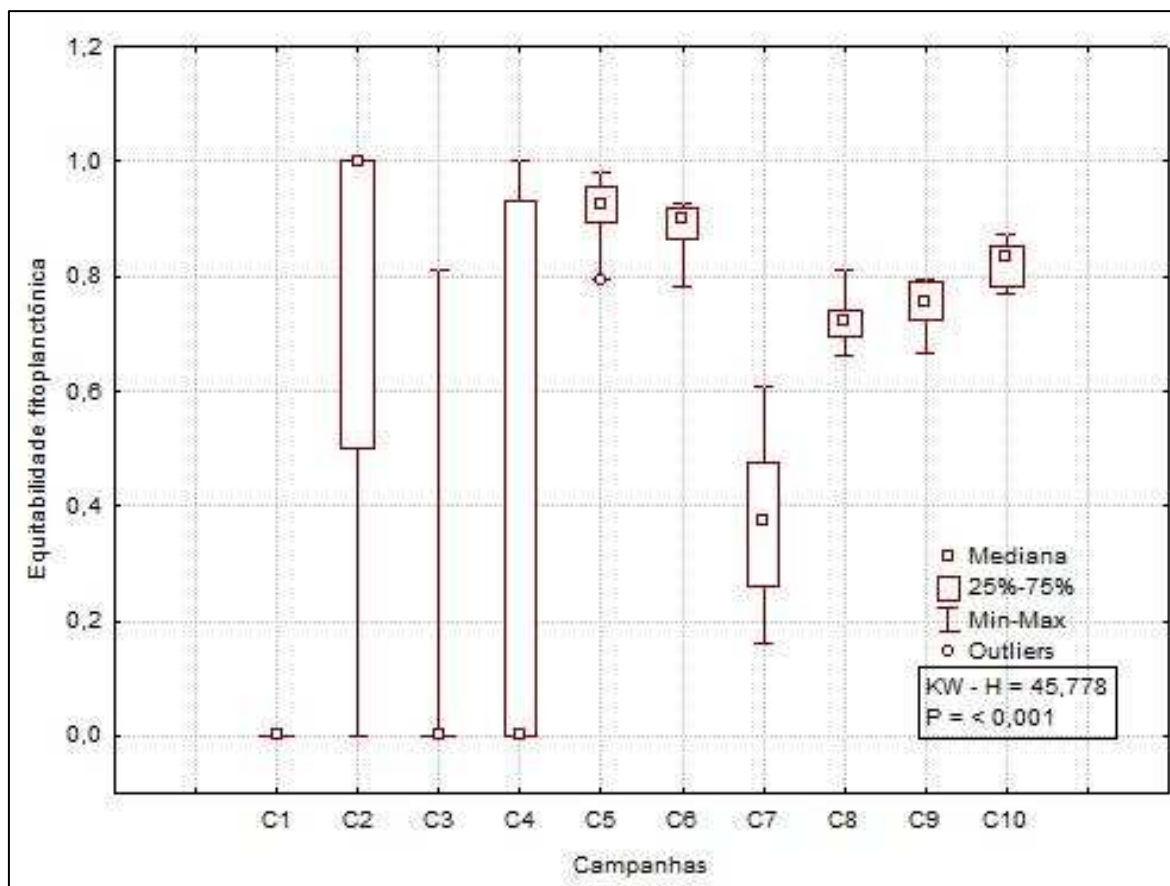
Na Figura V-32, são apresentados os valores de diversidade de fitoplâncton obtidos no PMPR\_PIL-SAP. As campanhas C5, C6, C8, C9 e C10 apresentaram os maiores valores de diversidade, em comparação às demais campanhas. A décima campanha apresentou os maiores valores e maior média de diversidade, enquanto a segunda apresentou maior variação dos valores. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kuskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). A quinta, a sexta e a nona campanhas diferiram significativamente da primeira, terceira e quarta campanhas; a oitava campanha diferiu da primeira e da terceira, e a décima campanha diferiu da primeira, segunda, terceira e quarta campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-32** - Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

A equitabilidade média dos organismos fitoplanctônicos na atual campanha foi de  $0,82 \pm 0,04$ , variando de 0,77, na amostra PIL-SAP\_M1000\_TC a 0,87, na amostra PIL-SAP\_J1002\_TC, demonstrando uma comunidade equitativa entre as amostras coletadas. Os valores obtidos na presente campanha estiveram dentro da faixa de variação dos resultados de equitabilidade obtidos nas campanhas realizadas anteriormente, para a região.

Na Figura V-33, são apresentados os valores de equitabilidade de fitoplâncton obtidos no PMPR\_PIL-SAP. Pode-se observar que a segunda e a quarta campanha de monitoramento apresentaram maiores amplitudes de valores; a segunda campanha também apresentou maior valor médio e máximo de equitabilidade em relação as demais campanhas. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ), em que a segunda, a quinta, a sexta e décima campanhas diferiram significativamente da primeira e da terceira campanhas (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-33** - Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

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 segunda e a terceira e entre a sétima e oitava campanhas tenha influenciado nos resultados gerados e, conseqüentemente, nas diferenças encontradas entre as campanhas.

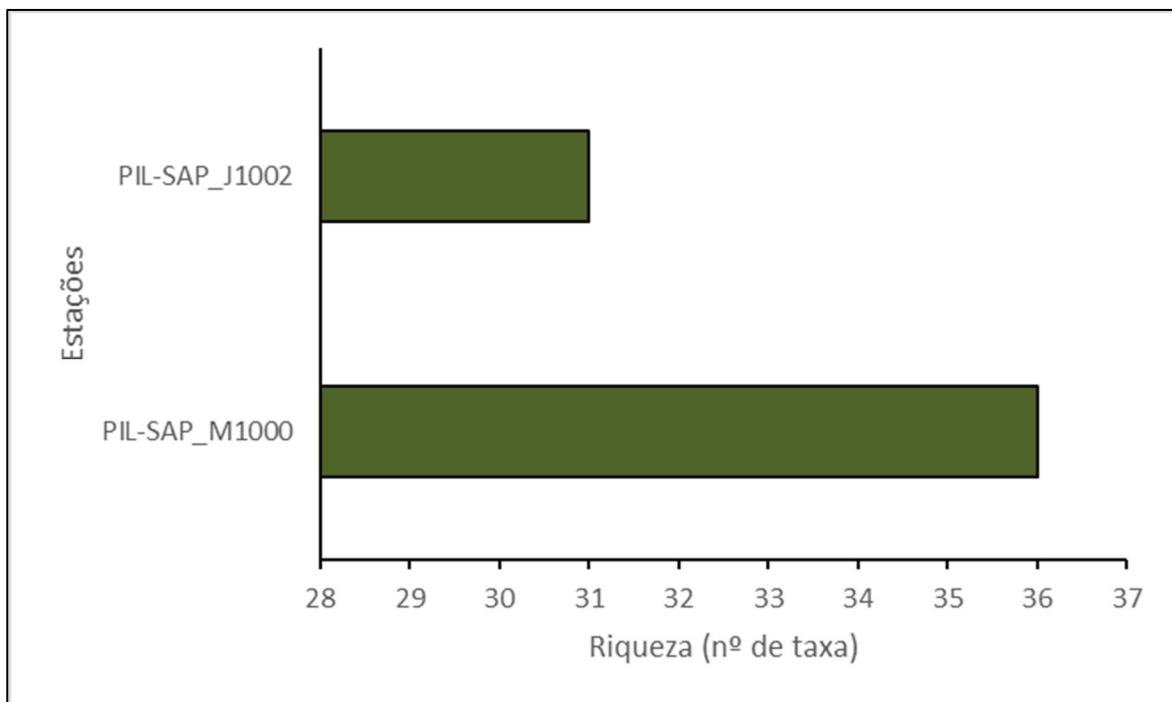
As alterações analíticas adotadas a partir da quinta campanha, com o emprego de filtração reversa e tempo de sedimentação mínima de 72 horas, também



parecem ter influenciado nos resultados obtidos e, assim, não é possível ser conclusivo acerca das diferenças estatísticas verificadas entre a quinta, a sexta, a sétima e a oitava campanha e a maioria das demais campanhas para todos 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.

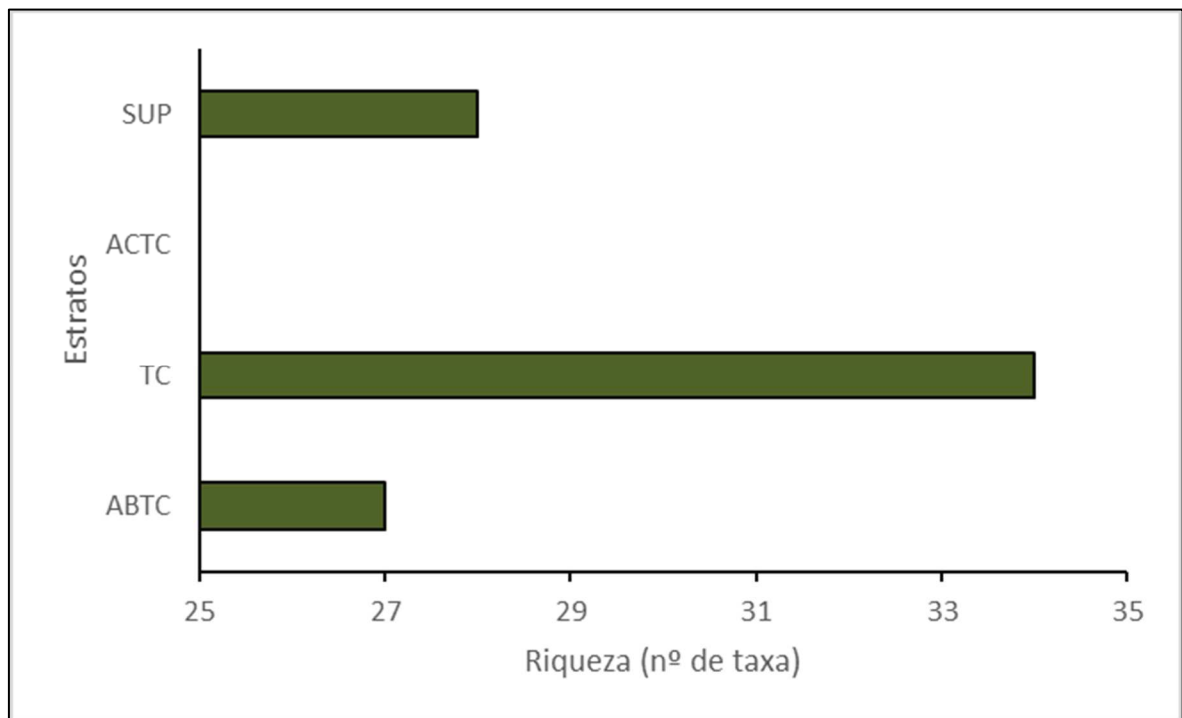
#### V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton

Avaliando a riqueza total acumulada em cada estação, pode-se observar que esta variou entre 36 (PIL-SAP\_M1000) e 31 (PIL-SAP\_J1002) (Figura V-34).



**Figura V-34** – Riqueza fitoplanctônica (número de taxa) da atual campanha de monitoramento ambiental. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).

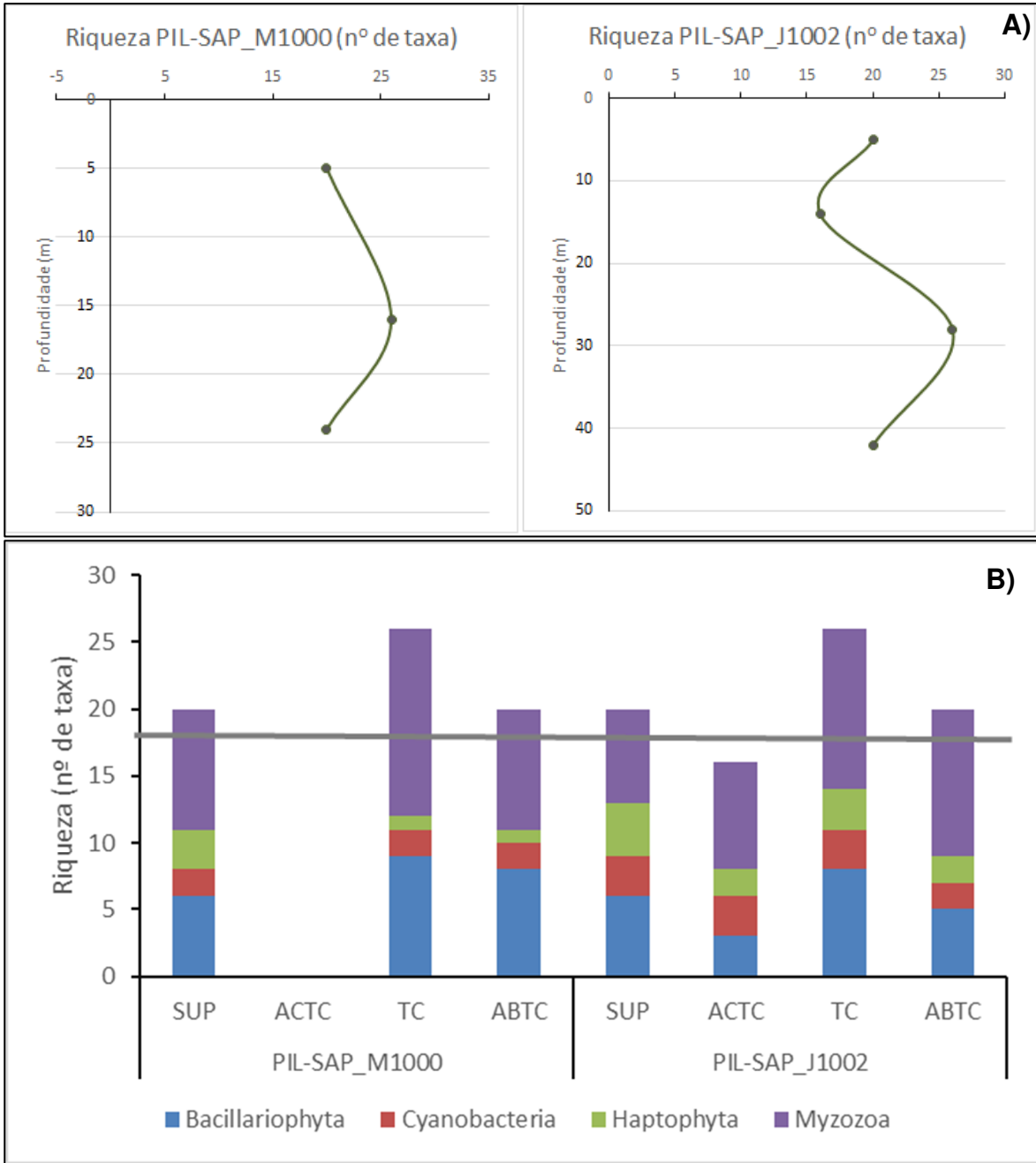
A riqueza total nos diferentes estratos variou de 16 na ACTC a 34 taxa na TC (Figura V-35).



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

**Figura V-35** – Riqueza fitoplanctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).

Avaliando as amostras com relação à riqueza de taxa, observou-se que as maiores riquezas ocorreram na termoclina de ambas as estações, e o menor valor ocorreu na ACTC de PIL-SAP\_J1002 (Figura V-36). Em PIL-SAP\_J1002, observou-se um padrão de distribuição mais pronunciado, com a riqueza diminuindo de SUP para ACTC, aumentando de ACTC para TC e, novamente, diminuindo de TC para ABTC. Ao analisar a distribuição de taxa entre as estações e profundidades, foi possível observar que todos os filos ocorreram em todas as amostras de ambas as estações, sendo constatada maior riqueza de Myzozoa em todas as profundidades.

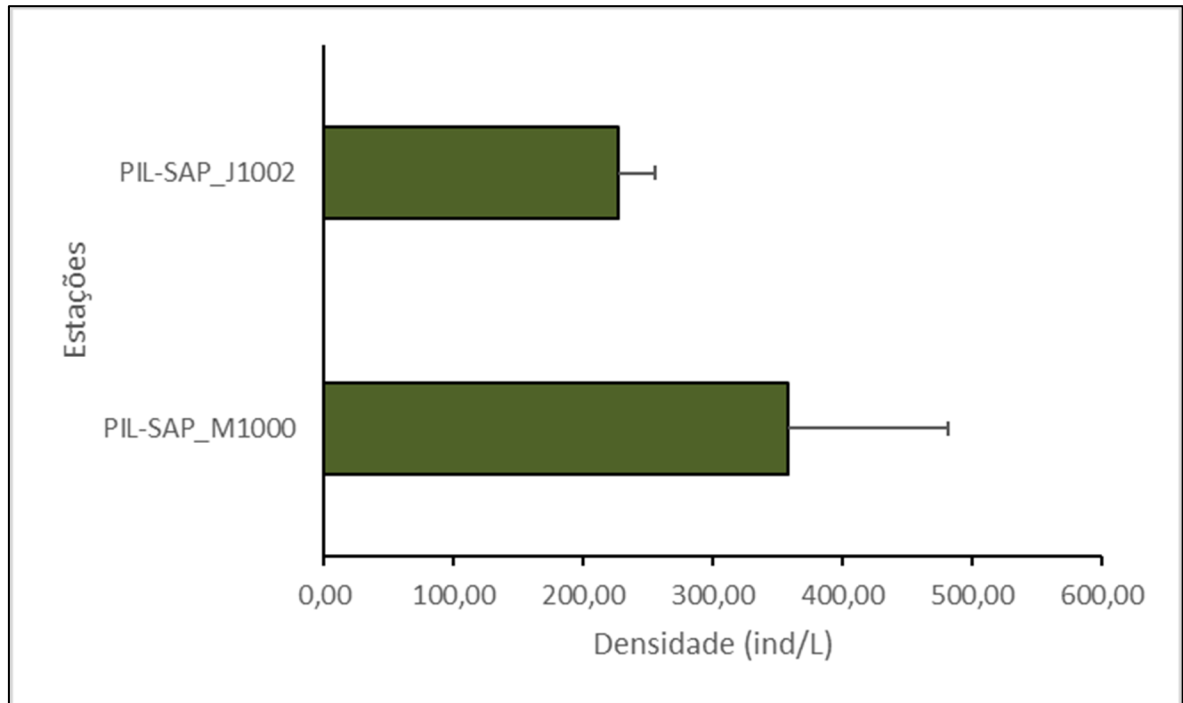


Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

**Figura V-36 – Riqueza fitoplanctônica (nº de taxa) da atual campanha de monitoramento.**  
 A) Perfis de variação da riqueza na coluna d’água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões e filios fitoplanctônicos; a linha cinza representa a média de todas as amostras.

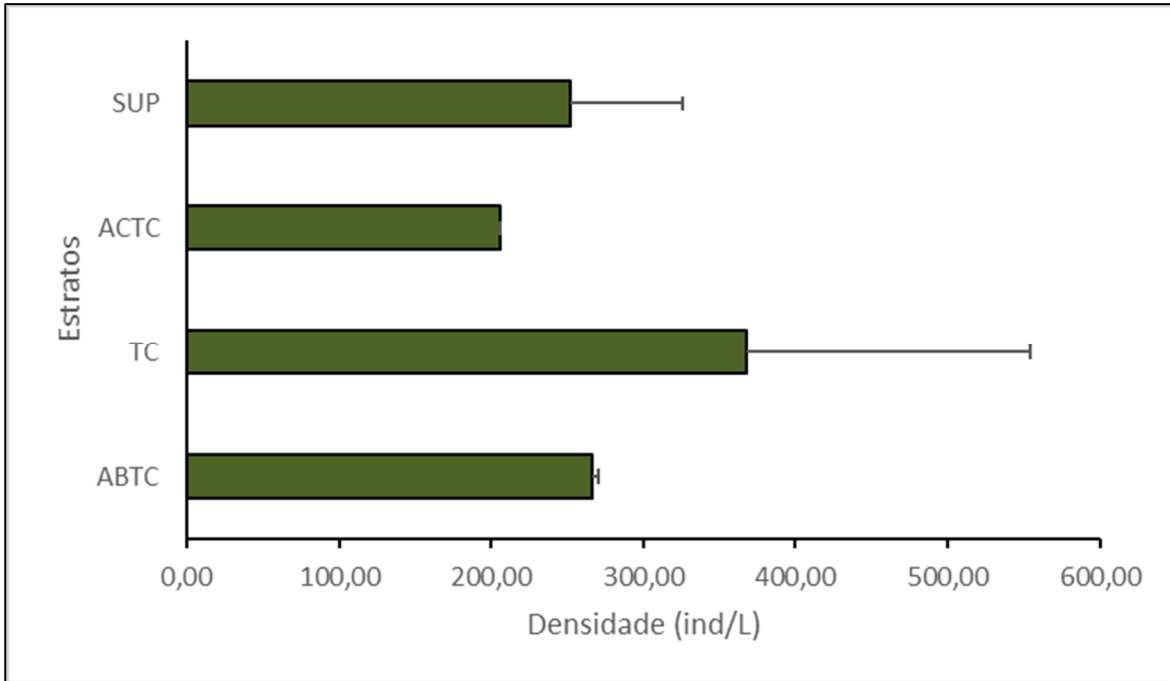
Com relação ao parâmetro densidade média nas duas estações, a estação PIL-SAP\_M1000 obteve valor maior ( $357,72 \pm 123,99$  ind/L) se comparada a PIL-SAP\_J1002, que obteve média de  $226,50 \pm 29,28$  ind/L (Figura V-37). Observa-se

que o desvio-padrão dessas médias foi relativamente baixo, refletindo pequena variação de densidade verificada ao longo da coluna d'água.



**Figura V-37** – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das estações  $\pm$  desvio-padrão.

A densidade média registrou maiores valores na TC, ABTC e SUP, com valores de 368,10 ( $\pm$  185,77), 266,28 ( $\pm$  4,34), e 252,17 ( $\pm$  73,79) ind/L, respectivamente, enquanto em ACTC foi registrada a menor densidade (206,06 ind/L), isso ocorre, provavelmente devido à ACTC de PIL-SAP\_M1000 ter sido suprimida das amostragens, não sendo contabilizada densidade nessa amostra e, portanto, não contribuindo à média nessa camada (Figura V-38).

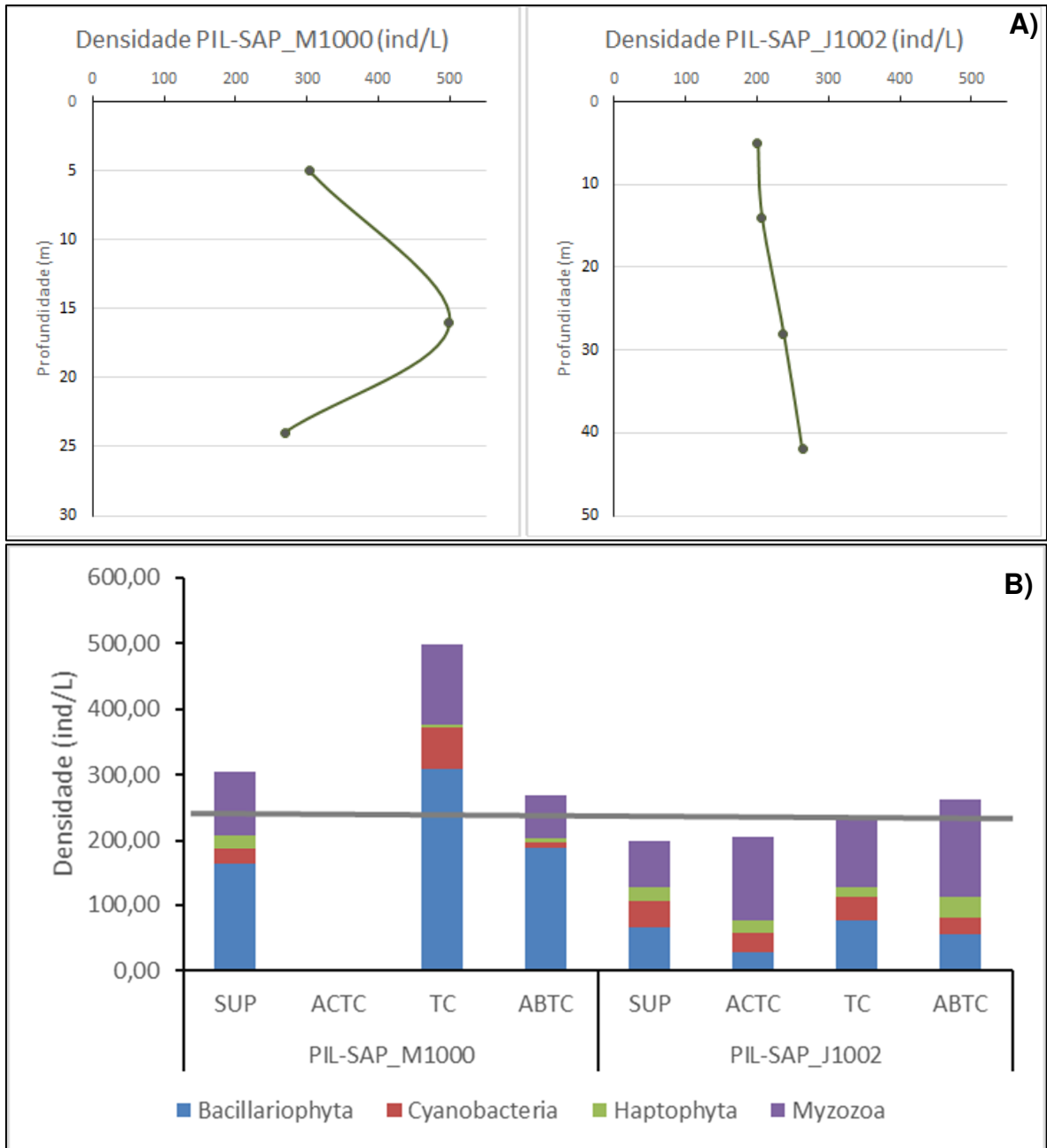


Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

**Figura V-38** – Densidade fitoplanctônica (ind/L) nos quatro estratos da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das profundidades  $\pm$  desvio-padrão.

Avaliando os perfis verticais de densidade, se observa um padrão de distribuição mais homogêneo na PIL-SAP\_J1002 que em PIL-SAP\_M1000 (Figura V-39).

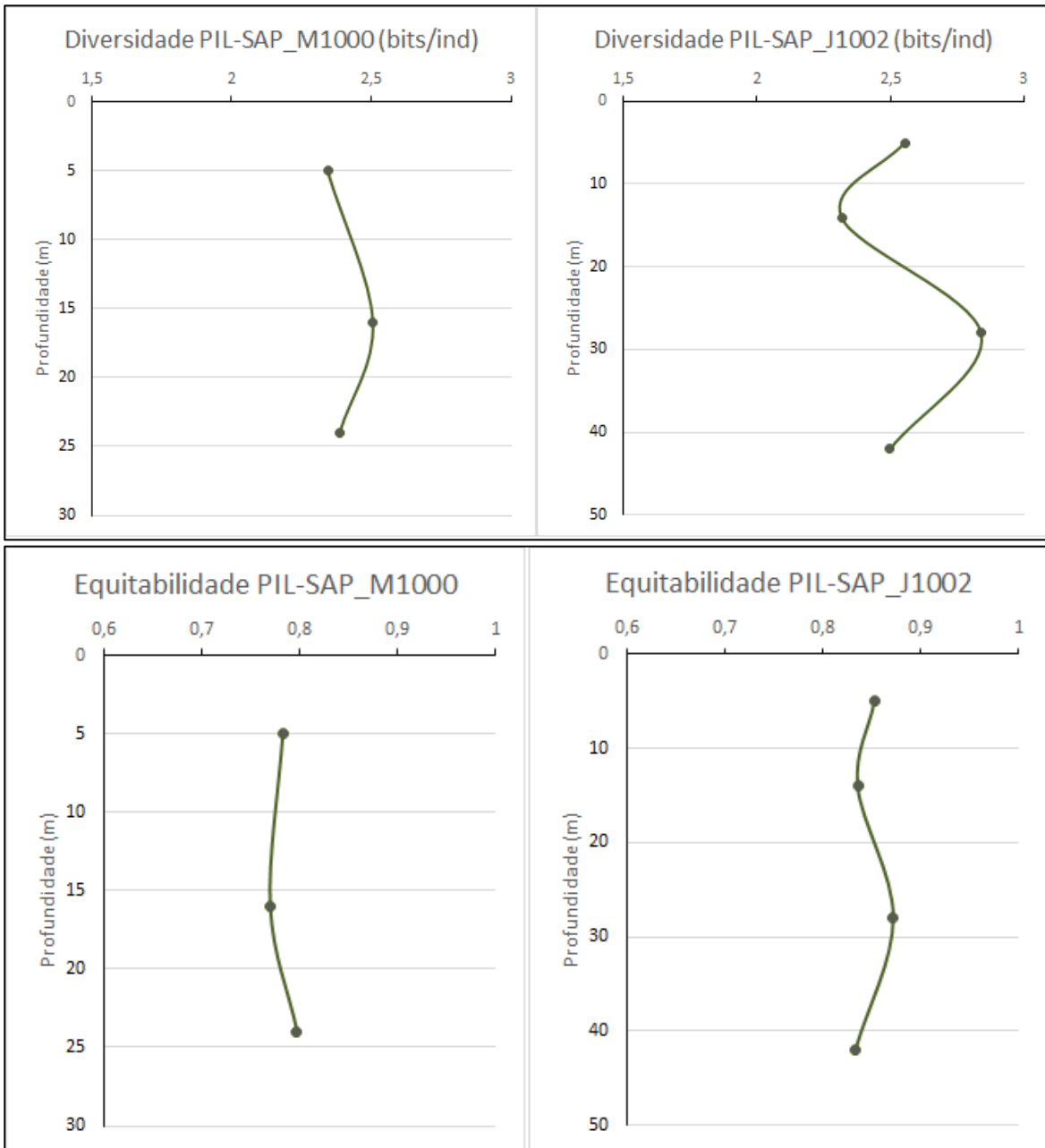
Em relação a distribuição da densidade das divisões encontradas no presente trabalho, as maiores contribuições se dão pela presença de indivíduos do filo Bacillariophyta e Myzozoa em todas as amostras (Figura V-39).



**Figura V-39** – Densidade fitoplanctônicas (ind/L) da atual campanha de monitoramento. A) Perfis de variação da densidade na coluna d’água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade das divisões e filós fitoplanctônicos; a linha cinza representa a média de todas as amostras.

A distribuição da diversidade e equitabilidade ao longo da coluna d’água apresentou padrão distinto entre as estações. Em PIL-SAP\_M1000, a diversidade tendeu a aumentar de SUP para TC e diminuir de TC para ABTC, ao passo que para a equitabilidade foi inverso, diminuindo de SUP para TC e aumentando para

ABTC. Em PIL-SAP\_J1002, tanto para diversidade, quanto para equitabilidade a tendência foi de diminuir de SUP para ACTC, aumentar de ACTC para TC e, novamente diminuir de TC para ABTC (Figura V-40).



**Figura V-40** – Diversidade e equitabilidade fitoplancônica da atual campanha de monitoramento.

A distribuição da comunidade fitoplancônica 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).

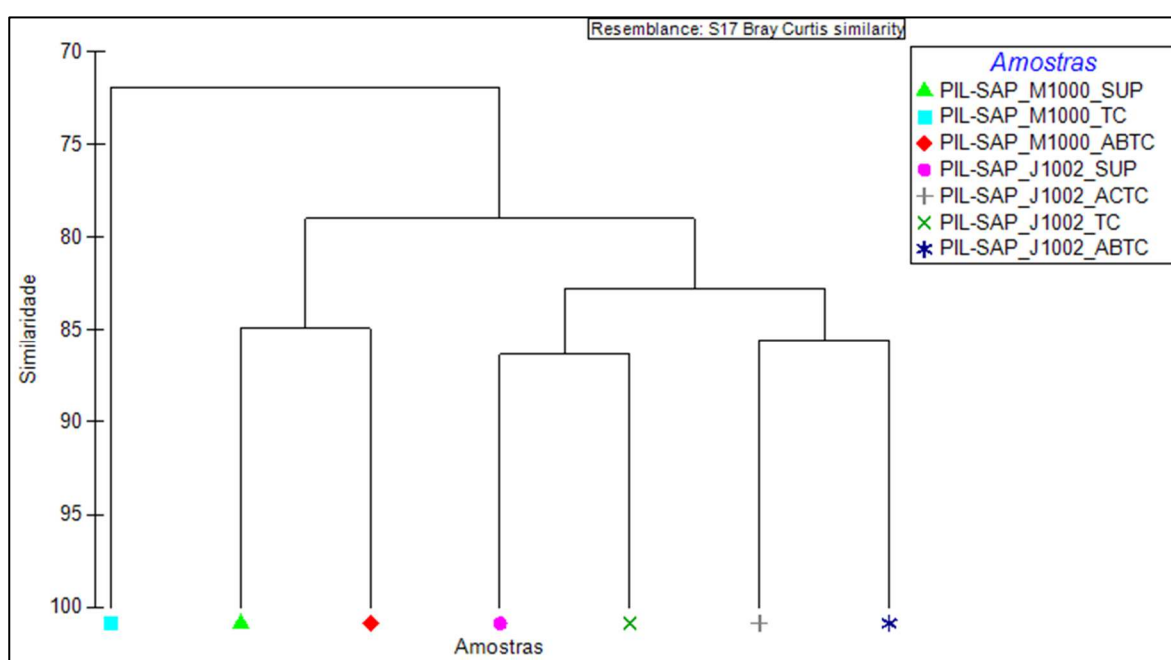
Segundo análise histórica da região oceânica da Bacia de Santos (Soares, 1983; Silva, 1991; Gaeta, 1999), a Água Tropical oligotrófica regula o ecossistema, mantendo a comunidade planctônica limitada por nutrientes. Nas regiões do talude continental e oceânica as poucas investigações realizadas na Bacia 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.

Embora 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 não foi observada clara zonação vertical da comunidade avaliada, e provavelmente esse resultado está relacionado ao fato de todas as amostras terem sido coletadas em profundidades inferiores a 68 m, estando, portanto, dentro da zona fótica, além de a ACTC ter sido suprimida de PIL-SAP\_M1000.



### V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS

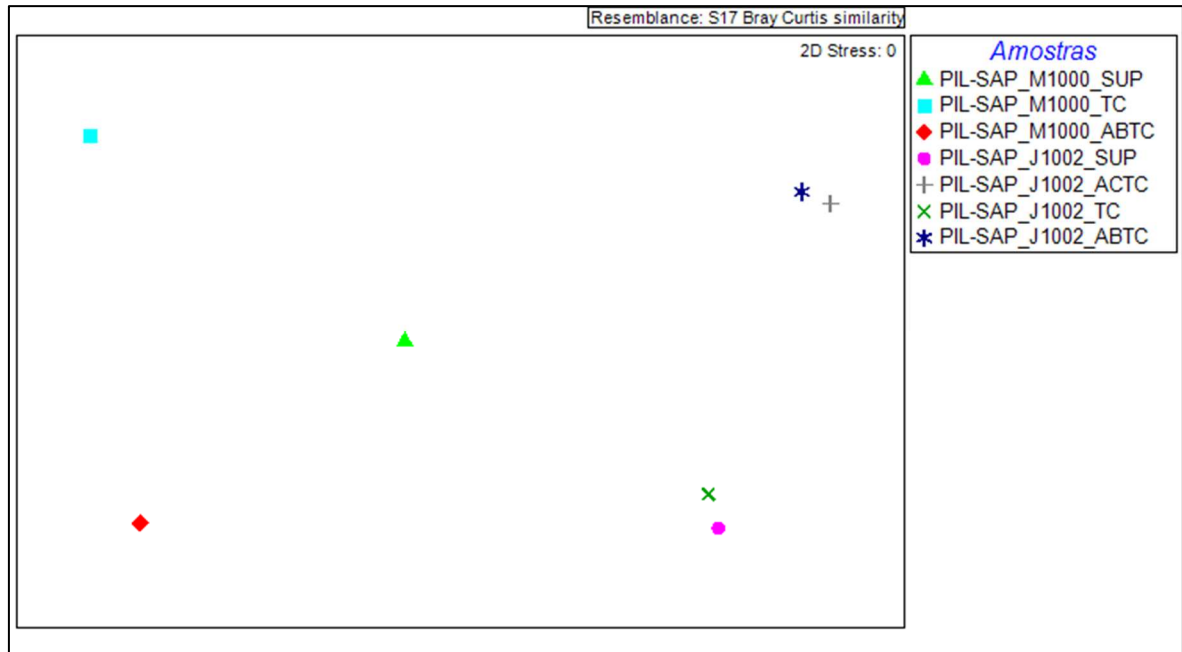
A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 72 e 86%, demonstrando boa similaridade entre a maioria das amostras (Figura V-41). Com 72% de similaridade, ocorreu a separação de PIL-SAP\_M1000\_TC das demais amostras, provavelmente devido às altas densidades registradas, principalmente com a maior contribuição dos filos Bacillariophyta e Myzozoa nessa amostra. A maior similaridade foi verificada entre as amostras PIL-SAP\_J1002\_SUP e PIL-SAP\_J1002\_TC, com 86%.



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

**Figura V-41** – Cluster da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento ambiental.

Esse resultado pode ser verificado também no MDS, que apresentou resultado semelhante a análise de *cluster* e stress de 0, o que representa uma boa ordenação dos dados, pois está abaixo do valor limite de 0,20 (Figura V-41).



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

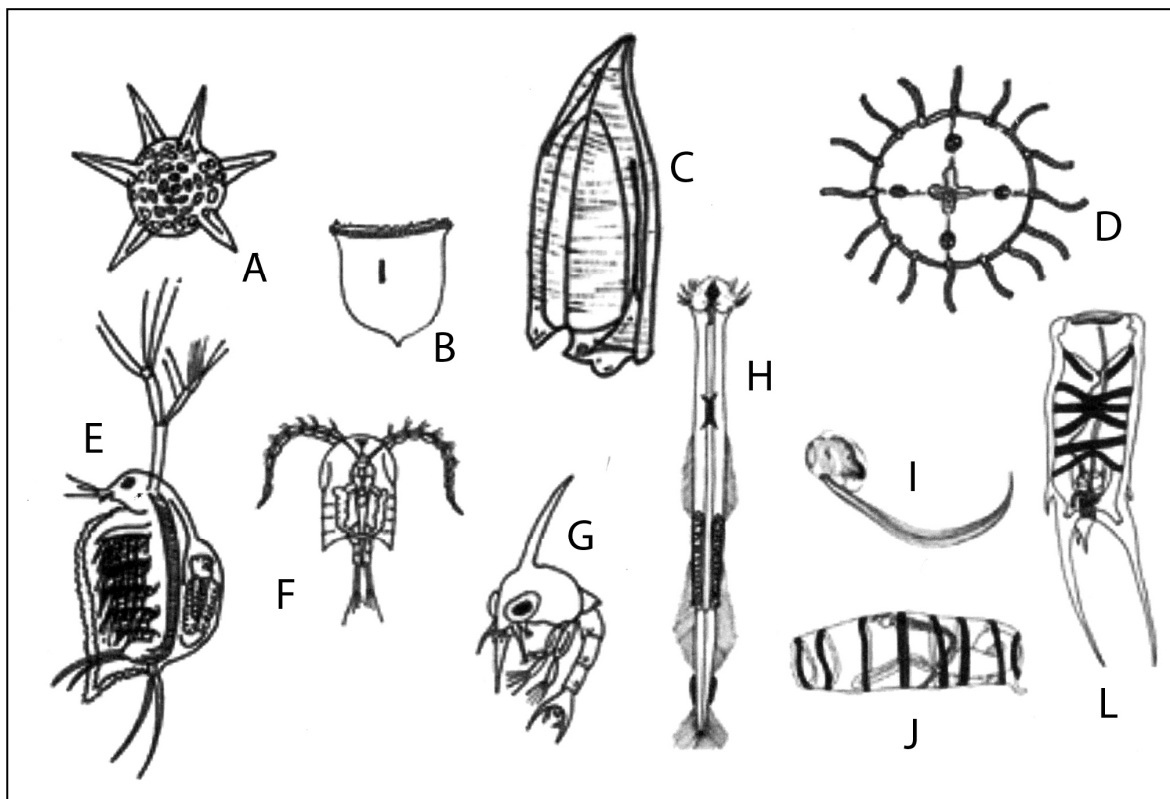
**Figura V-42** – MDS da comunidade fitoplanctônica na atual campanha de monitoramento.

## 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 hábitat (BONECKER *et al.*, 2009; ESTEVES, 2011; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Em contraste com o fitoplâncton, que consiste em uma variedade relativamente pequena de organismos, o zooplâncton é extremamente diverso, abrangendo uma série de formas, que compreendem uma grande variedade de grupos de animais e protistas. Os principais representantes dessa comunidade são crustáceos, cladóceros e copépodes. Além disso, também estão presentes diversos grupos de protistas (foraminíferos, radiolários, acantários, flagelados e tintinídeos), cnidários, ctenóforos, moluscos, poliquetas e quetognatos e cordados (Appendicularia), sendo menos frequentes nessa comunidade (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI

et al., 1997). A Figura V-43 mostra diversos exemplos dos principais componentes do zooplâncton no ambiente marinho.



Fonte: Bonecker et al. (2009).

**Figura V-43** – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplanctônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).

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

Diversos fatores físicos e químicos são responsáveis por determinar a estrutura das comunidades zooplanctônicas. 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 em que os organismos acumulam, ao longo de sua vida, quantidades progressivamente maiores de substância tóxicas, que são absorvidas diretamente do meio ambiente. Já a biomagnificação é o acúmulo de certas substâncias tóxicas ao longo da cadeia alimentar (RAND & PETROCELLI, 1985).

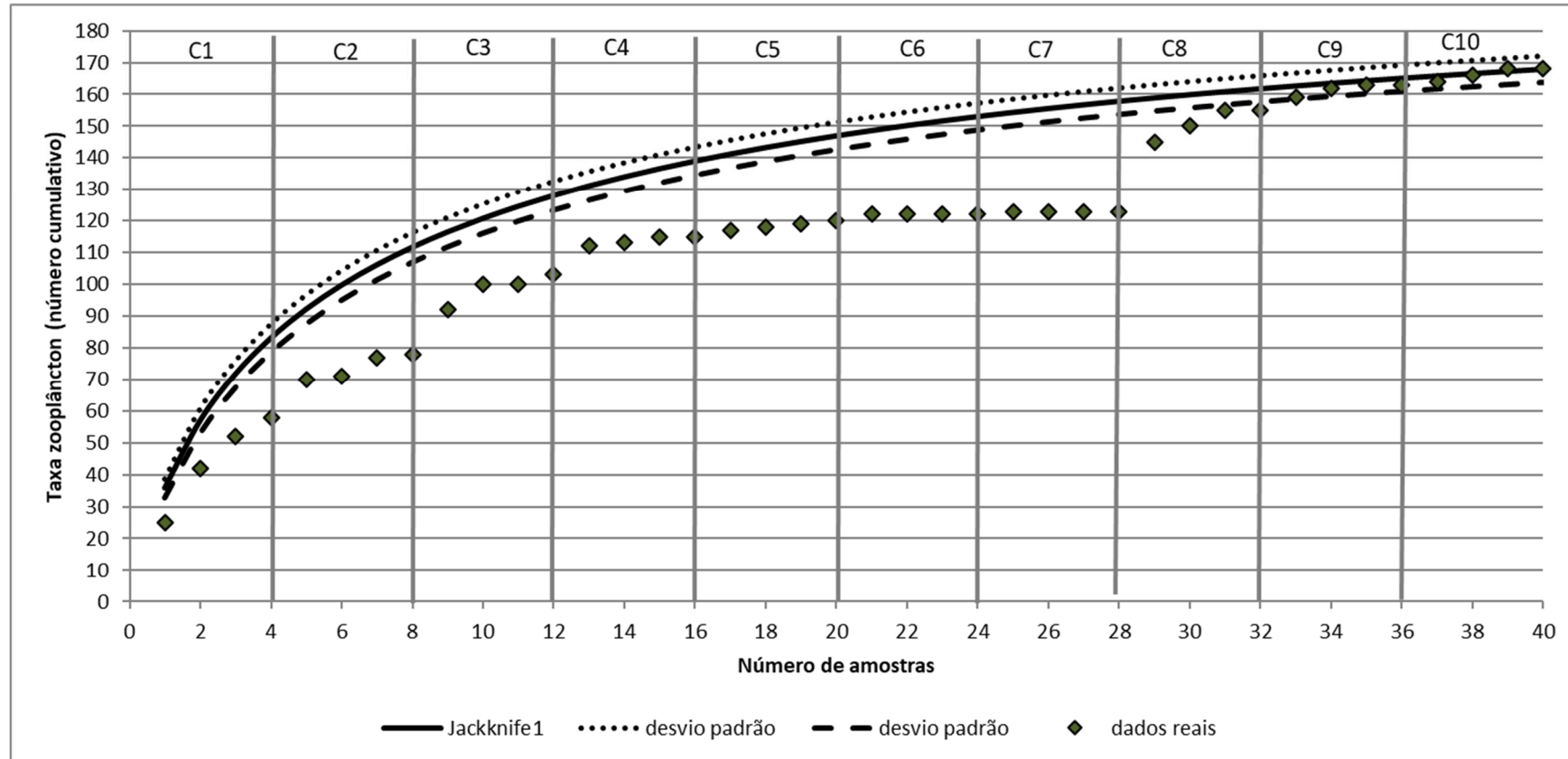
A comunidade zooplanctônica é considerada indicadora das condições tróficas de água, sendo utilizada na caracterização da qualidade ambiental (GANNON & STEMBERGER, 1978). O acompanhamento dessas comunidades é considerado um método eficiente na avaliação dos impactos oriundos de atividades antrópicas nos ambiente aquáticos (ESTEVES *et al.*, 2012). Na Bacia de Santos, entre 2019 e 2022, foi identificado que a distribuição dos organismos zooplanctônicos, e em especial das espécies de Copepoda, estão diretamente relacionadas às variáveis ambientais (Petrobras, 2022). Segundo esse estudo tanto no inverno quanto no verão a comunidade zooplanctônica na região mais próxima à costa, onde se observa uma associação entre organismos filtradores e onívoros/herbívoros, difere do zooplâncton encontrado na plataforma média e na zona oceânica, com associação constatada entre organismos onívoros/detritívoros e carnívoros.

#### **V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem**

Ao todo, considerando as nove campanhas de monitoramento, foram coletadas 40 amostras para esse grupo. Na atual campanha houve incremento de cinco novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo do PMPR\_PIL-SAP totaliza 168 taxa, evidenciando um maior incremento da riqueza até a segunda amostra da terceira campanha, onde já haviam sido coletados 100 taxa (Figura V-44). O incremento verificado entre a 2ª e 3ª campanha pode estar associado não apenas a mudança na composição dos taxa da comunidade local, mas também a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas a partir

da 3ª campanha, 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. Durante a quarta, a quinta, a sexta e a sétima campanha, há novos, porém poucos, incrementos do número de taxa e uma leve tendência a estabilização da curva, visto que sua inclinação vem diminuindo ao longo da execução do projeto. Na oitava campanha, há um novo incremento de taxa, que também pode estar associado à troca de laboratório, com posterior estabilização da curva nas amostras a partir da nona campanha.

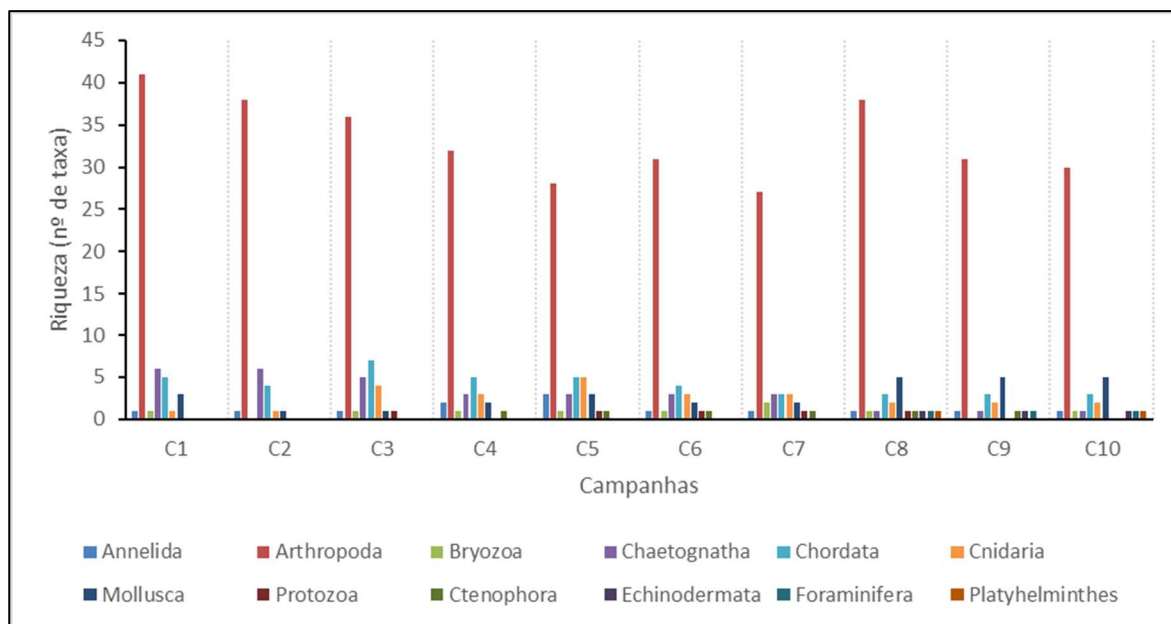


**Figura V-44** – Taxa zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada em todas as amostras de todas as campanhas, exceto as amostras da nona e décima campanha, que ficaram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. A estabilização da curva durante as últimas amostras mostra ainda que, apesar dos desvios verificados nas campanhas anteriores, o projeto, com suas sucessivas campanhas, tem apresentado esforço amostral adequado para caracterização da comunidade local e que não é esperado um grande incremento na riqueza do local diante do aumento do esforço amostral.

### **V.2.2.2 - Análise Qualitativa**

Nessa campanha, foram identificados organismos pertencentes a 10 filos (Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platelminhos). A maioria desses filos foi registrada em campanhas de monitoramento realizadas anteriormente na região (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015d, 2015e, 2017b, 2018e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022a, 2020b, 2022c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023a, 2023b, 2023c). O filo com maior riqueza foi Arthropoda, com 30 taxa. Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram riqueza de 5 taxa (Mollusca), 3 taxa (Chordata), 2 taxa (Cnidaria) e 1 táxon (Annelida, Bryozoa, Chaetognatha, Echinodermata, Foraminifera e Platelminhos) (Figura V-45). A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo IX-3.



**Figura V-45** – Riqueza zooplancônica (nº de taxa) ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

O resultado de dominância de Arthropoda corrobora os dados das demais campanhas de monitoramento já realizadas no local. Nas treze campanhas do Piloto de Lula, nas dez campanhas de monitoramento do Piloto de Lula NE, nas nove campanhas anteriores do monitoramento do Piloto de Sapinhoá e nas nove campanhas de monitoramento do Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul, os artrópodes foram o grupo mais rico (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). No presente trabalho, cerca de 67% dos taxa eram desse filo. Nas campanhas anteriores desse monitoramento, esse grupo registrou cerca de 70%, 74%, 64%, 65%, 56%, 65%, 62%, 68% e 67%, respectivamente, dos taxa coletados e os outros filios 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. Eles 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, 2021), bem como na plataforma continental brasileira de maneira geral (BRANDINI *et al.*, 1997; NOGUEIRA *et al.*, 1999). Na área do talude, mais especificamente nos blocos BMS-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 zooplanctônico predominante, tanto na campanha de inverno como de verão, e a comunidade zooplanctônica, na zona oceânica da BS, marcada pela presença de Copepoda e de Salpida.

A composição e estrutura da comunidade zooplanctônica podem trazer importantes informações sobre as características ambientais, como por exemplo, a presença de espécies indicadoras de massas d'água. *T. turbinata*, registrada na atual campanha, é um Copepoda introduzido na costa leste brasileira que divide espaço com a espécie nativa *T. stylifera* (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 zooplanctônicas de outras bacias sedimentares da costa brasileira com maiores concentrações nas camadas superficiais, sobretudo de copépodos que dominaram a comunidade da plataforma continental. Nesse estudo a comunidade zooplanctônica 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.

A classe 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). Pertencentes 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-21, são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m<sup>3</sup>), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade zooplânctônica encontrada na atual campanha.

**Tabela V-21** - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/m<sup>3</sup>), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplânctônica da atual campanha de monitoramento.

Estação	Arrasto	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/m <sup>3</sup> )	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-SAP_M1000	Horizontal	36,00	537,32	3,280	0,63
	Oblíquo	36,00	488,91	2,977	0,58
PIL-SAP_J1002	Horizontal	36,00	167,39	4,117	0,80
	Oblíquo	35,00	267,99	3,861	0,75
	mínimo	35,00	167,39	2,98	0,58
	máximo	36,00	537,32	4,12	0,80
	média	35,75	365,40	3,56	0,69
	desvio padrão	0,50	176,55	0,52	0,10

Já na Tabela V-22, são apresentados os valores mínimo e máximo dos resultados dos índices ecológicos das nove campanhas anteriores de monitoramento do Piloto de Sapinhoá, assim como de campanhas de outros projetos realizadas na região.

**Tabela V-22 - Resultados (mínimo e máximo) dos dados ecológicos obtidos para a comunidade zooplanctônica na região de interesse .**

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

	Riqueza total (número de taxa)		Densidade (ind/m <sup>2</sup> )		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	35	38	136,75	465,49	3,78	4,15	0,74	0,79
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	33	36	118,66	154,96	3,28	3,87	0,63	0,75
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	25	43	2142,00	3443,00	2,40	2,88	0,74	0,77
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	35	41	316,00	578,00	2,69	3,02	0,76	0,85
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	35	44	141,77	345,35	2,99	3,24	0,79	0,88
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	35	39	375,75	474,00	2,93	3,25	0,80	0,91
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	33	36	1274,85	3212,44	3,03	3,13	0,86	0,89
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	28	34	453,65	1067,23	2,73	3,12	0,81	0,91
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	27	36	399,34	2.622,46	2,99	3,26	0,87	0,92
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	37	48	125,81	192,30	3,78	4,09	0,71	0,75
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	30	37	149,80	297,02	3,18	3,81	0,64	0,77
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	36	46	401,00	647,00	2,96	3,13	0,79	0,84
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	30	38	53,04	294,08	2,79	3,27	0,82	0,91
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	35	41	739,21	2220,53	2,78	3,17	0,78	0,85
DP-IRA-S_C4 <sup>36</sup>	34	41	526,64	1482,32	2,93	3,34	0,83	0,90
DP-IRA-S_C5 <sup>37</sup>	27	32	245,30	493,71	2,88	3,15	0,87	0,91
DP-IRA-S_C6 <sup>38</sup>	20	30	307,34	1.027,77	2,57	2,69	0,79	0,86
DP-IRA-S_C7 <sup>39</sup>	35	36	194,55	370,27	3,53	4,09	0,69	0,79
DP-IRA-S_C8 <sup>40</sup>	34	37	157,24	223,19	3,59	4,12	0,71	0,79
DP-IRA-S_C9 <sup>41</sup>	31	33	103,18	219,90	3,57	3,77	0,71	0,75

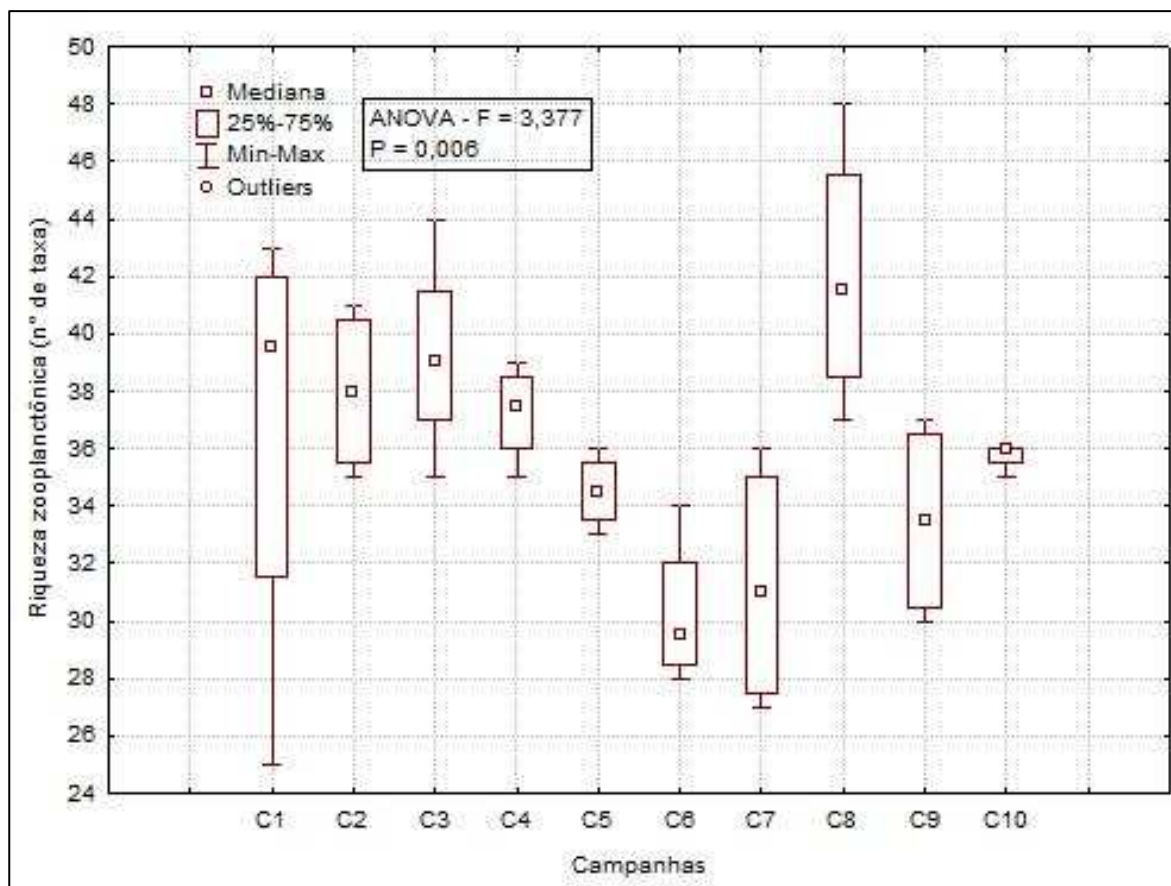
\*Somente dados verticais

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).

Na comunidade zooplanctônica amostrada durante a atual campanha, foram registrados 46 taxa, dentre os quais, 5 foram identificados a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 7 a nível de classe, 1 a nível de subclasse, 1 a nível de infraclasse, 9 a nível de ordem, 1 a nível de família, 2 a nível de gênero e 19 foram identificados a nível de espécie. A riqueza nas estações variou de 35, na amostra PIL-SAP\_J1002\_OBL, a 36 taxa nas demais três amostras, apresentando média de  $35,75 \pm 0,50$  taxa, portanto, com baixa variação em torno da média (1,4%) (Tabela V-22).

Os dados observados na atual campanha são condizentes com os resultados de riqueza total registrados nas campanhas anteriormente realizadas na região, e os valores obtidos se encontram dentro da faixa de variação observada para a área (Tabel V-22).

Os valores de riqueza obtidos no PMPR\_PIL-SAP apresentados na Figura V-46. Pode-se observar que a primeira campanha apresentou a maior variação nos resultados de riqueza, enquanto a oitava apresentou a maior riqueza média e o maior valor máximo de riqueza. Foram observadas diferenças significativas entre os valores de riqueza das 10 campanhas da fase de operação (ANOVA,  $p < 0,05$ ). A oitava campanha diferiu da sexta e da sétima campanhas (Tukey,  $p > 0,05$ ).



**Figura V-46** – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplânctônica (número de taxa) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

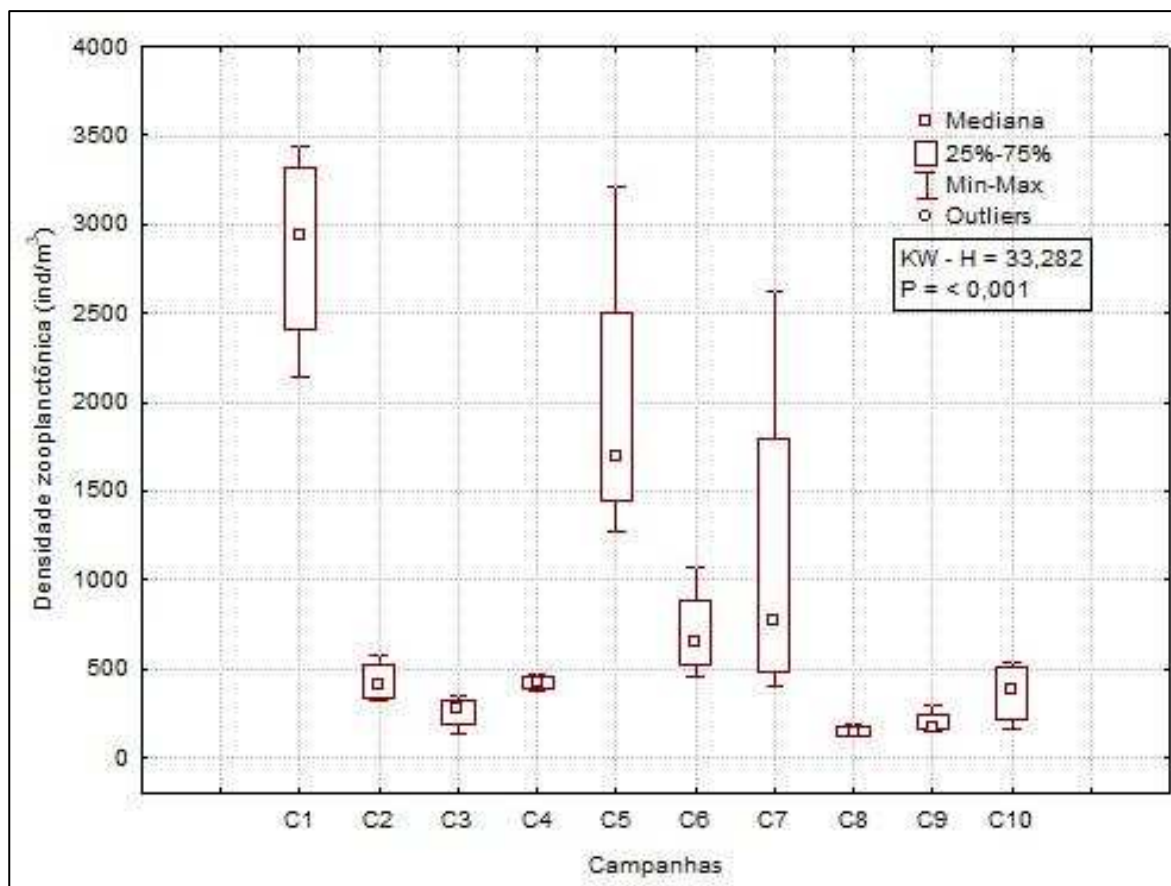
A densidade média de organismos zooplânctônicos na atual campanha foi de  $365,40 \pm 176,55$  ind/m<sup>3</sup>, variando de 167,39, na amostra PIL-SAP\_J1002\_HOR, a 537,32 ind/m<sup>3</sup>, na amostra PIL-SAP\_M1000\_HOR (Tabela V-21). Os valores de densidade registrados para a região variaram bastante entre os estudos, sendo que os dados obtidos na atual campanha estão dentro da faixa de variação dos resultados obtidos para a região, conforme pode ser visualizado na Tabela V-22. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa da atual campanha é apresentada no Anexo IX-3.

Segundo Petrobras (2022), a abundância do zooplâncton na Bacia de Santos variou entre 0,17 e 7.125 ind/m<sup>3</sup>, durante o inverno de 2019 e entre 0,01 e 121.003 ind/m<sup>3</sup>, durante o verão de 2021/2022. No talude continental, a densidade de zooplâncton identificada em estudos anteriores também foi alta, variando de 4.926 a 35.835 ind/m<sup>3</sup> no Bloco BM-S-11 (PETROBRAS/HABTEC, 2003) e de 2 a 4 x 10<sup>5</sup> cél/L no talude continental (CENPES/PDEDS/AMA, 2013). Nos estudos realizados

nos projetos de monitoramento de PIL-LL, PIL-LL-NE, PIL-SAP e DP-IRA-S, a densidade de organismos zooplânctônicos oscilou entre 53,04 ind/m<sup>3</sup> (em DP-IRA-S\_C1) e 54.035,0 ind/m<sup>3</sup> (em PIL-LL\_C4).

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/m<sup>3</sup>. Esse trabalho também afirma que 46% dos valores observados na literatura situam-se entre 10.000 e 20.000 ind/m<sup>3</sup> e que os valores comumente flutuam entre 10.000 e 50.000 ind/m<sup>3</sup>, apresentando variação sazonal. No PCR-BS (Petrobras, 2022), a abundância do zooplâncton variou, na camada mais superficial (0-25 m), entre 100 ind/m<sup>3</sup> e 500 ind/m<sup>3</sup> durante o inverno, e entre 500 ind/m<sup>3</sup> e 100.000 ind/m<sup>3</sup> na campanha de verão. Já na camada mais profunda (25-50 m), a abundância do zooplâncton variou entre 100 ind/m<sup>3</sup> e 500 ind/m<sup>3</sup> durante o inverno, e entre 10.000 ind/m<sup>3</sup> e 100.000 ind/m<sup>3</sup> na campanha de verão. Cabe destacar que o mesozooplâncton foi coletado através de arrastos oblíquos, durante o período noturno (18h até 6h).

Os valores de densidade obtidos no PMPR\_PIL-SAP são apresentados na Figura V-47. Pode-se observar que a primeira campanha registrou a maior densidade média em relação às demais campanhas, enquanto a oitava registrou a menor (Figura V-47). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento da fase de operação (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ), sendo que a primeira e a quinta campanhas diferiram significativamente da oitava e da nona campanha, sendo que a primeira também diferiu da terceira campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).

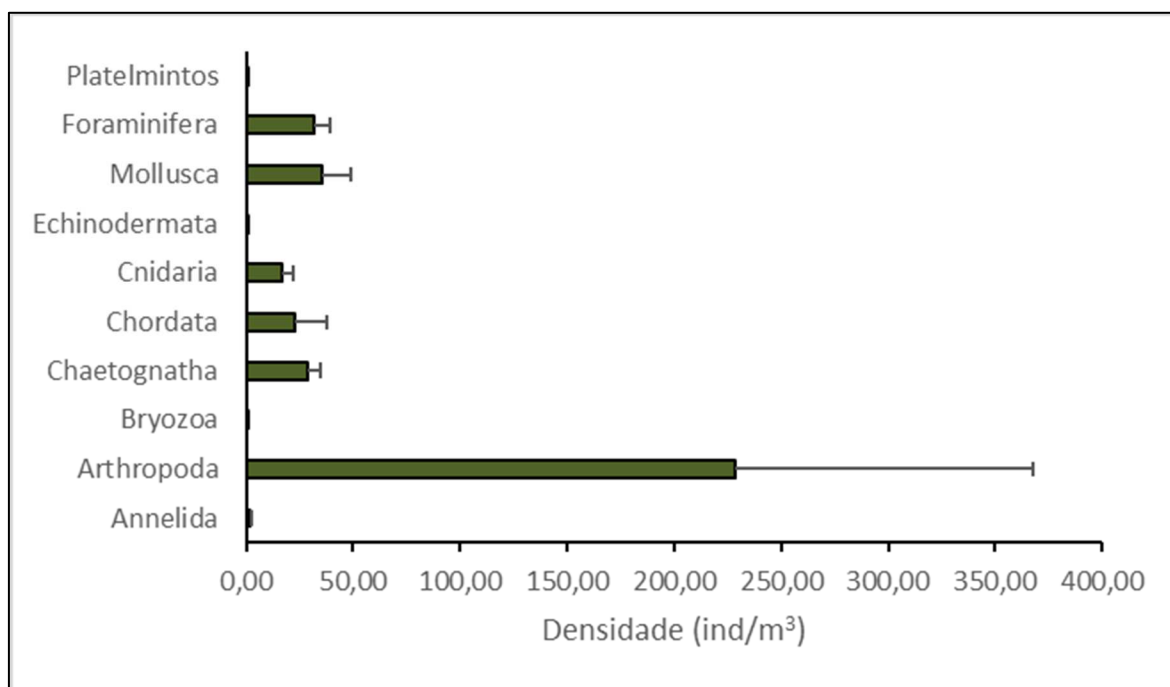


**Figura V-47** – Box plots representativos dos valores de densidade zooplancônica (ind/m<sup>3</sup>) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

Além de ter registrado o maior número de taxa (Anexo IX-3), Arthropoda também apresentou a maior densidade média de organismos nas comunidades do local, registrando média de  $228,46 \pm 139,35$  ind/m<sup>3</sup>, correspondendo a cerca de 62% dos organismos, seguido por Mollusca, Foraminifera, Chaetognatha, Chordata e Cnidaria, com média de  $35,10 \pm 13,96$  ind/m<sup>3</sup>,  $31,42 \pm 7,89$  ind/m<sup>3</sup>,  $28,95 \pm 5,85$  ind/m<sup>3</sup>,  $22,54 \pm 15,05$  ind/m<sup>3</sup> e  $16,69 \pm 5,40$  ind/m<sup>3</sup>, respectivamente, representando, em conjunto, aproximadamente 37% dos organismos. Os demais grupos somados totalizam aproximadamente 1% dos organismos, apresentando densidade média entre  $0,02 \pm 0,00$  ind/m<sup>3</sup>, em Bryozoa, a  $2,05 \pm 0,54$  ind/m<sup>3</sup>, em Annelida (Figura V-48). Nas campanhas anteriores, realizadas na região de interesse também foram registradas altas densidades de artrópodes, sendo o grupo com maior densidade em todas as campanhas, variando entre 62% (C8) e 90% (C6), corroborando os dados do presente trabalho (Tabela V-22). 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).

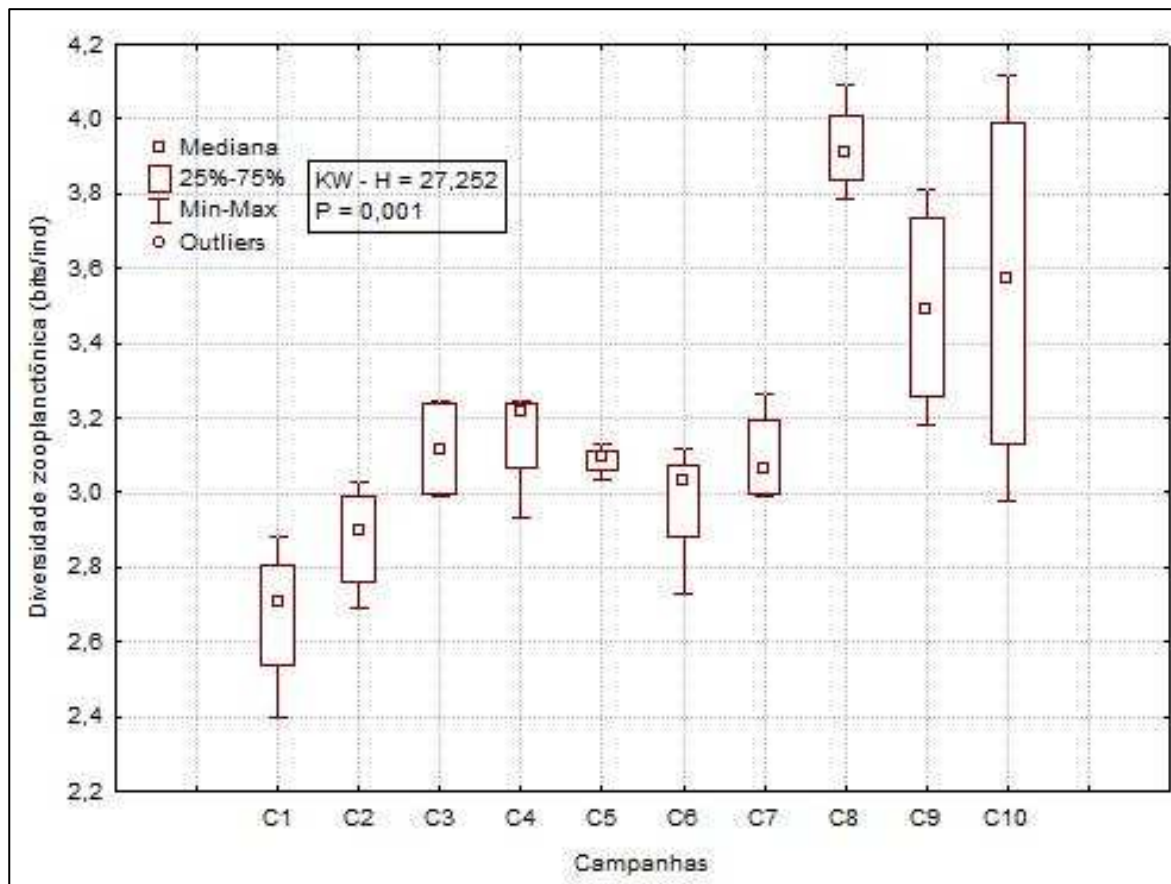


**Figura V-48** – Densidade zooplânctônica ( $\text{ind}/\text{m}^3$ ) dos filos na atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das amostras  $\pm$  desvio-padrão.

A diversidade da presente campanha foi alta, com média de  $3,56 \pm 0,52$  bits/ind, variando entre 2,98, na amostra PIL-SAP\_M1000\_OBL, e 4,12 bits/ind, na amostra PIL-SAP\_J1002\_HOR. Esses resultados foram superiores à faixa de variação dos resultados obtidos na maioria das campanhas realizadas na região (Tabela V-22).

No atual projeto, a oitava e a décima campanha apresentaram os maiores valores de diversidade máxima, a oitava campanha apresentou maior diversidade média, enquanto a décima apresentou a maior amplitude de variação dos valores e primeira campanha apresentou menores diversidades (Figura V-49). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ), em que a oitava campanha diferiu

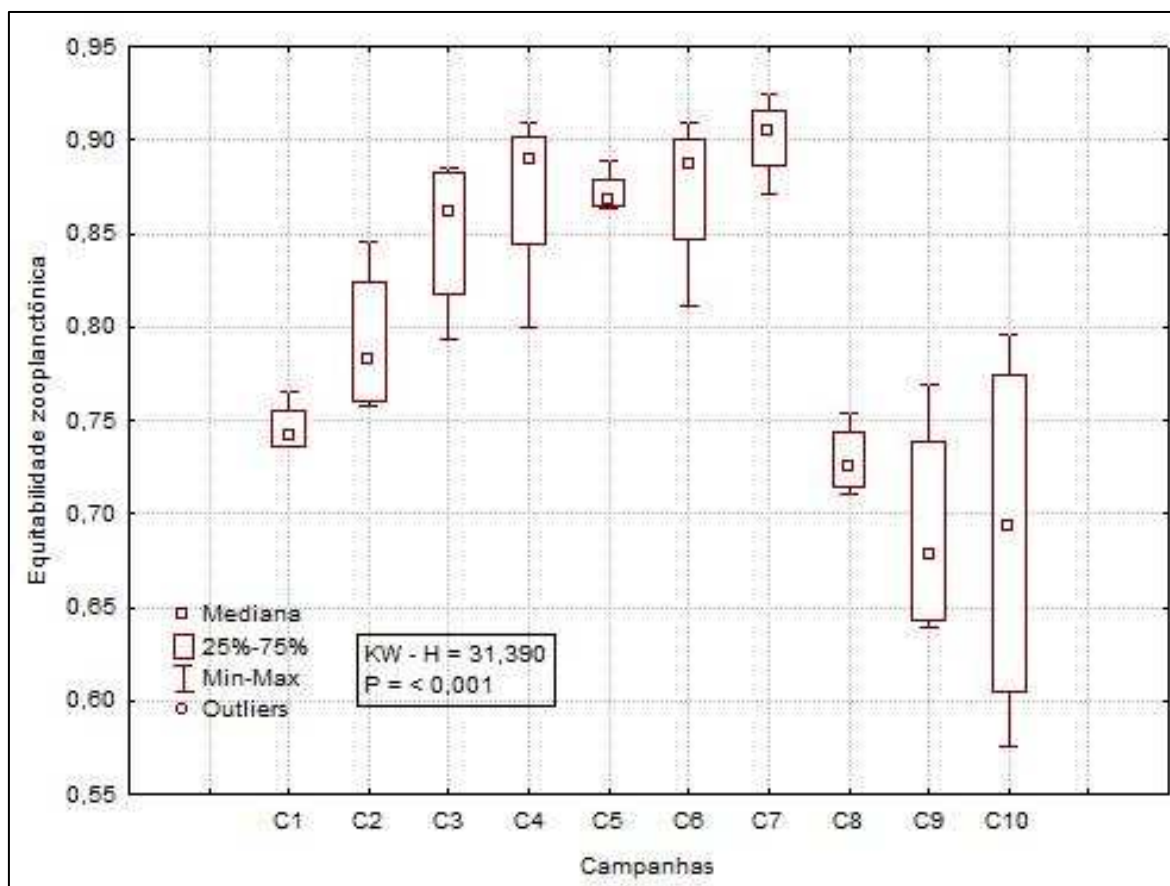
significativamente da primeira e da segunda e a nona campanha diferiu da primeira (Tukey,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-49** - Box plots representativos dos valores de diversidade zooplânctônicas (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

A equitabilidade média da atual campanha foi de  $0,69 \pm 0,10$ , variando entre 0,58 e 0,80 nas amostras PIL-SAP\_M1000\_OBL e PIL-SAP\_J1002\_HOR, respectivamente (Tabela V-21). Esse resultado, embora ligeiramente menor que os valores máximos registrados na maioria das campanhas anteriores, encontra-se na faixa de variação da maioria dos resultados disponíveis (Tabela V-22).

Na Figura V-50 são apresentados os valores de equitabilidade de zooplâncton obtidos no PMPR\_PIL-SAP. A décima apresentou a maior variação dos dados de equitabilidade, enquanto a sétima campanha apresentou a maior equitabilidade média. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). A sétima diferiu da oitava, nona e décima campanhas (Tukey,  $p < 0,05$ ).



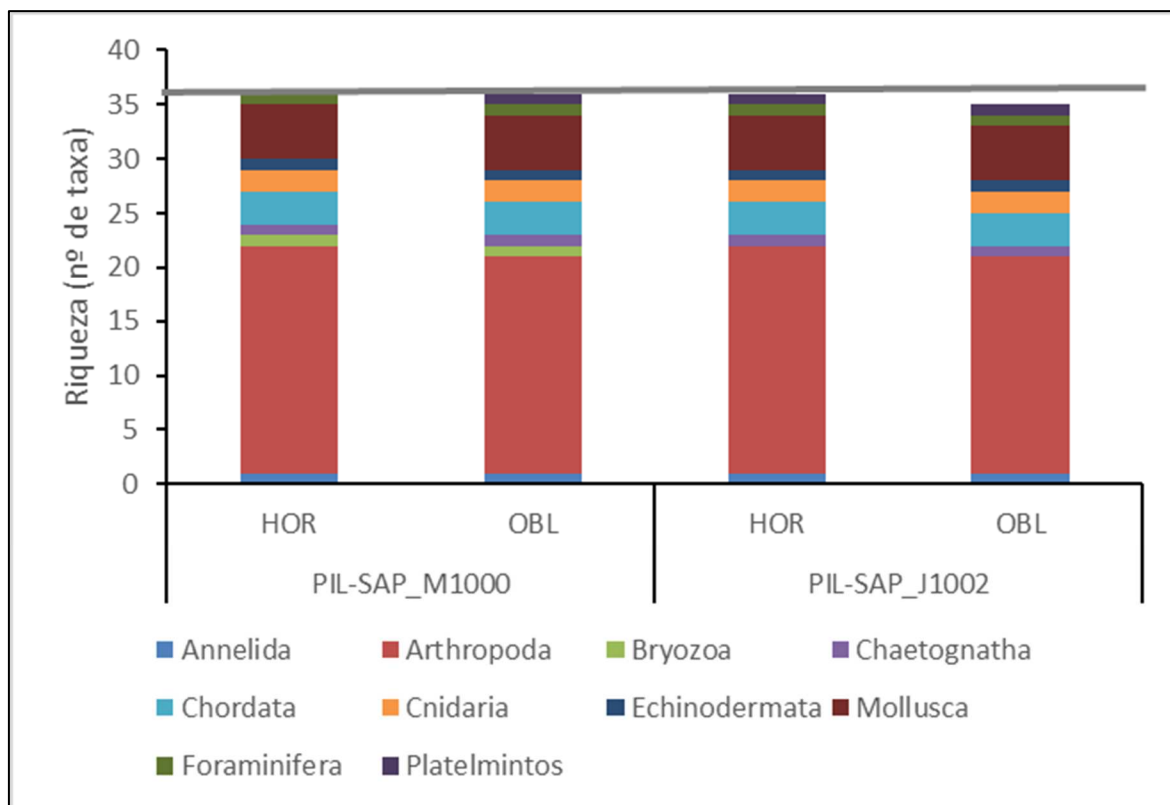
**Figura V-50** - Box plots representativos dos valores de equitabilidade zooplancônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

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

ocorrido, porém de forma pontual, para os índices de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade.

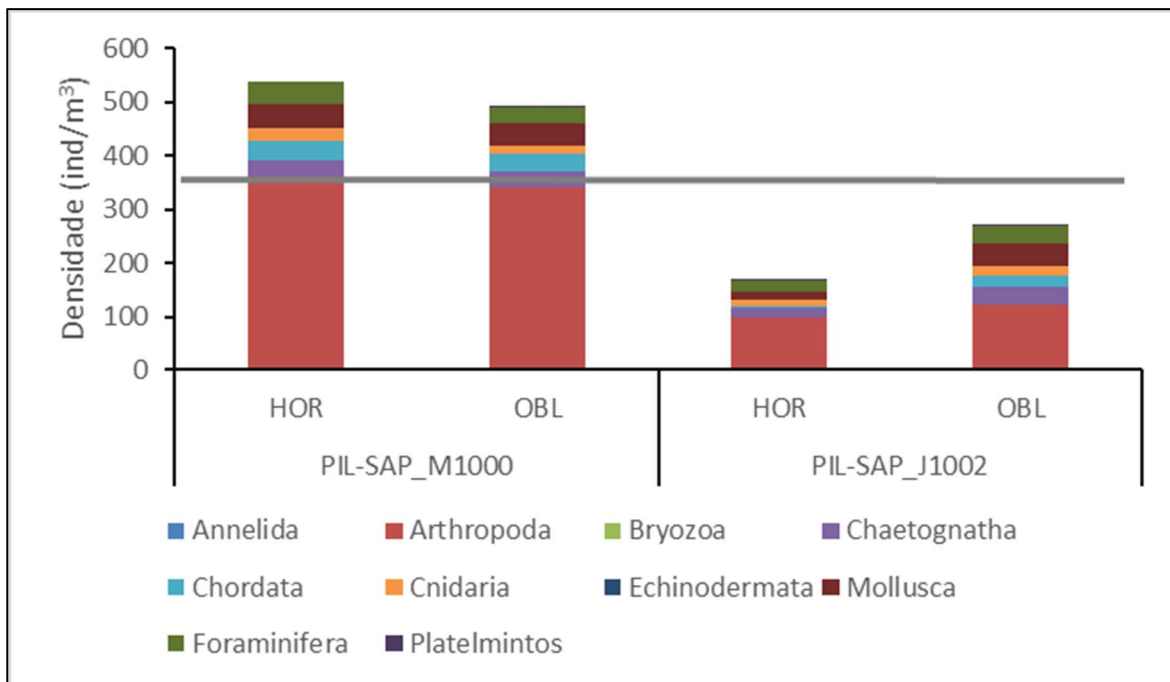
#### **V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton**

Os valores de riqueza total entre os arrastos oblíquos e horizontais praticamente não variaram, apresentando de 35 a 36 taxa nos arrastos oblíquos e de 36 taxa nos arrastos horizontais. A contribuição relativa dos filos nas amostras foi semelhante entre as estações. Arthropoda ocorreu em todas as amostras, com no mínimo 20 taxa em cada; Annelida, Chaetognatha, Echinodermata, Chordata, Cnidaria, Mollusca e Foraminifera também foram encontrados em todas as amostras, cada um registrando de 1 a 5 taxa por amostra. Com a contribuição de 1 táxon por amostra, Bryozoa ocorreu apenas em PIL-SAP\_M1000, em ambos os arrastos, enquanto platelmintos apenas não ocorreu na estação PIL-SAP\_M1000\_HOR. As pequenas diferenças não representaram distinção marcante, provavelmente representando uma variação natural da distribuição espacial dessas comunidades. A maior parte dos filos contribuiu com poucos taxa nas amostras (Figura V-51).



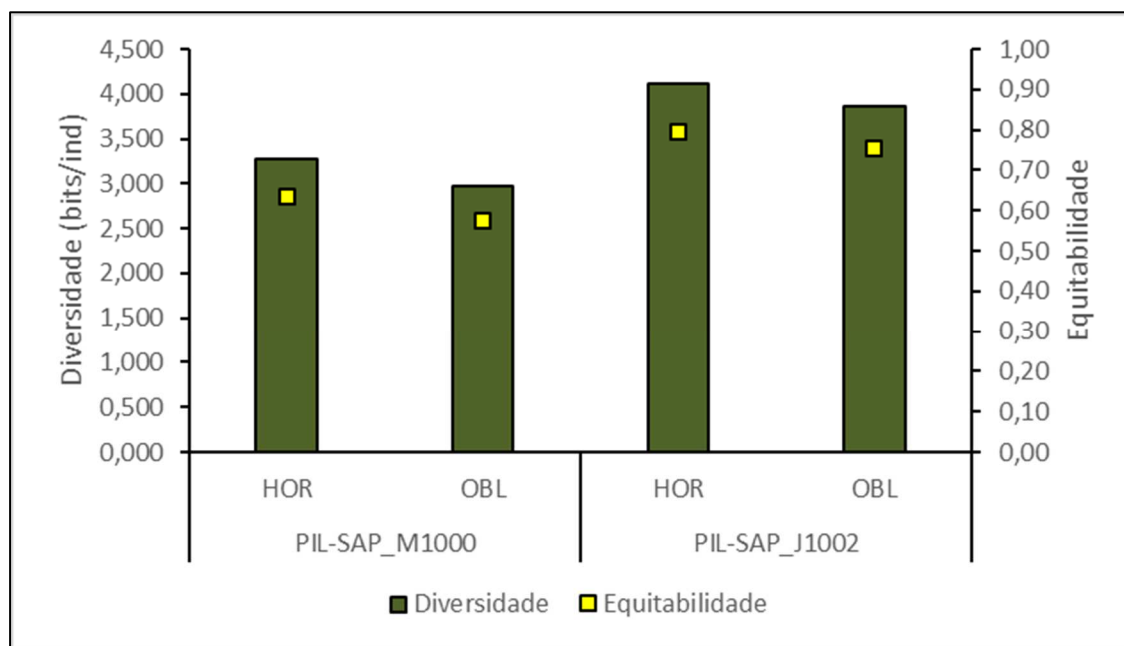
**Figura V-51** – Riqueza zooplancônica (número de taxa) na atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Com relação à densidade de organismos nas quatro amostras, foram observadas maiores densidades em PIL-SAP\_M1000, em ambos os arrastos, com contribuições proporcionais de todos os filos registrados nessas amostras, exceto Platelminotos que não ocorreu em PII-SAP\_M1000\_HOR. O filo Arthropoda representou sempre mais que 45% das densidades em cada amostra, sendo dominante em termos de densidade em todas elas. A composição proporcional da comunidade foi similar entre as estações e os demais taxa apresentaram contribuição menos expressiva nas outras estações. A elevada abundância de artrópodes ocorreu dado o grande número de copépodes em todas as estações (Figura V-52).



**Figura V-52** – Densidade zooplanctônica (ind/m³) na atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

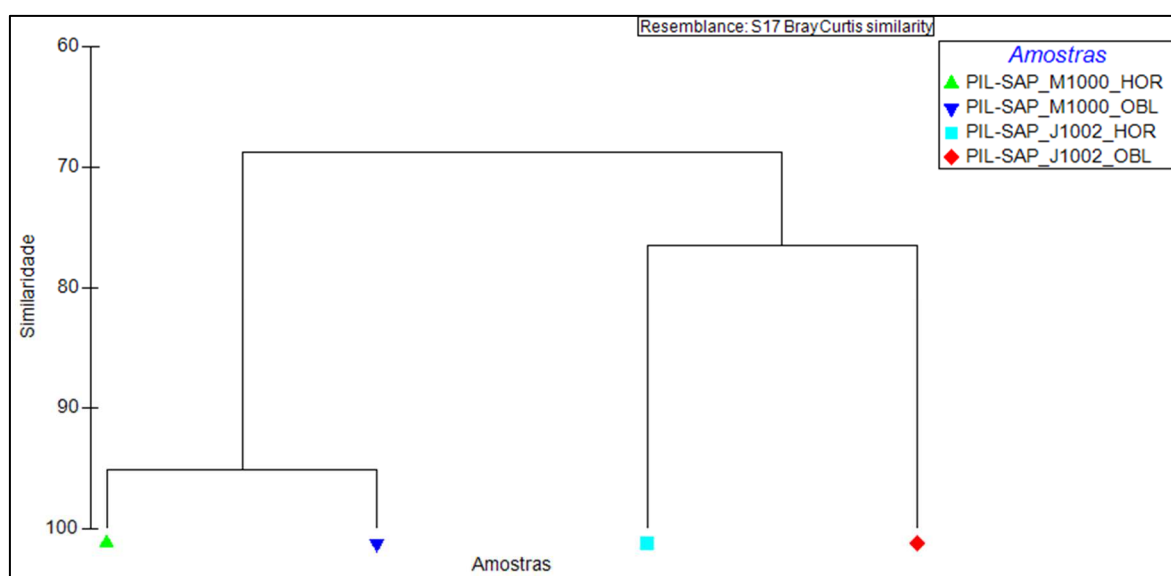
Os índices de diversidade e equitabilidade foram maiores nos arrastos de PIL-SAP\_J1002, sendo que todas as amostras tenderam a apresentar altos valores diversidade e médios de equitabilidade, indicando uma composição específica local diversa e relativamente distribuída (Figura V-53).



**Figura V-53** – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade na atual campanha de monitoramento.

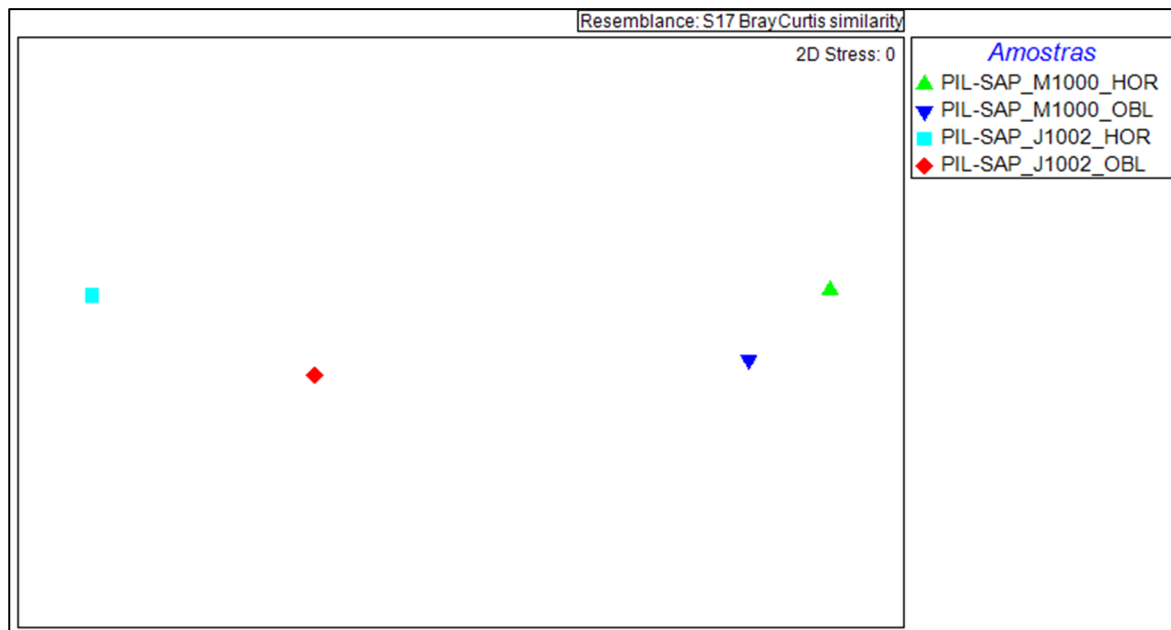
### V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS

A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 70 e 95% entre as amostras. Os arrastos da estação PIL-SAP\_M1000 formaram o grupo com a maior similaridade registrada (95%), provavelmente devido aos maiores valores médios de densidade, além de apresentarem as contribuições de densidade por filo, muito semelhante (Figura V-54). Esse grupo, se separou dos arrastos de PIL-SAP\_J1002 na faixa de 70% de similaridade. Esta condição também foi observada na análise de MDS (Figura V-55). O MDS apresentou *stress* nulo, representando uma boa ordenação dos dados.



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

**Figura V-54** – Cluster da comunidade zooplanctônica na atual campanha de monitoramento.



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

**Figura V-55** –MDS da comunidade zooplânctônica na atual campanha de monitoramento.

### V.2.3 - Ictioplâncton

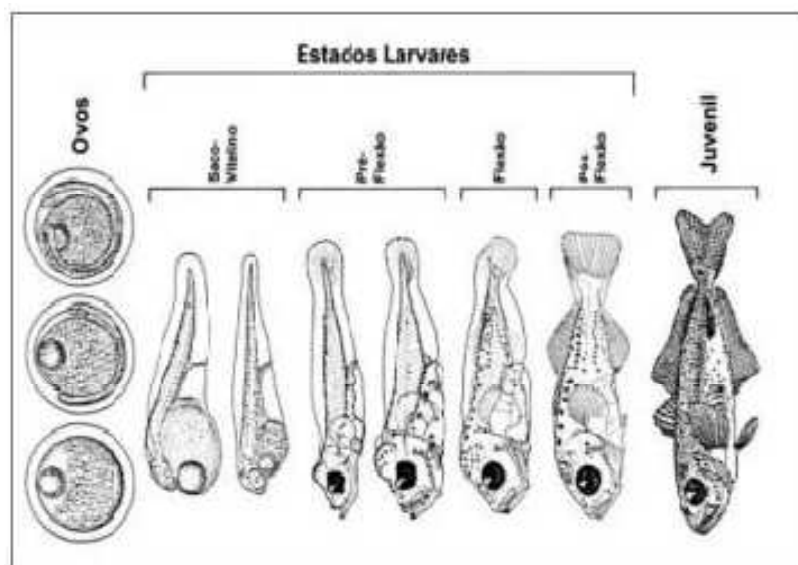
O grupo dos peixes é formado por vertebrados aquáticos que possuem respiração branquial, extremidades adaptadas à natação, tegumento lubrificado por secreção mucosa e corpo recoberto por escamas de origem dérmica (WOOTTON, 1990). Eles possuem diferentes fases de vida, sendo elas resumidamente: ovo, larva, 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-56 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).

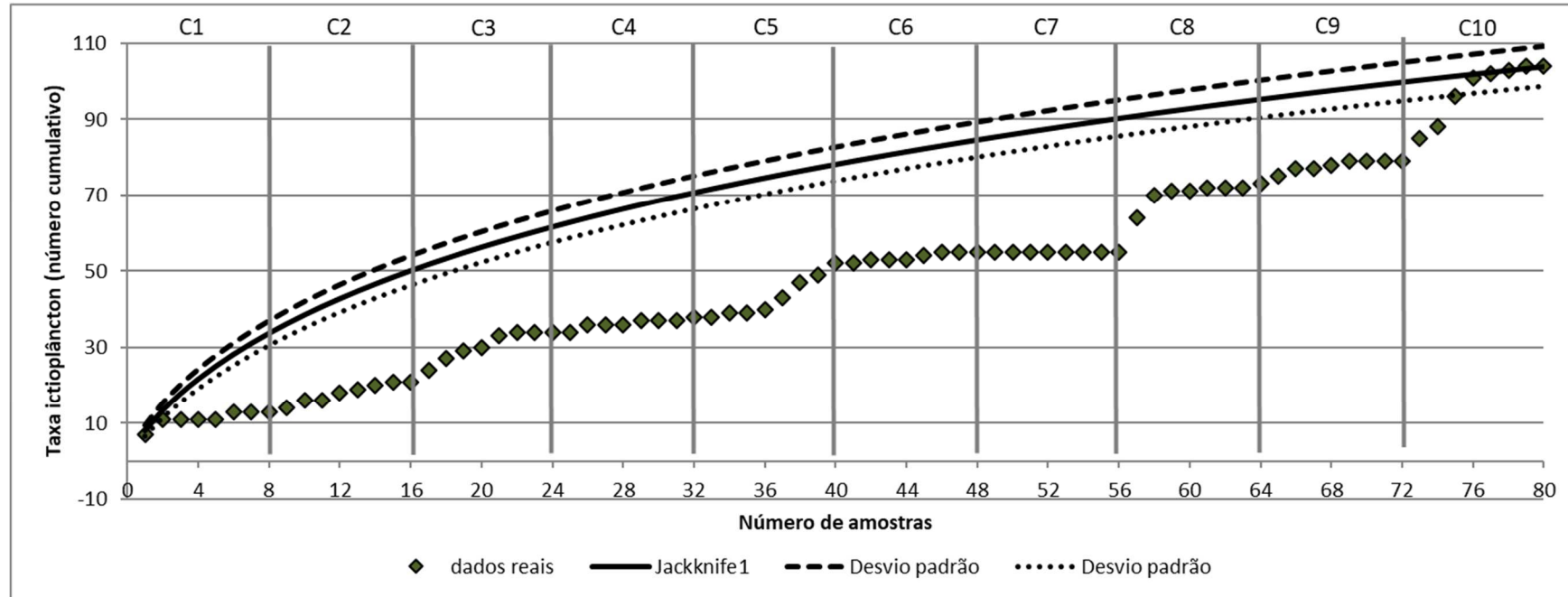


**Figura V-56** – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de *Trachurus symmetricus*. Adaptado de Moser (1984).

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 dez campanhas de monitoramento, foram coletadas 80 amostras para esse grupo. Na atual campanha houve incremento de 25 novas taxa.



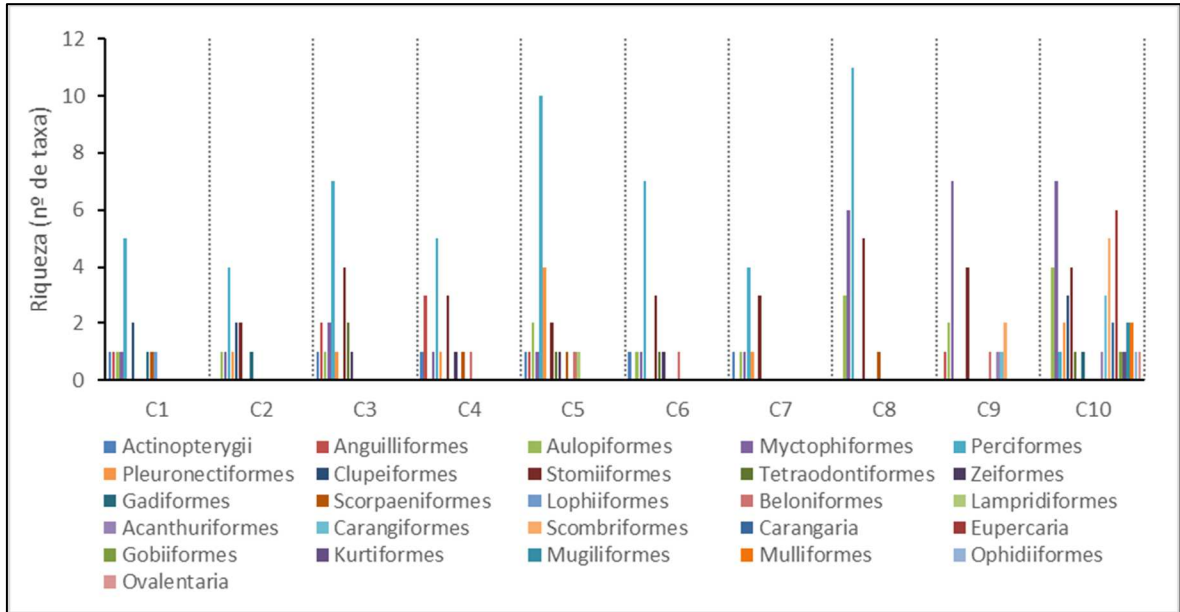
**Figura V-57** – Taxa ictioplâncton (número cumulativo) ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 10 campanhas evidencia um incremento de taxa ao longo da maioria das amostras coletadas, contabilizando, ao todo, 104 taxa (Figura V-57). O incremento da riqueza verificada durante a terceira campanha pode estar associado não apenas a uma mudança na composição dos taxa da comunidade local, mas ainda a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas ocorrida na ocasião, 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. Nota-se ainda uma estabilização da curva entre a metade da terceira e a metade da quinta campanha, com novo incremento a partir da 37ª até a 40ª amostra. Durante a sexta campanha ocorreram poucos incrementos e uma tendência a estabilização da curva novamente, que se mantém durante a sétima campanha, que não apresentou novos registros. Há um novo incremento de taxa na primeira amostra da oitava campanha, que também pode estar associada à mudança de laboratório, com nova estabilização da curva a partir da segunda réplica. Na nona campanha, há novos incrementos, mas também com tendência de estabilização da curva. Na décima campanha há novos incrementos e tendência de estabilização da curva.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, é possível observar que a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada durante praticamente todo o projeto, exceto nas duas primeiras amostras da primeira campanha e a partir da terceira amostra da décima campanha, em que os pontos dos dados reais se encontram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife.

### V.2.3.3 - *Análise Qualitativa*

As larvas encontradas durante a campanha pertenciam a 19 ordens de peixe: Acanthuriformes (família Ehippidae, Caproidae, Pomacanthidae, Pomacentridae), Mulliformes (famílias Mullidae), Mugiliformes (família Mugilidae), Myctophiformes (família Myctophidae), Ophidiiformes (família Bythitidae), Eupercaria incertae sedis (família Gerreidae, Lutjanidae, Scaridae, Labridae, Priacanthidae), Gobiiformes (família Microdesmidae, Gobiidae), Stomiiformes (famílias Stomiidae, Gonostomatidae, Phosichthyidae, Sternoptychidae), Carangiformes (família Carangidae, Coryphaenidae, Istiophoridae), Aulopiformes (famílias Chlorophthalmidae, Evermannellidae e Paralepidae), Scombriformes (família Gempylidae, Scombridae, Nomeidae, Chiasmodontidae, Bramidae), Clupeiformes (família Engraulidae, Dorosomatidae), Gadiformes (família Bregmacerotidae), Perciformes (família Scorpaenidae, Serranidae), Carangaria incertae sedis (família Sphyraenidae), Pleuronectiformes (família Bothidae, Paralichthyidae), Kurtiformes (família Apogonidae), Tetraodontiformes (família Tetraodontidae, Molidae, Balistidae) e Ovalentaria incertae sedis (família Pomacentridae). No presente estudo, a ordem Myctophiformes foi dominante, com 7 taxa, seguida de Eupercaria, com 6 taxa, Scombriformes com 5 taxa e Aulopiformes e Stomiiformes com 4 taxa (Figura V-58). As campanhas anteriormente realizadas na região destacaram a ordem Perciformes como dominante (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017b, 2018e, 2019d, 2019f, 2020a, 2020b, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021), ordem que ocorreu apenas com um taxa na atual campanha. As larvas coletadas foram identificadas ao menor grupo taxonômico possível e resultou na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3.



**Figura V-58** – Riqueza ictioplanctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

Os indivíduos ictioplanctônicos 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 (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 (BONECKER *et al.*, 2014).

A ordem Aulopiformes é marinha e na atual campanha foi representada pela família Paralepidae. As larvas da família Paralepidae 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 observadas na atual campanha não foram encontradas informações específicas sobre ictioplâncton para esse grupo.

### V.2.3.4 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-23 são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/100m<sup>3</sup>), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade ictioplânctônica encontrada na atual campanha.

**Tabela V-23 - Riqueza (número de taxa), densidade (ind/100m<sup>3</sup>), diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônicas encontradas na atual campanha de monitoramento**

Estação	Arrasto	Malha	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/100m <sup>3</sup> )	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-SAP M1000	HOR	300 µm	24,00	113,10	2,54	0,86
		500 µm	19,00	78,63	2,53	0,88
	OBL	300 µm	12,00	53,95	2,22	0,93
		500 µm	13,00	34,99	2,20	0,92
PIL-SAP J1002	HOR	300 µm	12,00	119,39	1,41	0,59
		500 µm	8,00	22,95	0,87	0,54
	OBL	300 µm	8,00	79,29	0,97	0,50
		500 µm	13,00	64,44	1,48	0,62
	<b>mínimo</b>		8,00	22,95	0,87	0,50
	<b>máximo</b>		24,00	119,39	2,54	0,93
	<b>média</b>		13,63	70,84	1,78	0,73
	<b>desvio padrão</b>		5,42	34,18	0,68	0,18

Já na Tabela V-24, são apresentados os valores mínimo e máximo dos resultados dos índices ecológicos das nove campanhas anteriores de monitoramento do Piloto de Sapinhoá, assim como de outros projetos de monitoramento ambiental realizadas na região.

Um total de 48 taxa de larvas de peixes foi coletado, dentre os quais 11 foram identificados a nível de família, 10 a nível de gênero e 27 a nível de espécie.

A riqueza total variou de 8, em PIL-SAP\_J1002\_HOR\_500, e PIL-SAP\_J1002\_OBL\_300, a 24 taxa, no arrasto horizontal, malha de 300um, na estação PIL-SAP\_M1000, apresentando média de  $13,63 \pm 5,42$  taxa (Tabela V 23). Valores baixos, em número de taxa, em comunidades ictioplanctônicas são considerados comuns, visto que existe um menor número desses organismos na coluna d'água. As larvas coletadas foram identificadas ao menor grupo taxonômico possível e resultou na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3.

**Tabela V-24 - Dados ecológicos ctioplanctônicos (mínimo e máximo) obtidos nos estudos anteriores.**

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m <sup>3</sup> )		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 <sup>1</sup>	6	19	24,72	304,60	0,52	0,86	0,55	0,93
PIL-LL_C2 <sup>2</sup>	5	7	50,60	122,19	0,47	0,68	0,68	0,88
PIL-LL_C3 <sup>3</sup>	4	11	98,93	1340,15	0,09	0,57	0,11	0,68
PIL-LL_C4 <sup>4</sup>	7	12	43	1060	0,18	1,60	0,08	0,69
PIL-LL_C5 <sup>5</sup>	3	8	6	30	0,95	1,58	0,49	0,96
PIL-LL_C6 <sup>6</sup>	3	7	3	49	0,96	1,59	0,59	1
PIL-LL_C7 <sup>7</sup>	4	8	46,83	129,55	1,05	1,66	0,53	0,73
PIL-LL_C8 <sup>8</sup>	3	10	26,54	192,55	0,64	1,66	0,36	0,80
PIL-LL_C9 <sup>9</sup>	9	20	46,89	126,08	0,82	2,10	0,38	0,73
PIL-LL_C10 <sup>10</sup>	4	8	35,66	77,84	1,13	1,34	0,64	0,82
PIL-LL_C11 <sup>11</sup>	6	11	53,67	159,63	1,10	1,51	0,48	0,69
PIL-LL_C12 <sup>12</sup>	6	16	6,82	69,64	1,24	1,71	0,65	0,90
PIL-LL_C13 <sup>13</sup>	7	12	30,60	74,95	1,47	2,11	0,79	0,96
PIL-LL-NE_C1 <sup>14</sup>	2	10	3	42	0,63	2,08	0,80	0,96
PIL-LL-NE_C2 <sup>15</sup>	3	10	8	66	1,04	2,00	0,71	0,96
PIL-LL-NE_C3 <sup>16</sup>	6	13	34,47	323,84	0,84	1,45	0,39	0,71
PIL-LL-NE_C4 <sup>17</sup>	5	13	39,36	123,86	0,99	1,44	0,43	0,64
PIL-LL-NE_C5 <sup>18</sup>	5	18	30,78	124,65	0,50	2,08	0,24	0,76
PIL-LL-NE_C6 <sup>19</sup>	1	8	9,87	84,20	0,00	1,59	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C7 <sup>20</sup>	4	11	29,87	144,87	0,34	1,11	0,19	0,57
PIL-LL-NE_C8 <sup>21</sup>	9	31	12,11	374,61	1,57	2,04	0,63	0,90
PIL-LL-NE_C9 <sup>22</sup>	4	12	14,03	86,95	1,04	2,04	0,84	0,97
PIL-LL-NE_C10 <sup>23</sup>	4	16	4,12	89,06	1,04	2,19	0,76	0,95
PIL-SAP_C1 <sup>24</sup>	3	9	9	60	0,33	1,96	0,25	0,89
PIL-SAP_C2 <sup>25</sup>	0	6	0	40	0,00	1,55	0,00	0,98
PIL-SAP_C3 <sup>26</sup>	8	16	100,15	252,75	1,10	1,59	0,43	0,66
PIL-SAP_C4 <sup>27</sup>	5	12	130,66	1280,39	0,61	1,32	0,27	0,53
PIL-SAP_C5 <sup>28</sup>	5	10	36,14	88,72	0,87	1,84	0,45	0,82
PIL-SAP_C6 <sup>29</sup>	3	10	37,06	84,18	1,00	1,58	0,62	0,91
PIL-SAP_C7 <sup>30</sup>	3	9	16,66	234,16	0,80	1,16	0,41	0,73
PIL-SAP_C8 <sup>31</sup>	3	17	1,88	91,34	0,69	2,47	0,88	1,00
PIL-SAP_C9 <sup>32</sup>	4	12	14,16	274,93	0,69	1,82	0,77	1,00
DP-IRA-S_C1 <sup>33</sup>	1	9	1,00	13,00	0,00	2,10	0,00	0,95
DP-IRA-S_C2 <sup>34</sup>	8	17	50,44	253,17	0,90	1,70	0,36	0,67
DP-IRA-S_C3 <sup>35</sup>	7	14	33,15	306,04	0,85	2,17	0,39	0,82

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m <sup>3</sup> )		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<b>DP-IRA-S_C4</b> <sup>36</sup>	10	19	62,29	181,60	1,10	1,94	0,44	0,79
<b>DP-IRA-S_C5</b> <sup>37</sup>	5	10	25,72	90,85	1,03	1,75	0,64	0,91
<b>DP-IRA-S_C6</b> <sup>38</sup>	2	8	16,81	66,41	0,50	1,30	0,41	0,90
<b>DP-IRA-S_C7</b> <sup>39</sup>	4	10	4,88	49,29	0,56	1,75	0,62	1,00
<b>DP-IRA-S_C8</b> <sup>40</sup>	9	20	37,93	237,19	1,09	2,67	0,61	0,94
<b>DP-IRA-S_C9</b> <sup>41</sup>	3	11	3,48	76,87	0	1,97	0	1,00

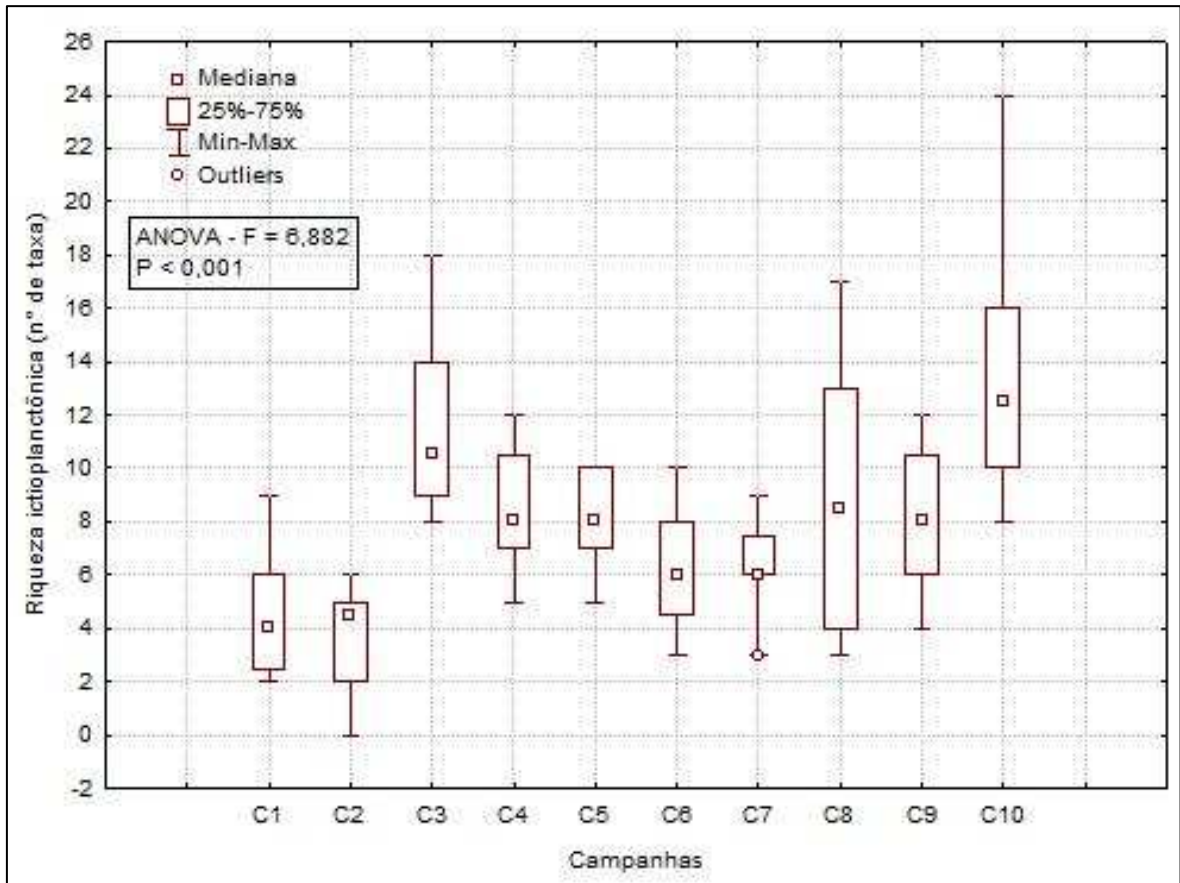
\* Somente arrastos oblíquos

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 os dados da Tabela V-24, que os resultados de riqueza da atual campanha, embora se encontrem na faixa de variação dos resultados obtidos anteriormente para a área, apresentaram valor máximo superior.

Maiores valores de riqueza de taxa foram registrados na terceira, na oitava e na décima campanha, sendo essa última com a maior média (Figura V-59), o que refletiu nas análises estatísticas (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ), que encontraram diferenças significativas da décima campanha em relação às demais, exceto em relação à terceira, à quarta e à oitava; a terceira também diferiu significativamente da primeira, da segunda e da sexta campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



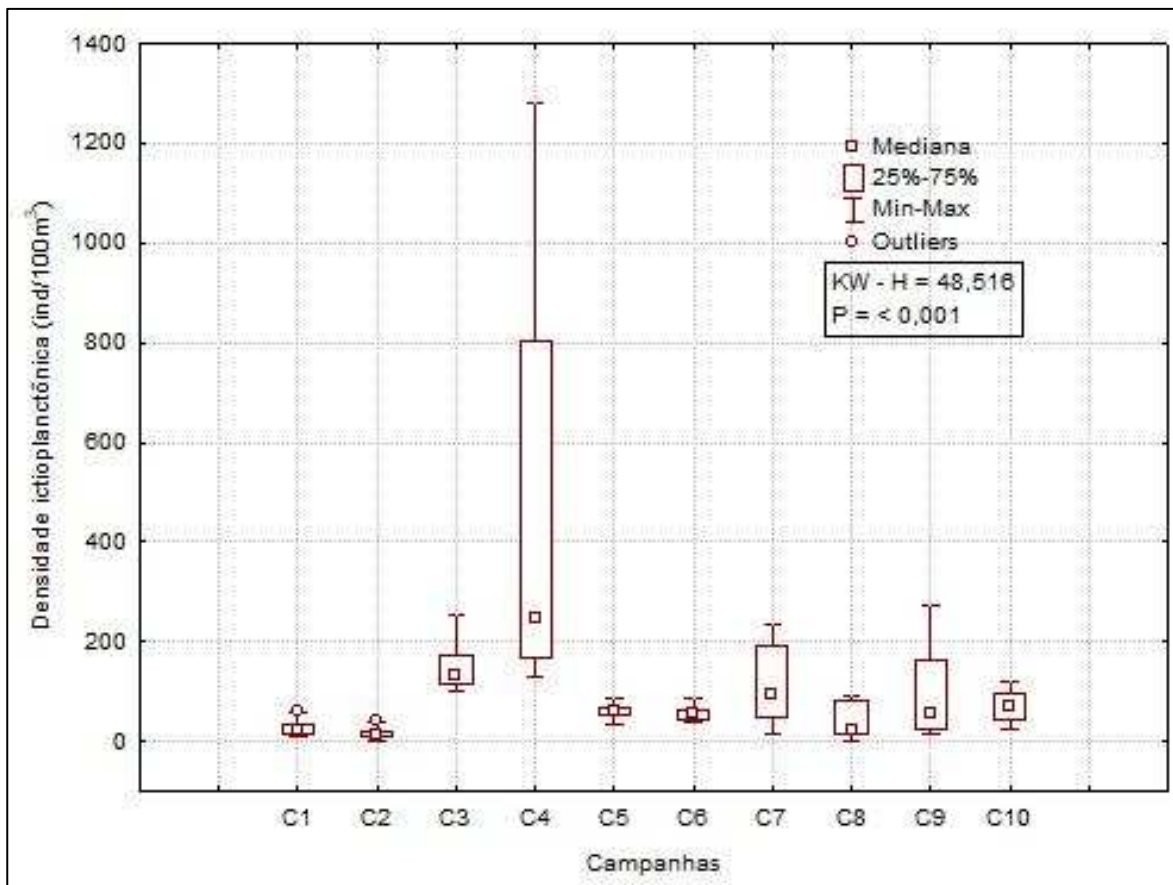


**Figura V-59** – Box plots representativos de riqueza ictioplanctônica (número de taxa) encontrada ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

A densidade média de larvas da presente campanha foi de  $70,84 \pm 34,18$  ind/100m<sup>3</sup>, com resultados mínimo e máximo de 22,95 e 119,39 ind/100m<sup>3</sup> no arrasto horizontal com malha de 500µm da estação PIL-SAP\_J1002 e no arrasto horizontal com malha de 300µm da estação PIL-SAP\_J1002, respectivamente (Tabela V23). No PCR-BS (Petrobras, 2022), na região oceânica, as densidades máximas, entre verão e inverno atingiram ocorreram entre cerca de 300ind/m<sup>2</sup> e 150 ind/m<sup>2</sup>. PIR2/TRANSPETRO (2009) realizaram levantamento do ictioplâncton na plataforma continental do sudeste do Brasil e obtiveram densidades de larvas que variaram entre de 6 e 29 larvas/100m<sup>3</sup>. Na região do talude, mais especificamente nos blocos BMS-08, 09, 10, 11 e 21, os valores de densidade variaram entre 76 e 267 ind/m<sup>3</sup> (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-24, que campanhas de monitoramento ambiental realizadas

anteriormente no local encontraram densidades variando de 0 a 1.340,15 ind/100m<sup>3</sup> e que eles corroboram os dados do presente trabalho, que ocorreram dentro da faixa de variação dos resultados registrados anteriormente.

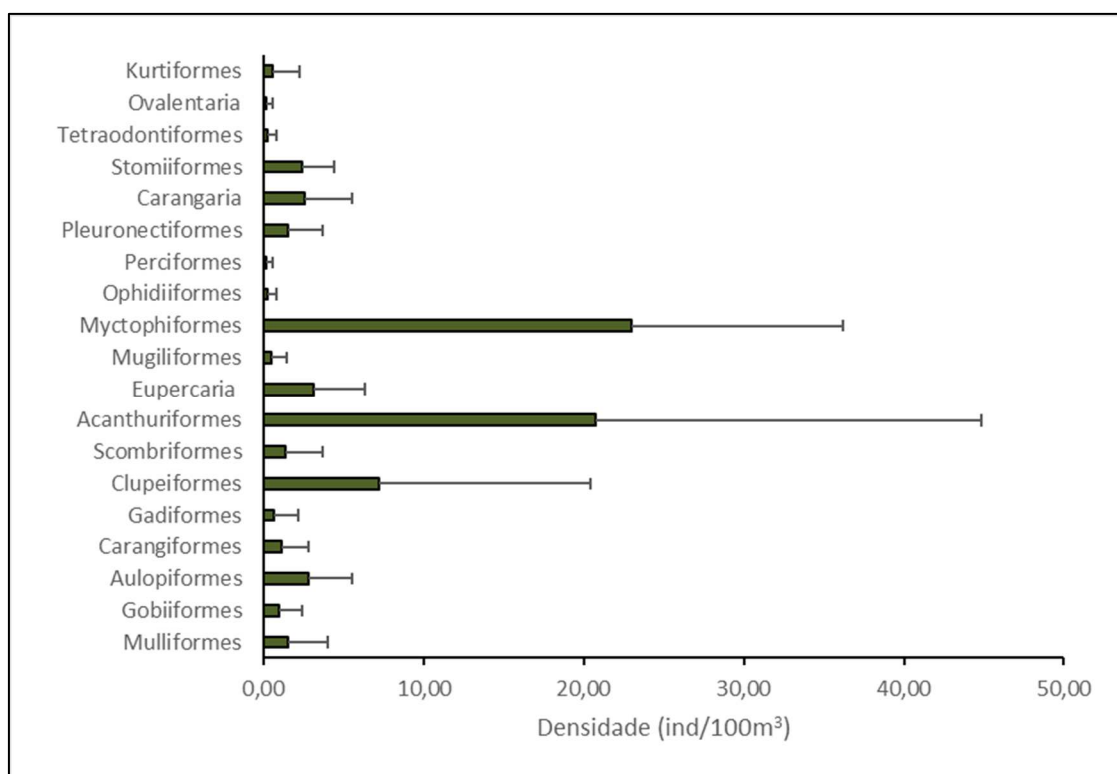
Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de densidade de taxa das 10 campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ). É possível observar que a quarta campanha apresentou valores bem superiores às demais campanhas (Figura V-60), e, juntamente com a terceira campanha, diferiu significativamente da primeira, da segunda e da oitava campanhas. A segunda campanha também diferiu significativamente da sétima campanha (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-60** – Box plots representativos dos valores de densidade ictioplanctônicas (ind/100m<sup>3</sup>) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

A Ordem Myctophiformes apresentou a maior riqueza de taxa, assim como a maior densidade média de organismos ( $22,96 \pm 13,25$  ind/100m<sup>3</sup>), seguido de Acanthuriformes ( $20,71 \pm 24,10$  ind/100m<sup>3</sup>), Clupeiformes ( $7,24 \pm 13,15$  ind/100m<sup>3</sup>),

Eupercaria ( $3,13 \pm 3,22$  ind/100m<sup>3</sup>), Aulopiformes ( $2,81 \pm 2,75$  ind/100m<sup>3</sup>), Carangaria ( $2,53 \pm 2,97$  ind/100m<sup>3</sup>), Stomiiformes ( $2,44 \pm 2,00$  ind/100m<sup>3</sup>), Pleuronectiformes ( $1,55 \pm 2,11$  ind/100m<sup>3</sup>), Mulliformes ( $1,51 \pm 2,46$  ind/100m<sup>3</sup>), Scombriformes ( $1,40 \pm 2,28$  ind/100m<sup>3</sup>), Carangiformes ( $1,15 \pm 1,61$  ind/100m<sup>3</sup>), sendo que as demais ordens apresentaram densidade média abaixo de 1,00ind/100m<sup>3</sup> (Figura V-61). Ocorreu grande dispersão da maioria dos valores encontrados, com desvios em torno de 57,68 a 282,84% em relação a média das ordens. Esse resultado fica, portanto, muito sujeito a fenômenos estocásticos (do acaso) e existe grande probabilidade de não refletirem um padrão representativo para o local.



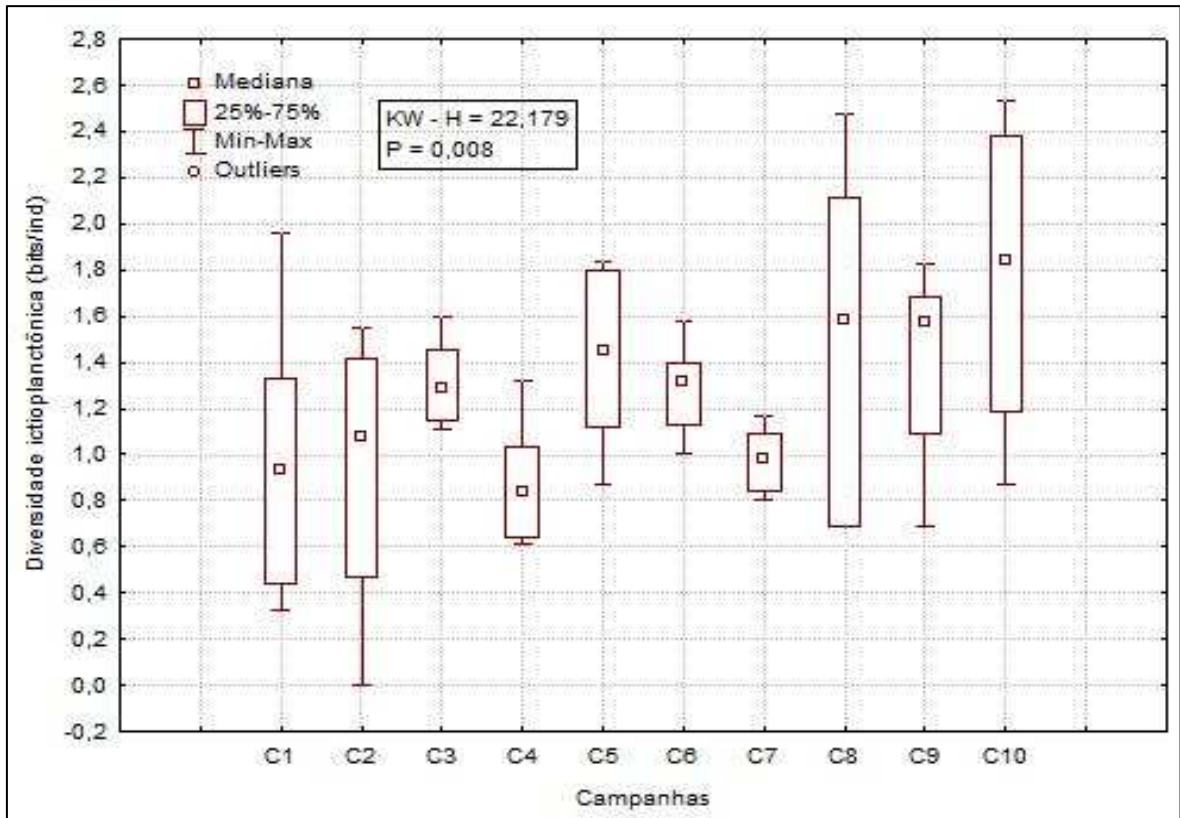
**Figura V-61** – Densidade ictioplanctônica (ind/100m<sup>3</sup>) na atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das ordens  $\pm$  desvio-padrão.

A diversidade média da atual campanha foi  $1,78 \pm 0,68$  bits/ind, com valores mínimo (0,87 bits/ind) e máximo (2,54 bits/ind) registrados em PIL-SAP\_J1002\_HOR\_500 e em PIL-SAP\_M1000\_HOR\_300, respectivamente (Tabela V-23). A Tabela V-24 apresenta os resultados mínimos e máximos de

diversidade obtidos para a comunidade ictioplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental realizadas anteriormente na região do empreendimento em tela. Como pode ser observado, os valores de diversidade encontrados anteriormente no local variam bastante, sendo considerados como de baixa a média diversidade, e os resultados da atual campanha estão situados dentro da faixa de variação dos valores obtidos para a região.

A diversidade de larvas de peixes obtida com o monitoramento realizado na região oceânica (Petrobras, 2022), próxima a área amostral de PIL-LL-NE\_C10, apresentaram valores entre 2,68 e 3,43 durante o período de inverno, e entre 2,15 e 2,67 no verão, indicando uma tendência a queda da uniformidade da comunidade ictioplânica na estação do ano com temperaturas mais elevadas.

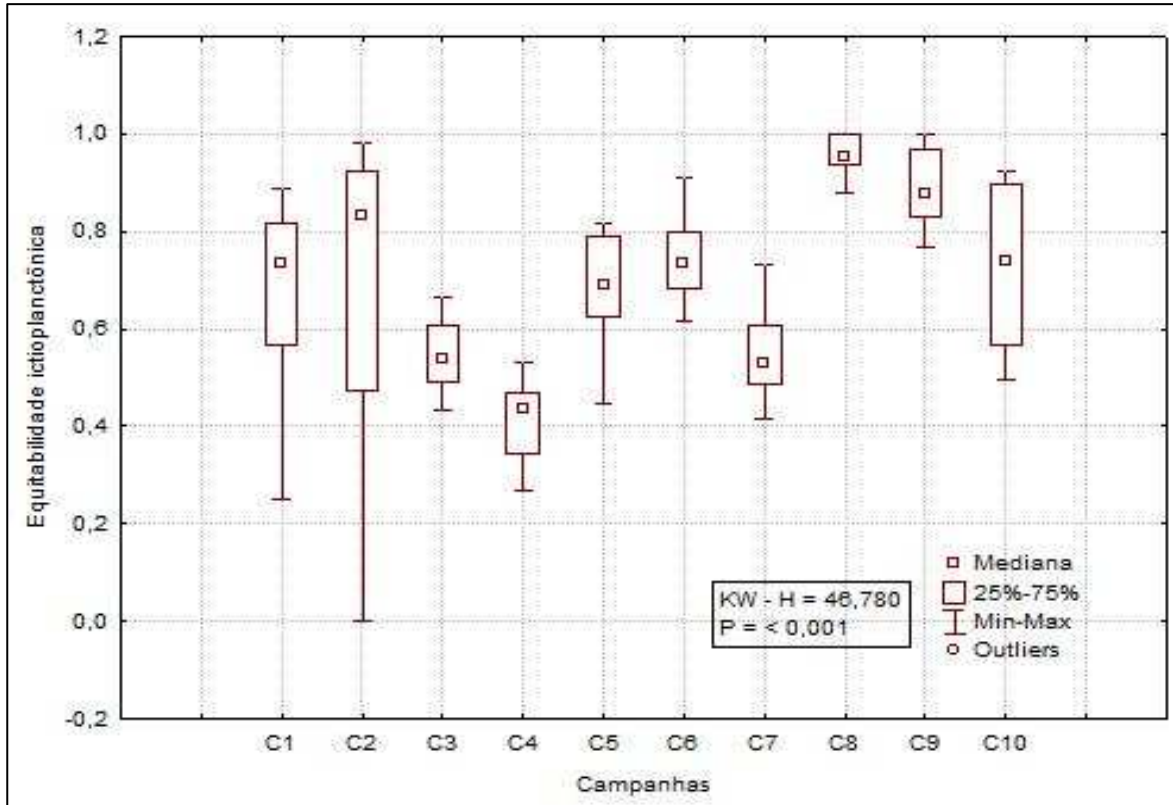
No âmbito do PMPR\_PIL-SAP a diversidade média e o valor máximo foram maiores na décima campanha, que, juntamente com a primeira e oitava campanha, também apresentou a maior amplitude de valores para esse índice (Figura V-62). Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (*Kruskal-Wallis*,  $p < 0,05$ ), em que a décima campanha se diferenciou significativamente da quarta (*Tukey*,  $p < 0,05$ ).



**Figura V-62** - Box plots representativos dos valores de diversidade ictioplancônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

A equitabilidade média da atual campanha foi relativamente alta, com valor de  $0,73 \pm 0,18$ , variando entre 0,50 e 0,93 nos arrastos oblíquos com malha de  $300\mu\text{m}$  da estação PIL-SAP\_J1002 e da estação PIL-SAP\_M1000, respectivamente (Tabela V-23). Como pode ser observado na Tabela V-24, os valores mínimos de equitabilidade da maioria das campanhas anteriormente realizadas no local são muito baixos, e os resultados da atual campanha ocorrem próximos aos demais, ficando, relativamente superiores aos encontrados pelos estudos realizados na região assim como ocorreu na nona campanha.

A Figura V-63 apresenta os valores de equitabilidade obtidos ao longo das campanhas do Piloto de Sapinhoá. A oitava campanha apresentou maiores valores máximos e médios de equitabilidade em relação às demais campanhas, enquanto a segunda campanha apresentou a maior amplitude de variação. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ): a oitava e a nona campanha diferiram significativamente da terceira, quarta e sétima campanhas (Tukey,  $p < 0,05$ ).

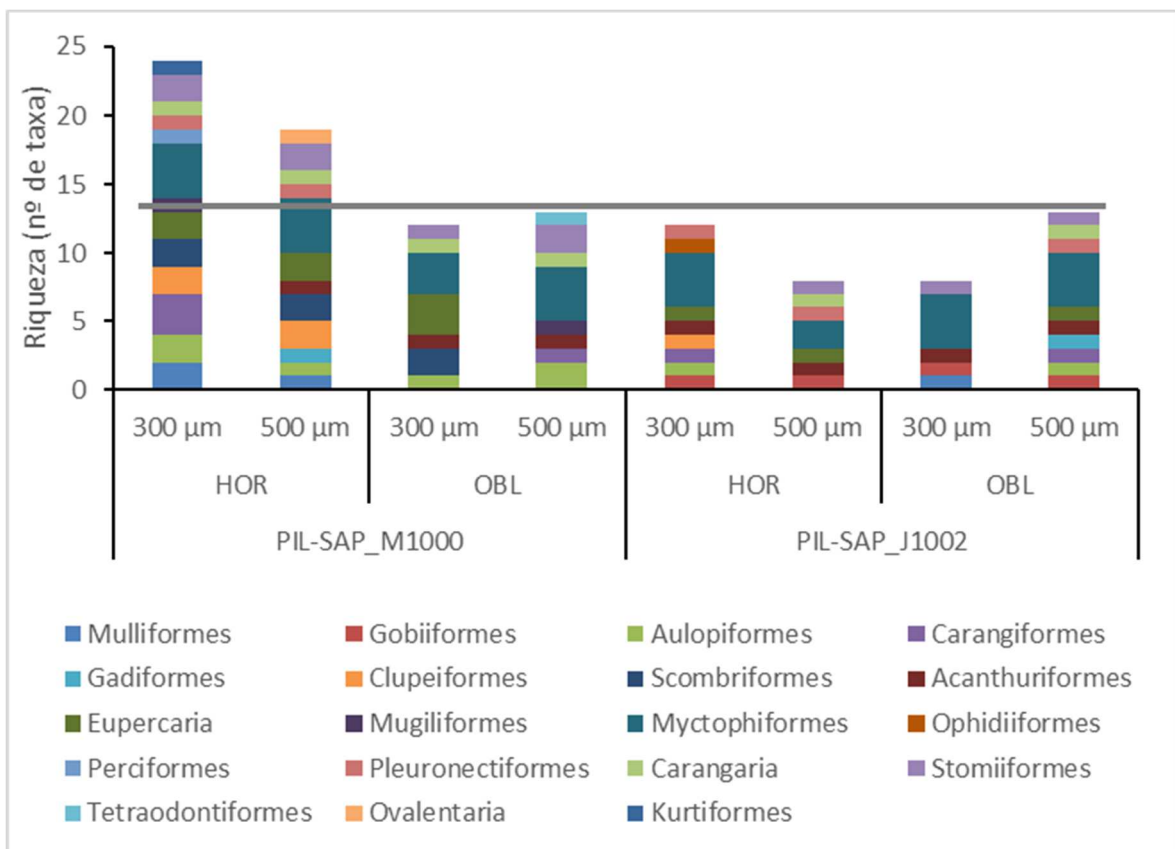


**Figura V-63** - Box plots representativos dos valores de equitabilidade ictioplanctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR\_PIL-SAP.

Por fim, é importante ressaltar que todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, mas é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que a troca de laboratório ocorrida entre a segunda e a terceira, e entre a sétima e oitava campanhas tenha influenciado, em parte, nos resultados gerados e, conseqüentemente, nas diferenças encontradas para todos os parâmetros analisados.

### V.2.3.5 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton

As amostras com maior número de taxa, de uma maneira geral, foram as da estação PIL-SAP\_M1000 em relação as amostras da estação PIL-SAP\_J1002. Com 24 taxa, o arrasto horizontal com malha de 300 µm de PIL-SAP\_M1000 apresentou a maior riqueza, seguido de PIL-SAP\_M1000\_HOR\_500µm, que registrou 19 taxa. PIL-SAP\_M1000\_OBL\_300µm e PIL-SAP\_M1000\_OBL\_500µm, registraram 12 e 13 taxa respectivamente (Figura V-64).



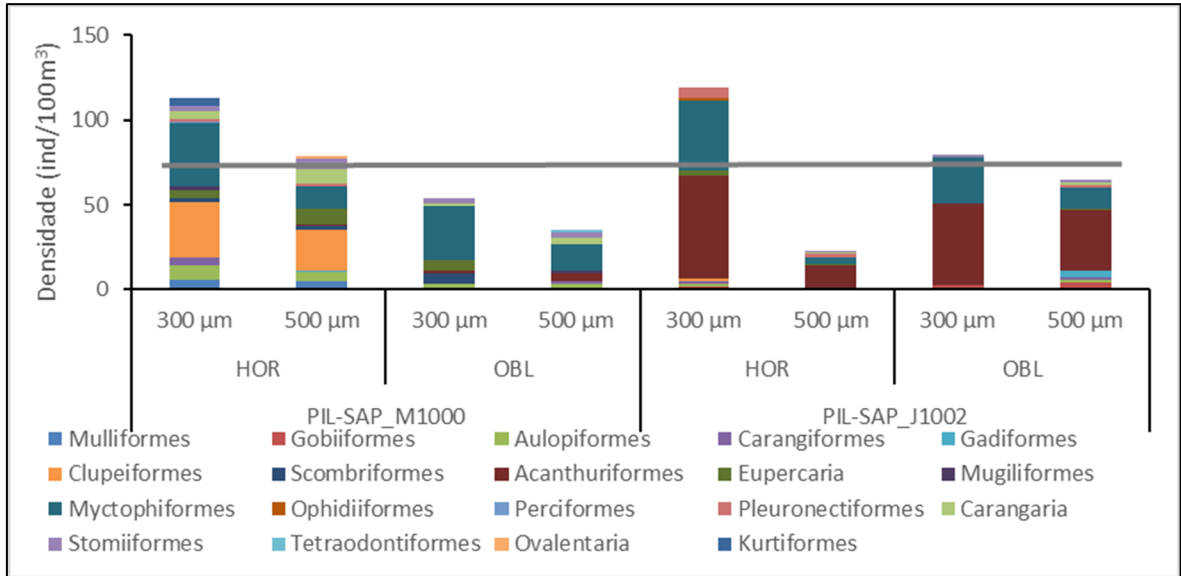
**Figura V-64** – Riqueza ictioplanctônicas (número de taxa) da atual campanha de monitoramento I. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

As amostras de PIL-SAP\_J1002 variaram entre 8 (nos arrastos horizontal malha de 500 µm e oblíquo malha de 300 µm) e 13 taxa (no arrasto oblíquo de 500 µm). Apenas a ordem Myctophiformes ocorreu em todas as amostras, enquanto a ordem Stomiiformes só não ocorreu em PII-SAP\_J1002\_HOR\_300 µm. Acanthuriformes ocorreu na maioria das amostras exceto em PIL-SAP\_M1000\_HOR\_300 µm, Eupercaria apenas não ocorreu em PIL-

SAP\_M1000\_OBL\_500  $\mu\text{m}$  e PIL-SAP\_J1002\_OBL\_300  $\mu\text{m}$ , nessa última amostra e em PIL-SAP\_J1002\_HOR\_500  $\mu\text{m}$  Aulopiformes também não ocorreu, assim como Carangaria que também não ocorreu em PIL-SAP\_J1002\_HOR\_300  $\mu\text{m}$ . Gobiformes ocorreu apenas nas amostras de PIL-SAP\_J1002. Carangiformes ocorreu em PIL-SAP\_M1000\_HOR\_300  $\mu\text{m}$ , PIL-SAP\_M1000\_OBL\_500  $\mu\text{m}$ , PIL-SAP\_J1002\_HOR\_300  $\mu\text{m}$  e PIL-SAP\_J1002\_OBL\_500  $\mu\text{m}$ . Pleurionectiformes apenas não ocorreram em ambas as malhas do arrasto oblíquo de PIL-SAP\_M100 e PIL-SAP\_J1002\_OBL\_300  $\mu\text{m}$ . Scombriformes, Clupeiformes, Mulliformes ocorreram apenas em três amostras, enquanto Gadiformes e Mugiliformes em duas amostras. Por fim, as demais ordens, Ophidiformes, Perciformes, Tetraodontiformes, Ovalentaria e Kurtiformes ocorreram apenas em uma amostra (Figura V-64).

Os maiores registros de densidades ocorreram nos arrastos horizontais de malha de 300  $\mu\text{m}$ , sendo PIL-SAP\_J1002\_HOR\_300  $\mu\text{m}$ , com 119,39 ind/100m<sup>3</sup> e em PIL-SAP\_HOR\_300  $\mu\text{m}$ , com 113,10 ind/100m<sup>3</sup>. Os menores registros ocorreram nas malhas de 500  $\mu\text{m}$ , nos arrastos oblíquo de PIL-SAP\_M1000, com 34,99 ind/100m<sup>3</sup>, e no horizontal de PIL-SAP\_J1002, com 22,95 ind/100m<sup>3</sup>. Embora Myctophiformes tenha apresentado a maior densidade média, essa ordem não foi dominante em todas as amostras, dividindo as contribuições com Acanthuriformes em todas as amostras de PIL-SAP\_J1002, e também com Clupeiformes, no arrasto horizontal de PIL-SAP\_M1000, malha de 500  $\mu\text{m}$  (Figura V-65). As demais ordens contribuíram em menor proporção para os valores de densidade (Figura V-65).



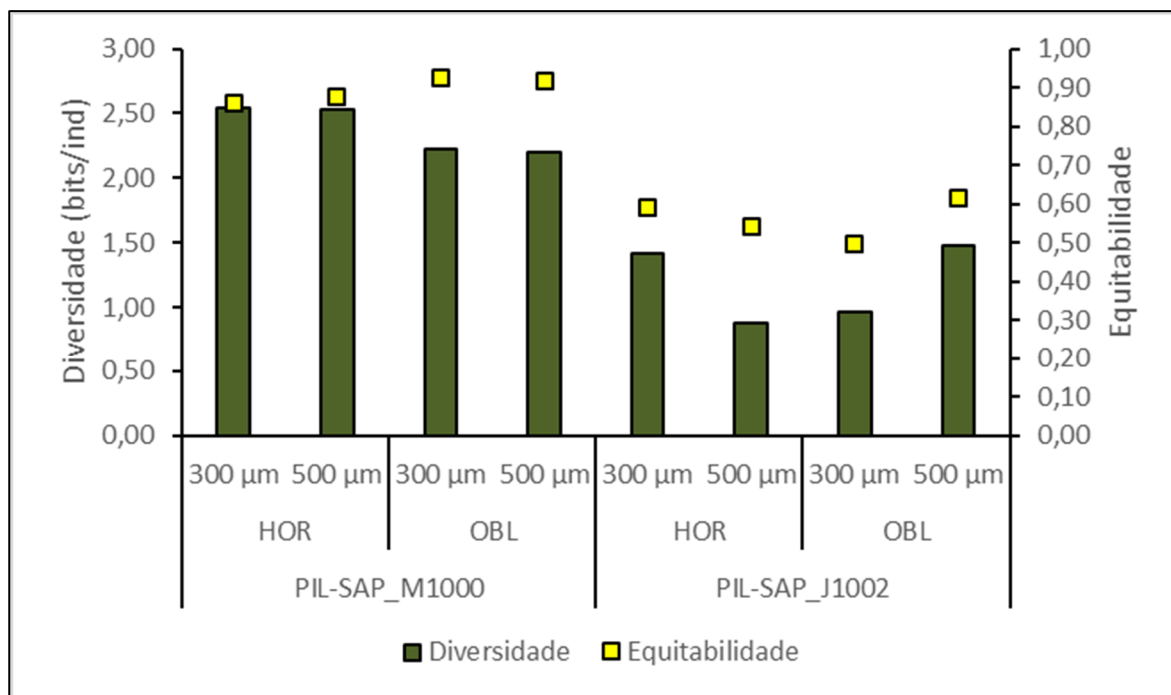


**Figura V-65** – Densidade ictioplanctônica (ind/100m<sup>3</sup>) na atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

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

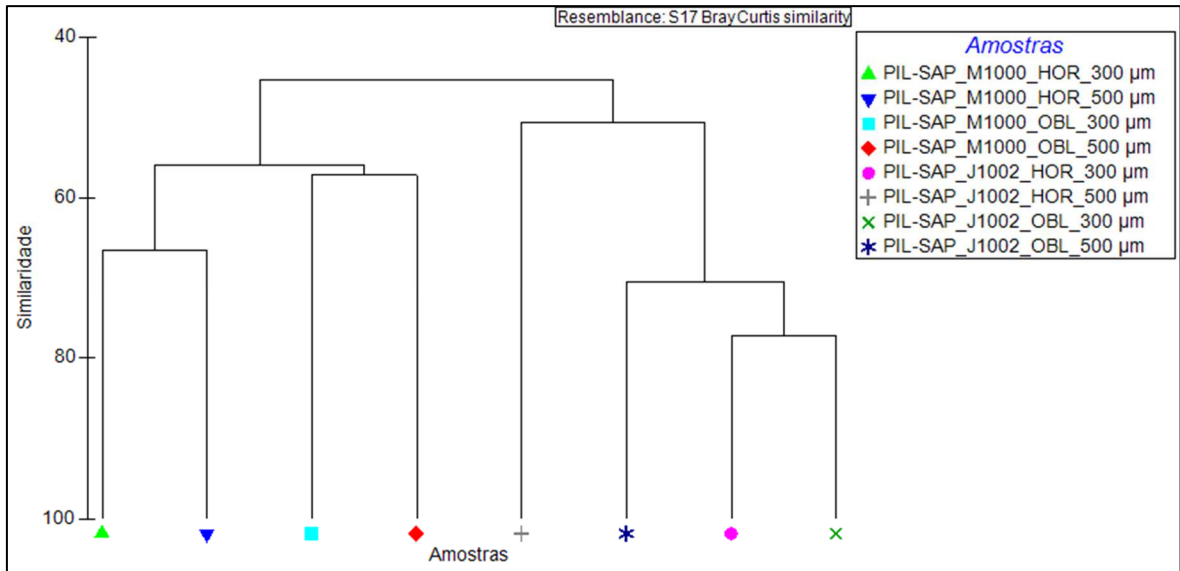
O índice de diversidade foi baixo a intermediário em todas as estações, variando entre 0,87 e 2,54 bits/ind, com maiores valores nas amostras da estação PIL-SAP\_M1000. Já para a equitabilidade, os valores foram médios a relativamente altos, variando entre 0,50 e 0,93, com maiores valores nas amostras da estação PIL-SAP\_M1000. Os resultados obtidos apontam para uma composição específica relativamente bem distribuída nas estações, com baixa a média diversidade e uma comunidade, de uma maneira geral, equitativa (Figura V-66).



**Figura V-66** – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica da atual campanha de monitoramento.

### V.2.3.6 - Análise de Cluster e MDS

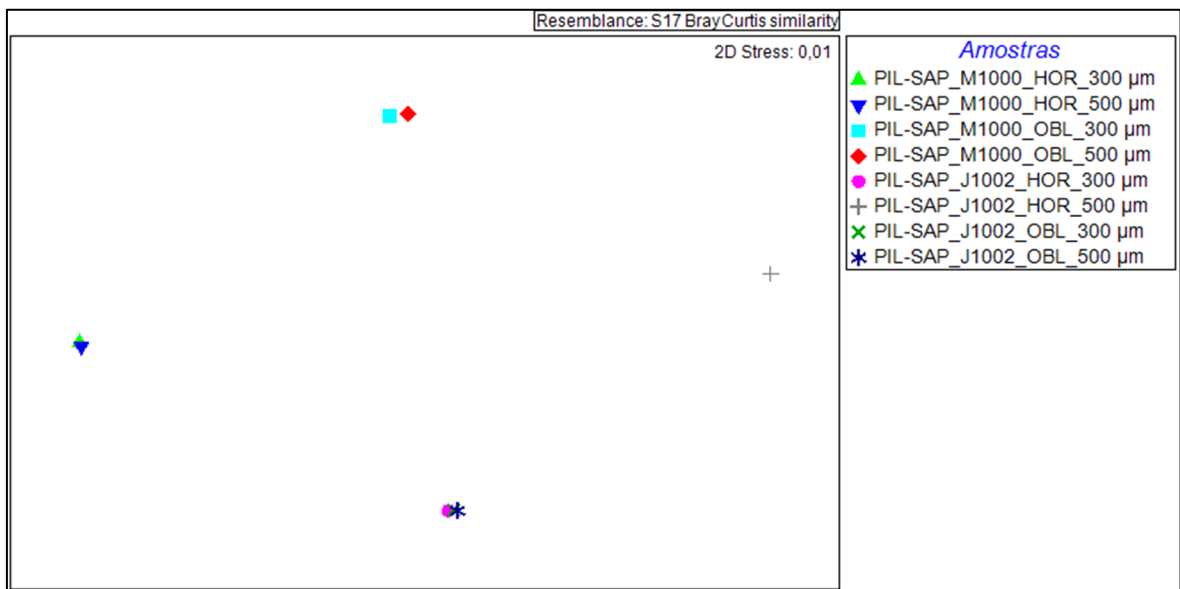
A análise de *Cluster* mostrou similaridades variando entre 45 e 80%. Com 45% de similaridade (Figura V-67), ocorreu a separação das amostras de PIL-SAP\_M1000, das amostras de PIL-SAP\_J1002. O grupo mais similar foi formado pelas amostras PIL-SAP\_J1002\_HOR\_300 µm e PIL-SAP\_J1002\_OBL\_300 µm, com 80%, provavelmente, devido às contribuições semelhantes, em densidade de alguns filos entre essas amostras, como de Acanthuriformes e Myctophiformes (Figura V-67).



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

**Figura V-67** – Cluster da comunidade ictioplanctônica na atual campanha de monitoramento.

Esta condição também foi observada na análise de MDS (Figura V-68), contudo nessa análise fica ainda mais evidente a separação de quatro grupos de amostras. O MDS apresentou stress 0,01, representando bom ordenamento dos dados



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

**Figura V-68** – MDS da comunidade ictioplanctônica na atual campanha de monitoramento

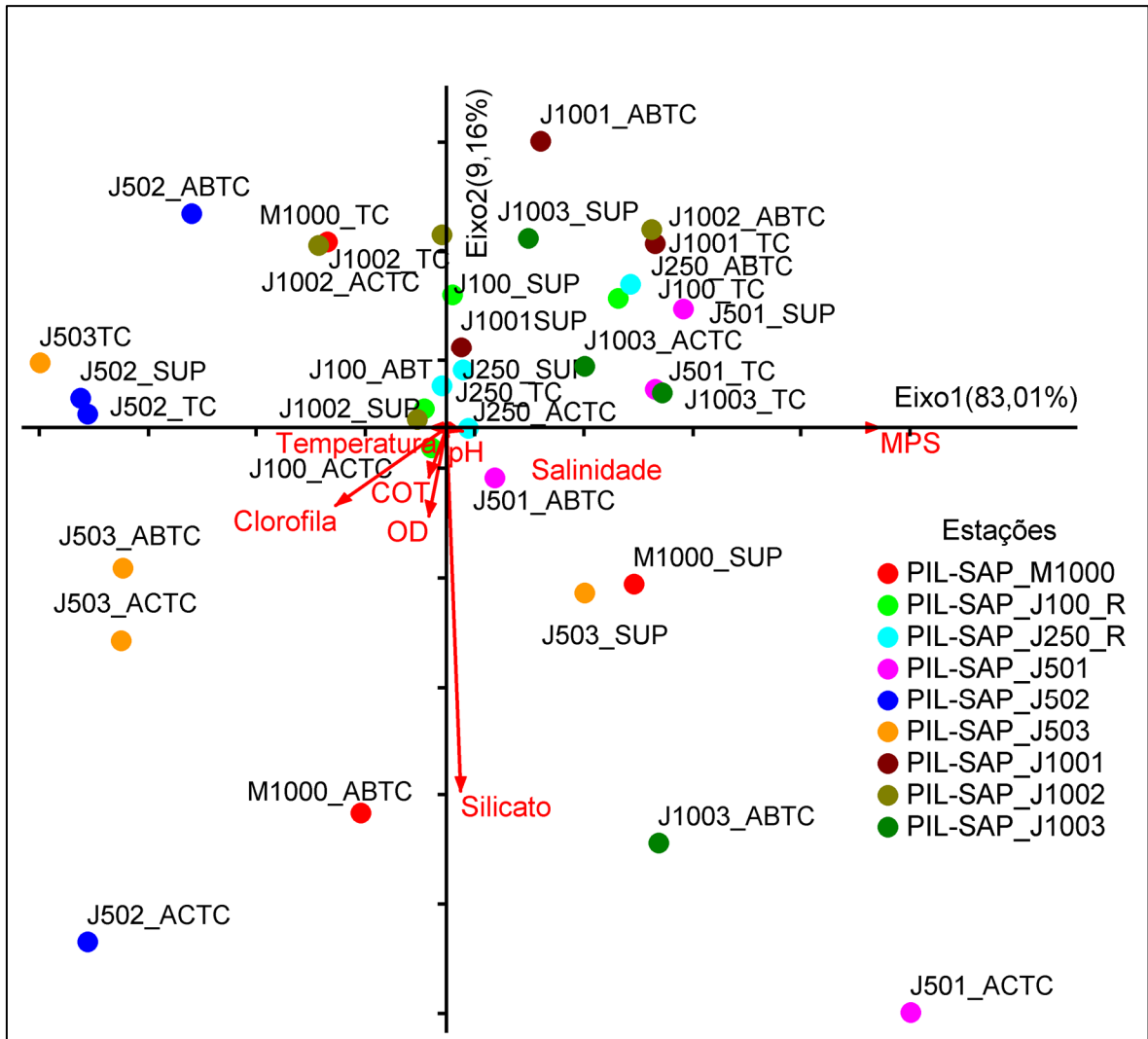
## **ANÁLISE INTEGRADA**

A seguir é apresentada a análise integrada dos resultados das variáveis abióticas e bióticas da 10ª campanha de monitoramento ambiental do Piloto de Sapinhoá (PIL-SAP), Bacia de Santos. Nesse capítulo são apresentadas análises, relacionando as variáveis ambientais e biológicas no ambiente pelágico.

### **V.3 - AMBIENTE PELÁGICO**

#### **V.3.1 - Variáveis Ambientais**

Uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada visando avaliar a distribuição, no espaço bidimensional, de todas as estações PMPR\_PIL-SAP\_C10, em relação às características físico-químicas do ambiente pelágico. Na Figura 0-1, observa-se a ACP, que explicou 92,17% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 83,01% de explicação e o segundo com 9,16%. Para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias  $d$  ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50 (BOCARD *et al.*, 2011).



Legenda: SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina; temp= temperatura; sal= salinidade; COT = carbono orgânico total, MPS = material particulado e suspensão, OD = oxigênio dissolvido.

**Figura 0-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico da PMPR\_PIL-SAP\_C10.**

De maneira geral a distribuição das amostras foi significativa apenas para o eixo 1 (P=0,019). Portanto, apenas esse eixo foram considerado como significativo para interpretações.

A distribuição das amostras ao longo do eixo 1 foi influenciada significativamente pelo MPS (r=-0,99), que se correlacionou positivamente com esse eixo.

Com relação ao MPS, observa-se um gradiente de concentração de parâmetro ao longo do eixo 1, em que as amostras se dividiram entre aquelas com concentrações de MPS acima de 9,92mg/L, em PIL-SAP\_J250\_TC até máximo de

65,88mg/L, em PIL-SAP\_J501\_ACTC, dispostas na porção positiva do eixo 1; e aquelas amostras com menores concentrações de MPS, abaixo de 9,56mg/L, em PIL-SAP\_J100\_ABTC até valor mínimo de 1,68mg/L, em PIL-SAP\_J503\_TC, ocorrendo na porção negativa do eixo 1.

Em relação ao eixo 2, embora a distribuição das amostras não tenha sido significativa sobre esse eixo, verifica-se a tendência do silicato, influenciando a distribuição das amostras, correlacionando-se negativamente ( $r=-0,91$ ) com o eixo. As amostras dispostas na porção negativa, apresentaram valores de silicato variando entre 0,42 até 2,03mg/L. As amostras na porção positiva, com valores entre 0,15 a 0,10mg/L.

Embora a disposição das amostras ao longo dos eixos da ACP demonstre um gradiente de concentração de MPS, não se verifica um padrão espacial claro, separando estratos segundo as profundidades ou as estações amostrais em relação à distância da plataforma.

As demais variáveis ambientais não apresentaram correlações significativas com os eixos da ACP, pois não apresentaram distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.

### V.3.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico

As correlações de Spearman realizadas entre os indicadores biológicos de fitoplâncton e as variáveis ambientais não indicaram correlações significativas (Tabela V.3-1).

**Tabela V.3-1 - Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMPR\_PIL-SAP\_C10.**

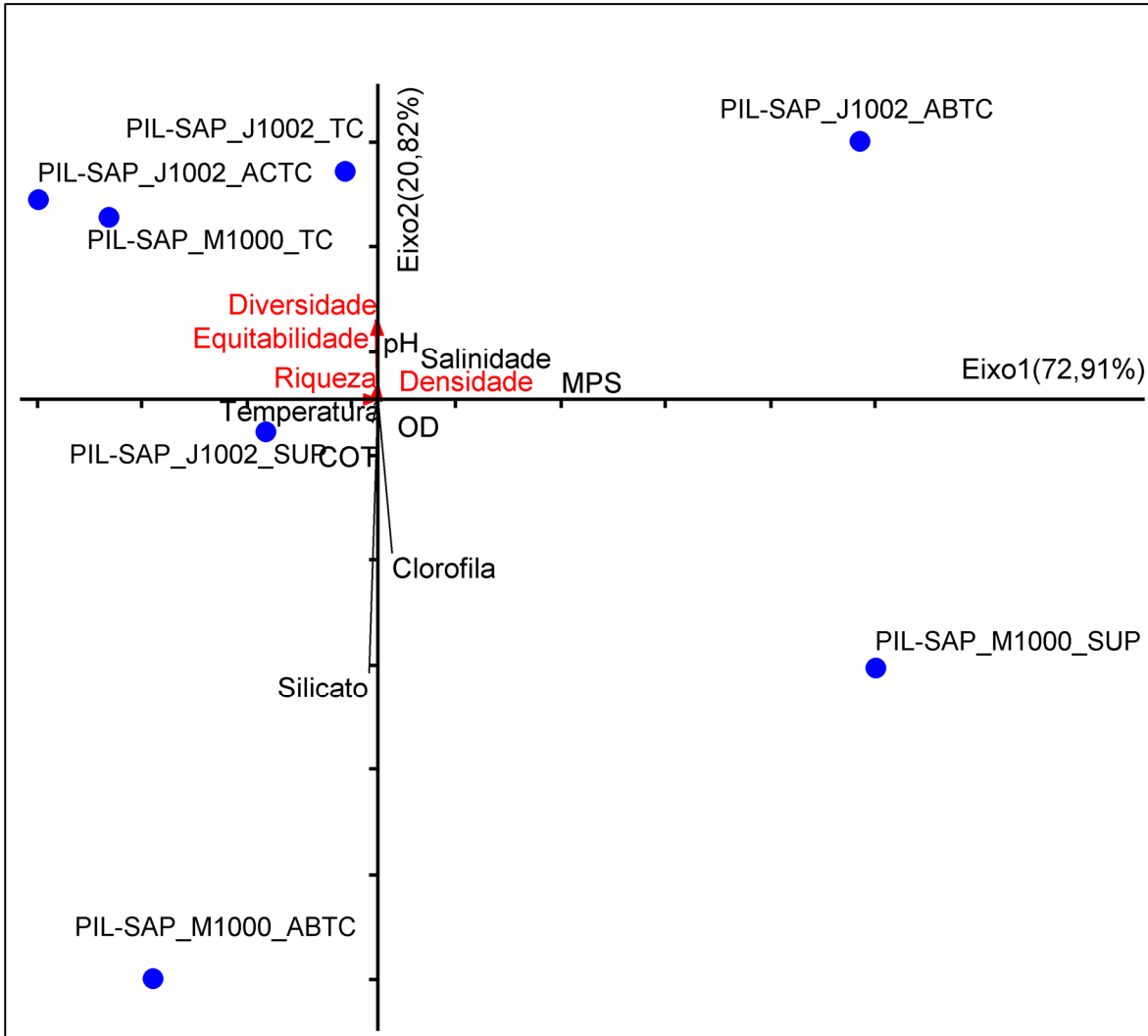
	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitatividade
Temperatura	-0,25	-0,22	-0,14	0,14
Salinidade	-0,74	-0,51	-0,02	0,63
OD	0,64	0,18	-0,11	-0,54
pH	-0,05	0,12	0,14	0,29
Silicato	-0,32	-0,48	-0,25	0,18
MPS	0,11	0,18	0,22	0,07
Clorofila a	0,71	0,42	0,00	-0,57
COT	0,36	0,54	0,43	-0,29

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

Os dados de fenóis, BTEX, HPA, HTP, MCNR, n-alcanos, sulfetos, fósforo, nitrato, nitrito e n-amoniaco não foram considerados, nem nas análises de correlação, nem nas análises de ordenação a seguir, pois não foram detectados nas amostras coletadas.

Em seguida, a análise de componentes principais (ACP) foi realizada entre as estações em que houve coleta biológica concomitante à coleta ambiental (PIL-SAP\_M1000 e PIL-SAP\_J1002). As variáveis ambientais foram inseridas como variáveis ativas, e os indicadores biológicos, como variáveis suplementares.

A ACP (Figura V.3-2) explicou 93,73% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 72,91% de explicação e o segundo com 20,82%. As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância  $d$  ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Dessa forma, para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.



Legenda: SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina; MPS = material particulado em suspensão, OD = oxigênio dissolvido, COT = carbono orgânico total.

**Figura V.3-2** - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico das estações PIL-SAP\_M1000 e PIL-SAP\_J1002, sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.

A distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos. Portanto, foram considerados os autovalores observados e calculados, conforme Jackson (1993). Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,055 e 0,016 respectivamente, e o calculado de 0,026 e 0,016, respectivamente. Portanto, apenas o eixo 1, com o autovalor observado maior que o calculado, foi significativo para interpretações.

Observa-se a separação das amostras no plano da ACP, influenciada significativamente por MPS, que se correlacionou positivamente com o eixo 1



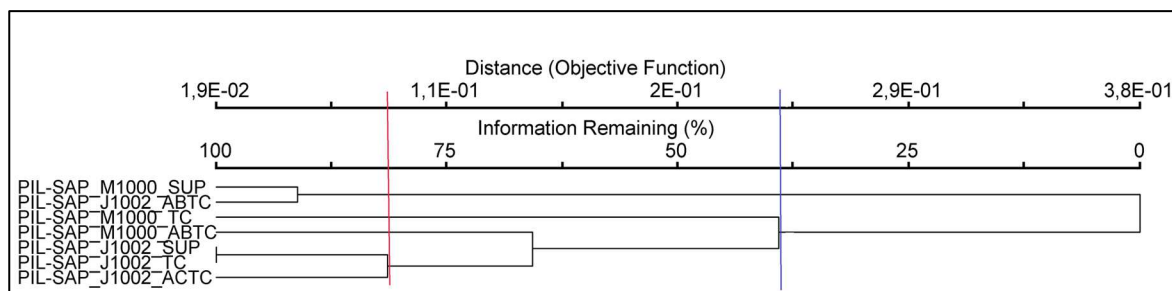
( $r=1,00$ ). Nesse caso, as amostras PIL-SAP\_M1000\_SUP e PIL-SAP\_J1002\_ABTC estiveram associadas à maior concentração de MPS, (23,02 mg/L em ambas as amostras), na porção positiva do eixo 1. As demais amostras, correspondentes, distribuíram-se na porção negativa do eixo, apresentando as menores concentrações de MPS entre 5,72mg/L em PIL-SAP\_J1002\_ACTC a 9,82mg/L em PIL-SAP\_J1002\_TC. Ao longo do eixo 1, os indicadores biológicos apresentaram correlações muito fracas com o eixo, não representando correlações significativas.

Embora as relações ao longo do eixo 2 não tenham sido significativas, observa-se maior influência de silicato ( $r=-0,96$ ), na distribuição das amostras. Sendo assim amostras PIL-SAP\_J1002\_SUP e PIL-SAP\_M1000 (SUP e ABTC), dispostas na porção negativa do eixo 2, tenderam a apresentar os maiores valores desse parâmetro.

Não foram significativas as correlações das demais variáveis ambientais sobre os eixos, pois não apresentaram distância  $d$  ao centro do plano maior ou igual a 0,50.

Outras duas análises foram realizadas, visando complementar ainda mais a análise dos dados e avaliar a distribuição espacial das amostras do ambiente pelágico em relação às variáveis ambientais e fitoplanctônicas. Assim foram realizadas uma análise de agrupamento (*cluster*) (Figura V.3-3) e uma análise de escalonamento multidimensional (Figura V.3-44). Essa análise caracteriza a proximidade ou não das estações de coleta, em função das características ambientais e biológicas.

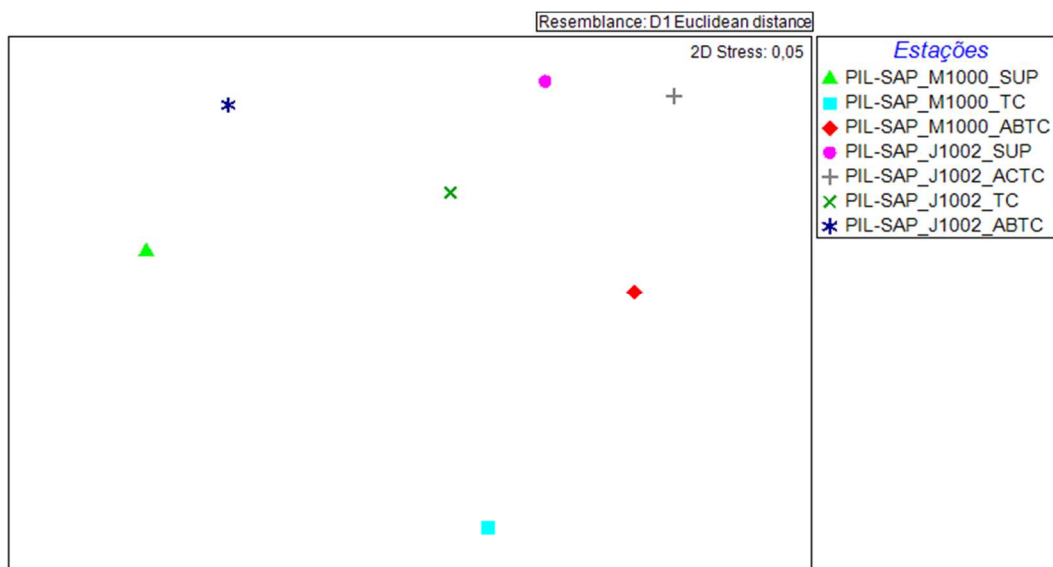
No agrupamento realizado (Figura V.3-3) observa-se, a formação de dois grupos principais, com 31,1% (linha azul) de similaridade, separando as amostras PIL-SAP\_M1000\_SUP e PIL-SAP\_J1002\_ABTC, das demais, principalmente pela maior concentração de MPS. Considerando-se maior similaridade entre grupos, 81,5% (linha vermelha), observa-se a formação de quatro grupos. Nesse agrupamento, destaca-se o agrupamento entre a maioria das amostras de PIL-SAP\_J1002 (SUP, TC e ACTC), devido, provavelmente, às menores densidades e equitabilidade fitoplanctônicas



Legenda: M1000 = estação 1000 m à montante; J1002 = estação 2, 1000 m à jusante; SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina;

**Figura V.3-3** - Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das estações de amostragem de fitoplâncton da PMPR\_PIL-SAP\_C10.

Por fim, ainda avaliando a relação do ambiente abiótico com os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica, foi realizada uma análise exploratória de escalonamento multidimensional (MDS) (Figura V.3-4). Essa 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 0,05. Segundo Kruskal (1978) e Clarke (1993), quanto menor o valor de stress e mais próximo de zero, melhor a representação dos dados na MDS. Portanto o resultado obtido com a MDS mostra-se satisfatório. Nesta análise (Figura V.3-4) a distribuição das amostras esteve mais dispersa que a observada através do cluster (Figura V.3-4), indicando menor similaridade entre as amostras.



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

**Figura V.3-4 -** Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10.

A comunidade fitoplanctônica representa os maiores produtores de biomassa em ecossistemas aquáticos, com relevante importância para a produtividade marinha e para a 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 a assimilação de carbono através da fotossíntese, ganhando maior destaque que as algas maiores e visíveis (GARRISON, 2011). A diversidade de grupos fitoplanctônicos marinhos, inclui as diatomáceas e os dinoflagelados, como grupos mais proeminentes (GARRISON, 2011; HUGHES *et al.*, 2013). E essa mesma tendência foi observada nesse monitoramento, no qual os principais taxa identificados nas amostras são representantes dos filos Bacillariophyta (diatomáceas), Myzozoa (dinoflagelados) e Haptophyta (GUIRY & GUIRY, 2021), mas também com Cyanobacteria, com contribuições muito mais discretas.

Os organismos fitoplanctônicos estão constantemente sujeitos à interação de diferentes fatores ambientais e biológicos, variando em diferentes escalas espaciais e temporais (WILLIAN *et al.*, 1993). Fatores como temperatura da água, intensidade luminosa, concentração de CO<sub>2</sub>, disponibilidade de nutrientes, turbidez, MPS, pH, salinidade, acidificação, radiação, concentração de matéria orgânica, e

interações biológicas, exercem pronunciados efeitos à sua estrutura, dinâmica e, conseqüentemente, à produtividade fitoplanctônica (FRANCO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011, RICHA *et al.*, 2014).

Na PMPR\_PIL-SAP\_C10, o MPS e o silicato foram os parâmetros ambientais que mais se destacaram influenciando a variabilidade entre as estações amostrais. 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; JIANG *et al.*, 2021). Dessa forma, a concentração de MPS na coluna d'água prejudica a penetração de luz e, conseqüentemente o crescimento fitoplanctônico. 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 ao silicato, é um nutriente que assim como outros tem importante papel na produtividade fitoplanctônica, e no caso o silicato é tido como o principal nutriente controlador da produtividade de diatomáceas (ESTEVES & SUZUKI, 2011). No caso desse estudo, diatomáceas foram um dos principais taxa identificados no monitoramento.

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. Variações espaciais e temporais das condições ambientais podem promover mudanças cíclicas ou erráticas na atividade planctônica, abundância ou declínio populacional (DANTAS *et al.*, 2009), afetando, conseqüentemente, a distribuição das comunidades planctônicas ao longo da coluna d'água (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

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.

### ***V.3.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico-químico***

Na Tabela V.3-2 e Figura VI.1-5 a VI.1-20 é possível verificar a variação dos dados biológicos e ambientais referentes às diferentes formas de coleta das comunidades zooplanctônica e ictioplanctônica.

**Tabela V.3-2 - Indicadores biológicos e variáveis ambientais das comunidades zooplânctônicas e ictioplânctônicas da PMPR\_PIL-SAP\_C10**

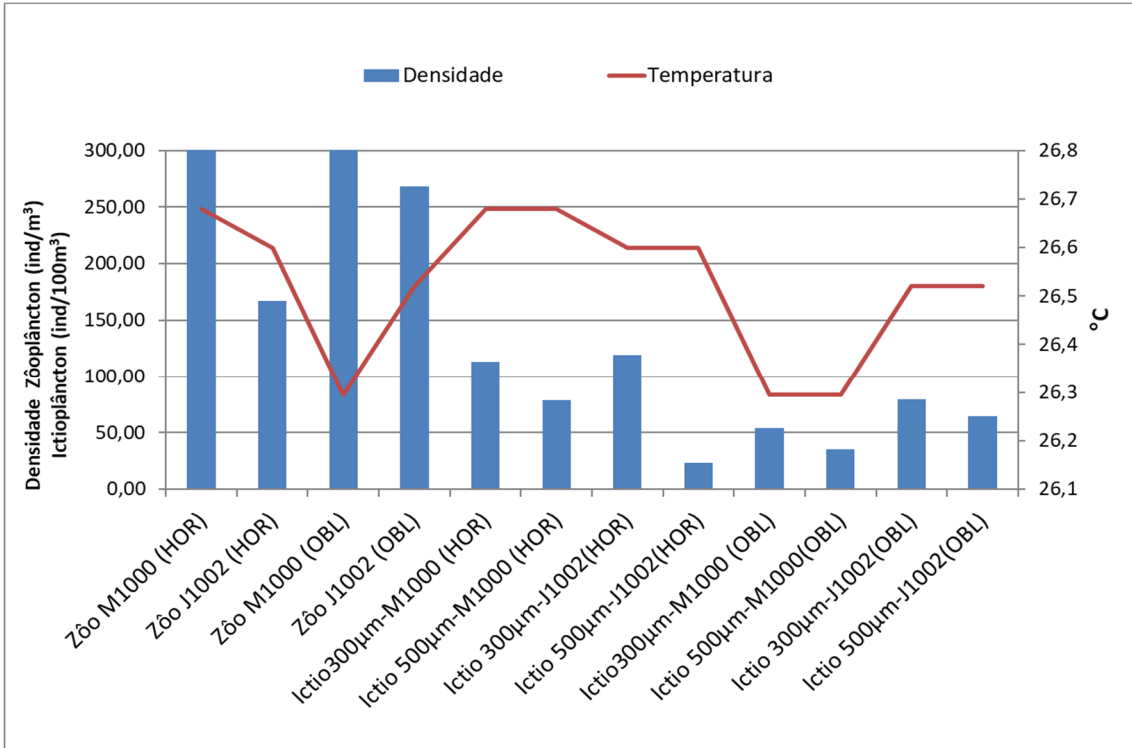
	Zooplâncton				Ictioplâncton							
	M1000 (HOR)	J1002 (HOR)	M1000 (OBL)	J1002 (OBL)	300µm- M1000 (HOR)	500µm- M1000 (HOR)	300µm- J1002 (HOR)	500µm- J1002 (HOR)	300µm- M1000 (OBL)	500µm- M1000 (OBL)	300µm- J1002 (OBL)	500µm- J1002 (OBL)
<b>Densidade Zoo: ind/m<sup>3</sup></b>	537,32	167,39	488,91	267,99	113,10	78,63	119,39	22,95	53,95	34,99	79,29	64,44
<b>Ictio: ind/100m<sup>3</sup></b>												
<b>Riqueza</b>	36,00	36,00	36,00	35,00	24,00	19,00	12,00	8,00	12,00	13,00	8,00	13,00
<b>Diversidade (bits/ind)</b>	3,28	4,12	2,98	3,86	2,54	2,53	1,41	0,87	2,22	2,20	0,97	1,48
<b>Equitatividade</b>	0,63	0,80	0,58	0,75	0,86	0,88	0,59	0,54	0,93	0,92	0,50	0,62
<b>Temperatura °C</b>	26,68	26,6	26,29	26,52	26,68	26,68	26,6	26,6	26,29	26,29	26,52	26,52
<b>Salinidade (‰)</b>	35,13	35,19	35,06	35,19	35,13	35,13	35,19	35,19	35,06	35,06	35,19	35,19
<b>OD (mg/L)</b>	6,90	6,72	6,87	6,75	6,90	6,90	6,72	6,72	6,87	6,87	6,75	6,75
<b>pH</b>	8,01	8,01	8,02	8,04	8,01	8,01	8,01	8,01	8,02	8,02	8,04	8,04
<b>Silicato (mg/L)</b>	0,72	0,72	0,46	0,47	0,72	0,72	0,72	0,72	0,46	0,46	0,47	0,47
<b>MPS (mg/L)</b>	23,02	8,68	14,67	8,07	23,02	23,02	8,68	8,68	14,67	14,67	8,07	8,07
<b>Clorofila a (mg/L)</b>	0,68	0,07	0,52	0,07	0,68	0,68	0,07	0,07	0,52	0,52	0,07	0,07
<b>COT (mg/L)</b>	1,03	1,12	1,11	1,05	1,03	1,03	1,11	1,11	1,11	1,11	1,05	1,05

Legenda: M1000, estação montante; J1002, estação jusante; OD oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão; COT, carbono orgânico total.

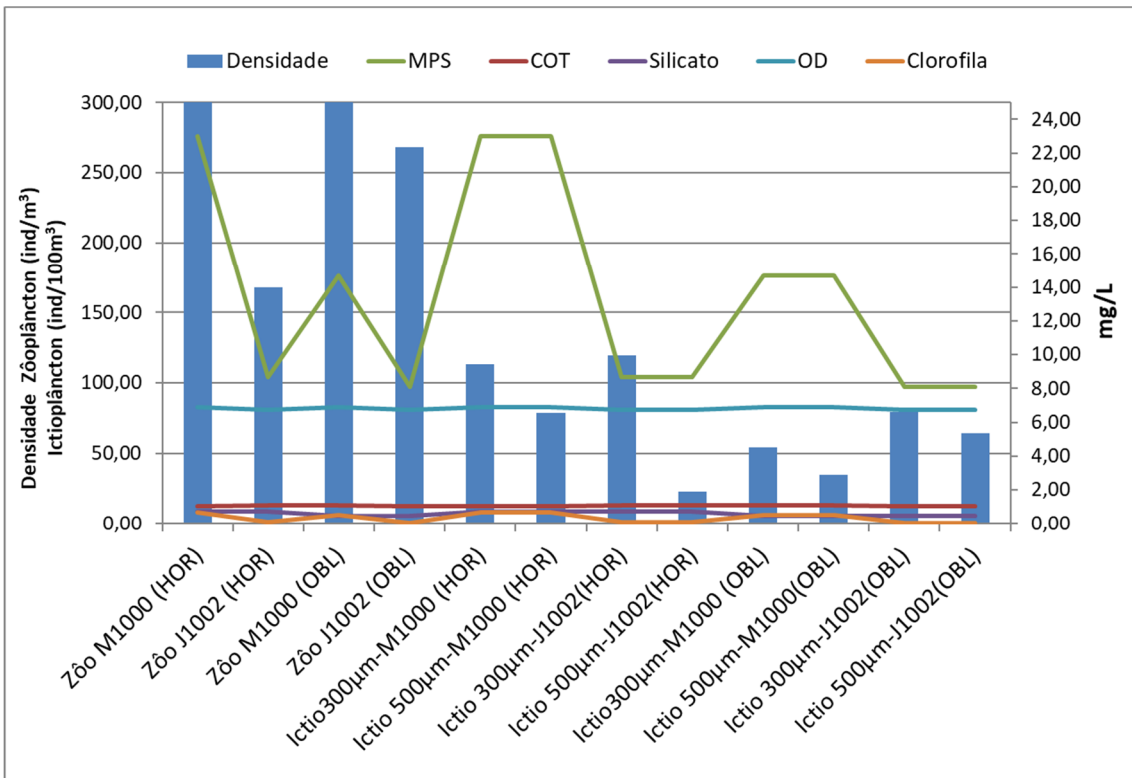
Na comunidade zooplanctônica destaca-se que a maior densidade ocorreu em ambos os arrastos da estação PIL-SAP\_M1000, em que se destacam os maiores valores de MPS e clorofila *a*. Ainda nas amostras PIL-SAP\_M1000\_OBL, também se observou a menor diversidade e equitabilidade, onde também se verifica, principalmente, menor temperatura e salinidade, em relação às demais amostras. A menor densidade, e maior diversidade e equitabilidade ocorreu em PIL-SAP\_J1002, destacando-se a ocorrência de menor concentração de clorofila *a*. Os valores de riqueza não apresentaram variação entre as amostras, ficando entre 35 e 36 taxa. (Tabela V.3-3; Figura VI.1-5 a Figura VI.1-20).

As maiores densidades ictioplanctônicas ocorreram nos arrastos horizontais com malha de 300  $\mu\text{m}$  sem uma correlação direta com outros parâmetros ambientais. A maior riqueza ocorreu em PII-SAP\_M1000\_HOR\_300, ao passo que as maiores diversidades ocorreram em PIL-SAP\_M1000\_HOR, em ambas as malhas (300 e 500 $\mu\text{m}$ ), e para nenhum desses casos, observa-se uma variação semelhante para os dados ambientais. A tendência de menores valores de riqueza, diversidade e equitabilidade, baixo valor de clorofila ocorreu no arrasto horizontal de PIL-SAP\_J1002, com malha de 500  $\mu\text{m}$  e em PIL-SAP\_J1002\_OBL\_300 (Tabela V.3-4; Figura VI.1-5 a Figura VI.1-20)

Embora se verifique relações de variações conjuntas entre os parâmetros ambientais e indicadores biológicos, não é possível estabelecer uma relação causal entre eles com base nos dados analisados.

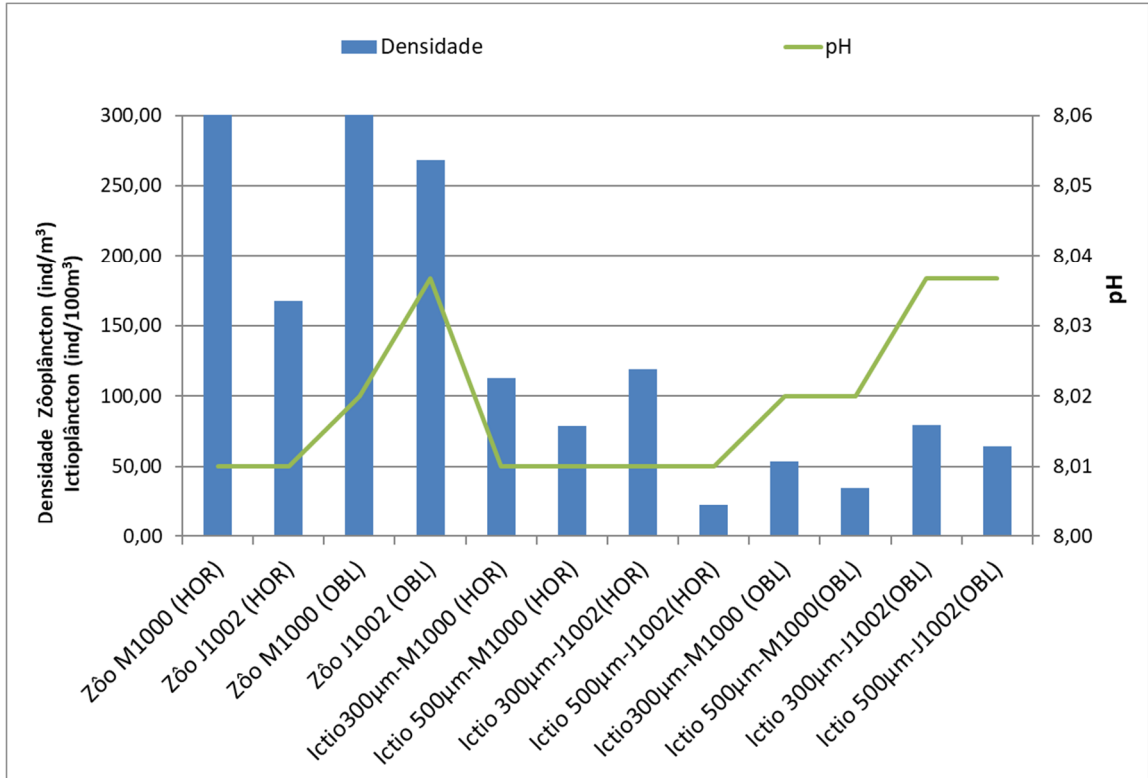


**Figura V.3-5 –** Relação de temperatura com a densidade total zoo e ictioplânctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10

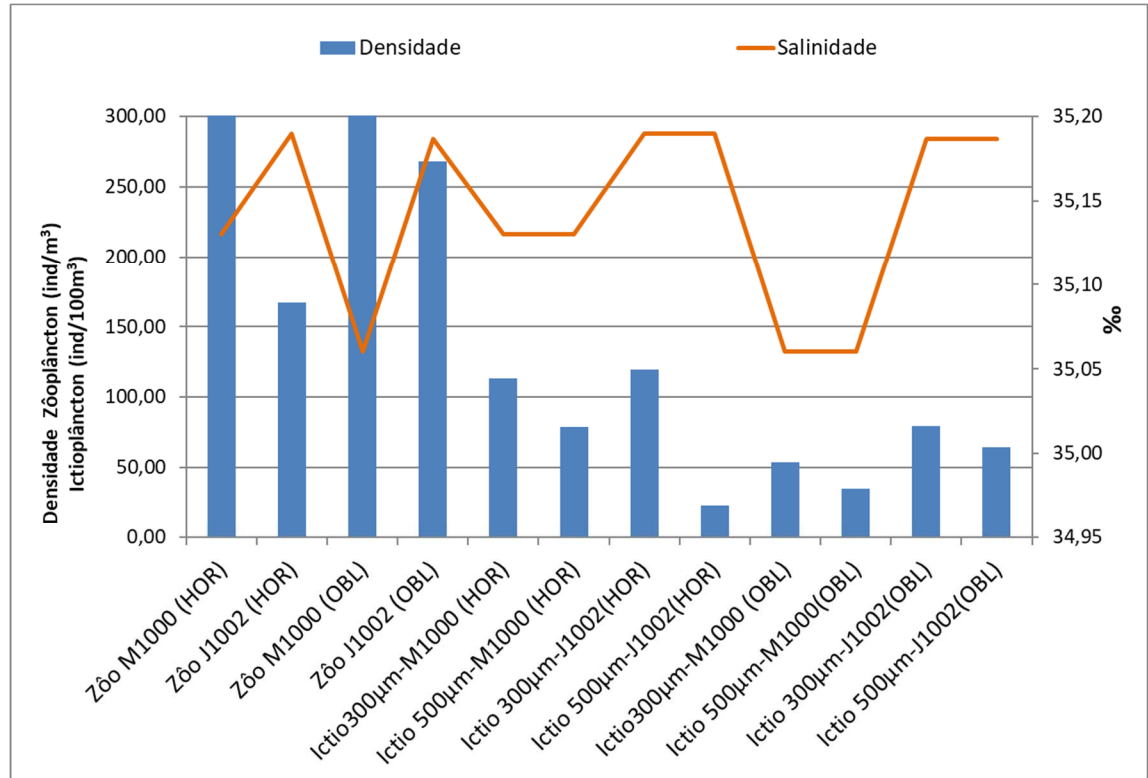


**Figura V.3-6 –** Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a densidade total zoo e ictioplânctônica (malha 300 µm e 500 µm) da PMPR\_PIL-SAP\_C10

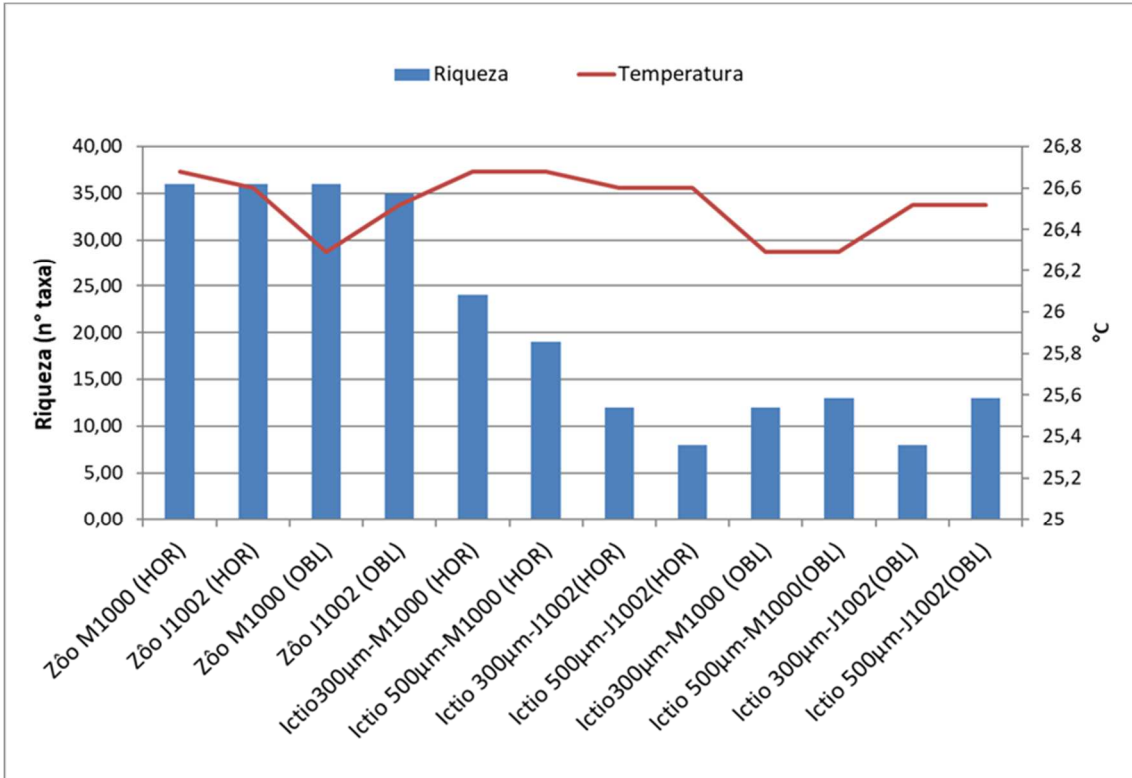




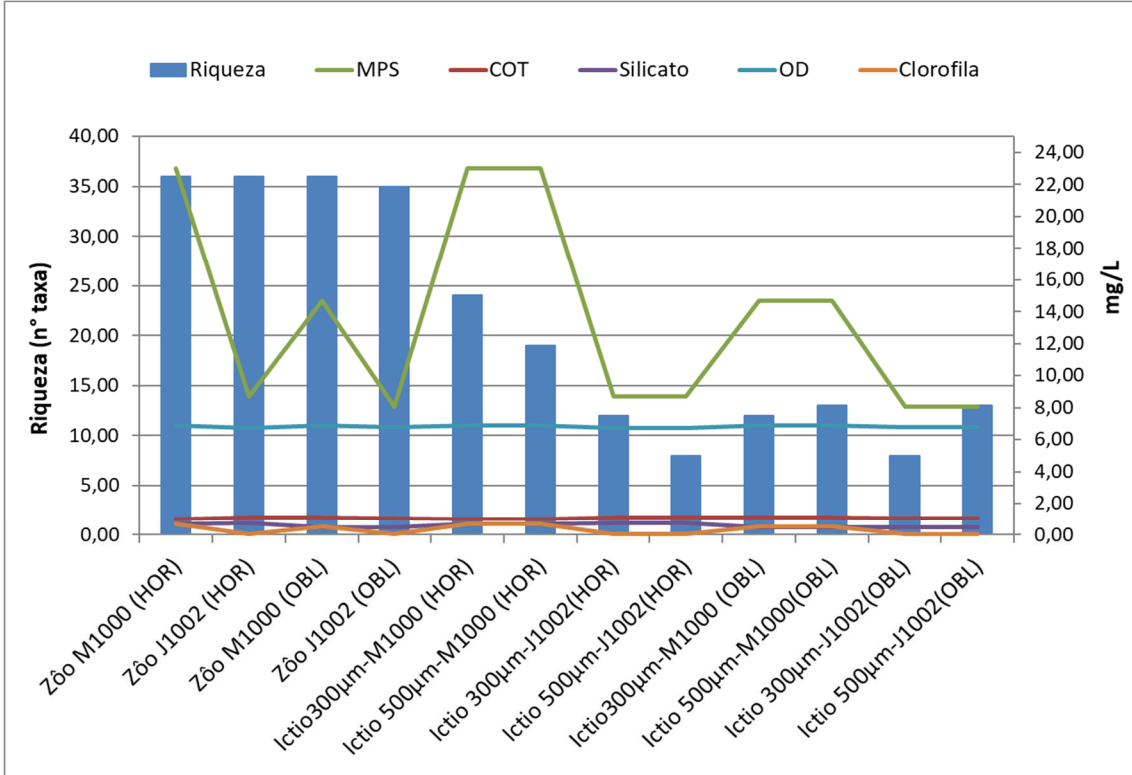
**Figura V.3-7** – Relação do pH com a densidade total zoo e ictioplânctônica (da PMPR\_PIL-SAP\_C10)



**Figura V.3-8** – Relação da salinidade com a densidade total zoo e ictioplânctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10



**Figura V.3-9** – Relação de temperatura e a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10



**Figura V.3-10** – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10

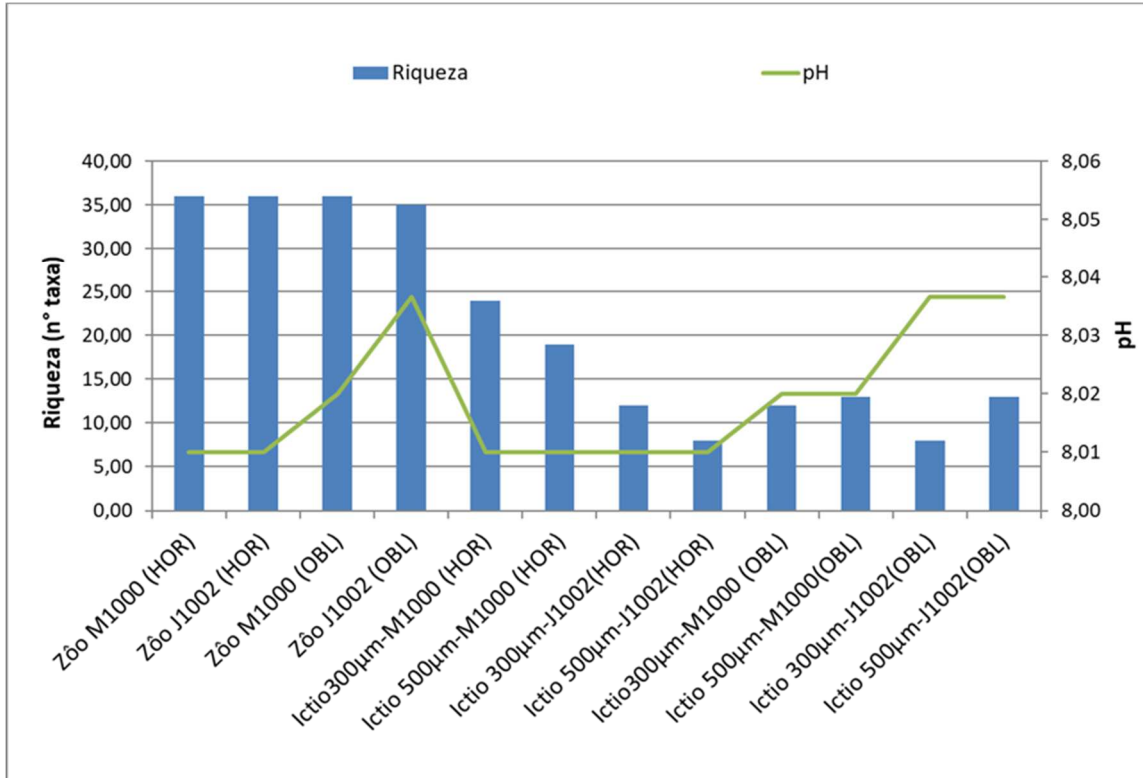


Figura V.3-11 – Relação do pH com a riqueza zoo e ictiofítica da PMPR\_PIL-SAP\_C10

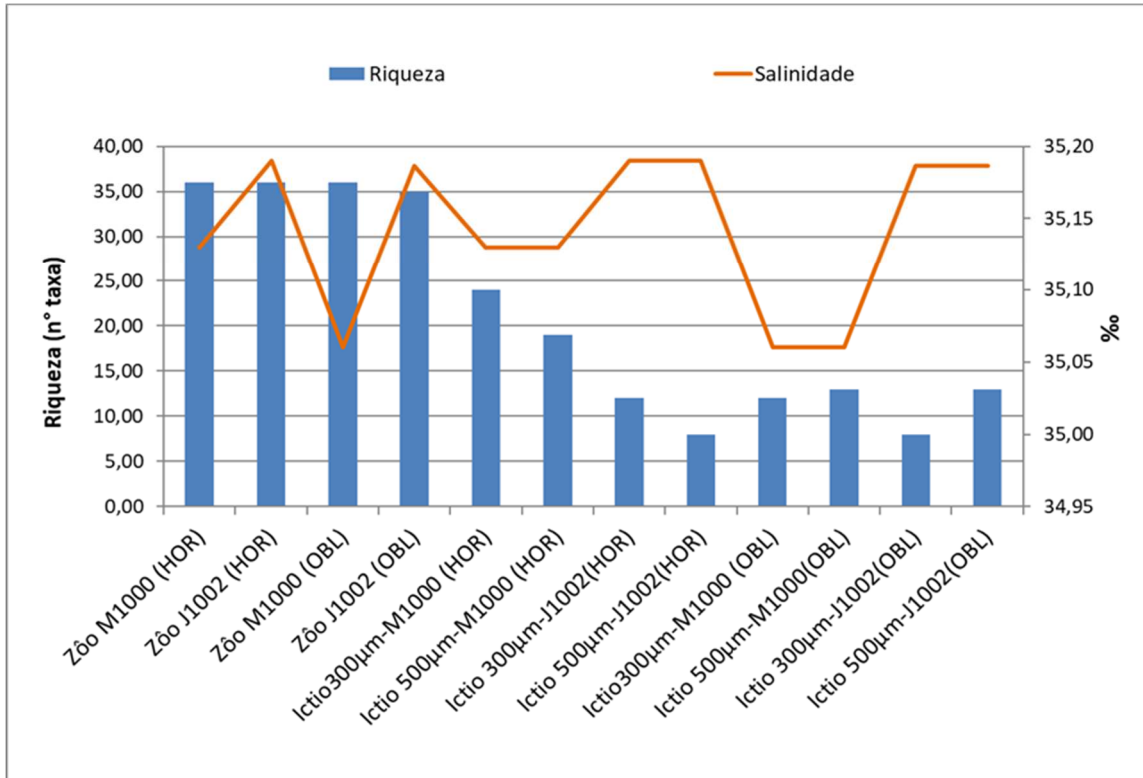


Figura V.3-12 – Relação da salinidade com a riqueza zoo e ictiofítica (da PMPR\_PIL-SAP\_C10)

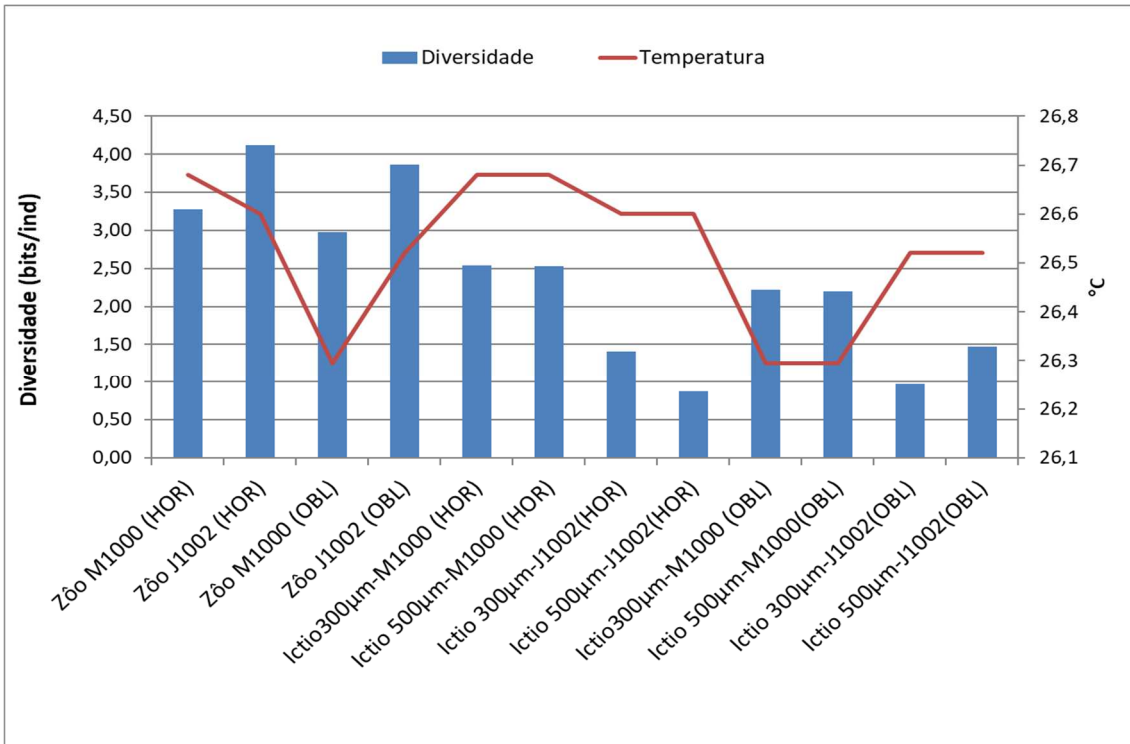


Figura V.3-13 – Relação da temperatura com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10

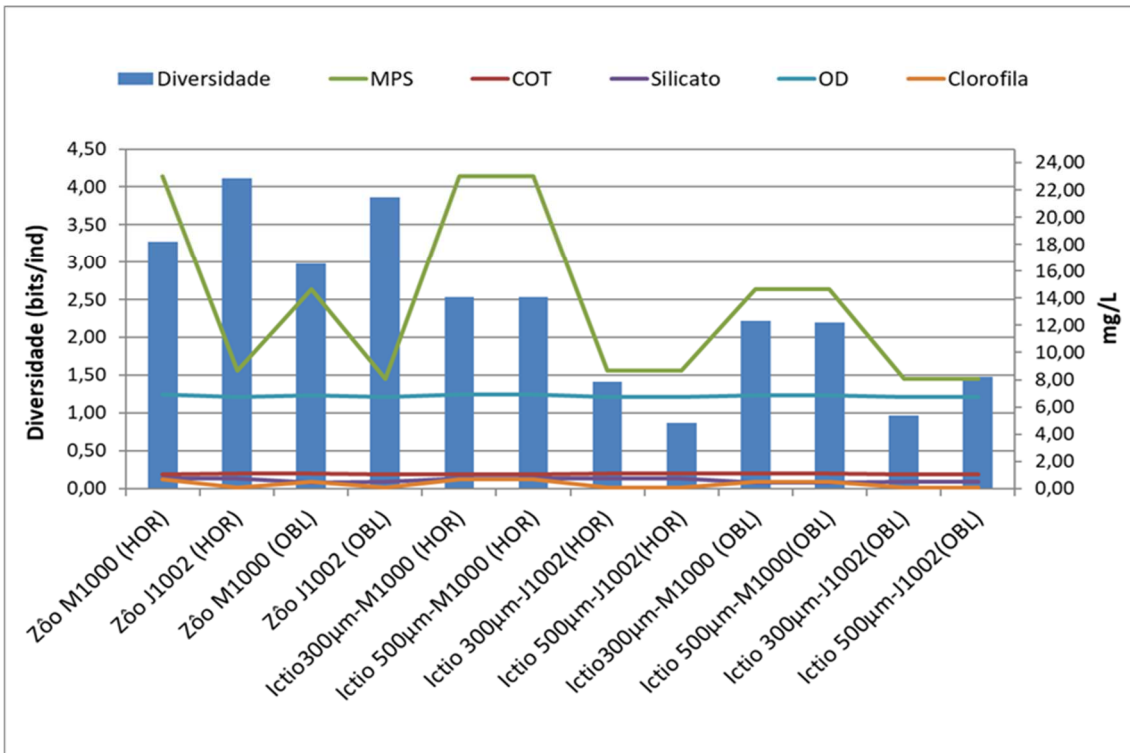
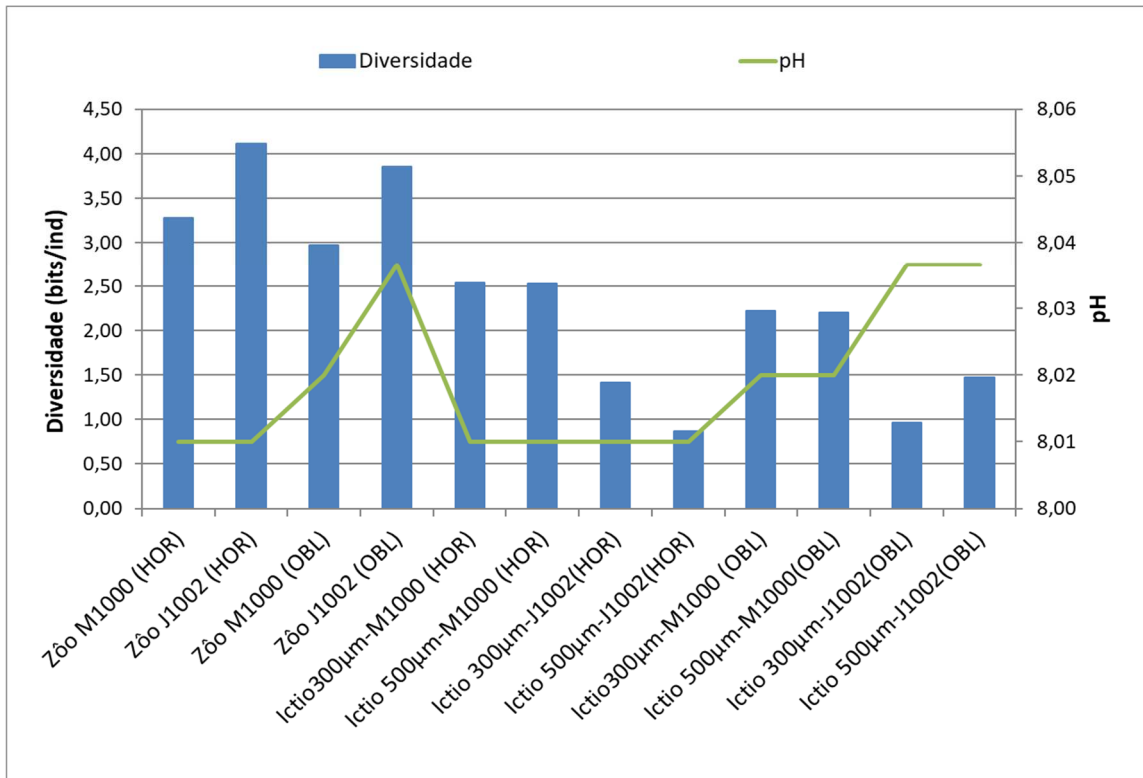
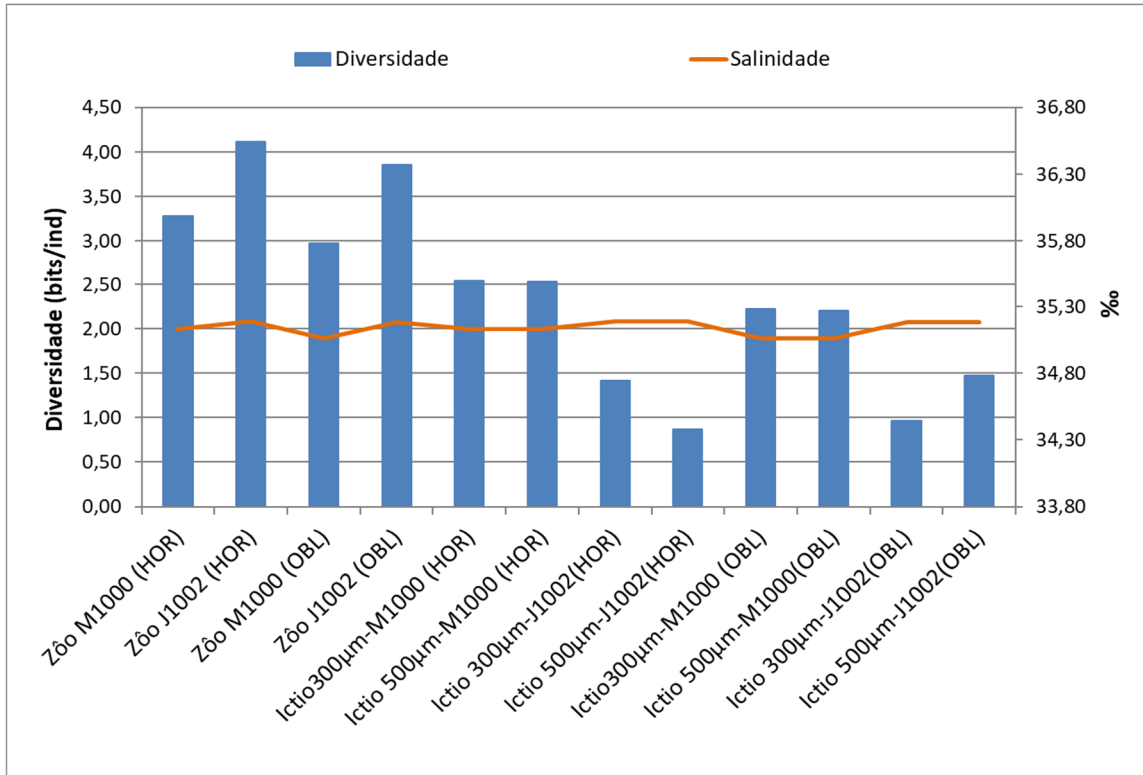


Figura V.3-14 – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10



**Figura V.3-15** – Relação do pH com a diversidade zoo e icteoplânctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10



**Figura V.3-16** – Relação da salinidade com a diversidade zooplânctônica e icteoplânctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10

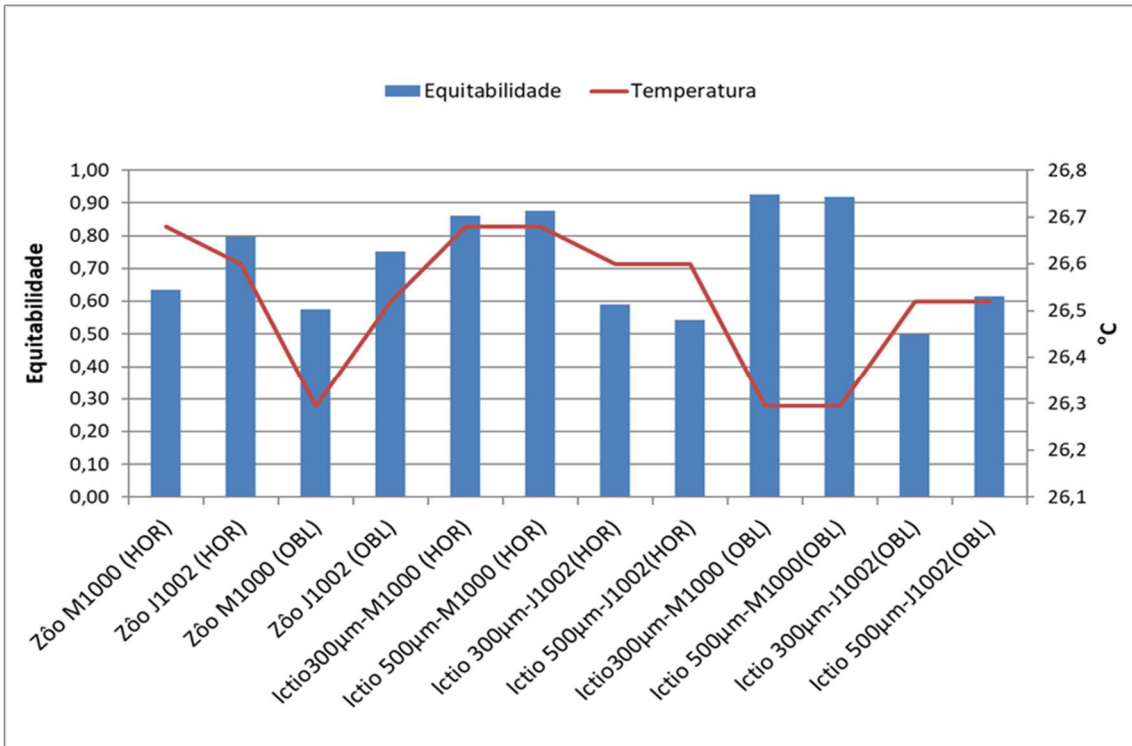


Figura V.3-17 – Relação de temperatura com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica

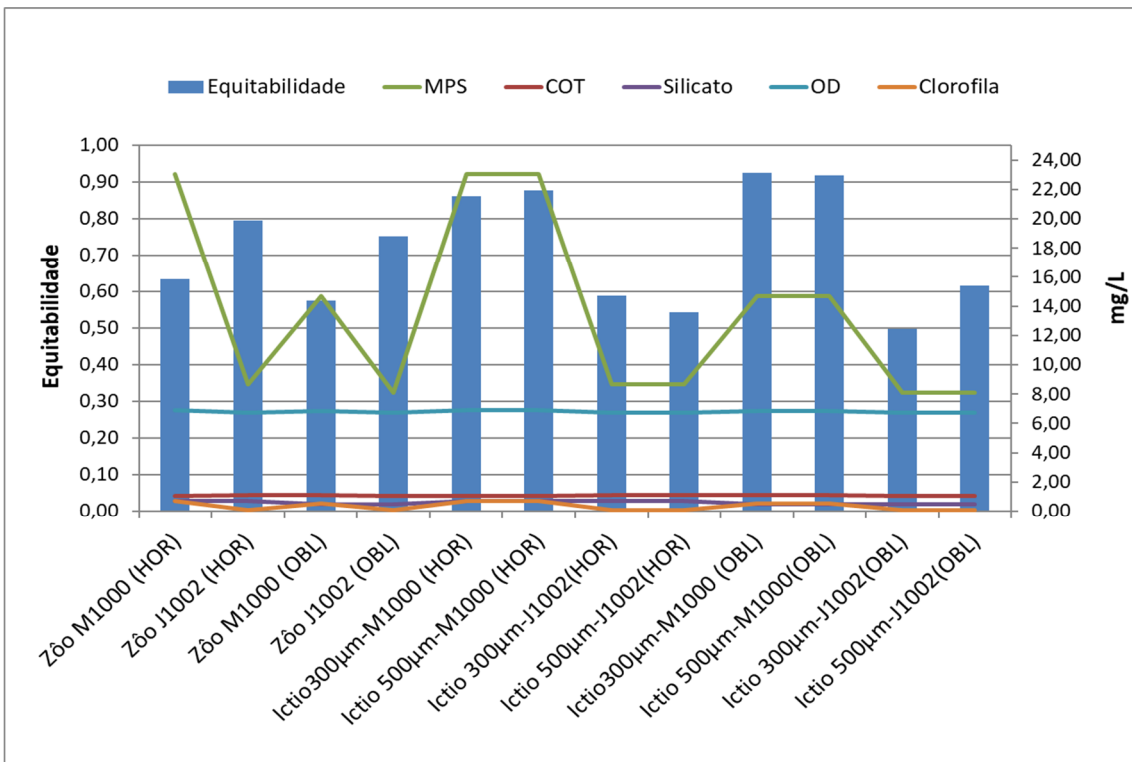
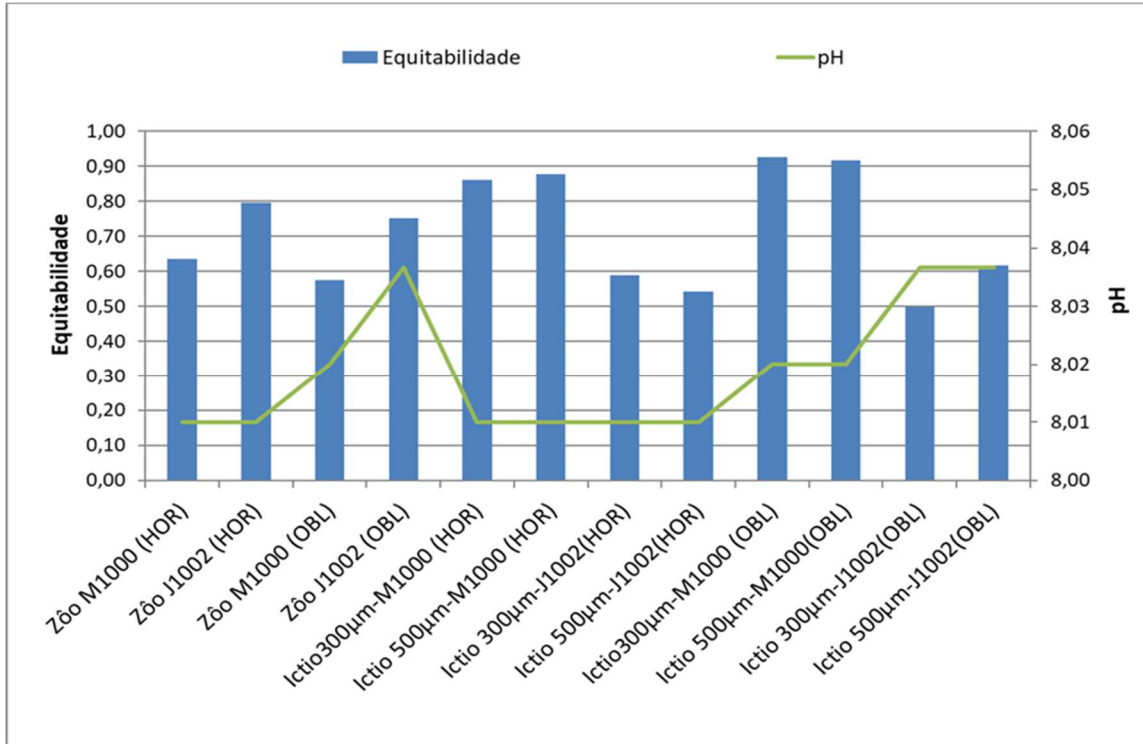
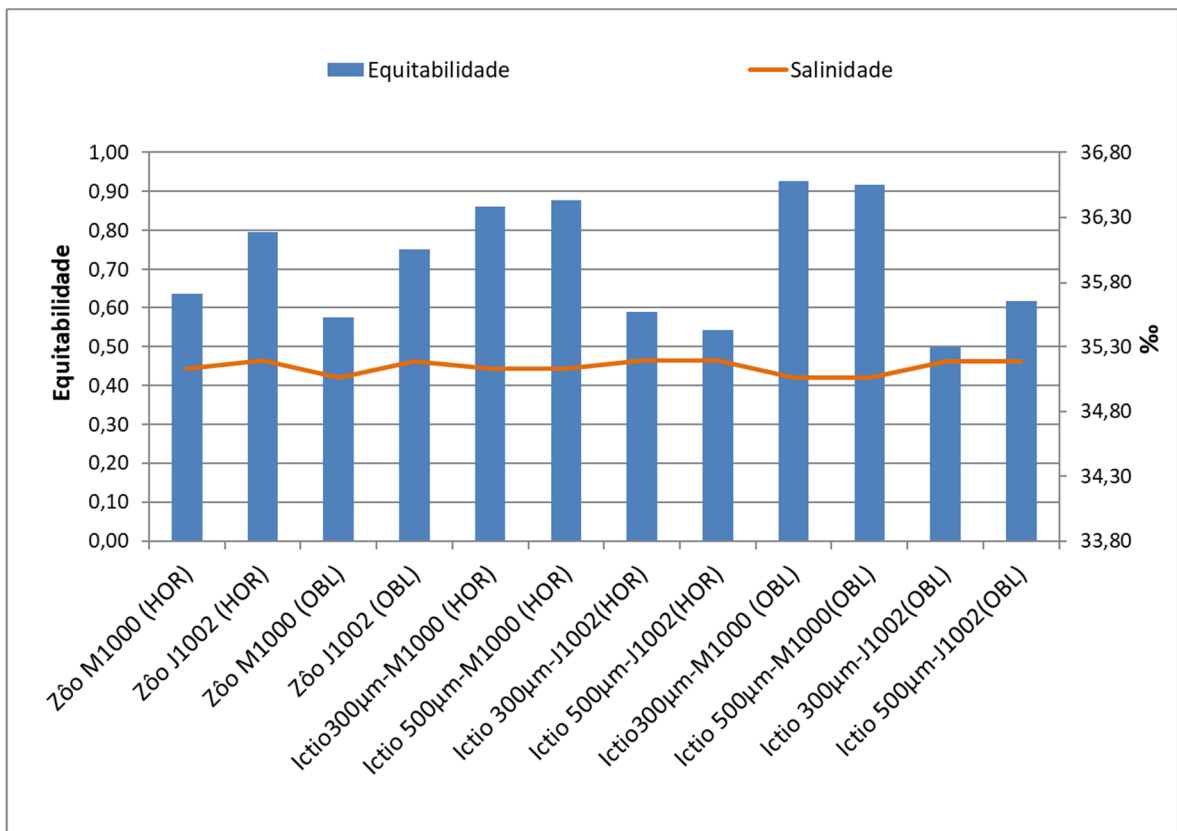


Figura V.3-18 – Relação de MPS, COT, silicato, OD e clorofila a com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) da PMPR\_PIL-SAP\_C10



**Figura V.3-19** – Relação do pH com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica (da PMPR\_PIL-SAP\_C10)



**Figura V.3-20** – Relação da salinidade com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR\_PIL-SAP\_C10.

A variedade zooplanctônica nos oceanos é surpreendente, representando os mais numerosos consumidores primários do oceano (GARRISON, 2011). Esse grupo 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 (STEINBERG & LANDRY, 2017). Apresentam íntima relação com grupos fitoplanctônicos, dada sua relação de pastejo, principalmente com cianobactérias, diatomáceas, dinoflagelados entre tantos outros fitoplâncton. 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).

Conforme estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), apenas as espécies de copépodes apresentaram uma resposta estatisticamente significativa em relação às variáveis ambientais, sendo que cerca de 80% da variação na distribuição das espécies de Copepoda foram explicadas pelas variáveis salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e Clorofila a.

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 *et al.*, 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.

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.

Destaca-se, ainda, que a diversidade zooplanctônica variou entre 2,98 a 4,12 bits/ind e, portanto, a comunidade pode ser considerada em equilíbrio com boa diversidade, segundo Magurran (1988). Essa autora indica que comunidades com valores de índice de Shannon-Weiner abaixo de 1,5 ou 2 apresentam baixa diversidade e tendem ao desequilíbrio, ao passo que com valores acima de 5 representam comunidades com grande diversidade. Complementando, a equitabilidade zooplanctônica variou entre 0,58 a 0,80, tendendo a ficar mais próxima a 1,00. Embora não tão alta, a equitabilidade observada pode estar indicando tendência de uniformidade na distribuição das abundâncias de espécies na comunidade (MAGURRAN, 2003). Já em relação à comunidade ictioplanctônica, sua diversidade foi baixa a média, variando de 0,87 a 2,54 bits/ind. Contudo, a equitabilidade indicou certa uniformidade na distribuição das abundâncias de espécies, variando entre 0,50 a 0,93.

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 (RAYMONT, 1983; 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.

## VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 10ª campanha 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. Os resultados referem-se à qualidade da água e comunidade planctônica, sendo que os dados adquiridos subsidiaram a avaliação das condições ambientais no local em decorrência da operação do empreendimento.

Com relação à qualidade da água, os resultados obtidos para os parâmetros de OD, pH, clorofila-a, MPS, COT e nutrientes (fósforo total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e silicato) durante a atual campanha de monitoramento são característicos de áreas oligotróficas (EKAU & KNOPPERS, 1999) e condizentes com os valores descritos para a região em campanhas de monitoramento realizadas anteriormente no local (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c). Os dados de temperatura e salinidade obtidos evidenciaram que a maioria das amostras foram coletadas em Águas Costeiras (AC), mas também em Águas Tropicais (AT) (PIL\_SAP\_J1001 e PIL-SAP-J1003), e em águas com a mistura de AC/AT (PIL-SAP\_J502). Além disso, foram coletadas 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 nas campanhas anteriores do monitoramento do Piloto de Sapinhoá, as concentrações de fenóis, BTEX, HPAs, n-alcanos, MCNR e HTPs estiveram sempre abaixo do limite de detecção e de quantificação da análise, evidenciando, assim, que não há indícios de contaminação por substâncias derivadas do petróleo no entorno do empreendimento.

A comunidade fitoplanctônica da atual campanha apresentou valores próximos da faixa de variação dos resultados obtidos para a região, com resultados de densidade e diversidade um pouco acima da maioria registrada anteriormente. Diferenças significativas entre as campanhas do projeto foram observadas para todos os indicadores biológicos avaliados. A análise de *Cluster* mostrou similaridade variando entre 72 e 86% entre as amostras da atual campanha, separando, principalmente as amostras PIL-SAP\_J1002\_SUP e PIL-SAP\_J1002\_TC, das demais amostras, com 86% de similaridade.

Para o zooplâncton, a atual campanha apresentou resultados na faixa de variação da maioria dos resultados obtidos em campanhas anteriormente realizadas na região, com valores de diversidade superiores e equitabilidade inferiores em relação aos resultados anteriores. Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas para todos os parâmetros analisados. A contribuição relativa dos filos nas amostras foi semelhante entre as estações, com maiores valores de riqueza e densidade de Arthropoda, conforme observado em todas as campanhas de monitoramento ambiental já realizadas na região.

Da mesma forma, o ictioplâncton registrou valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade na faixa de variação de resultados obtidos na região, com valores de riqueza e equitabilidade superiores na atual campanha. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas para todos os índices ecológicos analisados. Maiores valores de densidade foram observados nos arrastos horizontais com malhas de 300 µm nas duas estações de coleta. As amostras PIL-SAP\_J1002\_HOR\_300 µm e PIL-SAP\_J1002\_OBL\_300 µm foram agrupadas pela análise de *Cluster* com 80. Os resultados obtidos na atual campanha apontaram para uma composição específica bem distribuída nas estações, com baixa a média diversidade e uma comunidade equitativa.

As alterações observadas nas comunidades planctônicas da atual campanha podem estar relacionadas com a grande variação espacial e sazonal das comunidades marinhas, bem como com diferenças estocásticas de amostragem ou a troca de laboratório ocorrida entre a segunda e a terceira e entre a sétima e a oitava campanha. No caso do fitoplâncton, também foram observadas diferenças que se acredita estarem relacionadas com a otimização das análises taxonômicas

adotada a partir da quinta campanha, suspeita que poderá ser melhor avaliada no decorrer das próximas campanhas.

Na PMPR\_PIL-SAP\_C10 a variação espacial das amostras em relação às características ambientais foi influenciada, principalmente pelas concentrações de MPS. Também se observou variação espacial em relação às amostras (PIL-SAP\_M1000 e PIL-SAP\_J1002) em que houve coleta de dados biológicos, juntamente com os ambientais. Nesse caso o padrão de separação também foi influenciado, pela concentração de MPS, separando as amostras PIL-SAP\_M1000\_SUP e PIL-SAP\_J1002\_ABTC), das demais. Não foram observadas correlações significativas dos indicadores ecológicos da comunidade fitoplanctônica, com as características ambientais.

Em relação ao zooplâncton, observou-se tendência de que os maiores valores de MPS e clorofila *a* ocorreram nas amostras em que foram observadas as maiores densidades zooplanctônica (PIL-SAP\_M1000, ambos os arrastos) e a menor diversidade e equitabilidade, com menor temperatura e salinidade, em PIL-SAP\_M1000\_OBL. Em relação à comunidade ictioplanctônica, a principal tendência observada foi em relação à menor concentração de clorofila *a* com menores valores dos índices ecológicos, principalmente em PIL-SAP\_J1002\_HOR\_500.

A partir dos resultados obtidos nesta 10ª campanha 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, foi possível concluir que, atualmente, a região no entorno do empreendimento não apresenta alterações ambientais no que tange às concentrações dos parâmetros físico-químicos. 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.

## VII - BIBLIOGRAFIA

AIDAR, E., GAETA, S.A., GIANESELLA-GALVÃO, D.M.F., KUTNER, M.B.B. & TEIXEIRA, C. 1993. Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba SP. **Publicação esp. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, 10: 9-13.

AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. 1983. Manuel dês analyseschimiques em milieu Marin. **1 ère Ed. Brest Cedex**, Centre Nationalpourl'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., NAMIKI, C.A.P., CASTRO, M.S. & CAMPOS, P.N. 2014. Catálogo dos estágios iniciais de desenvolvimento dos peixes da bacia de Campos [online]. Curitiba: **Sociedade Brasileira de Zoologia. Zoologia: guias e manuais de identificação series**, 295 p.

BOULOUBASSI, I. 1990. **Aspects de la biogéochimie des hydrocarbures non aromatiques et aromatiques dans la colonne d'eau et les sédiments du milieu côtier: cas du delta du Rhône**. Thèse de Doctorat, Université Paris 6, France, 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., MARKHASEVA, E.L., ROCHA, C.E.F. & ABIAHY, B. 1999. Copepoda. In: BOLTO.VSKOY, 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 Brasileira**, 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, 2005.

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. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 2, p. 235-264.

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.**

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

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.

DANTAS, E.W., ALMEIDA, V.L.DOS S., BARBOSA, J.E. DE L., BITTENCOURT-OLIVEIRA, M.C. & MOURA, A.N. 2009. Efeito das variáveis abióticas e do fitoplâncton sobre a comunidade zooplânctônica em um reservatório do Nordeste brasileiro. *Iheringia, Sér. Zool.*, Porto Alegre, 99(2):132-141.

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. *LimnolOceanogr*, 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.

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

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

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

ESTEVES, F.A. & SUZUKI, M.S. 2011. Comunidade Fitoplanctônica. In: ESTEVES, 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 oxygen 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.l.]: 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](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.

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 (H<sub>2</sub>S) 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. PC-ORD. 2011. **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.

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 chlorophyll 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?identificacao-key+bn03507032007>. ISSN 1676-0603.

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

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. 2022. **Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS**. Volume 5 - Caracterização Química e Biológica do Sistema Pelágico da Bacia de Santos (Dezembro/2022).

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. 2021. **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.** 8ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022a. **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. 2022b. **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.** 13ª campanha (fase de operação).

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. 2022d. **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 Lula NE.** 8ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022e. **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. 7ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2022f. **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. 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/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. 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. 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 Lula NE. 1ª 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 Lula NE. 2ª 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. 1ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2015e. **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. 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. 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 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 1ª 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. 2017b. **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. 3ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2017c. **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. 2ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018a. **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. 2018b. **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. 2018c. **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 Lula NE. 3ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018d. **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 Lula NE. 4ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018e. **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. 4ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018f. **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. 3ª Campanha (fase de operação).**

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019a. **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/BOURSCHEID. 2019b. **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 Lula NE.** 5ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019c. **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 Lula NE.** 6ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019d. **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.** 5ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019e. **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.** 4ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019f. **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.** 5ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019g. **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.** 6ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020a. **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.** 11ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020b. **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 Lula NE.** 7ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020c. **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.** 7ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2020d. **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.** 6ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/HABTEC. 2003. **Relatório Final de Caracterização dos Blocos BMS-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.**

PETROBRAS/ICF. 2013. **Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental. Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré Sal da Bacia de Santos – Etapa 1.**

PETROBRAS/OCEANPACT. 2023. **Relatório Técnico de Bordo - 10ª Campanha de Monitoramento Ambiental de Plataformas Representativas da Bacia de Santos (PMPR-BS) – PMPR\_PIL-SAP\_C10 (FPSO-CSP).**

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. Photosynthetic bacteria associated with the deep chlorophyll maximum of the Sargasso sea. **C. R. Acad. Sci.** 308(III): 9–14.

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.

RAYMONT, J.E.G. 1983. **Plankton and Productivity in the Oceans**. (2ª edição) vol. 1, Pergamon Press, Oxford, 489 p.

RÉ, P. 1986. Ecologia da postura e da fase planctônica 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 planctônica de *Sardina pilchardus***

(Walbaum, 1792) e de *Engraulis encrasicolus* (Linné, 1758). Universidade de Lisboa.

REBELLO, A.L., PONCIANO, C.R., MELGES, L.H. 1988. **Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara**. 1988, [S.l:s.n.], 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 Impacts**. 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.

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

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.

SOURNIA, A., CHRÉTIENNOT-DINET, M.J. & RICARD, M. 1991. Marine phytoplankton: how many species in the world ocean? **Journal of Plankton Research** 13: 1093-99.

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.

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.

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](http://www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2010.

\_\_\_\_\_ Method 350.1. Determination of Ammonia Nitrogen by Semi-Automated Colorimetry.

\_\_\_\_\_ Method 3510C. Separatory funnel liquid-liquid extraction.

\_\_\_\_\_ Method 3535A. Solid-Phase Extraction (SPE).

\_\_\_\_\_ Method 365.2. Phosphorous, All Forms (Colorimetric, Ascorbic Acid, Single Reagent).

\_\_\_\_\_ 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 Theorestiche 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. 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., MORAL, M. & VALENCIA., V. 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.

**VIII - EQUIPE TÉCNICA**

<b>Profissional</b>	Marla Sonaira Lima
<b>Empresa</b>	-
<b>Formação Profissional</b>	Bióloga
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio 58878-03
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	337746
<b>Responsável pelas Seções</b>	Introdução, Objetivos, Área de estudo, Caracterização da atividade, Atividades de Campo, Atividades de Laboratório, Tratamento dos dados, Análises Estatísticas, Resultados e Discussão Qualidade da Água, Plâncton, Análise Integrada, Considerações Finais
<b>Assinatura</b>	p/

<b>Profissional</b>	Dr. Mário Sérgio Ximenez
<b>Empresa</b>	Bioconsult Ambiental
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio nº: 12655/02
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental – IBAMA</b>	204221
<b>Responsável pela (s) seção (ões)</b>	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Dr <sup>a</sup> . Cristina Falcão
<b>Empresa</b>	Bioconsult Ambiental
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio nº: 12654/02
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA</b>	24023
<b>Responsável pela (s) seção (ões)</b>	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Dr <sup>a</sup> . Amanda Guilherme da Silva
<b>Empresa</b>	Bioconsult Ambiental
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio nº: 96676/02
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA</b>	4926481
<b>Responsável pela (s) seção (ões)</b>	Preposto, Estruturação do Relatório de Resultados, Confecção dos Mapas
<b>Assinatura</b>	

<b>Profissional</b>	Bióloga Leticia Carvalho
<b>Empresa</b>	Bioconsult Ambiental
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	CRBio nº: 126238/02
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental - IBAMA</b>	7834000
<b>Responsável pela (s) seção (ões)</b>	Anexos, Formatação e Verificação do relatório
<b>Assinatura</b>	p/

## **IX - ANEXOS**

## **Anexo IX-1 – Carta de Aceite do Material Biológico**

## **Anexo IX-2 – Laudos analíticos das amostras físico-químicas**

### **Anexo IX-3 – Laudos analíticos das amostras biológicas**

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



## **Anexo IX-5 – Ressalva Zooplâncton**