

**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**

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

Volume Único

RTAA_PIL-LL-NE_C10_BCA_11032024-06

**Revisão 00
Novembro/2024**



E&P

INDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO	17/285
II - OBJETIVO	19/285
II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19/285
III - ÁREA DE ESTUDO	20/285
III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPO DE TUPI.....	20/285
III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE	21/285
IV - MATERIAL E MÉTODOS	29/285
IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO	29/285
IV.1.1 -Qualidade da Água.....	32/285
IV.1.2 -Fitoplâncton.....	36/285
IV.1.3 -Zooplâncton e Ictioplâncton.....	37/285
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	41/285
IV.2.1 -Qualidade da Água.....	41/285
IV.2.2 -Fitoplâncton.....	43/285
IV.2.3 -Zooplâncton.....	44/285
IV.2.4 -Ictioplâncton	45/285
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS	46/285
IV.3.1 -Qualidade da Água.....	46/285
IV.3.2 -Plâncton	55/285
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	61/285
IV.4.1 -Qualidade da Água.....	61/285
IV.4.2 -Biota Aquática	62/285
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA	63/285

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65/285
V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA	65/285
V.1.1 - Temperatura e Salinidade	65/285
V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD).....	79/285
V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico (pH).....	88/285
V.1.4 - Clorofila-a	95/285
V.1.5 - Nutrientes.....	102/285
V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)	120/285
V.1.7 - Sulfetos	132/285
V.1.8 - Fenóis	135/285
V.1.9 - Hidrocarbonetos.....	137/285
V.1.9.1 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's).....	138/285
V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)	140/285
V.1.10 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX).....	141/285
V.2 - PLÂNCTON	142/285
V.2.1 - Fitoplâncton.....	143/285
V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem	145/285
V.2.1.2 - Análise Qualitativa	148/285
V.2.1.3 - Análise Quantitativa.....	151/285
V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton.....	161/285
V.2.1.5 - Análise de Cluster.....	168/285
V.2.2 - Zooplâncton	170/285
V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem	172/285
V.2.2.2 - Análise Qualitativa	175/285
V.2.2.3 - Análise Quantitativa	179/285
V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton.....	189/285
V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS.....	192/285

V.2.3 - Ictioplâncton	195/285
V.2.3.1 - Avaliação da Amostragem	196/285
V.2.3.2 - Análise Qualitativa	199/285
V.2.3.3 - Análise Quantitativa	201/285
V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton	211/285
V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS	214/285
VI - ANÁLISE INTEGRADA.....	216/285
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO.....	216/285
VI.1.1 -Variáveis Ambientais.....	216/285
VI.1.2 -Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico	218/285
VI.1.3 -Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico- químico.....	226/285
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	246/285
VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	250/285
IX - EQUIPE TÉCNICA	276/285
X - ANEXOS.....	279/285

TABELAS E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do PMPR_E1_PIL-LL-NE, com suas respectivas fases e períodos.....	18/285
Tabela III-1 - Concentrações dos parâmetros monitorados na água de produção do FPSO-CPY, no tanque flutuador para o 1º semestre de 2023	27/285
Tabela III-2 – Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário da ETE do FPSO-CPY para o 1º trimestre de 2023.	28/285
Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton para PIL-LL-NE_C10.....	32/285
Tabela IV-2 – Profundidades medidas nas camadas amostrais das estações de coleta de água e fitoplâncton na PMPR_PIL-LL-NE_C10...	34/285
Tabela IV-3 - Volume de água do mar filtrado durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMPR_PIL-LL-NE_C10.....	37/285
Quadro IV-1 - Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água coletadas durante a PIL-LL-NE_C10.....	40/285
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.	41/285
Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro ensaiado para a determinação da qualidade da água.	47/285
Quadro IV-2 - Estudos anteriores realizados na região e utilizados para comparação com os resultados obtidos na atual campanha.....	51/285
Tabela IV-6 – Faixas de salinidade e de temperatura que definem as massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).....	55/285
Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota planctônica.	60/285

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-1 – Temperatura (°C) medida nas quatro camadas amostrais monitoradas na PMPR_PIL-LL-NE_C10	66/285
Tabela V-2 –Salinidade medida nas quatro profundidades amostrais da PMPR_PIL-LL-NE_C10.....	70/285
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água nos estudos anteriores.	73/285
Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água nos diferentes níveis de profundidade das estações amostradas no PMPR_E1_PIL-LL-NE.....	79/285
Tabela V-4 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) na PMPR_PIL-LL-NE_C10	81/285
Tabela V-5 - Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) medidos na água nos estudos anteriores na Bacia de Santos. ...	85/285
Tabela V-6: Valores de pH medidos nas estações de coleta da PMPR_PIL-LL-NE_C10	90/285
Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água nos estudos anteriores.	92/285
Tabela V-8 – Concentração de clorofila-a (µg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	97/285
Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.....	100/285
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 nos estudos anteriores (nd = não detectado e nq = não quantificado).....	110/285
Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) observadas nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	Erro! Indicador não definido./285
Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	121/285

Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	123/285
--	---------

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-14 – Concentração de COT (mg/L C) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	127/285
Tabela V-15 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água nos estudos anteriores na região de interesse. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	129/285
Tabela V-16 - Valores de sulfetos (mg/L S) encontrados na água nos estudos anteriores. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	133/285
Tabela V-17 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônicas encontrados na PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.....	151/285
Tabela V-18 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o fitoplâncton nos estudos anteriores.....	152/285
Tabela V-19- Valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.	179/285
Tabela V-20 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o zooplâncton obtidos em campanhas de monitoramento realizadas nos estudos anteriores na região de interesse.....	181/285
Tabela V-21 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/100m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade ictioplanctônica da atual campanha de monitoramento. ...	202/285
Tabela V-22 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos encontrados para o ictioplâncton nos estudos anteriores realizados na região de interesse.....	203/285
Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica (densidade,	219/285

riqueza, diversidade e equitatividade) e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.....	
Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos e variáveis ambientais das comunidades zooplanctônicas e ictioplanctônicas do PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.	227/285

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura III-1 - Localização do FPSO-CPY (Piloto de Tupi NE) – Bacia de Santos.	29/285
Figura III-2 - Poços interferentes, poços interligados e estruturas de fundo no entorno do FPSO CPY durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.....	23/285
Figura III-3 - Volume de Água produzida descartada pelo FPSO CPY (flotador).	24/285
Figura III-4 - Volume de efluente sanitário descartado pelo FPSO CPY.	25/285
Figura III-5 - Volume de mistura de efluente oleoso e de água produzida armazenado no tanque slop COM e descartado pelo FPSO CPY.	26/285
Figura IV-1 - Embarcação RV Ocean Stalwart utilizada durante a campanha.....	29/285
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.	30/285
Figura IV-3 – Malha amostral para coleta de água e plâncton da PMPR_PIL-LL-NE_C10 (Datum Sirgas 2000).	31/285
Figura IV-4 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água dos modelos Niskin e Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.	33/285
Figura IV-5 – Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.	35/285
Figura IV-6 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 µm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.....	38/285
Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 µm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.	39/285
Figura IV-8 – Localização do Desenvolvimento da Produção de Tupi Central (FPSO Cidade de Saquarema), Piloto de Tupi (FPSO Cidade de Angra dos Reis), Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul (FPSO Cidade de Mangaratiba), Desenvolvimento da Produção de Tupi Iracema Norte (FPSO Cidade de Itaguaí), Piloto de Tupi NE (FPSO CPY) e Piloto de Sapinhoá (FPSO Cidade de São Paulo).	54/285

FIGURA	PÁG.
Figura V-1 – Variação vertical de temperatura (°C) na PMPR_PIL-LL-NE_C10.	67/285
Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD na atual campanha de monitoramento.	68/285
Figura V-3 – Variação vertical de salinidade da PMPR_PIL-LL-NE_C10	71/285
Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na PMPR_PIL-LL-NE_C10.	72/285
Figura V-5 – Diagrama T-S na atual campanha de monitoramento. Em vermelho limites estabelecidos por Castro et al. (2006) e em preto limites estabelecidos por Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	76/285
Figura V-6 – Análise da distribuição vertical das massas d'água na atual campanha de monitoramento.	77/285
Figura V-7 – Variação vertical de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas estações da atual campanha de monitoramento.	82/285
Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento. .	84/285
Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	87/285
Figura V-10 – Variação vertical de pH obtidos nas estações de coleta da PMPR_PIL-LL-NE_C10.	91/285
Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas de PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	94/285
Figura V-12 – Perfis das concentrações de clorofila-a obtidos na atual campanha de monitoramento.	98/285
Figura V-13 - Concentração de clorofila na superfície do mar obtidos por satélites entre os dias 02 e 09 de março de 2023. O círculo em branco indica a localização do FPSO CPY.	99/285
Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	102/285

FIGURA	PÁG.
Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das capanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina. Não foram obtidos resultados válidos para a campanha C3	105/285
Figura V-16 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	108/285
Figura V-17 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas no PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	113/285
Figura V-18 – Perfis das concentrações de silicato obtidos nas estações amostrais da atual campanha de monitoramento.....	116/285
Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	118/285
Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	119/285
Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS obtidos nas estações amostrais da atual campanha de monitoramento.....	122/285
Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	125/285
Figura V-23 – Variação vertical das concentrações de COT (mg/L C) obtidos nas estações amostrais da atual campanha de monitoramento.	128/285
Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	131/285
Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	135/285

FIGURA	PÁG.
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.	143/285
Figura V-27 – Número cumulativo de taxa de fitoplâncton ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.	146/285
Figura V-28 – Riqueza (n de taxa) fitoplanctônica ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.	148/285
Figura V-29 – Box plots representativos dos valores de riqueza (n° de taxa) fitoplanctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.	154/285
Figura V-30 – Box plots representativos dos valores de densidade fitoplanctônicas (ind/L) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.	156/285
Figura V-31 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10. A barra verde representa a densidade média do grupo \pm desvio-padrão.	157/285
Figura V-32 - Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.	159/285
Figura V-33 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.	160/285
Figura V-34 – Riqueza fitoplanctônica (n de taxa) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).	161/285
Figura V-35 – Riqueza fitoplanctônica (N° de taxa) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).	162/285
Figura V-36 – Riqueza fitoplanctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água. B) Número de taxa por filo fitoplanctônico. A linha cinza representa a média de todas as amostras e filis.	163/285

FIGURA	PÁG.
Figura V-37 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a densidade média das profundidades \pm desvio-padrão.	164/285
Figura V-38 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a densidade média \pm desvio-padrão.....	165/285
Figura V-39 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade dos filamentos fitoplanctônicos; linha cinza representa a média de todas as amostras.	166/285
Figura V-40 – Diversidade e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.....	167/285
Figura V-41 – Dendograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.....	169/285
Figura V-42 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.....	170/285

ANEXOS

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

I - INTRODUÇÃO

A atividade de instalação do Piloto de Tupi Nordeste teve seu início em dezembro de 2012 com o lançamento do gasoduto e atividades offshore. Após a instalação do duto e a chegada da FPSO Cidade de Paraty (FPSO CPY) ao local, seguiu-se o início da operação. A licença de operação (LO nº 1157/2013) foi concedida pelo IBAMA em 06 de junho de 2013, e a unidade iniciou sua operação no mesmo mês, 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, que subsidiou o licenciamento ambiental dos empreendimentos do Etapa 1 do Pré Sal, incluindo o Piloto de Tupi NE (PIL-LL-NE) (processo IBAMA/MMA nº 02022.002287/2009), e cuja a revisão data de 03 de setembro de 2013, 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 Tupi NE (PMPR_E1_PIL-LL-NE), o qual é realizado em atendimento às condicionantes da LO.

A primeira campanha do projeto, referente à fase de operação, foi realizada em fevereiro de 2014 (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b). Na ocasião, o empreendimento já operava, descartando efluentes sanitário e oleoso, mas ainda sem geração e descarte de água produzida, o que passou a ocorrer a partir de setembro de 2016, podendo ter sinais detectados a partir da 4ª campanha de monitoramento (novembro de 2016). 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 PMPR_E1_PIL-LL-NE, com suas respectivas fases e períodos.

Campanha	Data	Fase
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C1	Fevereiro de 2014	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C2	Fevereiro de 2015	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C3	Dezembro de 2015	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C4	Novembro de 2016	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C5	Dezembro de 2017	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C6	Novembro de 2018	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C7	Janeiro de 2020	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C8	Janeiro e Fevereiro de 2021	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C9	Novembro de 2021	Operação
PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_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 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 Tupi NE (PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C10) chamada de PMPR_PIL-LL-NE_C10 daqui em diante. A campanha foi realizada no período de 03 a 10 de março de 2023, a bordo do navio *RV Ocean Stalwart*, e envolveu a coleta de amostras e a 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 Tupi NE, o FPSO CPY.

II - OBJETIVO

O objetivo principal do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE (PMPR_E1_PIL-LL-NE) 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 os dados de campanhas anteriores e com a bibliografia disponível, quando pertinente.

III - ÁREA DE ESTUDO

III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPO DE TUPI

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km², entre os paralelos 23° e 28° 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).

O FPSO-CPY (Figura III-1) está localizado no bloco BM-S-11, que integra o Polo Pré Sal, distante, aproximadamente, 300 km da costa do estado de São Paulo e 285 km da costa do Rio de Janeiro em uma região com lâmina d'água de aproximadamente 2.143 metros de profundidade.

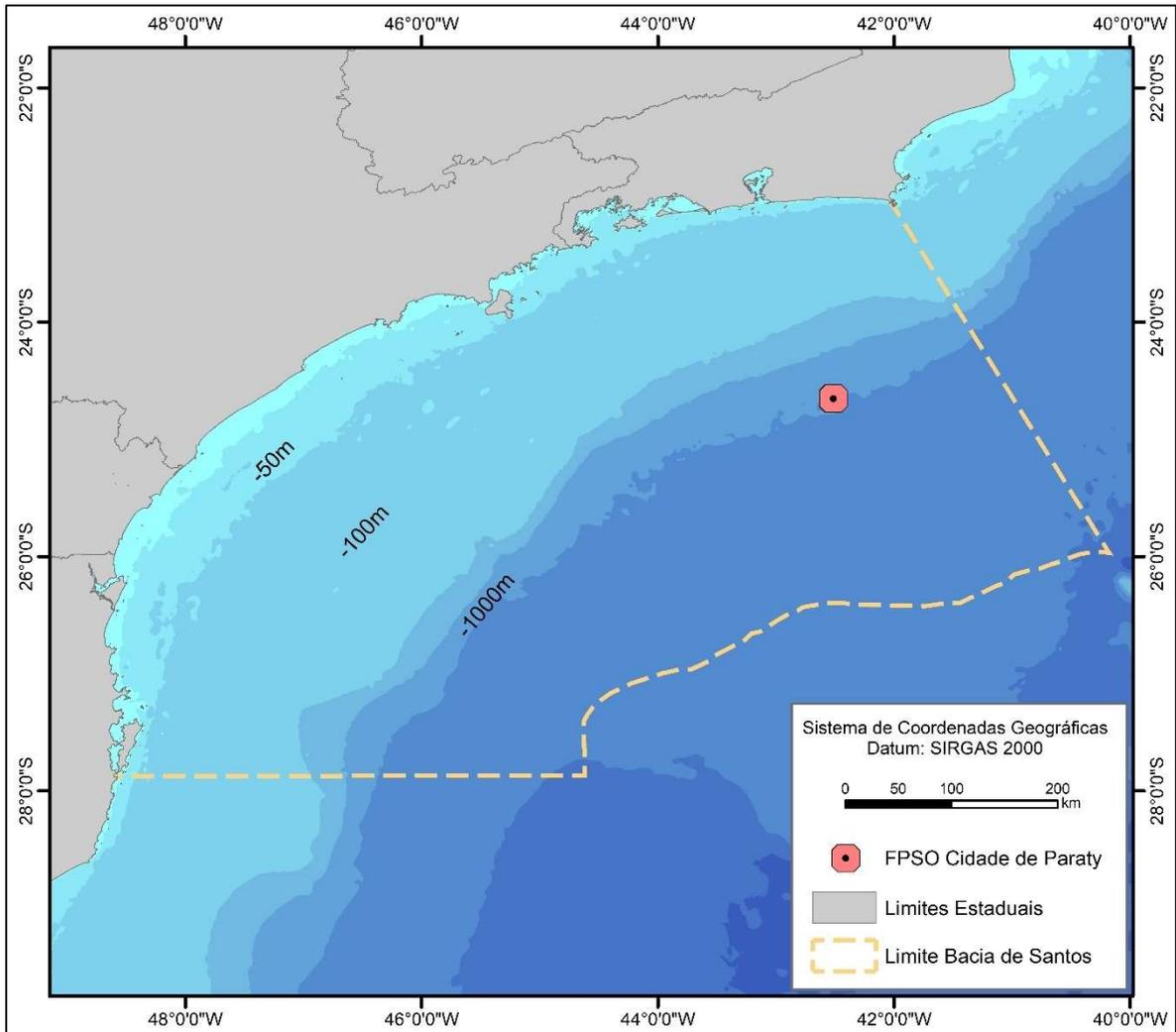


Figura III-1 - Localização do FPSO-CPY (Piloto de Tupi NE) – Bacia de Santos.

III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

À época da execução da PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C10, a exploração de petróleo do empreendimento se dava através da unidade de produção FPSO-CPY interligada a treze poços, sendo sete produtores (7-LL-11-RJS, 7-LL-17D-RJS (fechado), 7-LL-22D-RJS, 7-LL-28D-RJS, 7-LL-15D-RJS, 3-RJS-674 (fechado) e 7-LL-119D-RJS) e seis injetores de gás ou água (8-LL-1D-RJS, 8-LL-14D-RJS, 8-LL-49D-RJS, 8-LL-18-RJS, 8-LL-26D-RJS e 3-RJS-662 (fechado)). Na época, havia ainda outros dezoito poços no entorno do FPSO, mas não interligados ao mesmo ou ainda referentes ao Desenvolvimento de Produção e Escoamento de Tupi Alto, a cerca de 4 km ao sul do FPSO. Na Figura III-2, são apresentadas as instalações

e poços presentes na área na ocasião. O escoamento do gás produzido é realizado por meio de um gasoduto com aproximadamente 20 km de extensão interligando o FPSO a uma estrutura de válvulas submarinas instaladas atualmente na base do FPSO Cidade Angra dos Reis (Piloto de Tupi). Nessa estrutura existe um entroncamento com o gasoduto Tupi-Mexilhão (atual Tupi-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.

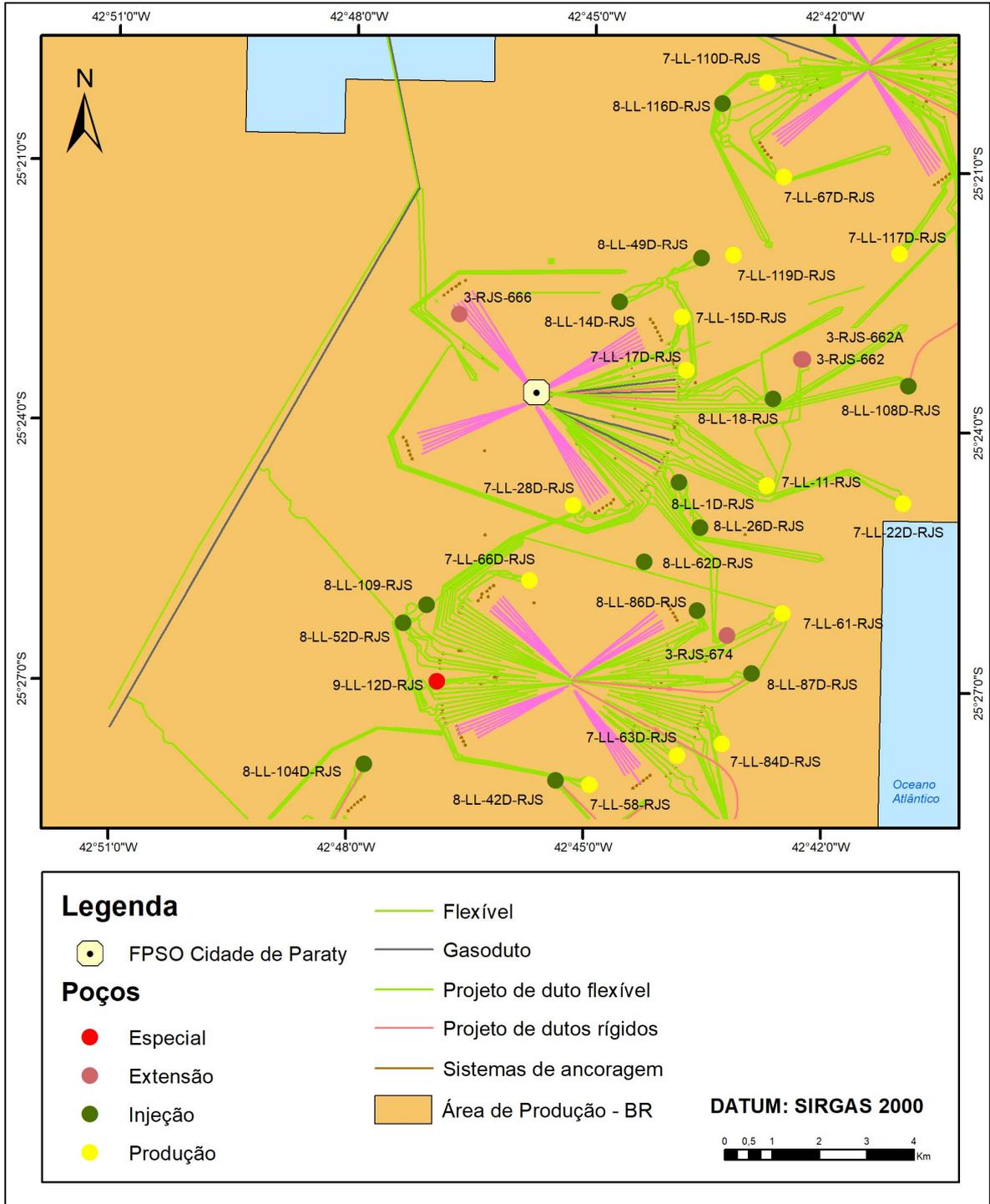


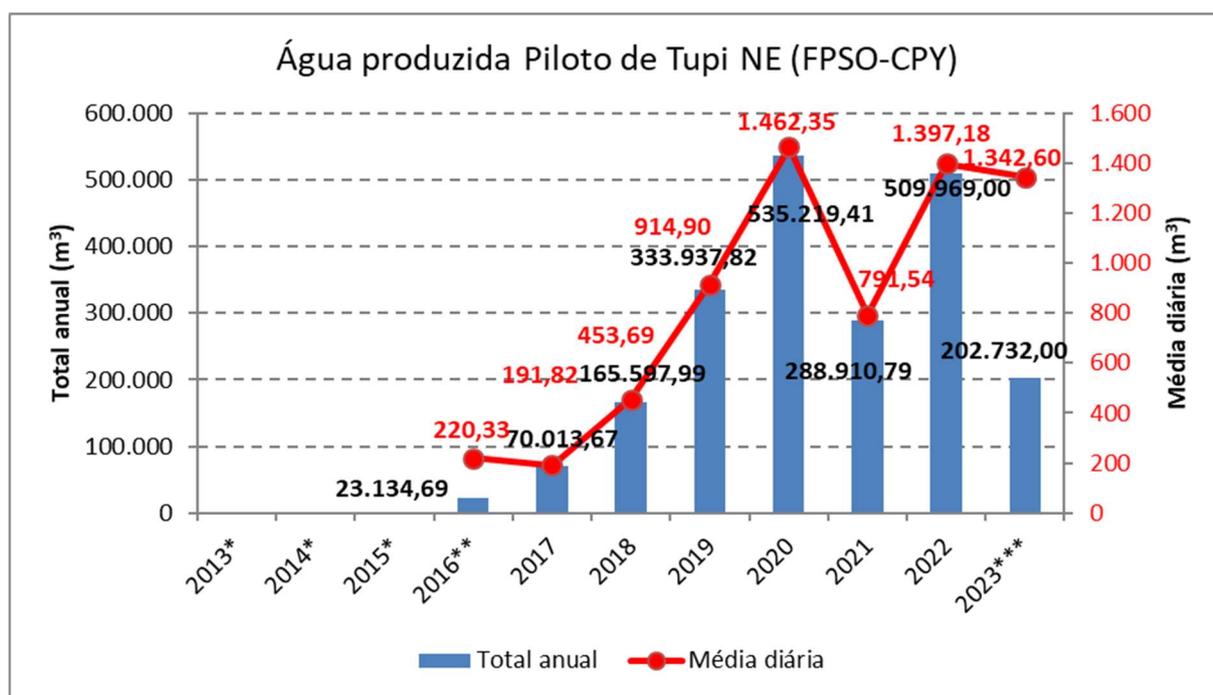
Figura III-2 - Poços interferentes, poços interligados e estruturas de fundo no entorno do FPSO CPY durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.

Em atendimento à resolução CONAMA nº 393/2007 e à Nota Técnica - 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 3ª campanha de monitoramento, ainda não havia sido iniciada a geração e o descarte de água produzida pelo FPSO Cidade de Paraty, o que ocorreu somente em setembro de 2016, tendo a 4ª campanha de monitoramento ocorrido já durante a geração e descarte deste efluente. A unidade já descartava efluentes sanitário e oleoso desde a 1ª campanha de monitoramento.

Os volumes dos efluentes descartados pelo FPSO CPY desde o início da sua operação, em junho de 2013, são apresentados a seguir na Figura III-3 (água produzida), Figura III-4 (efluente sanitário) e Figura III-5 (efluente oleoso).



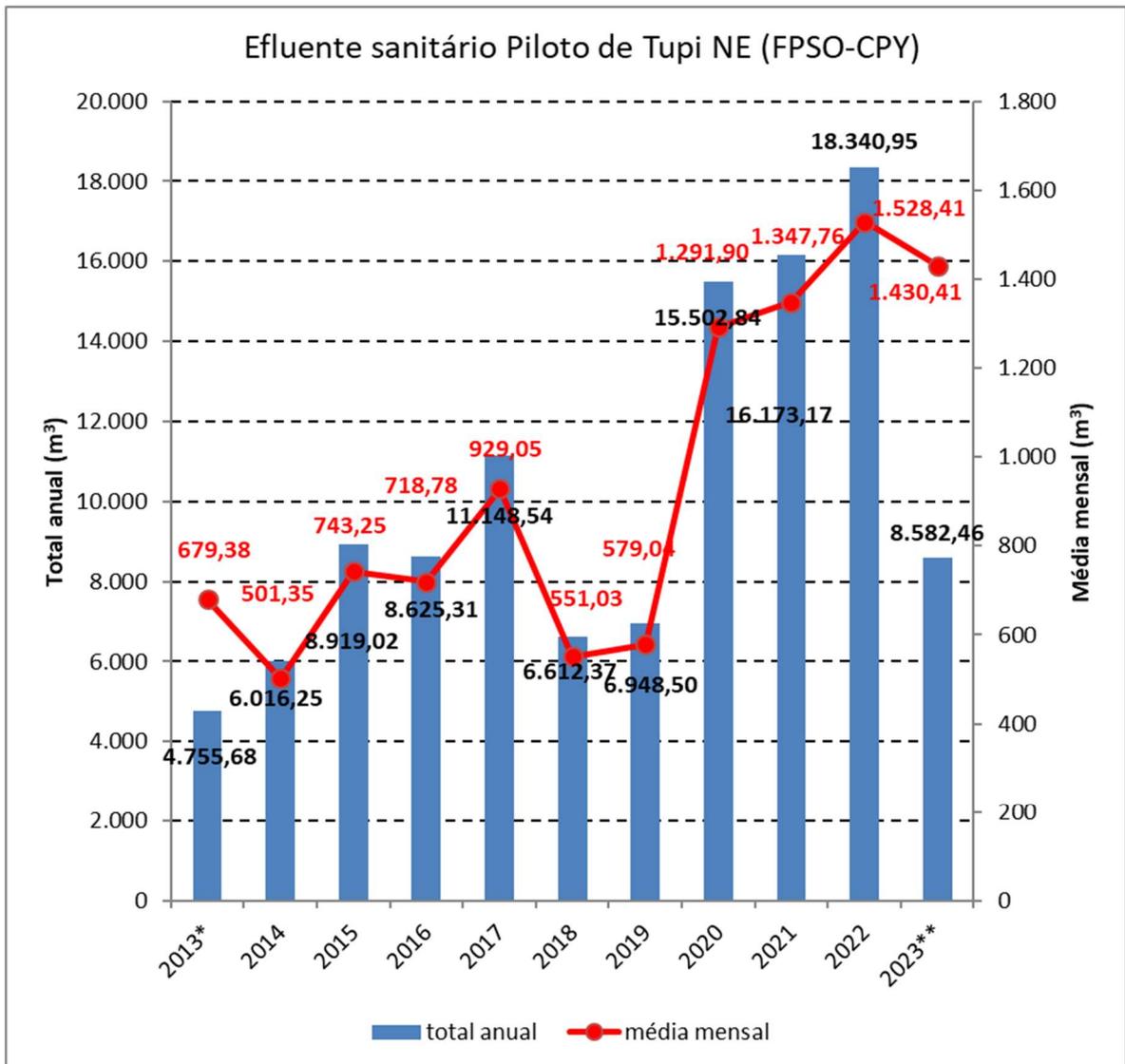
* Não houve geração de água de produção.

** Em 2016, a média diária foi calculada com base na data de início da geração e descarte do efluente (18/10/2016).

***Média diária calculada com base no período de janeiro a maio/2023.

Figura III-3 - Volume de Água produzida descartada pelo FPSO CPY (flotador).

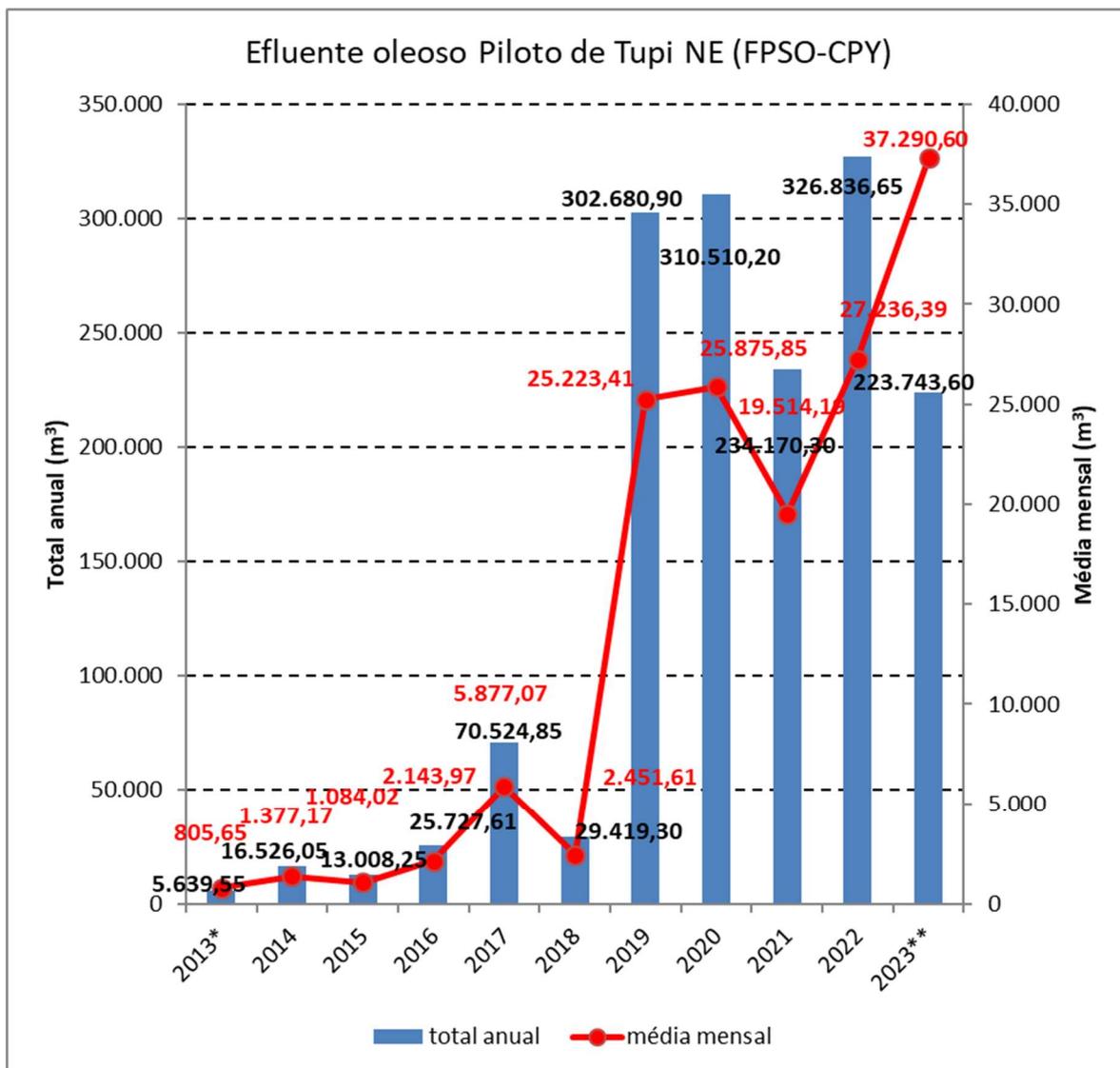
A média diária do volume de descarte de água produzida durante os dias de coleta de água da presente campanha (média dos volumes do período de 06 a 08 de março de 2023) foi de 2.293,00 m³/dia.



* Do início da produção em junho de 2013 até dezembro de 2013.

** Com base no período de janeiro a junho/2023.

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



* Do início da produção em junho de 2013 até dezembro de 2013.

** Com base no período de janeiro a junho/2023.

Figura III-5 - Volume de efluente oleoso armazenado no tanque slop COM e descartado pelo FPSO CPY.

Os resultados das análises físico-químicas e ecotoxicológicas da água produzida 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-CPY, no tanque flutuador para o 1º semestre de 2023.

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Inorgânicos	Arsênio	0,002	mg/L
Inorgânicos	Bário	1,991	mg/L
Inorgânicos	Cádmio	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cromo	<0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cobre	<0,005	mg/L
Inorgânicos	Ferro	0,4900	mg/L
Inorgânicos	Manganês	0,054	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
Inorgânicos	Mercúrio	<0,00003	mg/L
Radioisótopos	Rádio -226	1,170	Bq/L
Radioisótopos	Rádio -228	<0,32	Bq/L
Orgânicos - HPA	Naftaleno	1,079	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenafteno	0,0050	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenaftileno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Antraceno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Fenantreno	0,050	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoreno	0,024	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoranteno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Pireno	<0,005	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(a)antraceno	<0,005	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	<0,005	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(ghi)perileno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Dibenzo(a,h)anthraceno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Indeno(1,2,3-cd)pireno	<0,0015	µg/L
Orgânicos - BTEX	BTEX		
Orgânicos - BTEX	Benzeno	908,996	µg/L
Orgânicos - BTEX	Tolueno	1029,583	µg/L
Orgânicos - BTEX	Etilbenzeno	24,641	µg/L
Orgânicos - BTEX	o-Xilenos	54,938	µg/L
Orgânicos - BTEX	m,p-Xilenos	112,339	µg/L
Orgânico - Fenóis	Fenóis	0,610	µg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	<5,0	mg/L
Complementares	Carbono Orgânico Total - COT	348,3	mg/L

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Complementares	pH	7,47	-
Complementares	Salinidade	53,640	%
Complementares	Temperatura	23,5	°C
Complementares	Nitrogênio Amoniacal Total	83	mg/L
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CENO	6,25	%
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CEO	12,50	%
Orgânico 06/03/2023	Óleos e Graxas	<5	mg/L
Orgânico 07/03/2023	Óleos e Graxas	5	mg/L
Orgânico 08/03/2023	Óleos e Graxas	10	mg/L

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

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

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE	DBO Entrada	110	mg O2/L
ETE	DQO Entrada	280,30	mg O2/L
ETE	DBO Saída	98,20	mg O2/L
ETE	DQO Saída	173,70	mg O2/L
ETE	TOG Total	7,00	mg/L
ETE	pH	5,00	-
ETE	Cloro Residual	<0,10	mg/L
ETE	Coliformes Totais	4.611.000,00	NMP/100mL
ETE	Clorobenzenos	<0,005	mg/L
ETE	Dicloroetano	<0,013	mg/L
ETE	Tricloroetano	<0.004	mg/L
ETE	Clorofórmio	<0.005	mg/L
ETE	Tetracloroeto de Carbono	<0,0016	mg/L
ETE	PCBs	<0,070	µg/L

Os resultados aqui apresentados serão posteriormente considerados na análise dos resultados da campanha, no Item V - Resultados e Discussão.

IV - MATERIAL E MÉTODOS

IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO

A PMPR_PIL-LL-NE_C10, foi realizada no período de 03 a 10 de março de 2023, a bordo do navio *RV Ocean Stalwart* (Figura IV-1).



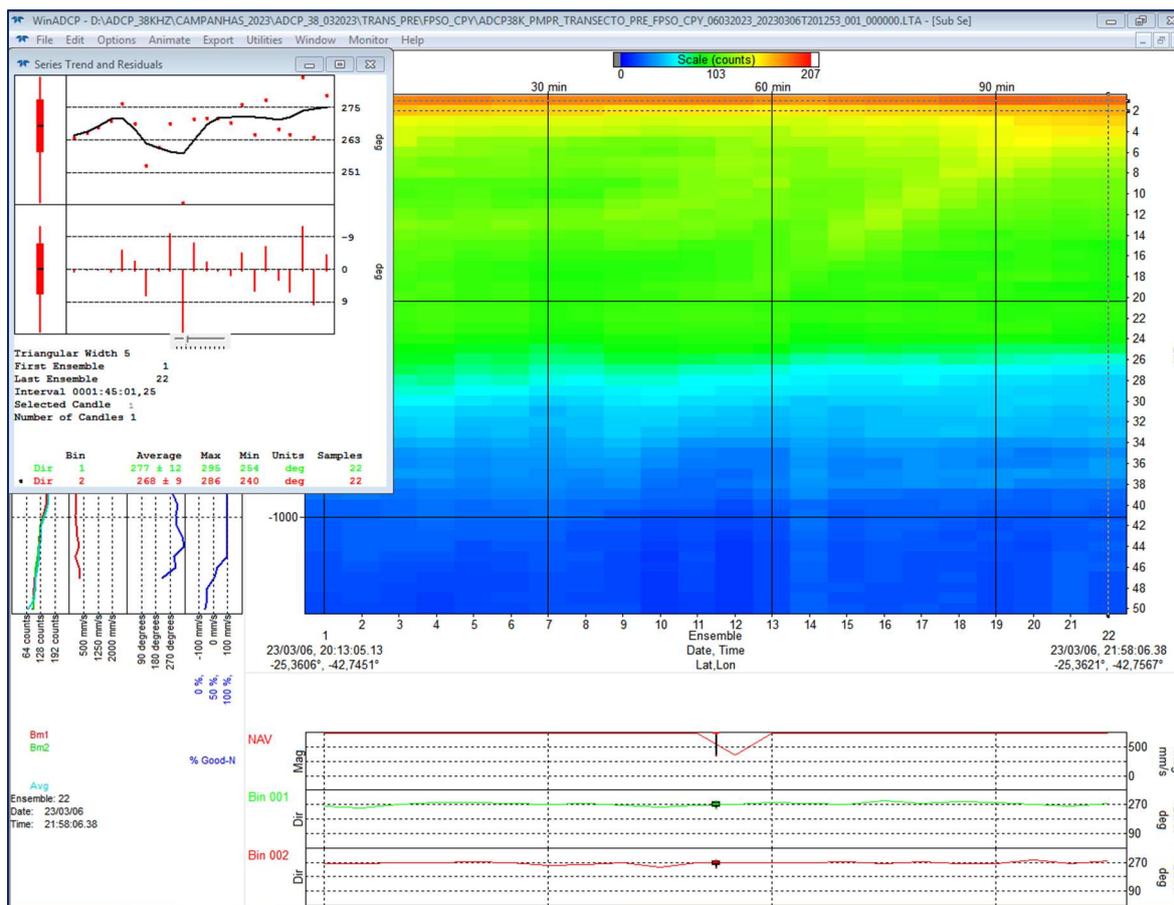
Fonte: Petrobras/Oceanpact, 2023.

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

O início da navegação para a área ocorreu no dia 05/03/2023 às 17:10. O início das amostragens ocorreu no dia 06/03/2023 às 14h01min, com a realização do teste de deriva. As operações de coleta ocorreram em regime de trabalho de 24 horas, e envolveu a coleta de amostras de água e plâncton. No dia 07/03/2023, das 2h00min às 12h00min, a embarcação ficou em *stand by* devido às condições meteorológicas.

As amostragens foram finalizadas às 22h00min do dia 08/03/2023, com o transecto ADCP pós-amostragem. O desembarque das amostras coletadas durante a campanha ocorreu entre as 00h36min e 05h00min do dia 10/03/2024, no Estaleiro Mauá, Niterói/RJ, com o envio das remessas de amostras aos laboratórios de análise.

Para definir a posição da malha de amostragem de água do mar e plâncton, inicialmente, foi realizada uma medição de correntes 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 da jusante (Figura IV-2), sendo montante e jusante definidos anteriormente através de um teste de deriva.



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.

Após a determinação da direção e intensidade da corrente na área, as coletas de água foram realizadas em nove estações, tendo o eixo da malha amostral sido alinhado ao eixo do sentido preferencial da corrente em superfície no momento inicial da amostragem. Os dados mostraram que a corrente apresentava direção de 277°, 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° em relação à estação 1.000 m a montante, e três estações 1.000 m a jusante, também dispostas com ângulos de 15° entre si.

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 na Tabela IV-1. Destaca-se que as estações com a terminação “_R” foram realocadas anteriormente e as posições realocadas foram mantidas na presente campanha.

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 direção de 209°.

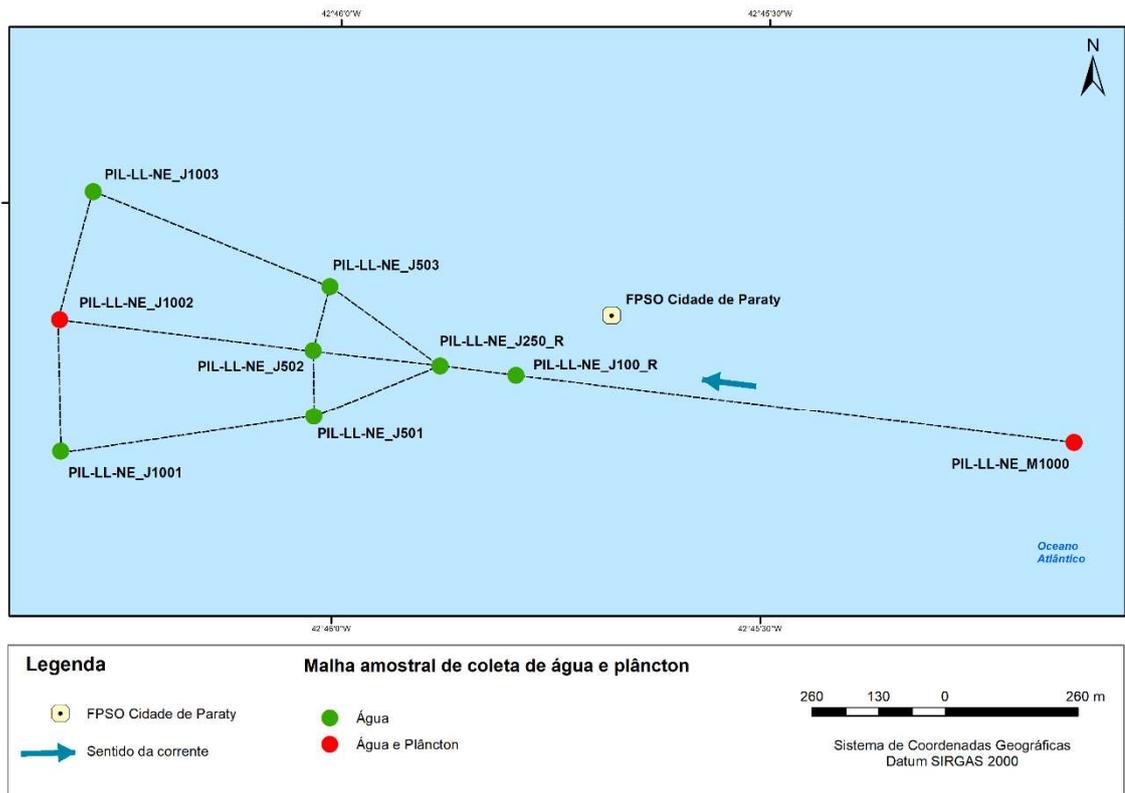


Figura IV-3 – Malha amostral para coleta de água e plâncton da PMPR_PIL-LL-NE_C10 (Datum Sirgas 2000).

Tabela IV-1 - Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Z.23S, MC 45°W) das estações de amostragem de água e plâncton para PIL-LL-NE_C10.

Estações	N (UTM)	E (UTM)	Compartimento
PIL-LL-NE_M1000	7189340,59	726120,60	Água e Plâncton
PIL-LL-NE_J100_R	7189474,64	725028,80	Água
PIL-LL-NE_J250_R	7189492,92	724879,92	Água
PIL-LL-NE_J501	7189392,87	724632,92	Água
PIL-LL-NE_J502	7189523,39	724631,78	Água
PIL-LL-NE_J503	7189649,76	724664,46	Água
PIL-LL-NE_J1001	7189323,28	724137,78	Água
PIL-LL-NE_J1002	7189584,32	724135,51	Água e Plâncton
PIL-LL-NE_J1003	7189837,06	724200,87	Água
FPSO Cidade de Paraty	7189593,08	725215,25	-

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento das amostras de água e plâncton empregados durante a 10ª campanha do PMPR_E1_PIL-LL-NE 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) – 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 da termoclina acrescida do valor da meia profundidade entre superfície e o início da termoclina sazonal.

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 para 12 garrafas de coleta, um CTD modelo SBE 19plus V2 e

garrafas oceanográficas de 10 litros do tipo Niskin e do tipo Go-flo (Figura IV-4). Um disco de Secchi (Figura IV-5) também foi acoplado a Rosette para determinação da transparência da coluna d'água nas estações cujas coletas das amostras de água foram realizadas durante o período do dia. As amostras de água para ensaio de parâmetros físico-químicos e a medição dos dados pelo CTD foram coletados, processadas e validadas entre 15h34min e 23h59 min do dia 06/03/2023, entre 00h00min e 18h28min, e entre 20h19min e 21h36min do dia 07/03/2023, entre 00h20min e 15h56min, e entre 19h42min e 21:52 do dia 08/03/2023.

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.



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 medidas nas camadas amostrais das estações de coleta de água e fitoplâncton na PMPR_PIL-LL-NE_C10

Estações	Níveis	Profundidade (m)
PIL-LL-NE_M1000	SUP	5,00
	ACTC	20,00
	TC	40,00
	ABTC	60,00
PIL-LL-NE_J100_R	SUP	5,00
	ACTC	23,00
	TC	45,00
	ABTC	68,00
PIL-LL-NE_J250_R	SUP	5,00
	ACTC	25,00
	TC	50,00
	ABTC	75,00
PIL-LL-NE_J501	SUP	5,00
	ACTC	23,00
	TC	46,00
	ABTC	69,00
PIL-LL_NE_J502	SUP	5,00
	ACTC	22,00
	TC	43,00
	ABTC	65,00
PIL-LL-NE_J503	SUP	5,00
	ACTC	21,00
	TC	42,00
	ABTC	63,00
PIL-LL-NE_J1001	SUP	5,00
	ACTC	25,00
	TC	49,00
	ABTC	74,00
PIL-LL-NE_J1002	SUP	5,00
	ACTC	22,00
	TC	44,00
	ABTC	66,00
PIL-LL-NE_J1003	SUP	5,00
	ACTC	23,00
	TC	47,00
	ABTC	70,00

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



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

Figura IV-5 – Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.

Foi realizada coleta de um branco de frascaria para o compartimento água, para seis parâmetros distintos. Os frascos coletados para ensaio de brancos de frascaria consistem em uma garrafa de vidro âmbar de 1 L (HTP, n-alcanos e HPA), uma garrafa de vidro âmbar de 1 L (fenóis), um frasco de vidro âmbar de 250 mL (COT), um frasco plástico de 100 mL (sulfetos), um frasco plástico de 500 mL (nutrientes) e um vial de vidro de 40 mL (BTEX) selecionados aleatoriamente para avaliar os recipientes utilizados no acondicionamento das amostras.

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

As perfilagens com CTD foram realizadas até próximo ao fundo, sempre que possível, para a coleta de dados de perfil vertical de temperatura, salinidade e OD na coluna d'água.

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.

Para a determinação dos parâmetros OD e pH, houve coleta de amostra e realização de aferição no laboratório a bordo (*in situ*). 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 os filtros com o material particulado e amostras de clorofila-a foram armazenados para posterior análise.

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 para os estratos SUP, ACTC, TC e ABCT, sendo, entretanto, restritas às estações definidas para coleta do plâncton (PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002).

IV.1.4 - 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 fluxômetros acoplados e diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-7). Os arrastos foram realizados entre 18h58min e 19h57min do dia 07/03/2023 e entre 17h06min e 18h04min do dia 08/03/2023.

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

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

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

Tabela IV-3 - Volume de água do mar filtrado durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton na PMPR_PIL-LL-NE_C10

Grupo	Estação	Tipo de arrasto	Malha (μm)	Volume filtrado (m^3)
Zooplâncton	PIL-LL-NE__M1000	Horizontal	200	107,21
Zooplâncton	PIL-LL-NE__M1000	Obliquo	200	88,71
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__M1000	Horizontal	300	131,28
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__M1000	Horizontal	500	145,47
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__M1000	Obliquo	300	90,19
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__M1000	Obliquo	500	100,90
Zooplâncton	PIL-LL-NE__J1002	Horizontal	200	81,15
Zooplâncton	PIL-LL-NE__J1002	Obliquo	200	51,11
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__J1002	Horizontal	300	104,76
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__J1002	Horizontal	500	111,20
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__J1002	Obliquo	300	68,50
Ictioplâncton	PIL-LL-NE__J1002	Obliquo	500	83,66



Figura IV-6 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 μ m para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante a PMPR_PIL-LL-NE_C10.



Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 μm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante a PMPR_PIL-LL-NE_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 PIL-LL-NE_C10.

PARÂMETROS	EQUIPAMENTO	VOLUME	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	ACONDICIONAMENTO
HPA, n-alcanos	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
MCNR e HTP	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	-	Refrigeração entre 0-6°C
Fenóis	Garrafa go-flo	1 L	Frasco âmbar	H ₂ SO ₄	Refrigeração entre 0-6°C
Sulfetos	Garrafa go-flo	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 ₃ PO ₄	Refrigeração entre 0-6°C
BTEX	Garrafa go-flo	2 x 40 mL	Frasco VIAL de vidro	HCl	Refrigeração entre 0-6°C
Nutrientes	Garrafa go-flo	2 x 500 mL	Frasco polietileno de alta densidade	-	Congelamento a ≤ -20°C
MPS	Garrafa go-flo	2 L (volume filtrado)	filtro de acetato de celulose (47 mm, 0,45 µm)	-	Congelamento a ≤ -20°C
Clorofila-a	Garrafa go-flo	2 L (volume filtrado)	Filtro de fibra de vidro GFF 0,4-0,7 µm	-	Congelamento rápido em Nitrogênio líquidos e manter a a ≤ -20°C
Fitoplâncton	Garrafa go-flo	2 x 1 L	Frasco polietileno escuro	Formaldeído 2%	Temperatura ambiente
Zooplâncton	Rede cilindro-cônica	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente
Ictioplâncton	Rede bongô	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente

IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram encaminhadas à empresa SGS do Brasil (São Bernardo do Campo/SP), e as amostras destinadas às análises biológicas (plâncton) e clorofila-a, à empresa Bioconsult Ambiental (Rio de Janeiro/RJ).

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.

Parâmetros	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método	
Clorofila a	Fluorimetria	-	0,00612 µg/L	0,0004 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°Ce filtragem da amostra	0,100 mg/L	0,005 mg/L	
Sulfetos	SMEWW 4500 S2 D	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L	
Nitrogênio Amoniacal	EPA 350.1	-	0,010 mg/L	0,003 mg/L	
Nitrato	SMEWW 4500 NO ₃ F	-	0,200 mg/L	0,050 mg/L	
Nitrito	SMEWW 4500 NO ₂ B	-	0,002 mg/L	0,001 mg/L	
Silicato	SMEWW 4500 SiO ₂ C	-	0,050 mg/L	0,020 mg/L	
Fósforo Total	SMEWW 4500 P E	-	0,005 mg/L	0,002 mg/L	
HPAS	Acenafteno		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	USEPA 3510C / USEPA 8285E	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[k]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[a]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Criseno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Dibenzo[a,h]antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fenantreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L

	Parâmetros	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
	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-Alcanos	n-C8			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C9			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C10			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C11			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C12			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C13			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C14			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C15			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C16			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C17			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C18			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C19	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C20			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C21			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C22			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C23			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C24			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C25			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C26			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C27			1 ug/L	0,20 ug/L
n-C28	1 ug/L			0,20 ug/L	
n-Alcanos	n-C29	USEPA 3510C / USEPA 8015D	-	1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C30			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C31			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C32			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C33			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C34			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C35			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C36			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C37			1 ug/L	0,20 ug/L
	n-C38			1 ug/L	0,20 ug/L
n-C39			1 ug/L	0,20 ug/L	
n-C40			1 ug/L	0,20 ug/L	
	Fitano			1 ug/L	0,20 ug/L
	Pristano			1 ug/L	0,20 ug/L
	HRP - Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo			1 ug/L	0,20 ug/L
	UCM - Mistura Complexa Não Resolvida			1 ug/L	0,20 ug/L
	HTP - Hidrocarbonetos totais de Petróleo			1 ug/L	0,20 ug/L
Fenóis	Fenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	o-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	m-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	p-Cresol	USEPA 3510C / USEPA 8285E	-	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

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

IV.2.2 - Fitoplâncton

As amostras foram concentradas em laboratório através de processo de filtração reversa em malha de 20 µm (DODSON & THOMAS, 1978). Para o processo de sedimentação, foram utilizadas cubetas de sedimentação de 100 mL de acordo com o método de Utermöhl (1958) durante 72 h para amostras oceânicas (Sournia, 1972).

A amostra contida na câmara foi triada em sua totalidade ou até atingir no mínimo 400 células, com auxílio de microscópio óptico invertido e os indivíduos presentes na amostra foram identificados (organismos > 20 µm) e contabilizados. Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação ocorreu até ao menor nível taxonômico possível. Para fitoplâncton, 51,2% da abundância total foi identificada até o nível de família, e 36% até o nível de espécie.

IV.2.3 - Zooplâncton

O processo de triagem das amostras foi feito com o auxílio de um microscópio estereoscópico binocular. As amostras foram fracionadas com utilização de um sub-amostrador do tipo “FolsomPlankton Sample Splitter” (MCEWEN *et al.*, 1954). As amostras foram avolumadas com água com o auxílio de um Becker calibrado e subsequentemente fracionadas em alíquotas menores com um amostrador Folsom, sendo considerado o fator de fracionamento para a contagem (1/2; 1/4; 1/8; 1/16; 1/32; 1/64 e etc.). Os organismos foram triados até um mínimo de 100 indivíduos por grupo. O fracionamento de cada amostra e o volume de amostra triada foram registrados. No Anexo 5 consta uma ressalva sobre a triagem de Copepoda apresentada nos relatórios do PMRP dos ciclos de campanhas de 2020/2021 e 2021/2022.

Foi realizado o controle de qualidade das amostras triadas com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram retirados e contabilizados nas amostras. Para tal, a cada lote de no máximo dez amostras de cada triador, uma das amostras triadas foi sorteada para conferência. A amostra verificada do lote foi PIL-LL-NE_C10_J1002_OBL_200. Caso o número de organismos contabilizados no reexame da amostra fosse maior que 20% do total de organismos contabilizados na primeira triagem, a amostra seria reprovada e então uma nova amostra do mesmo colaborador seria sorteada. Em caso de uma nova rejeição, todo o lote deveria ser reanalisado. Os organismos a mais encontrados na validação são inseridos na amostra antes da análise taxonômica.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação dos organismos ocorreu ao menor nível taxonômico possível (BOLTOVSKOY, 1981), sendo que 41,6% da abundância total foi identificada até o nível de ordem e 8% até o nível de espécie.

IV.2.4 - Ictioplâncton

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

Foi realizado o controle de qualidade das amostras com o objetivo de detectar e identificar organismos que não foram retirados e contabilizados. Para tal, a cada lote de dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador para conferência. Neste caso, a amostra validada foi PIL-LL-NE_C10_M1000_HOR_300. 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, 41,5% da abundância total foi identificada até o nível de família, e 33,3% 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 ensaiado para a determinação da qualidade da água.

PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBS.
Clorofila a	36	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
		Material de referência certificado	Dentro da faixa do certificado	36	0	-	Controle substituído por padrão certificado
		Análises em triplicata	RSD < 10%	36	0	-	-
QUALIDADE DA ÁGUA COT	36+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
		Branco de Frascaria	BF < LD	1			
		Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
		Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
		Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Material de referência certificado	Recuperação de 86 - 114% (sobre concentração real de 2 mg/L)	36+1	0	-	-
		Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R ² > 0,99	36+1	0	-	-
		Amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
		Diferença percentual relativa	DRP < 20%	36+1	0	-	-
		Análises em triplicata	RSD < 25%	36+1	0	-	-
		Incerteza do método	IM < 25% incerteza máx. aceitável	36+1	0	-	-
		MPS	36	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0

(Continua)

Tabela IV-5 (Continuação)

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

(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	36+1	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36+1	0	-	-
			Branco de Frascaria	BF < LD	1			
			Branco de equipamento	BE < LD	36+1	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	36+1	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	36+1	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36+1	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com R ² > 0,99	36+1	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,5 mg/L)	36+1	0	-	-
	Análises em triplicata	RSD < 10%	36+1	0	-	-		
	Incerteza do método	-	36+1	0	-	-		
	Fenóis/ HPAs/ HTP/ BTEX	139+4 (BTEX: 31+1, Fenóis: 36+1, HPA: 36+1 e HTP: 36+1)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	139+4	0	-	-
			Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	139+4	0	-	-
			Branco de Frascaria	BF < LD	4			
			Branco do método	BM < LD	139+4	0	-	-
Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)			Recuperação de 80 - 120%	139+4	0	-	-	
Solução padrão intermediária ¹			Recuperação de 80 - 120%	139+4	0	-	-	
Amostra fortificada			Recuperação de 60 - 120%	139+4	0	-	-	
Duplicata da amostra fortificada			Recuperação de 60 - 120%	139+4	0	-	-	
Diferença percentual relativa			DRP < 30%	139+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%		0	-	-	
Incerteza do método	-	139+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.

Estudos	Referências	Data de realização
Relatório de Caracterização Ambiental da Bacia de Santos	PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002	-
Relatório Final da Campanha de Caracterização dos Blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21	PETROBRAS/HABTEC, 2003	-
Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás na Área de Tupi, Bloco BM-S-11, Bacia de Santos	PETROBRAS/ICF, 2008	-
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das doze 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, 2018b, 2018c, 2019d, 2020a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b.	Janeiro de 2010, janeiro de 2011, dezembro de 2011, janeiro/fevereiro de 2013, fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, e dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, fevereiro de 2021, e dezembro de 2021, respectivamente
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	-
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	-

Estudos	Referências	Data de realização
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das oito primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE	PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018d, 2019a, 2019e, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c; PETROBRAS/BIOCONSULT 2022c.	Fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, novembro de 2016, dezembro de 2017, novembro de 2018, janeiro de 2020, fevereiro de 2021, e novembro de 2021, respectivamente
Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das oito 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, 2019b, 2019f, 2020b; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022d	Fevereiro de 2014, fevereiro de 2015, dezembro de 2015, dezembro de 2016, dezembro de 2017, novembro/dezembro de 2018, janeiro de 2020, janeiro de 2021 e dezembro de 2021, respectivamente
Relatório Técnico de Avaliação Ambiental das sete 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, 2019c, 2019g, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021b; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022e; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023	Fevereiro de 2015, dezembro de 2015, novembro de 2016, e dezembro de 2017/janeiro de 2018, novembro de 2018, janeiro de 2020, janeiro de 2021, dezembro de 2021 e 2023, fevereiro e março de 2023, respectivamente
Projeto de Caracterização Regional da Bacia de Santos – PCR-BS	PETROBRAS, 2022	inverno e primavera de 2019, verão e outono de 2021

O monitoramento do Piloto de Tupi (FPSO Cidade de Angra dos Reis), o monitoramento do Piloto de Sapinhoá (FPSO Cidade de São Paulo) e o monitoramento do DP Iracema Sul (FPSO Cidade de Mangaratiba) são realizados a partir de dados primários coletados a cerca de 18,50 km e 67,48 km a sudoeste e 24,09 km a noroeste, respectivamente, da área onde foi instalado o Piloto de Tupi NE (FPSO CPY) (Figura IV-8). Apesar da distância entre os empreendimentos, estes foram usados nas comparações dos dados, uma vez que se situam na mesma faixa de profundidade. Além disso, por tratar-se de um ambiente oceânico, espera-se grande homogeneidade para o compartimento água. Também é importante destacar que, com exceção da primeira campanha de monitoramento do Piloto de Tupi (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010), todas as demais campanhas de monitoramento dos empreendimentos supracitados foram realizadas quando já havia um empreendimento instalado e operando na área e, portanto, já havia uma fonte de impacto potencial 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 da sétima campanha de monitoramento do Piloto de Tupi em diante, a quarta de monitoramento do Piloto de Tupi NE em diante, a sexta campanha de monitoramento do Piloto de Sapinhoá em diante e a quarta campanha de monitoramento do DP de Iracema Sul em diante, 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.

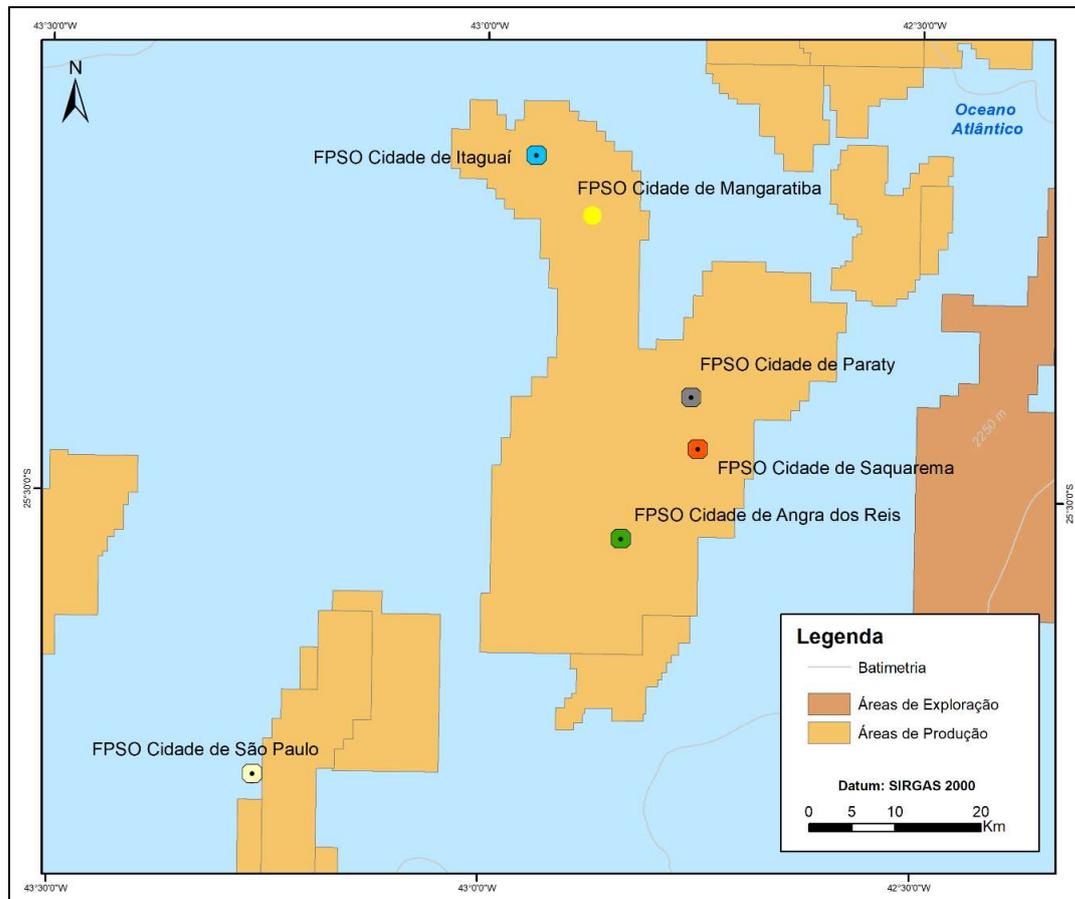


Figura IV-8 – Localização do Desenvolvimento da Produção de Tupi Central (FPSO Cidade de Saquarema), Piloto de Tupi (FPSO Cidade de Angra dos Reis), Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul (FPSO Cidade de Mangaratiba), Desenvolvimento da Produção de Tupi Iracema Norte (FPSO Cidade de Itaguaí), Piloto de Tupi NE (FPSO CPY) e Piloto de Sapinhoá (FPSO Cidade de São Paulo).

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 – Faixas de salinidade e de temperatura que definem as massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000).

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

IV.3.2 - Plâncton

Inicialmente, foi feita uma avaliação do esforço amostral aplicado ao longo das 10 campanhas de monitoramento do Piloto de Tupi NE, através do gráfico do número cumulativo de taxa por amostra por campanha. Também foi utilizado o estimador de riqueza e a curva de Jackknife 1ª ordem, calculado a partir da fórmula abaixo, adaptado para a realidade do projeto (riqueza de taxa):

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

onde,

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

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

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

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

A caracterização da biota aquática foi realizada através de análises qualitativas dos dados, ou seja, sua composição e riqueza de taxa (número de taxa). A riqueza de taxa foi utilizada em detrimento da riqueza de espécies dada a grande dificuldade na identificação desses indivíduos até este nível taxonômico. Esse impedimento ocorre devido à fragilidade desses exemplares em conjunto com a utilização de soluções com formol, que ajudam na conservação das amostras, mas também podem degradar estruturas dos organismos.

Os *taxa* foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos/ordens), bem como quanto a distribuição quali e quantitativa dentro desses grupos. Os grandes grupos considerados na atual campanha para fitoplâncton foram: Ochrophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa (Pyrrophycomphyta). 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: Aulopiformes, Acanthuriformes, Carangiformes, Centrarchiformes, Dactylopteriformes, Eupercaria, Gobiiformes, Kurtiformes, Lophiiformes, 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 Multi Ecological Research). Esses índices complementam a avaliação das comunidades, pois revelam a complexidade da estrutura das mesmas em função do número de espécies e da distribuição das abundâncias (PIELOU, 1977; SHANNON, 1948; SIMPSON, 1949).

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

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

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

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

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

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

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

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

$$H' = - \sum p_i (\log p_i)$$

onde,

p_i = probabilidade de ocorrência de cada espécie em relação ao total, ou seja, o número de indivíduos (ou células) da espécie 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 (Quadro IV-2). Nestas comparações, sempre que possível, foram consideradas e avaliadas as diferenças nas metodologias analíticas e nos tratamentos prévios dados às 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	Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
	Zooplâncton	Validade da amostra	Validade > Data de análise	4	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	4	0	-	-
	Ictioplâncton	Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra PIL-LL- NE_C10_J1002_OBL_200
		Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
		Livro de registros	Evidências das etapas e procedimentos realizados	8	0	-	-
		Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	8	0	-	Validação na amostra PIL-LL- NE_C10_M1000_HOR_300

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 em Caixa (*Box-Plot*). Esse gráfico contém um valor central que descreve a tendência dos dados, que, no caso, foi a mediana das amostras. Além disso, esse tipo de diagrama contém dois valores de dispersão de dados, uma caixa (*Box*) e os fios de bigode (*Whiskers*). O *Box* representou o primeiro e terceiro quartis e os *Whiskers*, os valores mínimo e máximo observados. Todos os diagramas foram plotados usando o *software* STATISTICA 10.0.

Para avaliar se houve diferença significativa nos parâmetros da qualidade da água entre as campanhas foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA - *one way*), quando satisfeitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade e análises de variância não paramétricas (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*) quando não satisfeitos os pressupostos. Todas as análises de variância foram realizadas através do *software* Systat SigmaPlot 12.5.

Importante destacar que, conforme manual do SigmaPlot 12.5, o *software* testa automaticamente a normalidade (Shapiro Wilk`s test) e homocedasticidade (*Hartley test*) do conjunto de dados previamente à análise de variância. Caso os pressupostos sejam atendidos, procede-se a ANOVA - *one way*. Caso contrário, o *software* retorna mensagem alertando o usuário e questionando se deve ser rodada a análise de variância não paramétrica correspondente (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*). Nos casos em que os dados não satisfizeram os requisitos necessários para aplicação de estatística paramétrica e considerando as divergências entre distribuição normal e não normal, optou-se por realizar testes não paramétricos. Para todos os testes aplicados, foi considerado um valor de significância de 95% ($p < 0,05$).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas apresentou diferenças quando testadas par a par. No caso da ANOVA - *one way*, foi usado o teste *a posteriori* de

Tukey HSD, e, no caso da *Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*, foi usado o teste de medianas.

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

IV.4.2 - Biota Aquática

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

Para avaliar se houve diferença significativa nos índices biológicos entre as campanhas, foram realizadas análises de variância paramétricas (ANOVA - one way), quando satisfeitos os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, e análises de variância não paramétricas (*Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*), quando não satisfeitos os pressupostos, conforme explicado no item anterior. Todas as análises de variância foram realizadas através do software *Systat SigmaPlot 12.5*. Para todos os testes aplicados foi considerado um valor de significância de 95% ($p < 0,05$).

Quando pertinente, as análises de variância foram seguidas por testes *a posteriori* a fim de identificar qual das campanhas apresentou diferenças quando testadas par a par. No caso da ANOVA - one way, foi usado o teste *a posteriori* de *Tukey HSD*, e, no caso da *Kruskal-Wallis ANOVA by ranks*, foi usado o teste de medianas.

Para completar a caracterização da biota aquática, foram realizadas análises multivariadas (escalonamento multidimensional – MDS e dendrograma de agrupamento - *cluster*), no programa PRIMER v6 (*Plymouth Routines In Multi Ecological Research*).

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

composição de comunidades (CLARKE & WARWICK, 2001). 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 com o objetivo de 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-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002 para a aplicação de testes estatísticos de correlação e análises de ordenação e agrupamento, uma vez que a porção biótica foi amostrada apenas nessas estações. No caso da comparação utilizando-se dados de fitoplâncton, os dados de todas as profundidades foram considerados individualmente. Nos casos envolvendo zooplâncton e ictioplâncton foram considerados os arrastos horizontais de superfície (HOR) e dados integrados nas profundidades SUP, ACTC e TC, nos arrastos oblíquos (OBL).

Previamente à realização das análises de correlação e ordenação, 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. Para avaliar a variabilidade ambiental, foi primeiramente realizada uma análise de componentes principais (ACP), considerando-se todas as amostras coletadas na PMAEpro-BBS_PMPR_PIL-LL-NE_C10. Nessa ACP foram considerados os dados dos

parâmetros ambientais como variáveis ativas, com posterior plotagem das estações sobre o plano para identificação da influência dos resultados das amostras na ordenação da ACP. Outra ACP foi realizada utilizando-se apenas as amostras em que ocorreram coletas de dados ambientais, concomitantemente à coleta de 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.

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

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

Nas ACPs realizadas, as variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011), que deve ser maior ou igual a $(2/m)^{0,5}$, onde m = número de variáveis.

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

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 PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C10 os maiores valores médios de temperatura foram registrados nas profundidades superfície ($27,30 \pm 0,26^\circ\text{C}$) e acima da termoclina ($27,28 \pm 0,24^\circ\text{C}$), com valores de $27,77^\circ\text{C}$, na superfície da estação PIL-LL-NE_J100_R, e $27,70^\circ\text{C}$, na camada acima da termoclina dessa mesma estação. Os valores de temperatura encontrados abaixo da termoclina variaram entre $25,40^\circ\text{C}$, na estação PIL-LL-NE_J1003 e $24,16^\circ\text{C}$, na estação PIL-LL-NE_J100_R, com média de $24,64 \pm 0,37^\circ\text{C}$ (Tabela V-1). A termoclina apresentou valor médio de $26,14 \pm 0,62^\circ\text{C}$.

Tabela V-1 – Temperatura (°C) medida nas quatro camadas amostrais monitoradas na PMPR_PIL-LL-NE_C10

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL- NE_M1000	PIL-LL- NE_J100_R	PIL-LL- NE_J250_R	PIL-LL- NE_J501	PIL-LL- NE_J502	PIL-LL- NE_J503	PIL-LL- NE_J1001	PIL-LL- NE_J1002	PIL-LL- NE_J1003		
SUP	27,03	27,77	27,24	26,91	27,28	27,35	27,45	27,15	27,55	27,30	0,26
ACTC	27,00	27,70	27,26	26,92	27,28	27,32	27,40	27,14	27,50	27,28	0,24
TC	26,02	26,50	26,20	25,81	25,43	25,68	26,54	25,66	27,44	26,14	0,62
ABTC	24,89	24,16	24,42	24,60	24,34	24,41	24,82	24,73	25,40	24,64	0,37
Máx.	27,03	27,77	27,26	26,92	27,28	27,35	27,45	27,15	27,55		
Mín.	24,89	24,16	24,42	24,60	24,34	24,41	24,82	24,73	25,40		
Média	26,24	26,53	26,28	26,06	26,08	26,19	26,55	26,17	26,97		
DP	1,01	1,69	1,34	1,10	1,45	1,42	1,23	1,19	1,05		

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

Na Figura V-1, verifica-se o perfil da temperatura nas estações de coleta ao longo da coluna d'água nos quatro estratos amostrados, onde se verifica grande estabilidade dos valores entre superfície e a camada acima termoclina, com posterior decréscimo dos valores até a camada abaixo da termoclina.

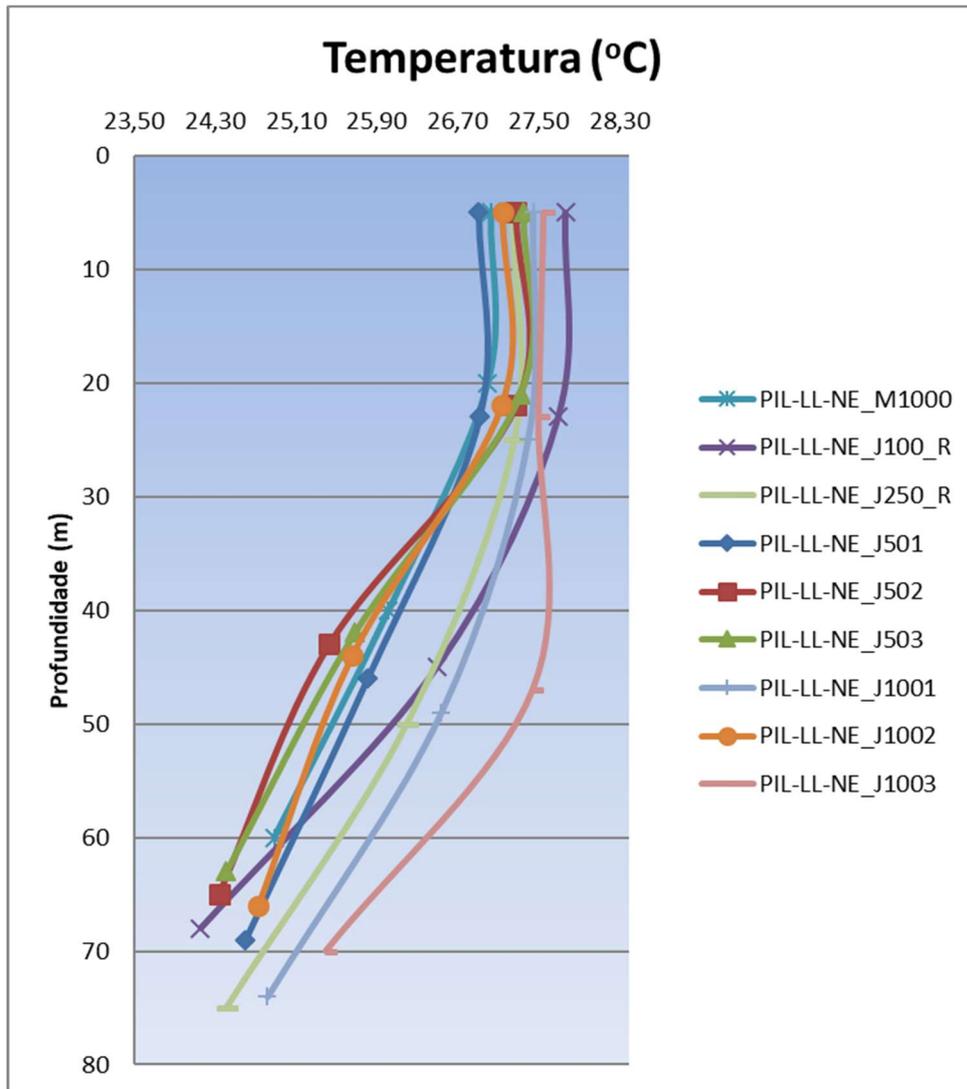


Figura V-1 – Variação vertical de temperatura (°C) na PMPR_PIL-LL-NE_C10.

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 50 e 950 m, estando a mesma mais acentuada até os 700 m.

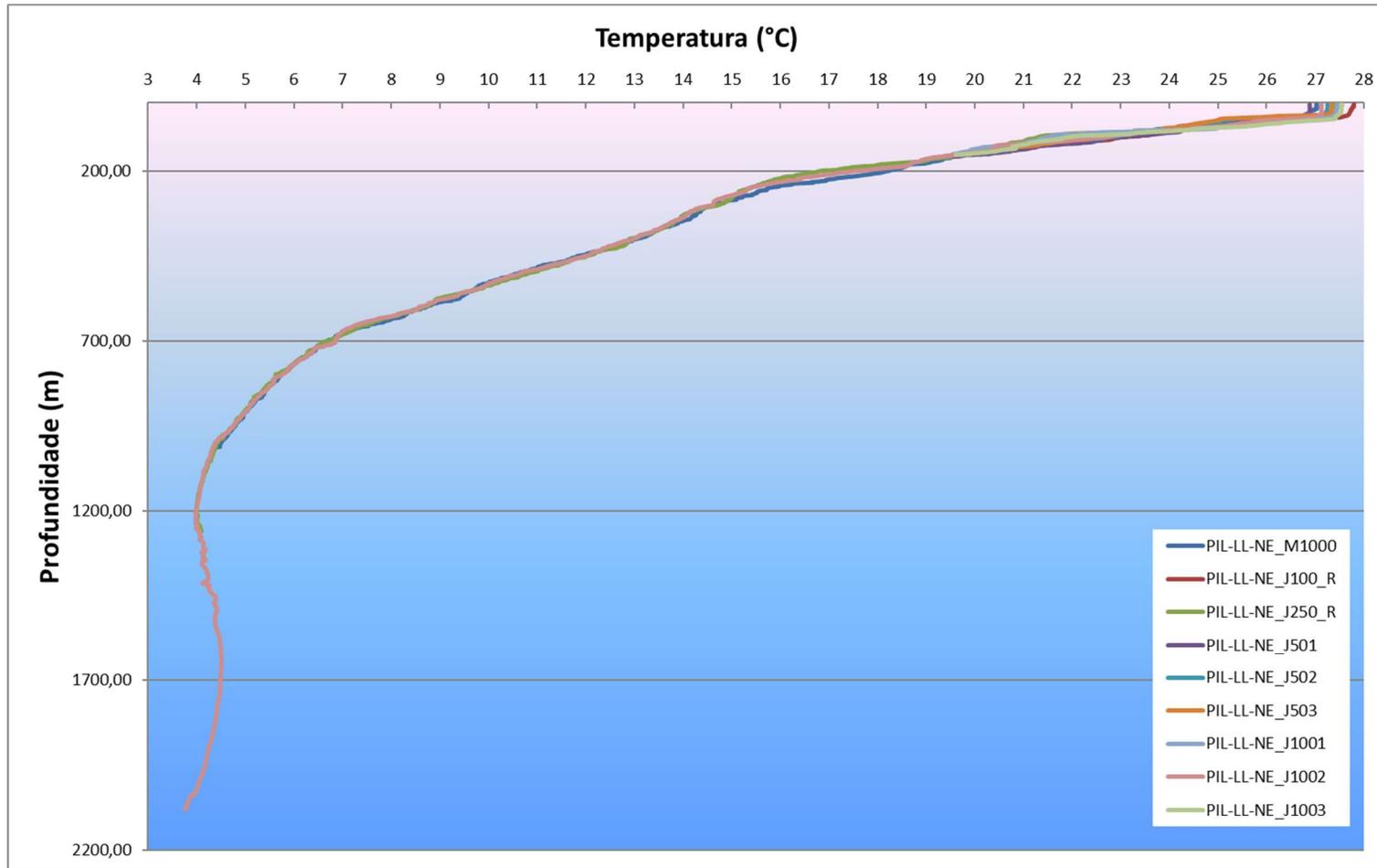


Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD na atual campanha de monitoramento.

Durante o período da campanha, houve o descarte diário médio de 2.293,00 m³/dia de água produzida na saída do floteador, sendo 23,50°C a temperatura verificada para o efluente durante o 1º semestre de 2023. Esse valor esteve abaixo do valor mínimo observado durante o período da campanha (24,16°C, em PIL-LL-NE_J100_R). Destaca-se também o enquadramento do descarte dentro do limite de 40°C estabelecido pela Resolução CONAMA 430/2011. A variação de temperatura na atual campanha reflete a tendência natural de maiores valores na superfície e menores valores nas camadas mais profundas (Tabela V-1), não sendo possível diferenciar os efeitos do descarte de água produzida das condições de temperatura naturais do corpo receptor. Além disso, os valores medidos são característicos de águas oceânicas e coerentes para a área.

Em relação à salinidade, o menor valor, de 36,24, foi medido nas camadas SUP e ACTC da estação PIL-LL-NE_J1002, enquanto o maior valor, de 36,59, foi medido na ABTC das estações PIL-LL-NE_M1000, PIL-LL-NE_J1002 e PIL-LL-NE_J1003 (Tabela V-2). Considerando todas as estações, a salinidade média variou entre 36,32 ($\pm 0,06$ na SUP e na ACTC) e 36,56 ($\pm 0,05$ na ABTC).

Tabela V-2 – Salinidade medida nas quatro profundidades amostrais da PMPR_PIL-LL-NE_C10.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	36,25	36,39	36,28	36,31	36,41	36,37	36,35	36,24	36,30	36,32	0,06
ACTC	36,25	36,39	36,29	36,30	36,41	36,36	36,34	36,24	36,29	36,32	0,06
TC	36,52	36,40	36,43	36,52	36,44	36,49	36,31	36,39	36,40	36,43	0,07
ABTC	36,59	36,46	36,49	36,58	36,56	36,57	36,57	36,59	36,59	36,56	0,05
Máx.	36,59	36,46	36,49	36,58	36,56	36,57	36,57	36,59	36,59		
Mín.	36,25	36,39	36,28	36,30	36,41	36,36	36,31	36,24	36,29		
Média	36,40	36,41	36,37	36,43	36,46	36,45	36,39	36,37	36,40		
DP	0,18	0,03	0,10	0,14	0,07	0,10	0,12	0,17	0,14		

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

De maneira geral, a salinidade apresentou-se relativamente homogênea ao longo da coluna d’água, com valores médios ligeiramente maiores nas estações PIL-LL-NE_J503 e PIL-LL-NE_J502 e menor valor na SUP da estação PIL-LL-NE_J1002 (Figura V-3).

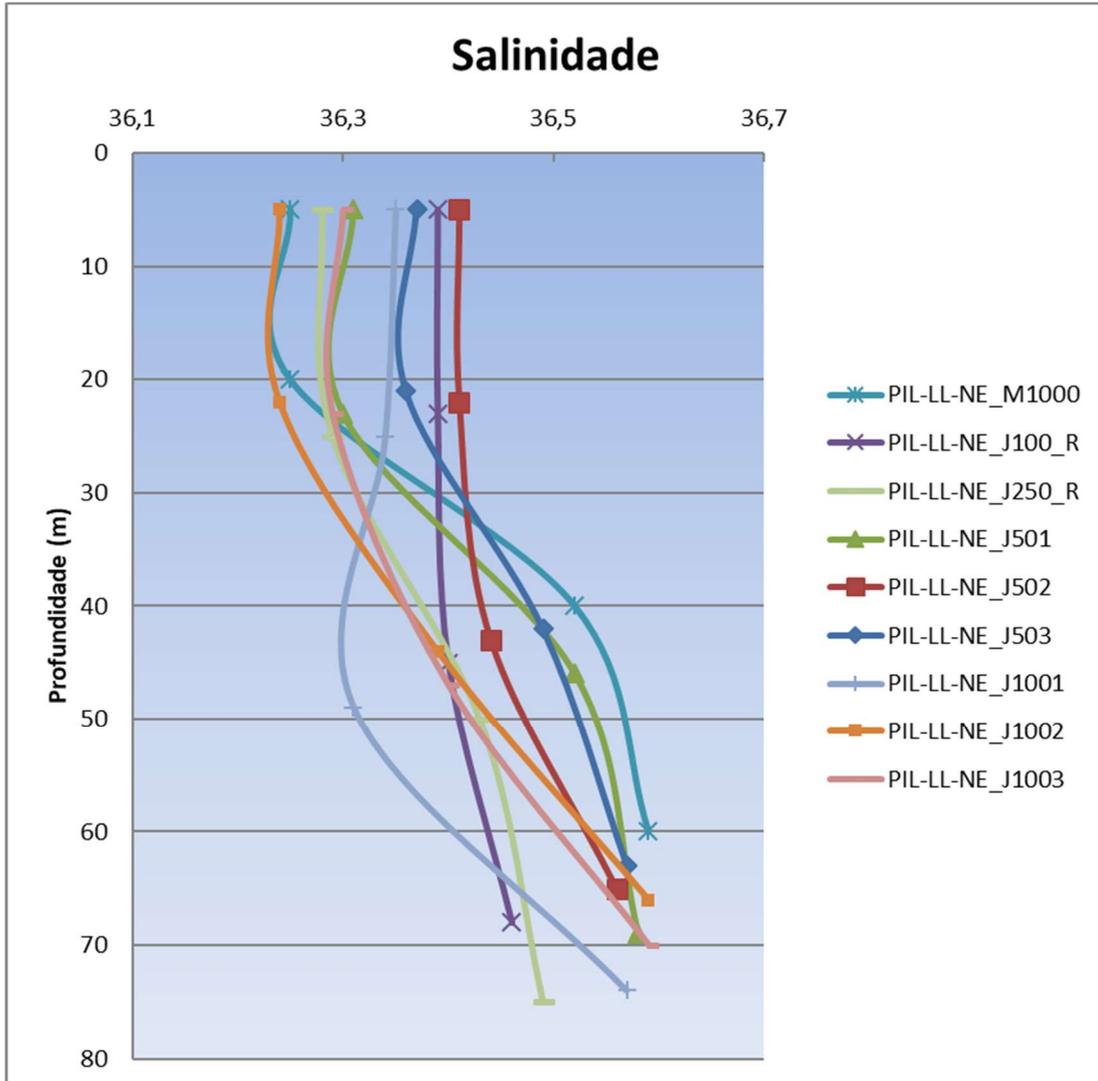


Figura V-3 – Variação vertical de salinidade da PMPR_PIL-LL-NE_C10.

Na Figura V-4 são apresentados os valores de salinidade da coluna d’água obtidos através da perfilagem com CTD, na qual é possível constatar a presença da haloclina entre 100 e 700 m, estando esta mais acentuada até os 450 m.

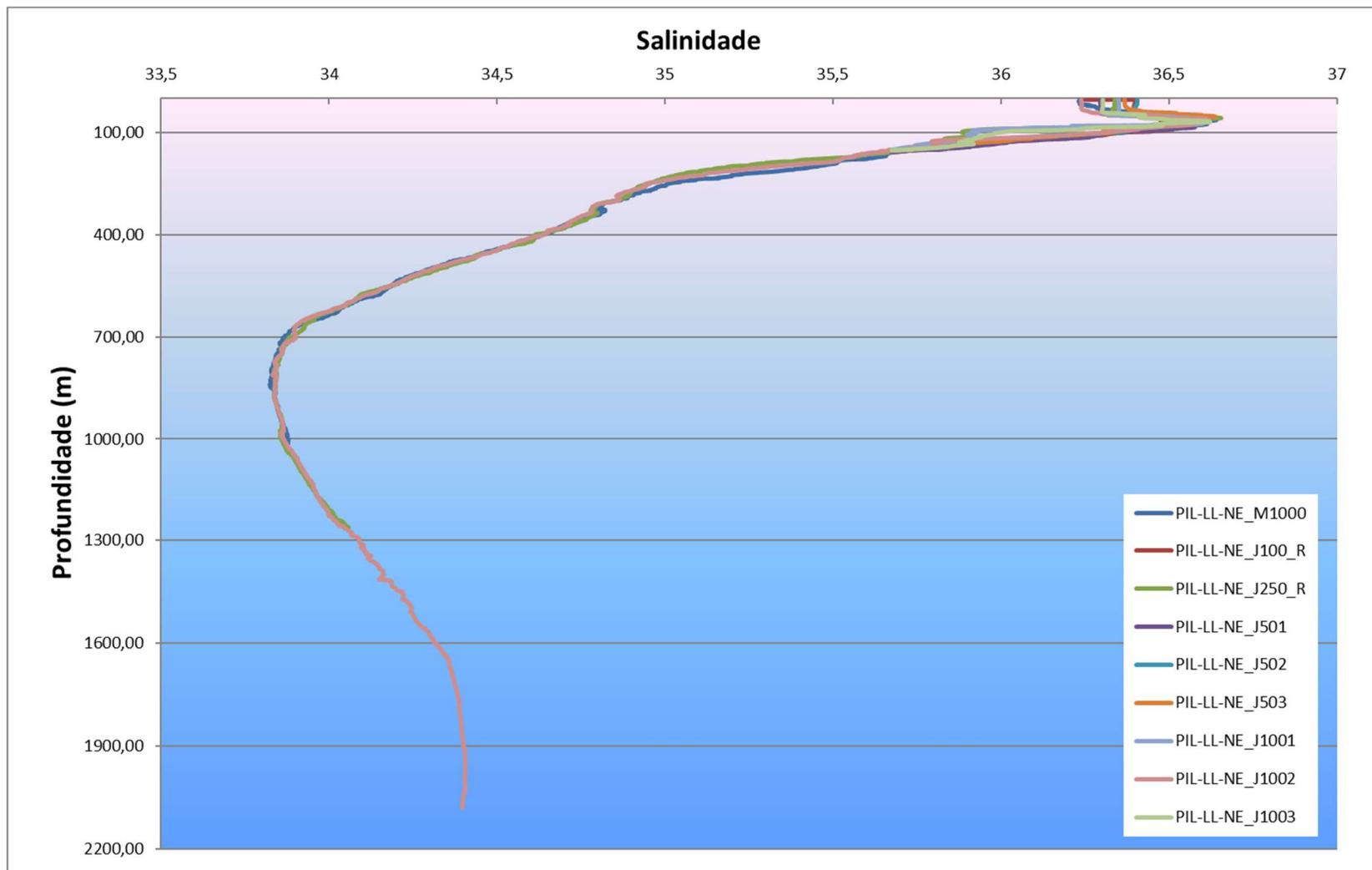


Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos na PMPR_PIL-LL-NE_C10.

A água produzida pelo FPSO CPY apresentou, na análise do efluente do 1º semestre de 2023, salinidade igual a 53,64%, na saída do flutuador. Porém, não foram observadas variações positivas de salinidade em nenhuma das estações a jusante da plataforma. Assim, e considerando que os valores observados são característicos de águas oceânicas assim como o valor máximo encontrado na campanha, não é possível diferenciar os efeitos do descarte de água produzida das condições de salinidade naturais do corpo receptor.

O perfil obtido a partir das medições realizadas com CTD em todas as estações amostrais, indicou um padrão similar de oscilação da salinidade medida na camada de superfície até 80 m (Figura V-3), com tendência de aumento da salinidade com a profundidade.

Na Tabela V-3, são apresentados os valores mínimo e máximo de temperatura e salinidade encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região de interesse do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE. Essas faixas de variação de temperatura e salinidade corroboram as verificadas nesta campanha (temperatura entre 24,16°C e 27,77°C e salinidade entre 36,24 e 36,59), com a atual campanha apresentando valores dentro da faixa de variação observada na região.

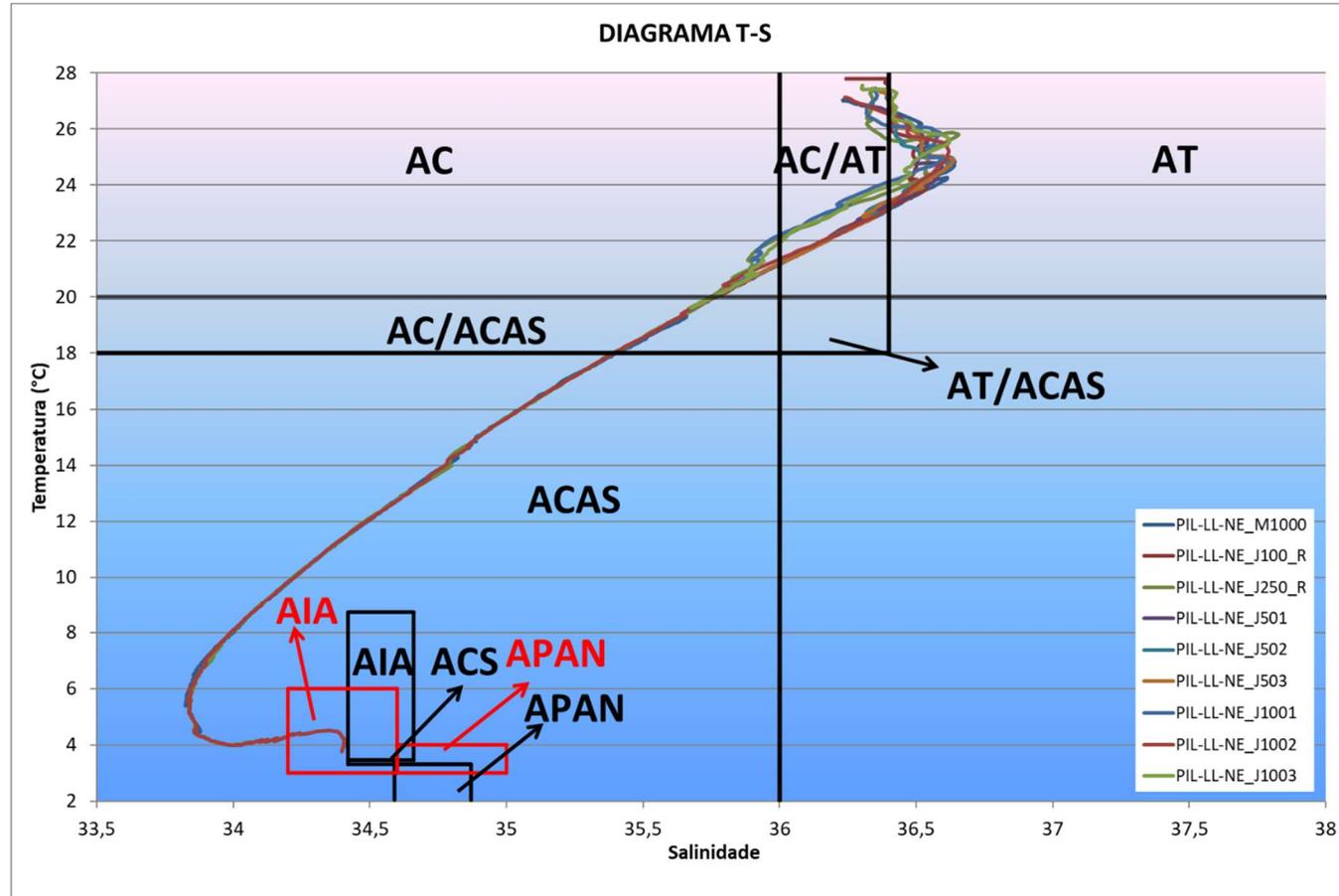
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água nos estudos anteriores.

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

Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	22,64 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,92 (ABTC)	37,18 (SUP)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	21,61 (ABTC)	24,51 (SUP)	36,76 (ABTC)	37,21 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	22,60 (ABTC)	25,11 (SUP)	36,78 (TC)	37,12 (TC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	22,72 (ABTC)	23,76 (SUP)	36,95 (TC)	36,99 (SUP)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	24,72 (ABTC)	27,00 (SUP)	37,09 (ABTC)	37,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	21,30 (ABTC)	26,99 (SUP)	36,56 (ACTC/ABTC)	37,22 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	20,56 (ABTC)	23,54 (SUP)	36,54 (ABTC)	37,13 (SUP)
PIL-SAP_C1 ²³	14,51 (ABTC)	27,44 (SUP)	35,42 (ABTC)	36,94 (ACTC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	22,58 (ABTC)	27,43 (SUP)	36,93 (ABTC)	37,17 (TC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	22,60 (ABTC)	24,65 (SUP/ACTC)	36,90 (ABTC)	37,11 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C4 ²⁶	20,37 (ABTC)	23,40 (SUP)	36,33 (ABTC)	36,76 (SUP/ACTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	21,93 (ABTC)	25,36 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,95 (TC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	22,42 (ABTC)	24,75 (SUP)	36,88 (ABTC)	37,11 (TC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	23,72 (ABTC)	26,48 (SUP)	36,73 (ABTC)	37,15 (ABTC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	23,94 (ABTC)	26,17 (SUP)	37,12 (ABTC)	37,22 (TC)
PIL-SAP_C9 ³¹	21,60 (ABTC)	23,78 (SUP)	36,48 (TC)	36,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	20,99 (ABTC)	27,12 (SUP)	36,58 (ABTC)	37,21 (ACTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	22,60 (ABTC)	25,54 (SUP)	36,91 (ABTC)	37,20 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C3 ³⁴	21,26 (ABTC)	23,85 (SUP)	36,66 (ABTC)	37,06 (TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	23,57 (ABTC)	25,59 (SUP)	36,99 (SUP/ACTC)	37,29 (TC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	22,70 (ABTC)	23,61 (SUP)	36,96 (ABTC)	37,02 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	25,31 (ABTC)	26,90 (SUP)	37,27 (SUP/ACTC/TC/ABTC)	37,36 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	22,20 (ABTC)	26,76 (SUP)	36,69 (ABTC)	36,99 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	21,59 (ABTC)	24,91 (SUP)	36,64 (ABTC)	36,94 (SUP/TC)
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	22,01 (ABTC)	27,96 (SUP)	35,89 (ABTC)	36,50 (TC)

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

A partir dos dados de temperatura e salinidade coletados pelo CTD (Figura V-2 e Figura V-4), obteve-se o diagrama T-S (Figura V-5), através do qual as massas de água foram classificadas segundo Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) (Tabela IV-6), conforme proposto na metodologia do presente relatório. Adicionalmente, optou-se por considerar também no diagrama as classificações propostas por Castro *et al.* (2006), que analisa a área compreendida entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). Esse estudo engloba a Bacia de Santos, que tem poucos dados e estudos que explorem as massas d'água e seus limites especificamente para a região onde está localizado o campo de Tupi NE.

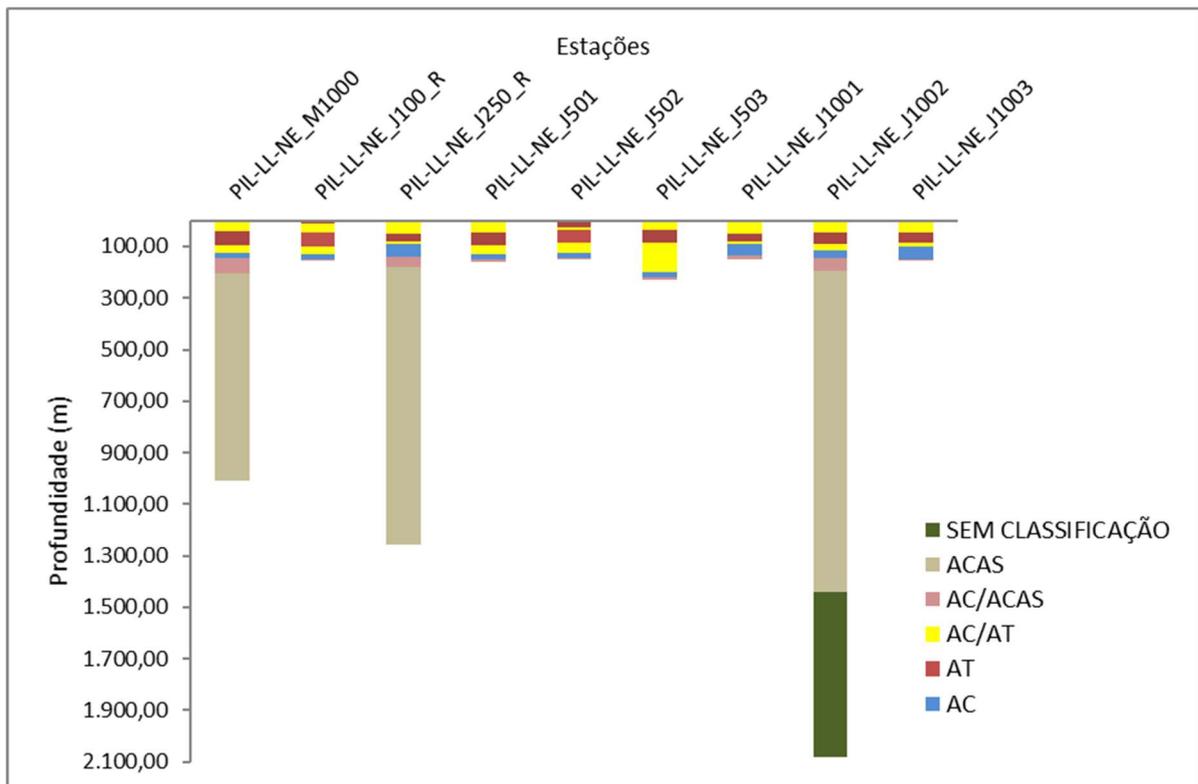


Legenda: AC=Água Costeira; AT=Água Tropical; ACAS=Água Central do Atlântico Sul; AC/AT=mistura de AC e AT; AC/ACAS=mistura de AC e ACAS; AT/ACAS=mistura de AT e ACAS, AIA=Água Intermediária Antártica; ACS=Água Circumpolar Superior e APAN=Água Profunda do Atlântico Norte.

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

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.

A análise dos dados conforme as classificações de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) mostrou uma distribuição estratificada das massas d’água ao longo da coluna, com a ocorrência de cinco massas: AC, AT, AT/AC, AC/ACAS e ACAS (Figura V-5). Considerando-se a classificação de Castro *et al.* (2006), em caráter complementar, verifica-se também a ocorrência da AIA, massa d’água usualmente presente em toda a BS. Não foi identificada a ocorrência de APAN, nem ACS, embora esta massa d’água tenha tido histórico de ocorrência na Bacia de Santos.



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 mistura de Água Costeira (AC) e de Água Tropical (AT), AC/AT, ocupou a porção mais superficial até o nível da camada abaixo da termoclina, em todos os pontos amostrais, atingindo o máximo de 131 m, na estação PIL-LL-NE_J501, exceto em PIL-LL-NE_J502, em que a AT dominou a porção desde a superfície, até a camada abaixo da termoclina até profundidade de 84m, ocorrendo presença de AC/TC entre os 25 e 37 m, e depois novamente ao 84m até 123m. A AC ocorreu após a mistura AC/AT, em todas as estações, atingindo profundidade máxima de 151 m em PIL-LL-NE_J100_R e PIL-LL-NE_J501. A mistura AC/ACAS ocorreu em todas as estações até profundidade máxima de 206 m em PIL-LL-NE_M1000 (Figura V-5).

Já a ACAS ocupou porções da coluna d'água a partir de aproximadamente 182 metros, no caso da estação PIL-LL-NE_J250_R, até 1442 m, na estação PIL-LL-NE_JJ1002. Essa massa ocorreu apenas nas estações PIL-LL-NE_M1000, PIL-LL-NE_J250_R e PIL-LL-NE_J1002, que foram perfiladas até o fundo. Ainda na estação PIL-LL-NE_J1002, foi a única em que ocorreu um trecho sem classificação, mas que segundo a classificação de Castro *et al.* (2006), trata-se de AIA, variando entre 1442 m até 2079 m (Figura V-5).

Assim como na atual campanha, a AT e a ACAS foram as massas d'água que ocorreram de forma mais recorrente nas amostragens das 13 campanhas de monitoramento do Piloto de Tupi, das nove campanhas anteriores do monitoramento do Piloto de Tupi NE, das nove primeiras campanhas de monitoramento do Piloto de Sapinhoá e das oito 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, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e). As diferenças encontradas entre as campanhas deste monitoramento em relação às massas d'água amostradas foram a ausência de ACS na quinta, na sétima, na oitava e na décima campanha e a presença de AC/AT e AC/ACAS na oitava e décima campanha (Quadro V-1).

Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água nos diferentes níveis de profundidade das estações amostradas no PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Estratos	Campanhas									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
SUP	AT	AT	AC/AT AT							
ACTC	AT	AT	AC/AT AT							
TC	AT	AT	AC/AT AT							
ABTC	AT AT/ACAS	AT AT/ACAS AC/AT AT/ACAS	AT AT/ACAS	AC/AT AT						
	ACAS	AC/ACAS	ACAS	AC AC/ACAS						
	AIA	AC/ACAS	AIA	AS						
	ACS	ACS	ACS	ACS	APAN	ACS	APAN	ACAS	ACS	ACAS
	APAN	APAN	APAN	APAN		APAN		AIA APAN	APAN	AIA

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

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

V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido (OD) 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 (LALL & PARSONS, 1995). O teor de oxigênio em corpos d'água naturais apresenta concentrações próximas, porém menores, a 10 mg/L em águas não poluídas. Além

disso, a concentração de oxigênio dissolvido pode auxiliar na detecção de impactos ambientais (ex. eutrofização e poluição orgânica).

Na presente campanha de monitoramento os valores de OD registrados nas estações variaram entre 6,29 mg/L, na SUP da estação PIL-LL-NE_J1002, e 7,11 mg/L, na TC e na ABTC da estação PIL-LL-NE_M1000 (Tabela V-4 e Figura V-7).

Tabela V-4 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) na PMPR_PIL-LL-NE_C10

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	6,63	6,57	6,56	6,42	6,42	6,42	6,37	6,29	6,43	6,46	0,11
ACTC	6,79	6,74	6,41	6,83	6,48	6,83	6,73	6,47	6,99	6,70	0,20
TC	7,11	6,73	6,56	6,91	7,01	6,91	6,77	6,72	6,81	6,84	0,17
ABTC	7,11	6,78	6,87	6,74	6,82	6,74	6,82	6,73	6,53	6,79	0,15
Máx.	7,11	6,78	6,87	6,91	7,01	6,91	6,82	6,73	6,99		
Mín.	6,63	6,57	6,41	6,42	6,42	6,42	6,37	6,29	6,43		
Média	6,91	6,71	6,60	6,73	6,68	6,73	6,67	6,55	6,69		
DP	0,24	0,09	0,19	0,21	0,28	0,21	0,21	0,21	0,26		

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

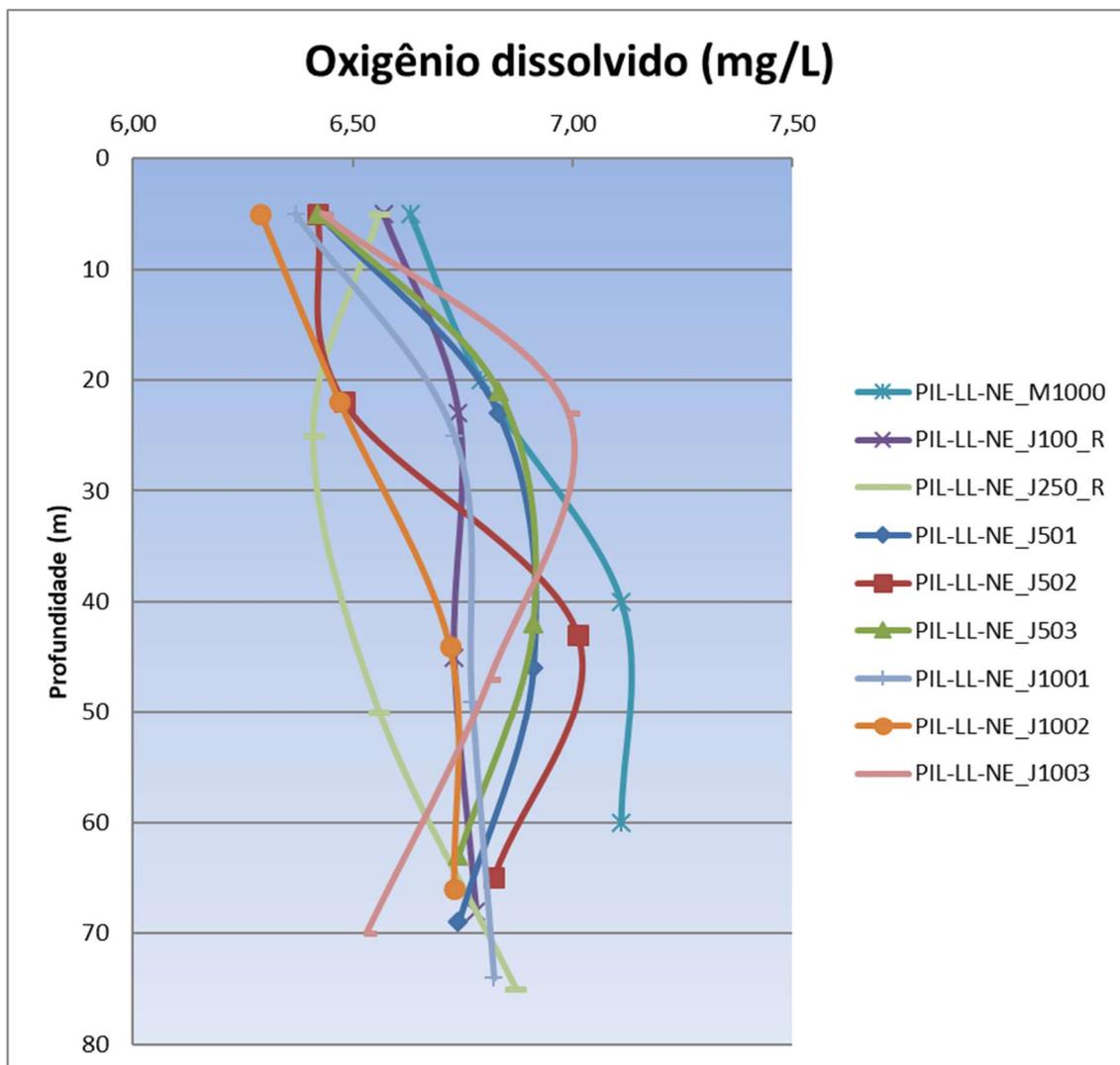


Figura V-7 – Variação vertical de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas estações da atual campanha de monitoramento.

Conforme observado na Figura V-7, os menores valores médios de oxigênio dissolvido foram verificados na SUP ($6,46 \pm 0,11$ mg/L), e na ACTC ($6,70 \pm 0,20$ mg/L). Já os maiores valores médios de OD são apresentados na TC e na ABTC ($6,84 \pm 0,17$ mg/L e $6,79 \pm 0,15$ mg/L, respectivamente). 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.

As concentrações de OD na coluna d'água apresentaram padrão variável entre as estações (Figura V-7). O perfil vertical das concentrações de OD na coluna d'água obtidos com CTD revelou um aumento gradual das concentrações de

oxigênio, chegando ao valor de 7,39 mg/L na profundidade de 95 m, seguido de oscilações até cerca 800 m e um decréscimo gradual das concentrações até aproximadamente 5,9 mg/L na profundidade de 1.240 m. A partir dessa profundidade observou-se o aumento gradual até alcançar valores superiores 7,9 mg/L (Figura V-8).

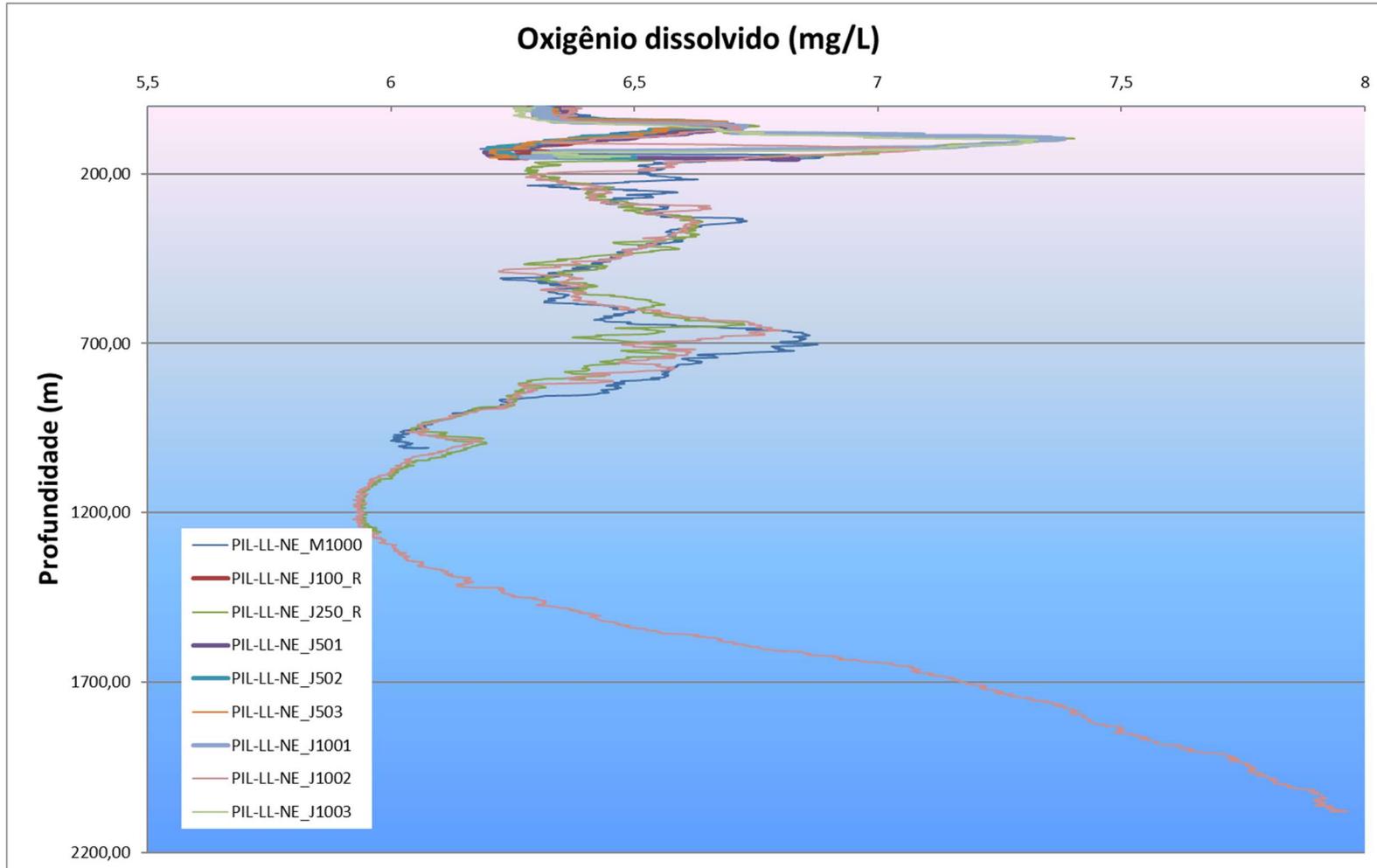


Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha de monitoramento.

Segundo Petrobras (2022), importante estudo histórico realizado na região da Bacia de Santos, foram encontrados valores de OD entre 5,2 e 8,1 mg/L. Na Tabela V-5, são apresentados os valores mínimo e máximo de oxigênio dissolvido encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região, onde é possível verificar que as concentrações medidas na atual campanha são condizentes com as faixas de variação obtidas em monitoramentos anteriores

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

Campanha	Oxigênio dissolvido (mg/L)	
	Mín.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	5,67 (ACTC)	9,60 (TC)
PIL-LL_C2 ²	5,80 (ACTC)	10,40 (ABTC)
PIL-LL_C3 ³	5,99 (ACTC)	7,25 (TC)
PIL-LL_C4 ⁴	6,65 (ACTC)	7,40 (TC)
PIL-LL_C5 ⁵	5,79 (SUP)	7,92 (TC)
PIL-LL_C6 ⁶	6,40 (SUP)	7,32 (ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	6,32 (ACTC)	6,79 (ABTC)
PIL-LL_C8 ⁸	6,25 (SUP)	7,05 (ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	7,47 (ABTC)	8,16 (ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	6,06 (SUP/TC)	6,56 (SUP)
PIL-LL_C11 ¹¹	6,40 (SUP/TC)	7,31 (TC)
PIL-LL_C12 ¹²	6,51 (SUP)	7,02 (ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	6,10 (SUP)	6,54 (ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	5,91 (SUP)	8,01 (ABTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	6,22 (ACTC)	6,80 (TC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	6,14 (SUP)	6,78 (TC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	6,44 (ABTC)	7,13 (TC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	7,63 (SUP)	8,12 (ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	6,00 (ACTC)	6,69 (ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	6,43 (ACTC)	6,98 (ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	6,54 (SUP)	7,48 (ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	6,45 (ACTC/ABTC/TC)	6,58 (TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 ²³	5,64 (SUP)	7,52 (TC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	6,38 (SUP)	7,34 (ABTC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	6,38 (TC)	7,14 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁶	6,48 (SUP)	7,27 (ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	5,25 (SUP)	6,01 (SUP)
PIL-SAP_C6 ²⁸	6,19 (TC)	6,69 (SUP)
PIL-SAP_C7 ²⁹	6,18 (SUP)	7,15 (TC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	6,10 (ABTC)	6,98 (ABTC)

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

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

Na Figura V-9, são apresentadas as faixas de concentrações de oxigênio dissolvido (OD) obtidas em cada profundidade no PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE. É possível verificar que, de um modo geral, a 1ª campanha (C1) mostrou uma variação mais ampla nas concentrações de OD em cada profundidade, enquanto a C5 apresentou maiores valores e a C6, as menores concentrações.

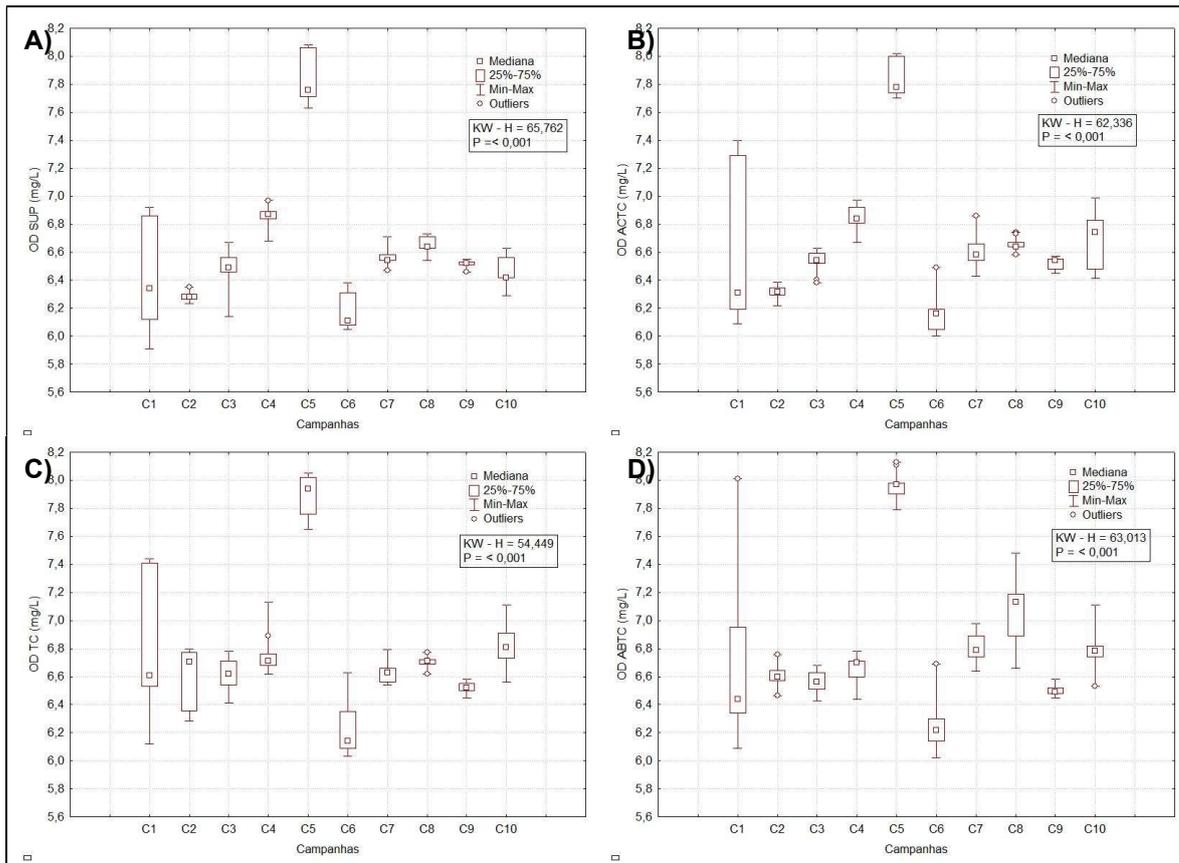


Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na comparação dos resultados, foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas para todas as profundidades (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). Na superfície, a quinta campanha diferiu significativamente das três primeiras campanhas e da sexta, da nona e da décima campanha, a quarta campanha diferiu da primeira, da segunda e da sexta, a oitava diferiu da segunda e da sexta, e a sétima diferiu da sexta (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a quinta campanha diferiu significativamente das três primeiras campanhas e da sexta e nona campanha, e a sexta diferiu da quarta, da oitava e da décima, e a quarta diferiu da segunda (Tukey, $p < 0,05$). Na termoclina, a quinta campanha diferiu significativamente das demais campanhas, exceto da quarta, oitava e décima, a sexta diferiu da quarta, oitava e décima, e a décima diferiu da nona (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a quinta campanha diferiu significativamente das quatro primeiras campanhas, da sexta e da nona

campanha, a oitava diferiu da terceira, da sexta e da nona, e a sexta deferiu da sétima e da décima (Tukey, $p < 0,05$).

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^+ , originada da dissociação do ácido carbônico por processos como respiração e decomposição (BOYD, 2001), o que gera valores baixos de pH. Uma pequena diminuição no pH pode estar associada ao aumento no teor de matéria orgânica que leva a consequente queda da quantidade de oxigênio dissolvido (MAIER, 1987). No sistema oceânico, os valores de pH apresentam pequenas variações, devido ao mecanismo tampão associado à água do mar. No entanto, variações na ordem de 7,8 a 8,2 podem ser observadas, associadas, sobretudo, aos fenômenos de oxidação de matéria orgânica, produção primária e incorporação de CO_2 atmosférico pelo sistema marinho. Variações mais amplas no pH acontecem, geralmente, onde existem importantes aportes terrestres (BRAGA & NIENCHESKI, 2006).

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

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

Na presente campanha, o pH variou entre 7,97, na SUP das estações PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002 e na ACTC da PIL-LL-NE_J502, e 8,16, na ABTC da estação PIL-LL-NE_M1000 (Tabela V-6). Foi possível observar grande homogeneidade entre os dados das diferentes estações e profundidades, destacando-se a TC e a ABTC da estação PIL-LL-NE_M1000 com maiores valores nessas camadas (Figura V-10).

Tabela V-6: Valores de pH medidos nas estações de coleta da PMPR_PIL-LL-NE_C10

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	7,97	8,00	7,99	8,00	8,01	8,00	7,98	7,97	7,98	7,99	0,01
ACTC	8,00	8,03	8,02	7,98	7,97	7,98	8,02	8,00	8,04	8,00	0,02
TC	8,06	8,01	7,99	8,02	8,05	8,02	8,00	8,00	8,03	8,02	0,02
ABTC	8,16	8,01	8,01	8,03	8,03	8,03	8,02	8,00	8,02	8,03	0,05
Máx.	8,16	8,03	8,02	8,03	8,05	8,03	8,02	8,00	8,04		
Mín.	7,97	8,00	7,99	7,98	7,97	7,98	7,98	7,97	7,98		
Média	8,05	8,01	8,00	8,01	8,02	8,01	8,01	7,99	8,02		
DP	0,08	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03		

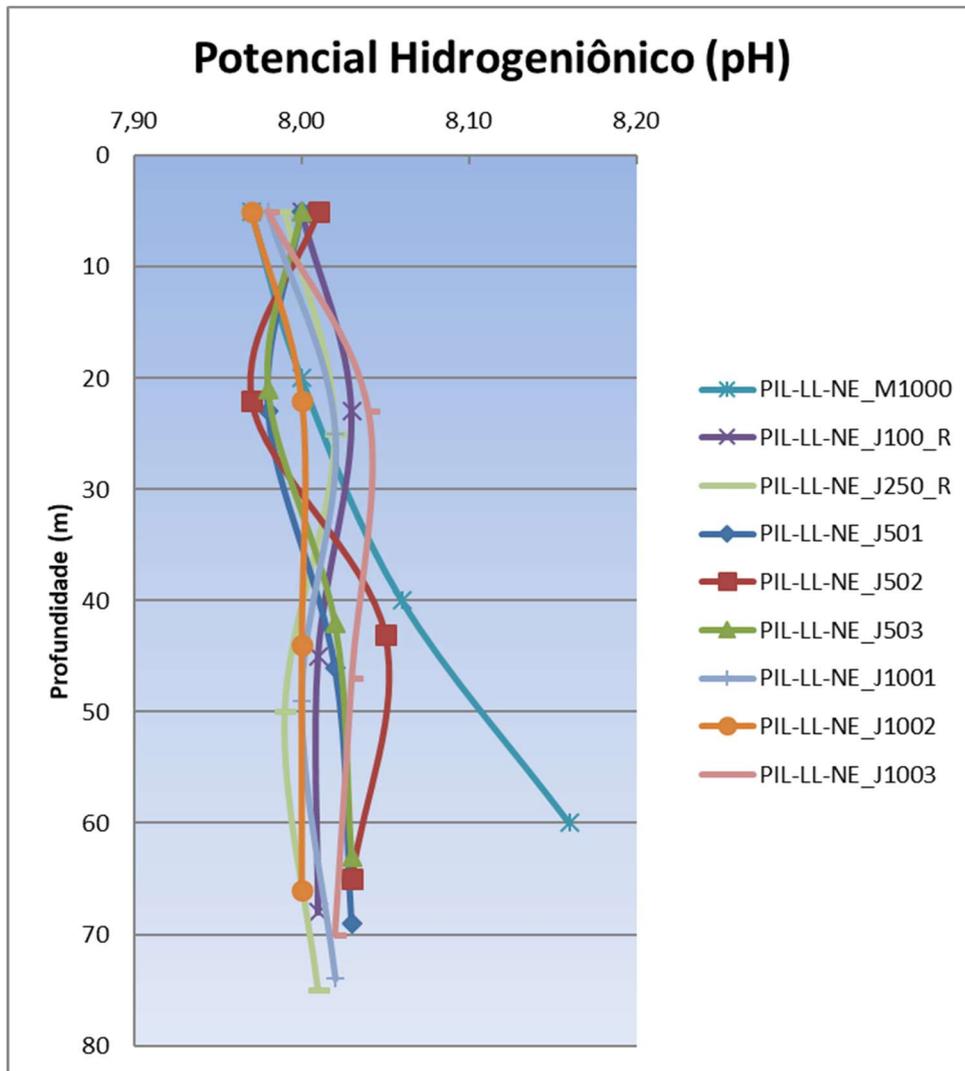


Figura V-11 – Variação vertical de pH obtidos nas estações de coleta da PMPR_PIL-LL-NE_C10.

A média entre as estações variou de $7,99 \pm 0,02$ (PIL-LL-NE_J1002) a $8,05 (\pm 0,08 - \text{PIL-LL-NE_M1000})$. Na ABTC foi observado o maior valor médio de pH ($8,03 \pm 0,05$), sendo os valores médios muito próximos entre as profundidades e alcançando média mínima na SUP ($7,99 \pm 0,01$). A grande homogeneidade entre os dados, com baixos valores de desvio padrão, provavelmente está relacionada ao efeito tampão da água do mar sobre este parâmetro. 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.

A água produzida apresentou, na análise realizada durante o 1º semestre de 2023, pH de 7,47, na saída do flutador. No monitoramento da PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C10, foi verificado uma variabilidade de resultados de pH entre as estações e entre as profundidades, sem que tenha sido identificado uma oscilação padronizada. Na estação PIL-LL-NE_M1000 mediu-se o valor mais elevado da campanha na camada ABTC, na estação SUP de PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002 e na ACTC de PIL-LL-NE_J502 foram medidos os valores mais baixos, enquanto nas demais estações foram identificados valores intermediários a esses extremos. Todos os valores encontrados são característicos de águas oceânicas, não sendo possível afirmar que o descarte de água produzida causou efeitos notáveis no pH dos pontos amostrados durante a atual campanha.

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.

Na Tabela V- são apresentados os valores mínimo e máximo de pH encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Os dados da 10ª campanha de monitoramento encontram-se dentro da faixa de variação dos resultados obtidas em monitoramentos executados anteriormente na região.

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

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

PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	7,93 (ABTC)	8,10 (ACTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	8,05 (SUP/ACTC)	8,35 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	8,04 (ABTC)	8,30 (ABTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	8,06 (SUP)	8,27 (TC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	8,02 (SUP)	8,16 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	8,03 (TC/ABTC)	8,18 (ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	8,03 (SUP)	8,17 (ACTC)
PIL-SAP_C1 ²³	7,90 (ABTC)	8,18 (SUP)
PIL-SAP_C2 ²⁴	8,01 (TC)	8,25 (TC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	7,62 (SUP)	8,22 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁶	8,31 (SUP)	8,36 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	8,23 (ABTC)	8,37 (ACTC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	8,04 (ABTC)	8,32 (ABTC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	8,00 (SUP)	8,18 (ABTC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	8,10 (SUP)	8,28 (TC)
PIL-SAP_C9 ³¹	7,82 (SUP)	8,19 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	8,18 (ACTC)	8,30 (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	7,91 (TC)	8,09 (TC)
DP-IRA-S_C3 ³⁴	8,07 (TC)	8,35 (ACTC/TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	8,22 (ABTC)	8,32 (ACTC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	8,07 (ACTC)	8,25 (ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	8,03 (SUP)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	7,98 (ABTC)	8,15 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	7,89 (ABTC)	8,18 (TC)
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	7,96 (SUP/ACTC)	8,07 (ABTC)

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

O histórico de campanhas de monitoramento do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE indicou uma tendência a ocorrência, nos estratos amostrais avaliados (SUP, ACTC, TC e ABTC), de valores superiores a 8,15 na maior parte das campanhas iniciais (segunda, quarta, quinta e sexta campanha) (Figura V-). A terceira campanha se destacou por apresentar os menores resultados, com o valor mediano, determinado para cada uma das quatro camadas, similar ao valor de 8,05

identificado como pH médio para a região da Bacia de Santos. Nas campanhas mais recentes (sétima, oitava, nona e décima campanhas) os valores de pH oscilaram em torno de 8.

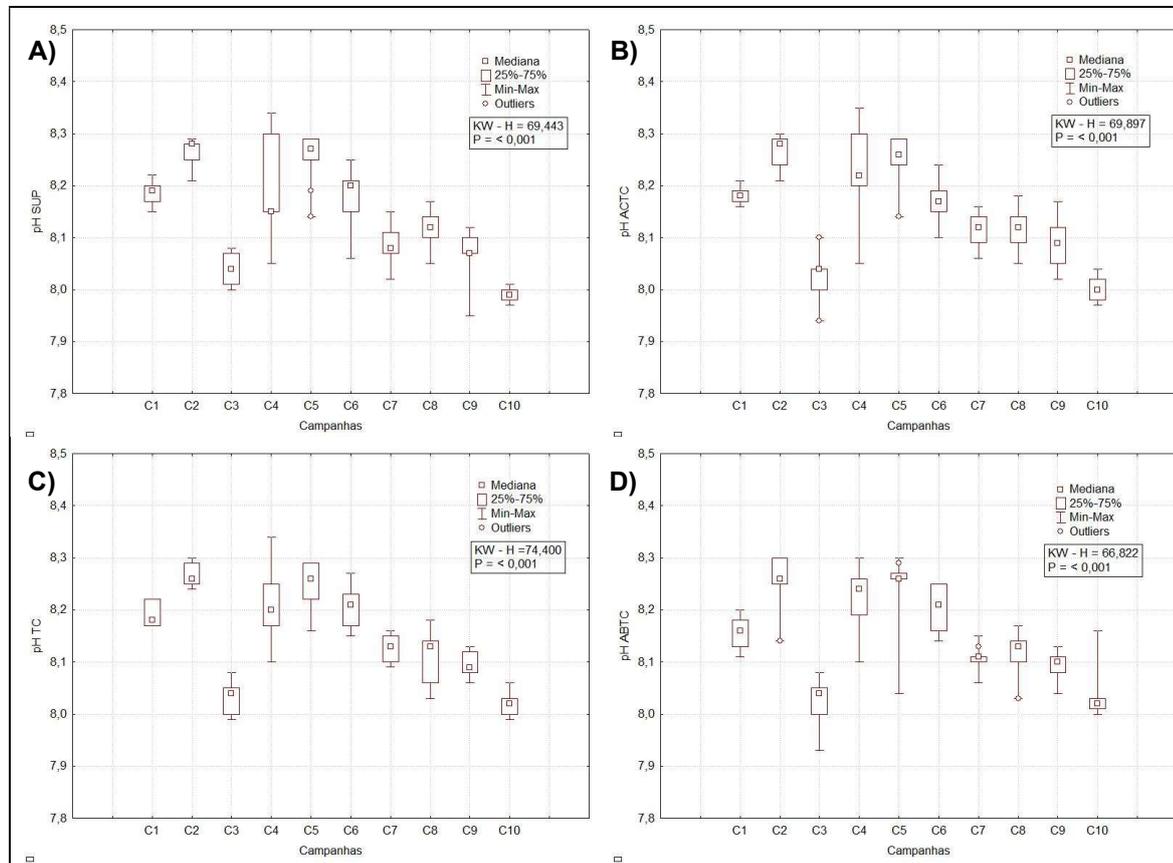


Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas de PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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-1). Na SUP, a segunda e quinta campanhas diferiram da terceira, sétima, nona e décima campanha, a primeira diferiu da terceira e da décima, a quarta de terceira e da décima e a sexta diferiu da décima (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a segunda diferiu da terceira, sétima, oitava, nona e décima campanha, a terceira e a décima campanha diferiram da primeira, da quarta, da quinta e da sexta, e a quinta diferiu da nona (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, a segunda diferiu da terceira, sétima, oitava, nona e décima campanha, a terceira e a décima diferiram da primeira, quarta, quinta e sexta campanha, e a quinta diferiu também

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

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 sendo 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 $\mu\text{g/L}$ (*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 $\mu\text{g/L}$ (*FALKOWSKI et al.*, 2001).

Os valores de clorofila-a registrados na presente campanha variaram entre 0,01 µg/L, na ACTC da estação PIL-LL-NE_J501, e 0,23 µg/L, na ABTC da estação PIL-LL-NE_J1003 (Tabela V-8). Entre as estações, a maior concentração média de clorofila-a esteve associada ao estrato abaixo da termoclina ($0,13 \pm 0,06$ µg/L), enquanto a menor concentração média esteve associada à superfície (SUP, média = $0,06 \pm 0,01$ µg/L).

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

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	0,05	0,08	0,05	0,05	0,08	0,08	0,05	0,05	0,08	0,06	0,01
ACTC	0,06	0,05	0,06	0,01	0,05	0,09	0,08	0,05	0,22	0,07	0,06
TC	0,10	0,08	0,15	0,10	0,07	0,07	0,17	0,11	0,13	0,11	0,03
ABTC	0,12	0,06	0,19	0,07	0,11	0,16	0,07	0,19	0,23	0,13	0,06
Máx.	0,12	0,08	0,19	0,10	0,11	0,16	0,17	0,19	0,23		
Mín.	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05	0,07	0,05	0,05	0,08		
Média	0,08	0,07	0,11	0,06	0,08	0,10	0,09	0,10	0,17		
DP	0,03	0,01	0,07	0,04	0,03	0,04	0,05	0,07	0,07		

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

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de clorofila-a na coluna d'água obtidos na atual campanha são mostrados na Figura V-2012, mostrando padrão variável entre as estações. Destaca-se a maior concentração de clorofila-a na ACTC e ABTC de PIL-LL-NE_J1003, bem como menor valor de concentração na ACTC de PIL-LL-NE_J501.

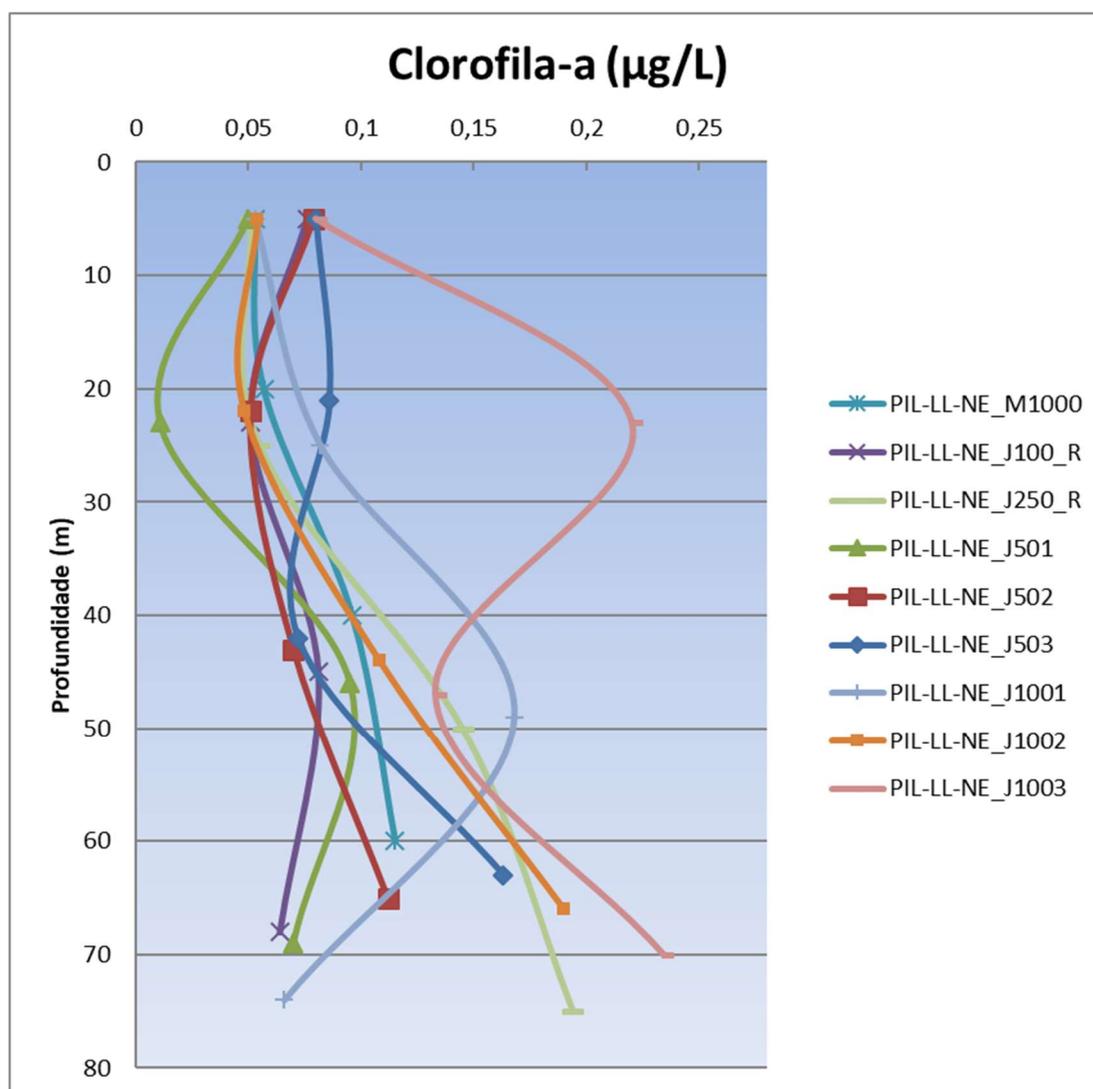
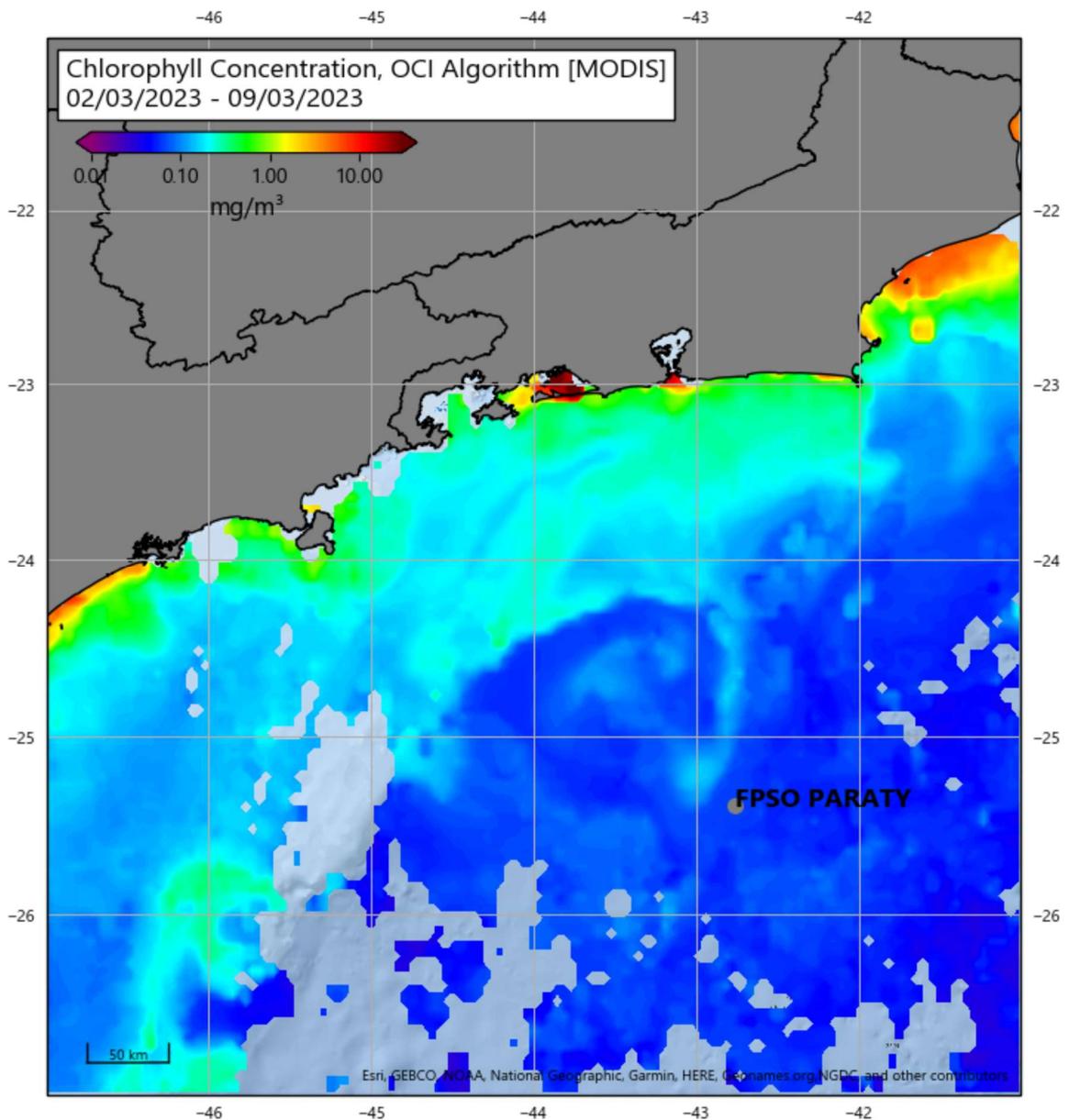


Figura V-122 – Perfis das concentrações de clorofila-a obtidos na atual campanha de monitoramento.

Os valores obtidos na PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE_C10 se assemelham com o mosaico de concentração de clorofila-a obtido durante o período equivalente ao da campanha mostrando baixas concentrações de clorofila na região, em torno de 0,066 µg/L (PETROBRAS, 2023, Figura V-13).



Fonte: Petrobras (2023)

Figura V-13 - Concentração de clorofila na superfície do mar obtidos por satélites entre os dias 02 e 09 de março de 2023. O círculo em cinza indica a localização do FPSO CPY.

O estudo anterior de Caracterização dos Blocos BMS-8, 9, 10, 11 e 21 (Petrobras/Habtec (2003)) realizado na área de interesse registrou uma faixa de concentração de clorofila-a variando entre não detectado (zero) e 3,13 µg/L. Segundo Petrobras (2022), foram observados valores de clorofila-a, variando entre 0,07 a 50,48mg/m², entre as campanhas de inverno e verão. Na Tabela V-, são apresentados os valores mínimo e máximo de clorofila-a, encontrados nas

campanhas anteriores de interesse do PMAEpro-BS_PMPR_PIL-LL-NE, realizadas entre 2010 e 2023, ao longo da execução de 4 projetos na Bacia de Santos. De maneira geral, a maioria dos valores não detectaram nem quantificaram clorofila-a na água do mar, diferente do que ocorreu na atual campanha.

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

Campanha	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	
	Min.	Máx.
PIL-LL_C1 ¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (SUP)
PIL-LL_C2 ²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,07 (TC/ABTC)
PIL-LL_C3 ³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 ⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (SUP)
PIL-LL_C7 ⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,80 (ACTC)
PIL-LL_C8 ⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC)
PIL-LL_C9 ⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (TC/ABTC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ABTC)
PIL-LL_C11 ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,53 (ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	0,05 (SUP)	0,42 (ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	0,04 (SUP)	0,25 (TC)
PIL-LL-NE_C14 ¹⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,50 (ACTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,70 (ABTC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ABTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	0,03 (SUP)	0,26 (ABTC)
PIL-SAP_C1 ²³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,60 (SUP)
PIL-SAP_C2 ²⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,30 (ACTC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,20 (SUP)
PIL-SAP_C4 ²⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C5 ²⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C6 ²⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,87 (TC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C9 ³¹	0,015 (ACTC)	0,109 (ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	2,10 (ACTC)
DP-IRA-S_C2 ³³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)

DP-IRA-S_C3 ³⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.q. (ACTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	0,045 (SUP)	0,188 (ACTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	0,027 (SUP/ACTC)	0,085 (ABTC)

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

Os valores de clorofila-*a* encontrados nas amostras da segunda campanha de PIL-LL-NE, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores e apresentaram maior amplitude de valores em relação às demais campanhas. 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, exceto para a TC (Figura V-144). Na SUP, a primeira, segunda e sétima campanhas diferiram da oitava, nona e décima, e a oitava e nona campanhas diferiram da terceira, quarta, quinta e sexta (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a primeira, segunda e sétima campanhas diferiram da oitava, nona e décima, e a nona e a décima diferiram da quinta e da sétima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a nona campanha diferiu da terceira, quarta, quinta, sexta e sétima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que o método empregado foi igual ao longo das campanhas, mas houve alteração de limites de quantificação (LQ C1, C2, C4, C5, C6 e C7 = 0,5 µg/L, LQ C3 = 0,2 µg/L, LQ C8 = 0,010 µg/L e LQ C9 e C10 = 0,012 µg/L) e mudanças de laboratório entre a segunda e terceira campanha, entre a terceira e quarta campanha e entre a sétima e oitava campanha.

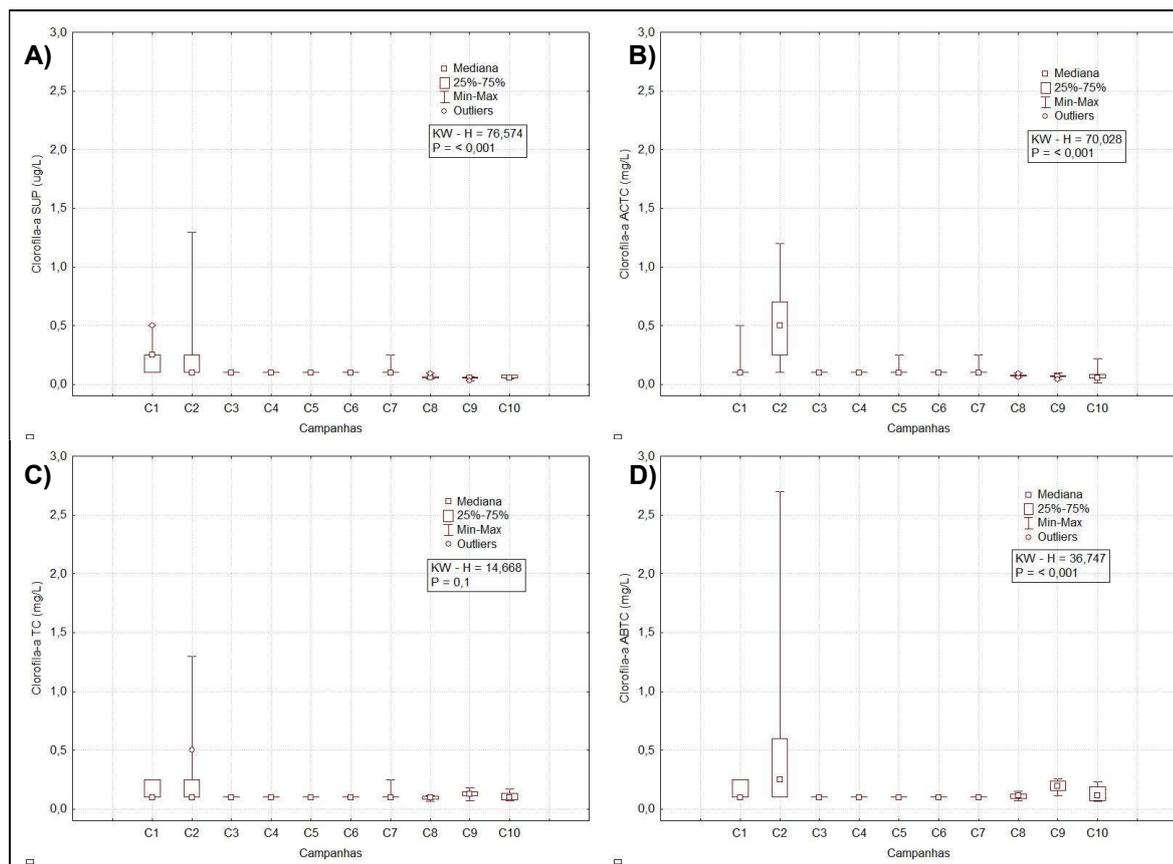


Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.5 - Nutrientes

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

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

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

Em estudo de caracterização da região da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), concentrações mínimas de silicato, foram típicas de áreas oceânicas dominadas pela AT, transportada pela Corrente do Brasil, contrastando com as concentrações máximas nas áreas sob a influência da drenagem continental, sendo observada uma variação na zona epipelágica entre 0,03 e 15,3 μM no inverno e entre 0,03 e 10,4 μM nos meses do verão. Nesse estudo, a concentração de fosfato na zona epipelágica variou entre 0,08 e 1,32 μM na região da BS, com mínimos na Água Tropical oligotrófica 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 também indicou variação na concentração de nitrato, desde abaixo do limite de detecção ($<0,01 \mu\text{M}$) até máximos $>17 \mu\text{M}$ no nível da ACAS, concentração de nitrito predominantemente inferior a 1 μM , com picos máximos na termoclina, e concentrações de amônia na zona epipelágica variando de $<1 \mu\text{M}$, a 0,1 e 0,2 μM

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

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

Na caracterização regional da Bacia de Santos (PCR-BS), realizada entre 2019 e 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, não foram quantificadas concentrações de nitrogênio amoniacal superiores ao limite de quantificação (LQ = 0,01 mg/L N) em nenhuma das estações monitoradas.

A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para o nitrogênio amoniacal em estudos anteriores na região de interesse. Todas as concentrações apresentadas na tabela supracitada, assim com nas amostras da atual campanha, foram inferiores a 0,40 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

No período de realização da presente campanha, a concentração de nitrogênio amoniacal na água produzida foi 83,00 mg/L N, na saída do flotor. Apesar da elevada concentração desse parâmetro na água produzida, a ausência de nitrogênio amoniacal nas estações de monitoramento, tanto a montante como a jusante da plataforma, pode ser decorrente de intenso processo de oxidação por bactérias nitrificantes em ambiente marinho aeróbio, como também devido ao consumo, como fonte de nitrogênio, pelo fitoplâncton. Com a ausência de concentrações quantificadas desse parâmetro na água, é possível afirmar que o descarte de água produzida não ocasionou efeitos notáveis nas concentrações de nitrogênio amoniacal nos pontos amostrados durante a atual campanha.

Na Figura V-15 são apresentadas as faixas de concentrações de nitrogênio amoniacal obtidas por estrato no PMPR_E1_PIL-LL-NE. Os resultados da terceira campanha não foram incluídos nos gráficos, visto que as análises realizadas na época da campanha não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018a). Na quarta campanha foi observada a maior amplitude de valores, sendo obtidas as maiores concentrações máximas em pontos amostrais das camadas SUP e TC. Na camada ACTC, as maiores concentrações foram verificadas na sétima campanha, enquanto na ABTC, as maiores concentrações foram verificadas na primeira e quinta campanhas.

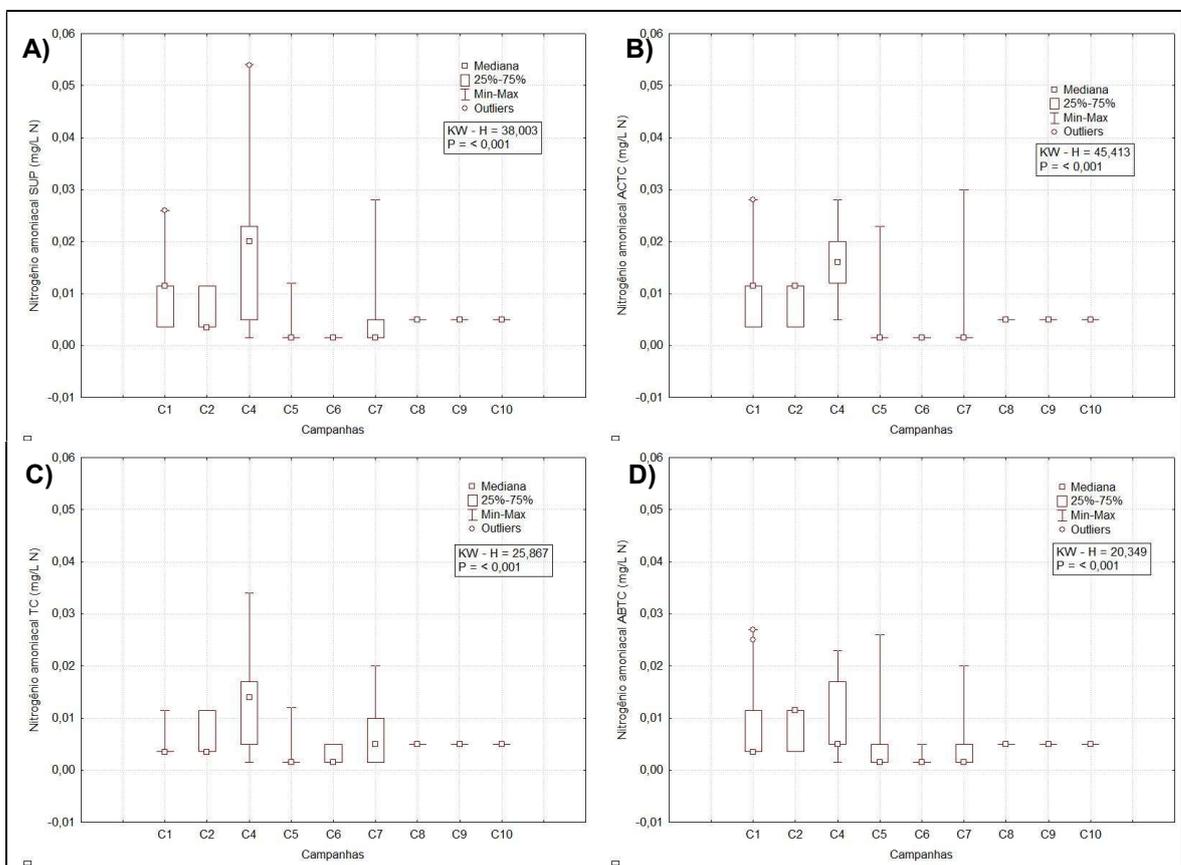


Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das capanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina. Não foram obtidos resultados válidos para a campanha C3.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foram verificadas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os dados das oito campanhas de monitoramento consideradas, para todas as profundidades. Para a SUP, a quarta campanha diferiu da quinta e sexta, e a sexta campanha diferiu da primeira, oitava, nona e décima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Para a ACTC, a quarta campanha diferiu da quinta, sexta e sétima campanha, e a sexta diferiu da primeira e segunda (Tukey, $p < 0,05$). Para a TC, a quarta campanha diferiu da quinta e da sexta campanha (Tukey, $p < 0,05$). Para a ABTC, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível detectar em quais campanhas foram observadas essas diferenças. Cabe ressaltar que o método empregado foi sempre o mesmo, mas houve alteração de limites de quantificação e de detecção (LQ C1 e C2 = 0,023 mg/L, LQ C4, C5, C6, C7 e C8 = 0,01 mg/L, LD C1 e C2 = 0,007 mg/L e LD C4, C5, C6, C7, C8, C9 e C10 = 0,003 mg/L), bem como mudanças de laboratório entre a segunda e a terceira e entre a sétima e oitava campanha.

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações de nitrito superiores ao limite de quantificação (LQ = 0,002 mg/L N) em nenhuma das estações monitoradas. A Tabela V-9 apresenta resultados obtidos para estes parâmetros em estudos anteriores na região de interesse, onde é possível observar que concentrações inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05 são rotineiramente observadas, sendo muito frequentes as não detecções e as não quantificações.

A determinação de nitrito não pertence ao escopo de parâmetros analisados na água produzida descartada pelo FPSO CPY. Entretanto, assim como observado para o nitrogênio amoniacal, a ausência de quantificação desse parâmetro nas estações amostrais, se mostra consistente com o processo de oxidação de nitrito até nitrato na presença de oxigênio dissolvido, podendo ser rapidamente incorporado a biomassa fitoplanctônica. Assim, seria viável que a interação do nitrogênio amoniacal do efluente com o oxigênio dissolvido presente na água do mar do entorno gerasse um incremento na concentração de nitrito nas estações à jusante da plataforma. Mediante a ausência de concentrações quantificadas de nitrito na água, é possível afirmar que os descartes de água produzida não ocasionaram efeitos notáveis nos pontos amostrados. É preciso destacar ainda a

baixa estabilidade deste composto, que tende a ser rapidamente oxidado a nitrato, forma mais estável.

Os valores de nitrito encontrados nas amostras da quarta e sétima campanha, considerando cada uma das quatro camadas, 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 nove campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-166). Na superfície, a sétima campanha diferiu das demais campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$), exceto da quarta e da sexta. Na ACTC, por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey), não foi possível observar em quais campanhas foram observadas diferenças. Na TC, a quarta campanha diferiu da primeira, segunda, quinta, oitava, nona e décima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, a quarta campanha diferiu das demais (*Tukey*, $p < 0,05$), exceto da sexta e sétima. 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 as cinco últimas campanhas, 0,0001 mg/L N para a terceira campanha e 0,001 mg/L N para a oitava campanha / MAOQ – Baumgarten (1996) para a terceira campanha e SMEWW 4500 B para as demais campanhas).

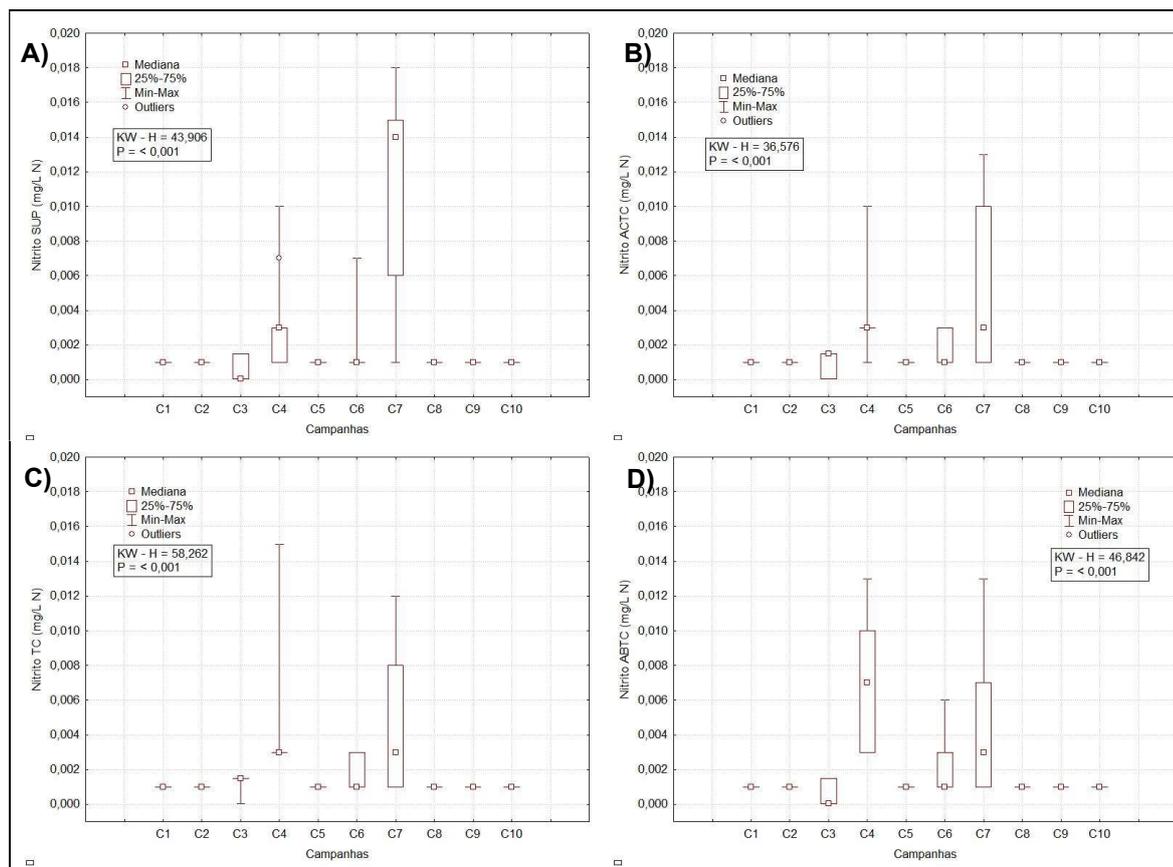


Figura V-16 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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

O Nitrato também não pertence ao escopo de análises para efetuar monitoramento periódico da água produzida descartada pelo FPSO CPY. Entretanto, apesar da tendência de oxidação do nitrogênio amoniacal descartado na água produzida ser oxidado até nitrato, a ausência de concentrações quantificadas desse parâmetro na água mar, rica em oxigênio dissolvido, indica a ausência de efeitos notáveis nos pontos amostrados durante a atual campanha.

Os resultados obtidos para o nitrato na atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação identificada em estudos anteriores, executados entre 2010 e 2023, ao longo da execução de 4 projetos na Bacia de Santos (Tabela V-10). Cabe

destacar que, apesar da ocorrência de concentrações máximas bem superiores aos resultados verificados na atual campanha, também foram registrados períodos frequentes de ausência de quantificação de concentração de nitrato.

No PCR-BS (Petrobras, 2022) observou-se concentrações de nitrato variando de níveis abaixo do limite de detecção ($<0,01\mu\text{M}$) até máximos $> 17 \mu\text{M}$ no nível da Água Gertral do Atlantico 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 nos estudos anteriores (nd = não detectado e nq = não quantificado).

Campanha	N amoniacal (mg/L N)		Nitrito (mg/L N)		Nitrato (mg/L N)		Silicato (mg/L)		Fósforo total (mg/L P)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Bacia de Santos ¹	0,0084	0,0089	0,0076	0,0080	0,0156	0,0301	0,0150	0,0460	n.d.	0,0032
PIL-LL_C1 ²	0,0016	0,0045	0,0015	0,0055	0,0058	0,0480	0,0096	0,0554	n.d.	0,0113
PIL-LL_C2 ³	n.d.	0,0684	n.d.	n.d.	0,0126	0,0450	n.d.	0,9289	n.d.	0,0079
PIL-LL_C3 ⁴	n.d.	0,0040	0,0070	0,0260	0,0120	0,0960	0,0170	0,0440	0,0110	0,0510
PIL-LL_C4 ⁵	n.d.	0,0400	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,5900	n.d.	n.d.
PIL-LL_C5 ⁶	n.d.	0,0410	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,5555	n.d.	0,0230
PIL-LL_C6 ⁷	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,5600	n.d.	0,0080
PIL-LL_C7 * ⁸	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	0,014	0,0285	n.q.	0,1000
PIL-LL_C8 ⁹	n.d.	0,0580	n.d.	0,2310	n.d.	1,6500	n.d.	0,8500	n.d.	0,0580
PIL-LL_C9 ¹⁰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,3200	n.d.	0,5300	n.q.	0,0310
PIL-LL_C10 ¹¹	n.d.	0,0180	n.d.	0,0090	n.d.	0,2100	n.q.	0,1800	n.d.	n.d.
PIL-LL_C11 ¹²	n.d.	0,0190	n.d.	0,0240	n.d.	0,2000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-LL_C12 ¹³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.
PIL-LL_C13 ¹⁴	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	2,887	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C1 ¹⁵	n.d.	0,0280	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0750	1,2350	n.d.	0,0260
PIL-LL-NE_C2 ¹⁶	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,8990	n.d.	0,0800
PIL-LL-NE_C3 * ¹⁷	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,004	0,018	0,025	n.q.	0,020
PIL-LL-NE_C4 ¹⁸	n.d.	0,0540	n.d.	0,0150	n.d.	1,7000	n.d.	0,1800	n.d.	n.q.
PIL-LL-NE_C5 ¹⁹	n.d.	0,0260	n.d.	n.d.	n.d.	0,2600	n.d.	0,2200	n.d.	0,0190

Campanha	N amoniacal (mg/L N)		Nitrito (mg/L N)		Nitrato (mg/L N)		Silicato (mg/L)		Fósforo total (mg/L P)	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
PIL-LL-NE_C6 ²⁰	n.d.	n.q.	n.d.	0,0070	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE_C7 ²¹	n.d.	0,0300	n.d.	0,0180	n.d.	0,1000	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-LL-NE_C8 ²²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,070	n.q.	n.q.
PIL-LL-NE_C9 ²³	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,008
PIL-SAP_C1 ²⁴	n.d.	0,0420	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,2370	1,1030	n.d.	0,0285
PIL-SAP_C2 ²⁵	n.d.	0,0115	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,3230	n.d.	0,0080
PIL-SAP_C3 * ²⁶	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	0,0200	0,0410	n.q.	0,0300
PIL-SAP_C4 ²⁷	n.d.	0,0570	n.d.	0,1350	n.d.	0,5600	n.d.	0,7000	n.d.	0,0860
PIL-SAP_C5 ²⁸	n.d.	0,0790	n.d.	0,0610	n.d.	0,1000	n.d.	0,1800	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C6 ²⁹	n.d.	0,0330	n.q.	0,0160	n.d.	0,1900	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
PIL-SAP_C7 ³⁰	n.d.	0,0200	n.d.	0,0150	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PIL-SAP_C8 ³¹	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,1100	n.q.	n.q.
PIL-SAP_C9 ³²	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	1,763	n.q.	n.q.
Bloco BMS-11 ³³	0,0080	0,0143	0,0014	0,1415	0,0155	0,1414	1,3969	6,9406	0,0067	0,4095
DP-IRA-S_C1 ³⁴	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,6130	n.d.	0,0080
DP-IRA-S_C2 * ³⁵	-	-	n.d.	n.q.	n.q.	0,0040	n.q.	0,0210	n.d.	0,0100
DP-IRA-S_C3 ³⁶	n.d.	0,0870	n.d.	0,0260	0,1500	1,2000	n.d.	0,5300	n.d.	0,0170
DP-IRA-S_C4 ³⁷	n.d.	0,0820	0,0090	0,0940	n.d.	0,1600	n.d.	0,2400	n.d.	0,0540
DP-IRA-S_C5 ³⁸	n.d.	0,0190	n.d.	0,0080	n.d.	0,1300	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.
DP-IRA-S_C6 ³⁹	n.d.	0,0200	n.d.	0,0190	n.d.	n.q.	n.d.	n.q.	n.d.	n.d.

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_C7 ⁴⁰	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	0,7470	n.q.	n.q.
DP-IRA-S_C8 ⁴¹	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	-	-	-	-
DP-IRA-S_C9 ⁴²	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/Analytical Solutions (2010), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2012a), 4 = Petrobras/Analytical Solutions (2012b), 5 = Petrobras/Bourscheid (2014), 6 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 7 = Petrobras/Bourscheid, (2016a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 10 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 11 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 12 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 14 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 16 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 18 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 20 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 21 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 23 = Petrobras/Bioconsult (2022c) 24 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 25 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 26 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 29 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 30 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 31 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 32 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 33 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 34 = Petrobras/Habtec (2003); 35 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 36 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 37 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 38 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 39 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 40 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 41 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 42 = Petrobras/Bioconsult (2022e); 43 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Os valores de nitrato encontrados nas amostras da quarta campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores em relação às demais campanhas de monitoramento (Figura V-17).

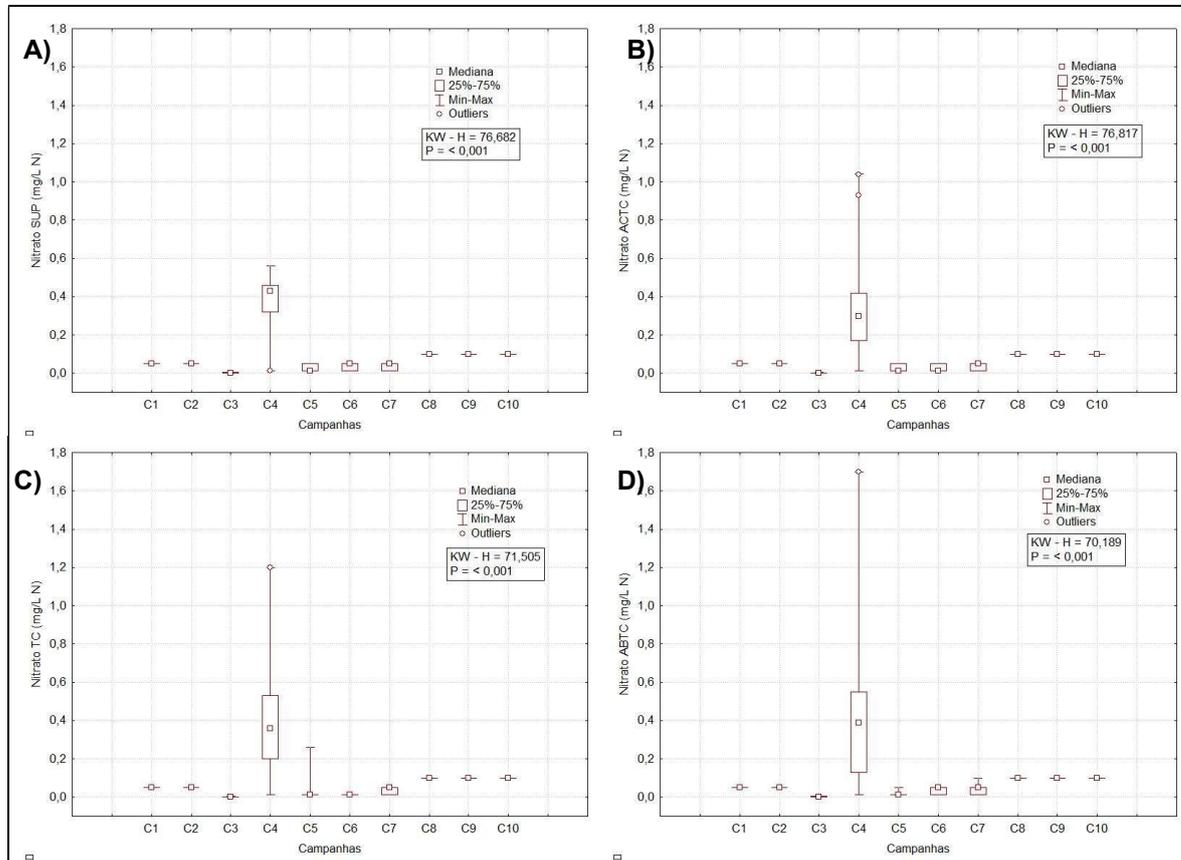


Figura V-17 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas no PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das nove campanhas para todos os estratos (Figura V-17). Na SUP, a quarta, a oitava, a nona e décima campanha diferiram da terceira, quinta, sexta e sétima campanha (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a quarta campanha diferiu da terceira, quinta, sexta e sétima campanha, e a oitava e a décima diferiram da terceira, quinta e sexta (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, a quarta campanha diferiu da terceira, quinta, sexta e sétima campanha, a terceira e a sexta diferiram da oitava, nona e décima (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a quarta campanha diferiu da terceira, quinta e sexta campanha, e a terceira e quinta campanhas diferiram da oitava, nona e décima campanha (Tukey, $p < 0,05$).

Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) observadas nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	0,196	0,618	0,718	0,134	0,331	0,118	0,127	0,230	0,144	0,29	0,23
ACTC	0,333	0,554	0,161	0,254	0,192	0,128	0,284	0,243	0,208	0,26	0,13
TC	0,175	0,429	0,208	0,608	0,146	0,141	0,683	0,098	0,275	0,31	0,22
ABTC	0,088	0,393	0,233	0,846	0,108	0,124	1,051	0,075	0,108	0,34	0,36
Máx.	0,333	0,618	0,718	0,846	0,331	0,141	1,051	0,243	0,275		
Mín.	0,088	0,393	0,161	0,134	0,108	0,118	0,127	0,075	0,108		
Média	0,20	0,50	0,33	0,46	0,19	0,13	0,54	0,16	0,18		
DP	0,10	0,11	0,26	0,33	0,10	0,01	0,42	0,09	0,07		

É importante salientar que o limite de detecção foi diferente 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 para a oitava, nona e décima campanha e 0,03 mg/L N para as demais campanhas), o que parece ter influenciado os resultados estatísticos obtidos, uma vez que as baixíssimas concentrações detectadas na 3ª campanha só foram possíveis dado o baixo limite de detecção empregado. Assim, as diferenças verificadas entre esta e a primeira e segunda campanhas, que não apresentaram resultados quantificáveis, não podem ser consideradas diferenças reais, uma vez que resultam do tratamento aplicado aos resultados não detectados das duas primeiras campanhas. A quarta campanha apresentou as maiores concentrações em todas as profundidades e, portanto, diferiu significativamente da maioria das demais campanhas.

Na atual campanha de monitoramento, os valores de silicato registrados variaram entre 0,075 mg/L, na ABTC da estação PIL-LL-NE_J1002, e 1,05 mg/L, na ABTC da estação PIL-LL-NE_J1001 (Tabela V-11). Entre as estações, a maior concentração média de silicato esteve associada ao estrato abaixo da termoclina ($0,34 \pm 0,36 \mu\text{g/L}$), enquanto a menor concentração média esteve associada à ACTC ($0,26 \pm 0,13 \mu\text{g/L}$).

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de silicato na coluna d'água da atual campanha são mostrados na Figura V-208. A distribuição vertical de silicato indicou homogeneidade na concentração entre a maioria das estações, exceto em relação à estação PIL-LL-NE_J250_R, que apresentou maior concentração na SUP, e em relação à estação PIL-LL-NE_J501 e PIL-LL-NE_J1001, que apresentaram maiores valores de silicato na ABTC.

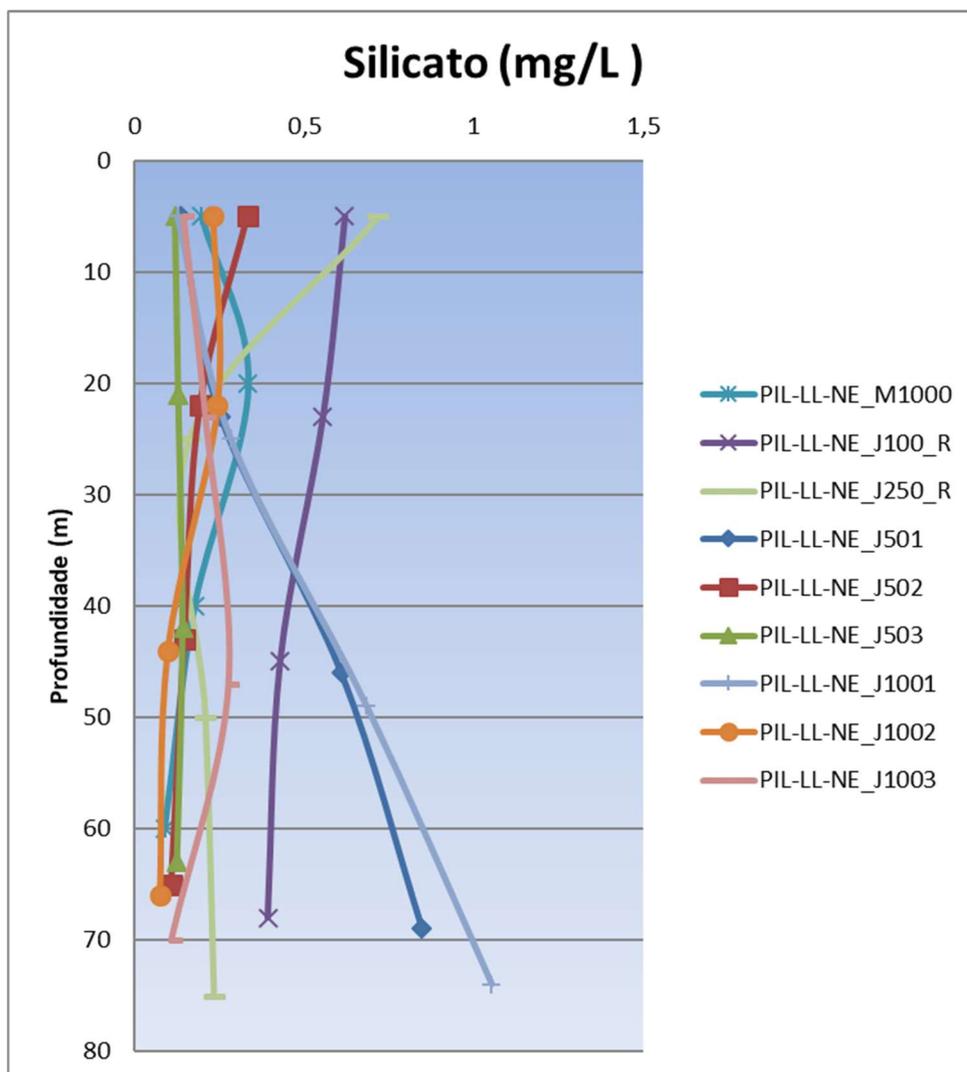


Figura V-18 – Perfis das concentrações de silicato obtidos nas estações amostrais da atual campanha de monitoramento.

Tabela V-11 apresenta os resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. As concentrações verificadas na atual campanha estiveram dentro da faixa de variação dos resultados anteriores verificados para o local. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valor máximo de concentração de silicato para águas salinas classe 1.

Os valores de silicato total encontrados nas amostras da primeira campanha, seguidos pelos resultados da segunda e décima campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram superiores aos valores encontrados nas demais campanhas de monitoramento.

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, a primeira campanha diferiu da terceira, quarta, sétima, oitava e nona, e a terceira campanha diferiu da segunda, da quarta, da quinta, da sexta e da décima campanha, e a décima diferiu da oitava (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, a primeira, a segunda e décima campanha diferiram significativamente da terceira, quarta, sétima, oitava e nona campanha, e a terceira campanha diferiu da sexta (Tukey, $p < 0,05$). Na TC e na ABTC, a primeira e décima campanhas diferiram da terceira, da quarta, da sétima, da oitava e da nona, e a terceira campanha diferiu da segunda, da quinta e da sexta (Tukey, $p < 0,05$). É importante ressaltar que os métodos analíticos e os limites de detecção variaram entre as campanhas (método SMEWW 4500 C e LD = 0,05 mg/L para as duas primeiras campanhas e para a quarta, quinta, sexta e sétima campanha, MAOQ – Baumgarten (1996) e LD = 0,001 mg/L para a terceira campanha e SMEWW 4500 C e LD = 0,02 mg/L para a oitava, nona e décima campanha). Assim, é possível que parte das diferenças verificadas esteja relacionada a maior ou menor sensibilidade dos métodos analíticos empregados.

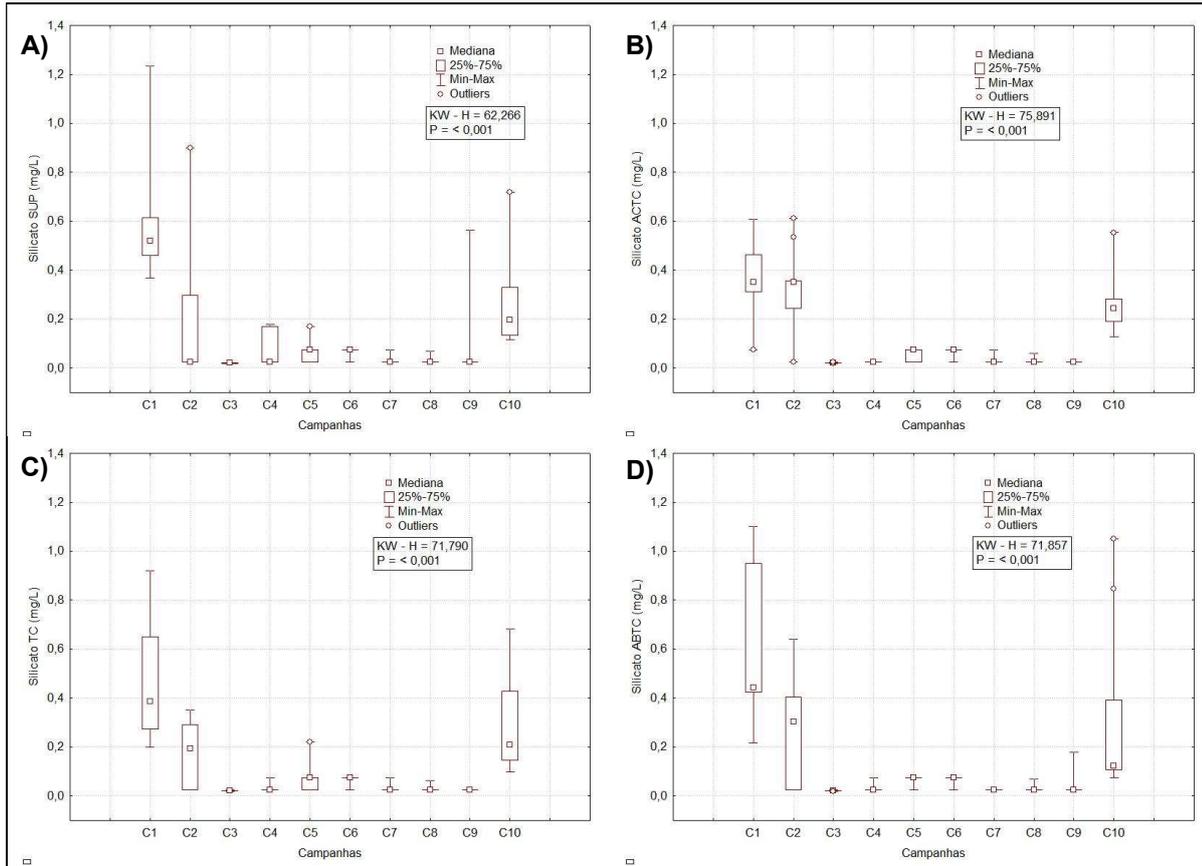


Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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, os resultados de fósforo total não foram quantificados (LQ = 0,005 mg/L P). Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro fósforo total é de 0,062 mg/L P, o qual não foi excedido em nenhuma das amostras.

Tabela V-11 apresenta concentrações de fósforo total obtidas em estudos anteriores, onde é possível constatar que concentrações não detectadas e não quantificadas são frequentemente encontradas na região.

Nas camadas ACTC e ABTC, o valor máximo de fósforo total foi encontrado nas amostras da primeira campanha, que também apresentaram maior amplitude de valores, enquanto as concentrações de fósforo total da segunda campanha foram maiores e apresentaram maior amplitude de resultados na TC. Em todas as camadas avaliadas, os valores médios foram maiores durante a quinta campanha, sendo, entretanto, associados a não quantificações da maioria dos resultados (Figura V-19).

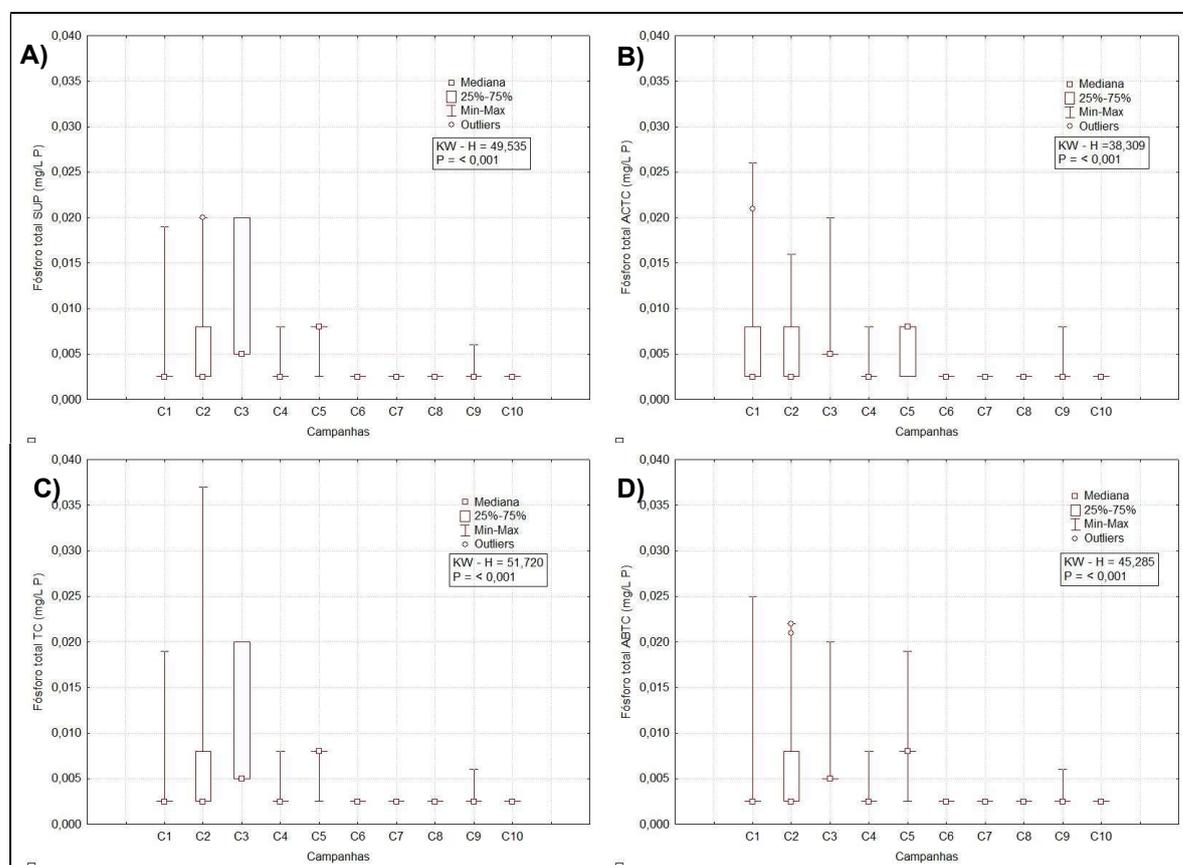


Figura V-19 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, foram verificadas diferenças significativas entre as 10 campanhas para todas as profundidades ($p < 0,05$). Em todos os estratos, a terceira campanha diferiu significativamente da

sexta, sétima, oitava e nona 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 e LD = 0,005 mg/L P para as duas primeiras campanhas e para a quarta, quinta, sexta e sétima campanha, EPA 365.2 e LD = 0,002 mg/L P para a terceira campanha, e SMEWW 4500 PE e LD = 0,002 mg/L P para a oitava, nona e décima campanha). Assim, é possível que parte das diferenças verificadas esteja relacionada a maior ou menor sensibilidade dos métodos analíticos utilizados, bem como às diferenças dos limites de detecção empregados.

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).

Em estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), a concentração do material particulado em suspensão (MPS) na zona epipelágica variou entre $<0,1$ e 19,4 mg L⁻¹ no inverno de 2019 e entre $<0,1$ a 21 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 mg L⁻¹ na plataforma externa e áreas oceânicas dominadas pela AT.

Os valores de MPS registrados na presente campanha variaram entre 0,12 mg/L, na ABTC da estação PIL-LL-NE_J1002, e 17,48 mg/L, na TC da estação PIL-LL-NE_J100_R (Tabela V-12). Entre as estações, a maior concentração média de MPS esteve associada à TC ($4,33 \pm 6,69$ mg/L), enquanto a menor concentração média esteve associada à ABTC ($1,15 \pm 0,85$ mg/L).

Essas concentrações mais elevadas de MPS na TC podem estar associados a presença de fitoplâncton localizados nessa zona fótica que, na campanha atual se manteve na faixa de aproximadamente 50 m de profundidade.

Tabela V-6 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	2,30	3,26	0,40	2,14	2,84	11,18	1,42	0,94	0,80	2,81	3,28
ACTC	2,04	2,74	1,22	8,54	1,58	8,08	1,68	2,32	1,16	3,26	2,91
TC	0,88	17,48	0,90	0,90	2,22	14,58	0,82	0,16	1,04	4,33	6,69
ABTC	0,72	0,96	0,42	1,24	1,48	0,92	1,40	0,12	3,08	1,15	0,85
Máx.	2,30	17,48	1,22	8,54	2,84	14,58	1,68	2,32	3,08		
Mín.	0,72	0,96	0,40	0,90	1,48	0,92	0,82	0,12	0,80		
Média	1,49	6,11	0,74	3,21	2,03	8,69	1,33	0,89	1,52		
DP	0,80	7,64	0,40	3,59	0,63	5,82	0,36	1,03	1,05		

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 da atual campanha são mostrados na Figura V-20. Através deles, foram observadas variações verticais pronunciadas entre as estações e profundidades, oscilando entre as concentrações mínima e máxima observadas na campanha, com a maioria das amostras apresentando concentrações inferiores a 5,00 mg/L. As estações J100_R, J250_R e J503 se destacaram das demais por apresentarem valores superiores aos demais resultados, principalmente a estação J100_R na ACTC e a J250 e J503 na TC.

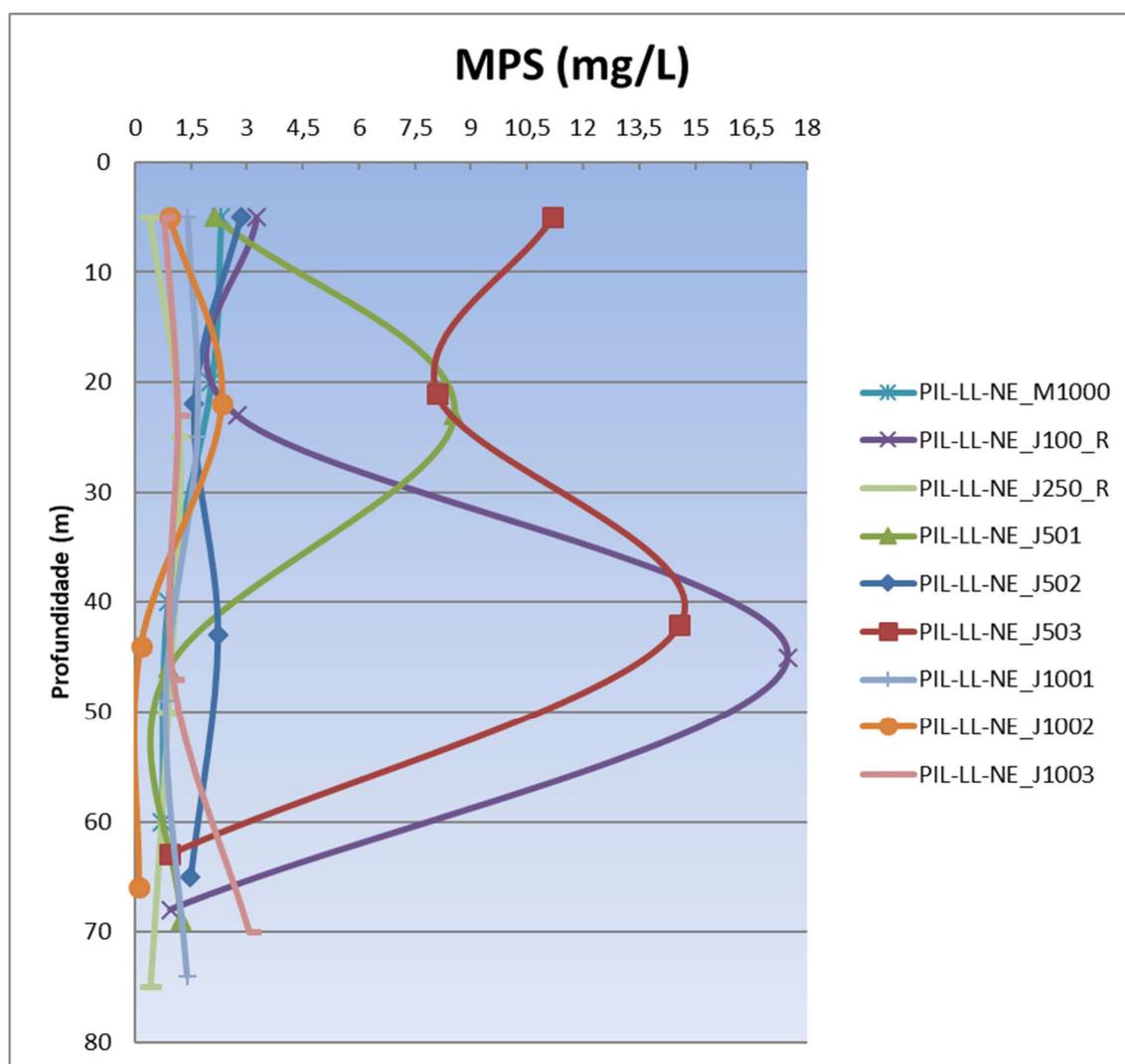


Figura V-20 – Perfis das concentrações de MPS obtidos nas estações amostrais da atual campanha de monitoramento.

O histórico de concentrações máximas e mínimas de MPS obtidos em estudos anteriores na região de interesse estão apresentados na Tabela V-7. De maneira geral, as concentrações encontradas na atual campanha estiveram enquadradas dentro da faixa de variação já verificada para a região, em campanhas realizadas entre 2010 e 2023, ao longo da execução de 4 projetos na Bacia de Santos.

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

Campanha	MPS (mg/L)	
	Min	Máx
DP-IRA-S_C6 ³⁷	1,55 (SUP)	7,83 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	0,50 (SUP)	13,58 (SUP)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	13,93 (TC)	30,73 (ABTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	n.q (SUP)	18,84 (ACTC)

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

A faixa de variação dos valores de MPS encontrados nas amostras da nona campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, foram maiores que as faixas de variação verificadas nas demais campanhas. A terceira, a sexta e a sétima campanha verificaram maiores concentrações médias em relação as demais campanhas.

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-21). Para a SUP, a sétima campanha diferiu da quinta e da oitava campanha (Tukey, $p < 0,05$). Para a ACTC, a sétima campanha diferiu da segunda e da quinta campanha e a quinta diferiu da sexta (Tukey, $p < 0,05$). Para a TC, a sexta campanha diferiu da segunda e da oitava campanha, e a sétima diferiu da segunda e oitava (Tukey, $p < 0,05$). Para a ABTC, a sétima campanha diferiu da segunda, quinta e decima campanha (Tukey, $p < 0,05$).

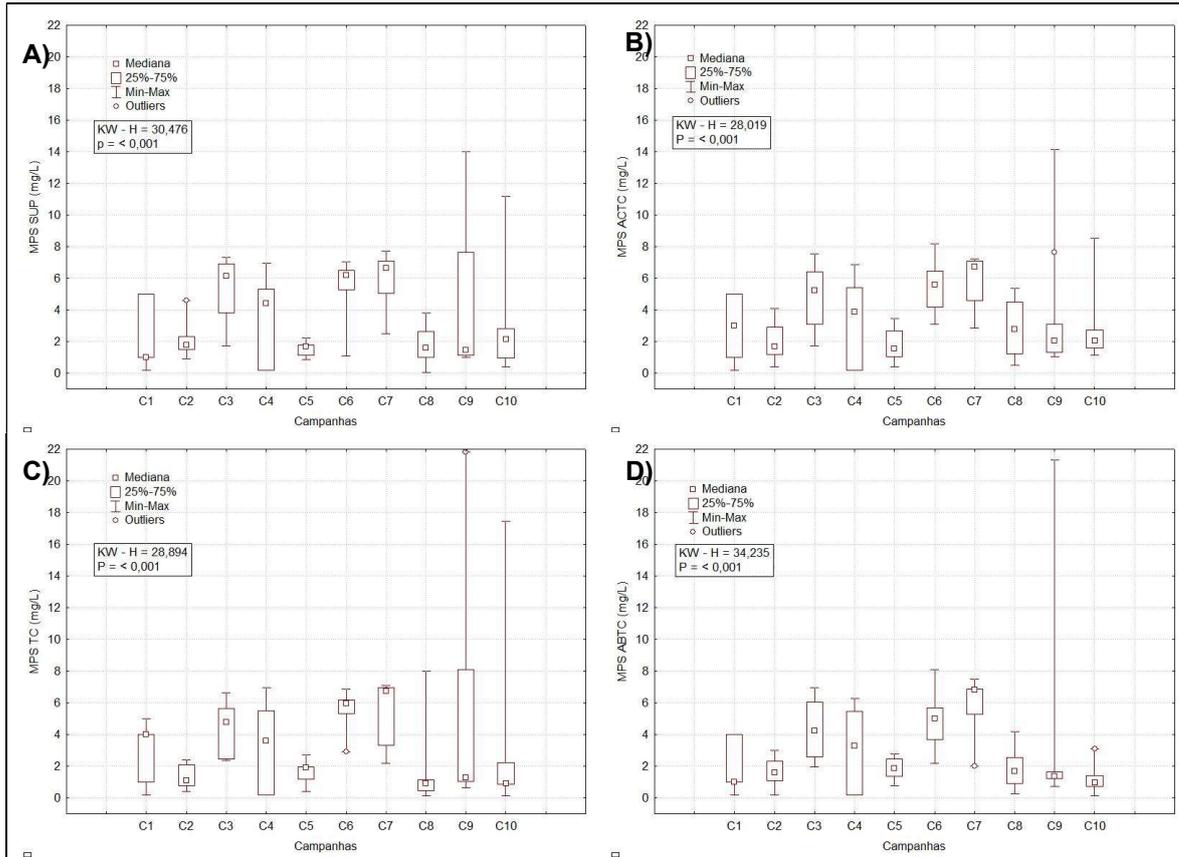


Figura V-21 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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

Ao longo das estações, as concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram entre 0,74 mg/L C, na ACTC da estação PIL-LL-NE_M1000, a 1,23 mg/L C, na TC da estação PIL-LL-NE_J100_R (Tabela V-14, Figura V-22).

As maiores concentrações médias de COT foram observadas na superfície e na termoclina ($0,89 \pm 0,10$ mg/L C e $0,94 \pm 0,14$ mg/L C, respectivamente),

enquanto a menor concentração foi encontrada nas camadas acima e abaixo da termoclina ($0,86 \pm 0,10$ mg/L C; $\pm 0,08$ mg/L C, respectivamente). 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-8 – Concentração de COT (mg/L C) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.

Estrato	Estações									Média	DP
	PIL-LL-NE_M1000	PIL-LL-NE_J100_R	PIL-LL-NE_J250_R	PIL-LL-NE_J501	PIL-LL-NE_J502	PIL-LL-NE_J503	PIL-LL-NE_J1001	PIL-LL-NE_J1002	PIL-LL-NE_J1003		
SUP	0,81	1,10	0,80	0,99	0,92	0,92	0,77	0,85	0,83	0,89	0,10
ACTC	0,74	1,02	0,81	0,78	0,98	0,95	0,85	0,76	0,82	0,86	0,10
TC	0,85	1,23	0,86	1,04	0,92	1,07	0,83	0,81	0,84	0,94	0,14
ABTC	0,78	0,99	0,78	0,81	1,00	0,86	0,86	0,86	0,82	0,86	0,08
Máx.	0,85	1,23	0,86	1,04	1,00	1,07	0,86	0,86	0,84		
Mín.	0,74	0,99	0,78	0,78	0,92	0,86	0,77	0,76	0,82		
Média	0,80	1,08	0,81	0,90	0,95	0,95	0,83	0,82	0,83		
DP	0,05	0,11	0,03	0,13	0,04	0,09	0,04	0,05	0,01		

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

Na água produzida pelo FPSO CPY, a concentração de COT observada para o 1º semestre de 2023 foi de 348,3 mg/L C na saída do floteador. Apesar disso, os valores de COT foram muito semelhantes entre as estações e profundidades, não podendo afirmar que o descarte de água produzida causou efeitos notáveis nas concentrações de COT dos pontos amostrados durante a atual campanha. Cabe destacar ainda que todos os resultados obtidos são característicos de águas oceânicas oligotróficas e encontram-se enquadrados conforme legislação aplicável.

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de COT na coluna d'água da atual campanha são mostrados na Figura V-22. Através deles, foi possível observar certa homogeneidade entre as estações, com exceção da amostras PIL-LL-NE_J100_R, que apresentaram maiores valores de COT na maioria das camadas.

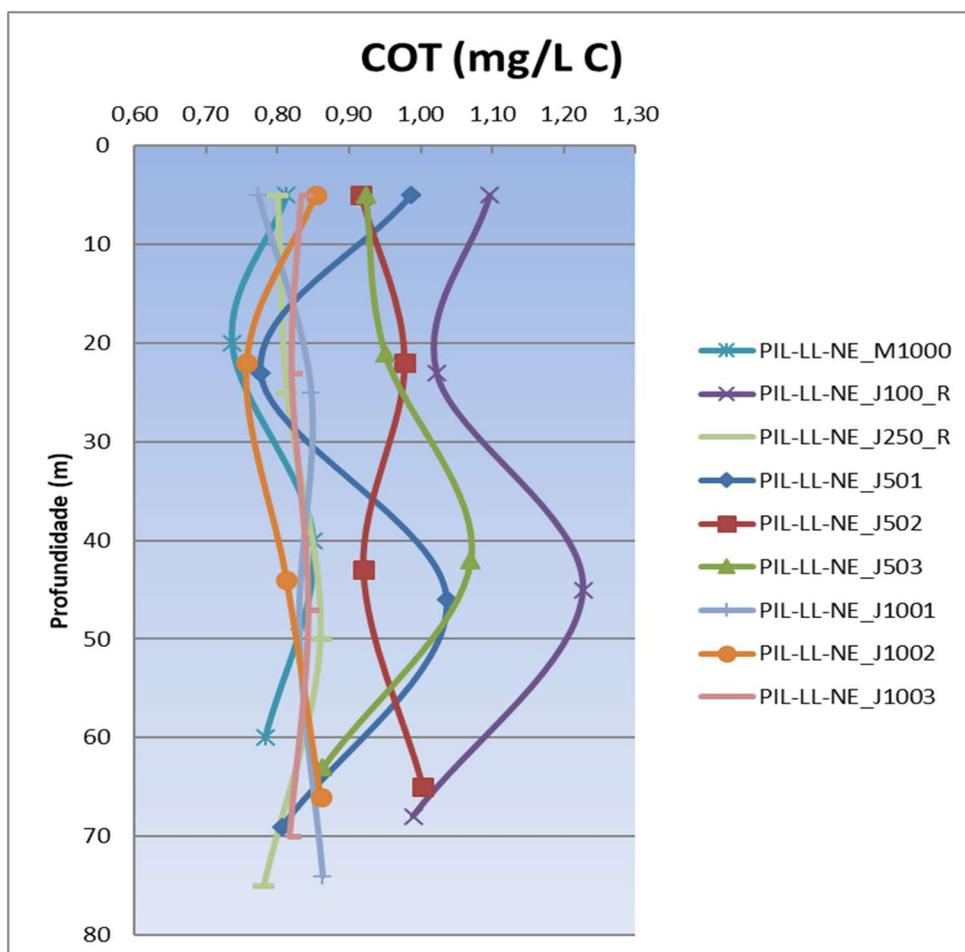


Figura V-22 – Variação vertical das concentrações de COT (mg/L C) obtidos nas estações amostrais da atual campanha de monitoramento.

Na Tabela V-9, são apresentados os valores mínimo e máximo de COT, encontrados nas campanhas realizadas entre 2010 e 2023, ao longo da execução de 4 projetos na Bacia de Santos. De maneira geral, as concentrações encontradas na atual campanha, estiveram enquadradas dentro da faixa de variação já verificada para a área.

Tabela V-9 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água nos estudos anteriores na região de interesse. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

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

Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
DP-IRA-S_C1 ³²	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	2,00 (SUP)
DP-IRA-S_C2* ³³	-	-
DP-IRA-S_C3 ³⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,00 (TC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	n.d. (SUP/ACTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	n.q. (ACTC/TC/ABTC)	1,48 (SUP/ACTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,81 (ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	1,26 (ACTC)	1,64 (ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	1,08 (TC)	2,50 (ABTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	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/Analytical Solutions (2010), 2 = Petrobras/Analytical Solutions (2012a), 3 = Petrobras/Analytical Solutions (2012b), 4 = Petrobras/Bourscheid (2014), 5 = Petrobras/Bourscheid (2015a); 6 = Petrobras/Bourscheid (2016a); 7 = Petrobras/Bourscheid (2017a); 8 = Petrobras/Bourscheid (2018b); 9 = Petrobras/Bourscheid (2018c); 10 = Petrobras/Bourscheid (2019d); 11 = Petrobras/Bourscheid (2020a); 12 = Petrobras/Bioconsult (2022a); 13 = Petrobras/Bioconsult (2022b); 14 = Petrobras/Bourscheid (2015b); 15 = Petrobras/Bourscheid (2015c); 16 = Petrobras/Bourscheid (2018a); 17 = Petrobras/Bourscheid (2018d); 18 = Petrobras/Bourscheid (2019a); 19 = Petrobras/Bourscheid (2019e); 20 = Petrobras/Bourscheid (2020c); 21 = Petrobras/Bourscheid (2015d); 22 = Petrobras/Bioconsult (2022c); 23 = Petrobras/Bioconsult (2021c); 24 = Petrobras/Bourscheid (2015e); 25 = Petrobras/Bourscheid (2017b); 26 = Petrobras/Bourscheid (2018e); 27 = Petrobras/Bourscheid (2019b); 28 = Petrobras/Bourscheid (2019f); 29 = Petrobras/Bourscheid (2020b); 30 = Petrobras/Bioconsult (2021a); 31 = Petrobras/Bioconsult (2022d); 32 = Petrobras/Bourscheid (2016b); 33 = Petrobras/Bourscheid (2017c); 34 = Petrobras/Bourscheid (2018f); 35 = Petrobras/Bourscheid (2019c); 36 = Petrobras/Bourscheid (2019g); 37 = Petrobras/Bourscheid (2020d); 38 = Petrobras/Bioconsult (2021b); 39 = Petrobras/Bioconsult (2022e); 40 = Petrobras/Bioconsult (2023).

Na Figura V-23, são apresentadas as faixas de concentrações de COT obtidas em cada profundidade durante o PMPR_E1_PIL-LL-NE, com exceção da terceira campanha, cujos resultados não são considerados, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que a primeira campanha apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas, exceto na ACTC e ABTC, em que maior amplitude e maiores valores máximos foram encontrados na quinta, na sexta, na sétima e na oitava campanha.

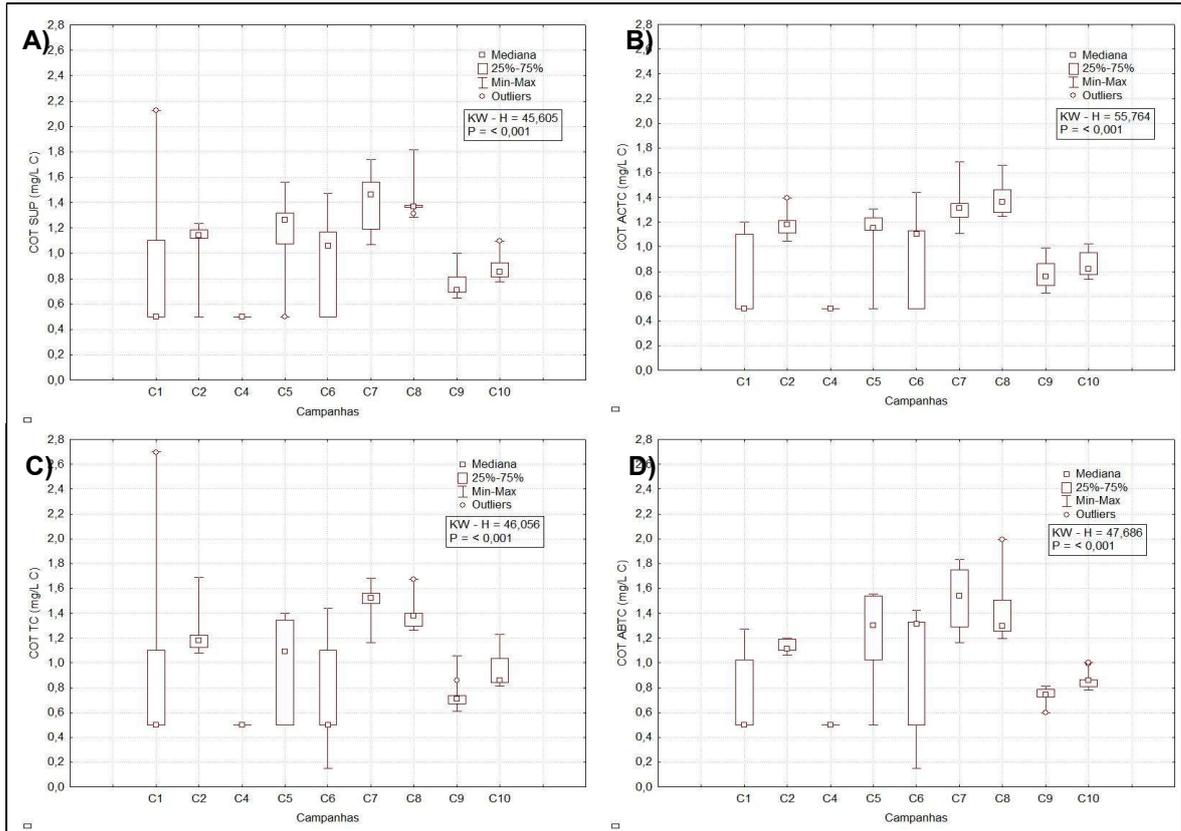


Figura V-23 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 de monitoramento consideradas para todas as profundidades. Na SUP, a oitava campanha diferiu da primeira, quarta, nona e décima, a quarta diferiu da segunda e da quinta, enquanto na ACTC, a oitava diferiu da primeira, quarta, sexta, nona e décima, a sétima diferiu da primeira, quarta, nona e décima, e a quarta diferiu da segunda e da quinta (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, a sétima campanha diferiu da primeira, quarta, sexta e nona campanha, a oitava diferiu da quarta, sexta e nona e a segunda diferiu da quarta (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, a sétima diferiu da primeira, quarta, nona e décima, a oitava diferiu da primeira, quarta e nona, e a quarta diferiu da segunda e da quinta (Tukey, $p < 0,05$). Cabe ressaltar que os métodos utilizados foram iguais, mas 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 e LD C8, C9 e C10 = 0,10 mg/L C). Houve mudança

de laboratório entre a segunda campanha e a terceira e entre a sétima e oitava campanha.

V.1.7 - Sulfetos

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

O oxigênio dissolvido na água do mar é utilizado por bactérias para oxidar a matéria orgânica transformando-a em CO₂, água e íons inorgânicos. Em águas profundas de bacias estagnadas e em áreas marinhas onde a troca de água é muito lenta ou há alta carga de matéria orgânica, todo o oxigênio é utilizado no processo de oxidação. Nesse tipo de águas anóxicas, forma-se o sulfeto, através da redução de íons sulfato por bactérias redutoras (FONSELIUS, 1983).

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

Em ambientes pelágicos, com alta oxigenação, não é esperado a presença de altos teores de sulfetos. A presença desses compostos nas águas onde há atividade de produção de petróleo pode indicar uma possível contaminação do ambiente por esta atividade, sendo assim, é de grande importância a sua análise em programas de monitoramento das áreas de produção e exploração petrolífera. Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas salinas de classe 1, o valor máximo estabelecido para sulfetos é de 0,002 mg/L S.

Nesta campanha de monitoramento, não foram quantificadas (LQ = 0,002 mg/L S) concentrações de sulfetos em nenhuma das amostras. Com isso, todos os resultados da atual campanha estiveram dentro das especificações da CONAMA nº 357/05.

Na Tabela V-16 são apresentados os valores mínimo e máximo de sulfetos encontrados em campanhas anteriores na região de interesse. A ausência de detecção de sulfetos foi bastante frequente nessas diversas campanhas, sendo identificadas concentrações acima do limite de quantificação desse parâmetro em nove, dentre as 41 referências de monitoramento citadas para a região.

Tabela V-10 - Valores de sulfetos (mg/L S) encontrados na água nos estudos anteriores.
n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.

Campanha	Sulfetos (mg/L S)	
	Min	Máx
PIL-LL_C1 ¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C2 ²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,2160 (TC)
PIL-LL_C3 ³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C4 ⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C5 ⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C6 ⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C7 ⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C8 ⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0290 (ABTC)
PIL-LL_C9 ⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC)
PIL-LL_C10 ¹⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C11 ¹¹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C12 ¹²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL_C13 ¹³	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0200 (ACTC)
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,049 (ACTC)
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C8 ²¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-LL-NE_C9 ²²	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C1 ²³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C2 ²⁴	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C3 ²⁵	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C4 ²⁶	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0360 (ABTC)

Campanha	Sulfetos (mg/L S)	
	Min	Máx
PIL-SAP_C5 ²⁷	n.d. (SUP/TC)	0,020 (SUP)
PIL-SAP_C6 ²⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/ABTC)
PIL-SAP_C7 ²⁹	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C8 ³⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
PIL-SAP_C9 ³¹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C1 ³²	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C2* ³³	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C3 ³⁴	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,0170 (SUP/ABTC)
DP-IRA-S_C4 ³⁵	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	0,030 (SUP)
DP-IRA-S_C5 ³⁶	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C6 ³⁷	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C7 ³⁸	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C8 ³⁹	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (SUP/ACTC/TC/ABTC)
Bloco BM-S-11 ⁴¹	n.d.	0,0316

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

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dados das nove campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-24). Em todos os estratos, exceto em ACTC, a quarta e a quinta campanhas diferiram da terceira, sétima, oitava, nona e décima campanha, e a terceira diferiu da primeira, segunda e sexta (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, a quarta campanha diferiu da terceira, sétima, oitava, nona e décima campanha, e a terceira diferiu da primeira, segunda, quinta e sexta. É importante reforçar que os limites de detecção foram diferentes entre as campanhas (LQ de 0,002 mg/L S para a terceira, oitava e nona campanha, 0,01 mg/L S para as demais campanhas) e, portanto, as diferenças verificadas entre a terceira e as demais

campanhas com concentrações não quantificadas (C1, C2, C6, C7, C8, C9 e C10) são meramente matemáticas, fruto dos diferentes limites utilizados.

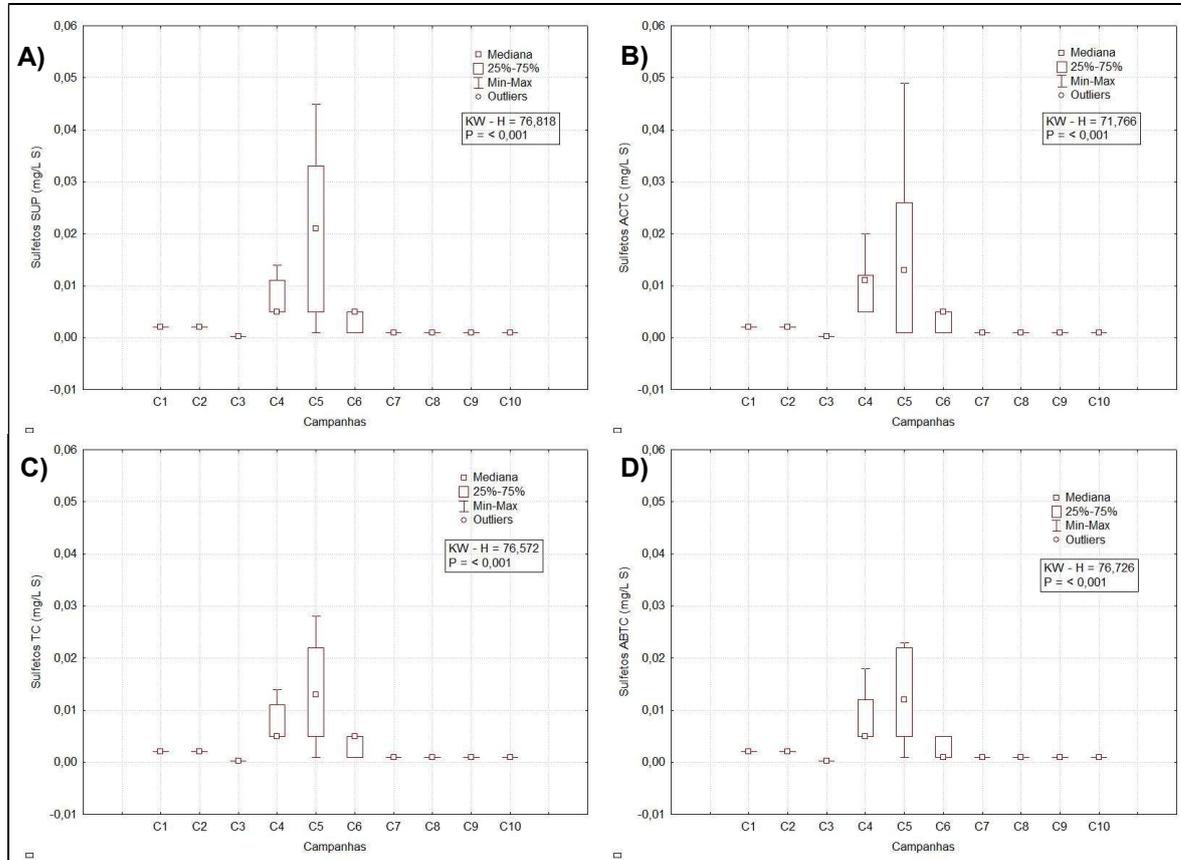


Figura V-24 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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.

Corroborando com a ausência de quantificação de fenóis nas amostras obtidas na presente campanha, destaca-se que a ausência frequente de concentrações detectáveis e quantificáveis de fenóis na água em amostras obtidas nas campanhas de monitoramento ambiental realizadas, entre 2010 e 2021, ao longo da execução de 4 projetos na região do polo Pré-Sal (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, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e). Na caracterização do Bloco BM-S-11, realizadas em ano anterior ao início das atividades regulares de produção de petróleo e gás no campo de Tupi, foram encontradas concentrações de fenóis variando de não detectado a 0,012 mg/L (PETROBRAS/HABTEC, 2003).

Na água produzida pelo FPSO CPY, descartada pelo flotor, a concentração de fenóis observada para o 1º semestre de 2023 foi de 0,61 µg/L. A ausência de concentrações acima do limite de quantificação nas amostras de água do mar coletadas nas estações de amostragem, executadas ao longo das 10 campanhas de monitoramento sugere que, de fato, o descarte deste efluente não têm resultado em alterações perceptíveis nas estações do entorno do FPSO CPY.

Como também não foram detectadas nem quantificadas concentrações de fenóis nas campanhas anteriores deste projeto, não existe variabilidade de resultados a serem verificados através de gráficos e testes estatísticos.

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-C₁₈ e n-C₃₅ e está relacionada à presença de resíduos de óleo bruto degradado por micro-organismos (FARRINGTON & TRIPP, 1977; BOULOUBASSI, 1990). Já na bimodal, pode ocorrer uma segunda ondulação entre n-C₁₆ e n-C₂₂ que pode ser atribuída à degradação bacteriana da matéria orgânica (VENKATESAN & KAPLAN, 1982).

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

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

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

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

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) são uma classe de compostos orgânicos, 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 contribuição natural de HPA's no ambiente oceânico pode estar associada essencialmente a biossíntese por bactérias e algas. Os hidrocarbonetos podem também ser introduzidos no ambiente a partir de outras fontes como: motores de exaustão a gasolina e a diesel, o alcatrão da fumaça do cigarro, superfície dos alimentos chamuscados ou queimados, fumaça de queima de carvão ou madeira, além de outros processos de combustão parcial em que o carbono ou combustível não são convertidos em CO (óxido de carbono) ou CO₂ (dióxido de carbono) (BAIRD, 2002).

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

Nesta campanha de monitoramento não foram quantificadas concentrações de HPA's em nenhuma das estações amostrais pelo método de análise aplicado (LQ = 0,005 µg/L). Da mesma maneira, destaca-se a ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis de HPA's em quase todas as campanhas de monitoramento anteriormente realizadas entre 2010 e 2021 na região do polo Pré-Sal (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012b; PETROBRAS/BOUSCHEID, 2014, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018e, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d, 2019e, 2019f, 2019g, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, , 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e). Na segunda campanha de monitoramento do Piloto de Tupi foram detectadas concentrações em apenas uma única amostra, com concentração de 5,25 µg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a). Na quarta campanha de monitoramento do Piloto de Tupi NE, as concentrações variaram entre não detectado (SUP/ACTC/TC/ABTC) e 0,19 µg/L (ACTC/ABTC) (PETROBRAS/BOUSCHEID, 2018d). Na terceira campanha de monitoramento

do DP de Iracema Sul, as concentrações variaram entre não detectado (ACTC/ABTC) e 0,341 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018f).

A análise de HPA's na água produzida, na saída do flotador, mostrou concentrações acima do limite de detecção para o parâmetro naftaleno (2,753 µg/L) e concentrações para naftaleno (1,782 µg/L), acenafteno (0,023 µg/L), fenantreno (0,248 µg/L), fluoreno (0,061 µg/L), pireno (0,014 µg/L) e criseno (0,024 µg/L) na saída do tanque de slope. Entretanto, devido à ausência de concentrações quantificáveis de HPA's nas estações durante a atual campanha, pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno, no tange aos parâmetros acima citados.

Como só foram detectadas concentrações de HPA's na quarta campanha 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 comparação entre as concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP's) obtidas nas campanhas de monitoramento realizadas entre 2010 e 2021 na região do polo Pré-Sal, observa-se que foram encontradas concentrações detectáveis nas três primeiras campanhas do Piloto de Tupi, com valores variando desde 0,03 µg/L (SUP) até 174.152,30 µg/L (ABTC) e na primeira e terceira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul, com concentrações variando entre não detectado (LD = 0,2 µg/L) e 478,00 µg/L (ABTC), e entre não detectado (LD = 0,2 µg/L) e 1,10 µg/L (ACTC), respectivamente (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016b, 2018f).

Em relação aos n-alcanos, foram detectadas concentrações com valores entre não detectado (SUP, ACTC, TC e ABTC) e 183,08 mg/L (SUP), na C2, enquanto na C4, somente uma amostra apresentou concentração quantificável de n-alcanos, de 6,8 µg/L (ACTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Já na primeira campanha de monitoramento

do DP Iracema Sul, as concentrações de n-alcanos variaram entre não detectado e 72,47 µg/L (ABTC) e na terceira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul, as concentrações variaram entre não detectado e 1,10 µg/L (ACTC) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016b, 2018f).

Já o parâmetro mistura complexa não resolvida (MCNR) apresentou concentrações detectáveis na segunda e terceira campanhas do Piloto de Tupi, variando entre não detectado, mínimo detectado de 171 µg/L (ABTC) e máximo de 94.211 µg/L (ABTC), e na primeira campanha de monitoramento do DP Iracema Sul, com valores entre não detectado e 440 µg/L (ABTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a, 2012b, PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016b).

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 encontradas concentrações acima dos limites de quantificação (LQ = 1,0 µg/L) para BTEX, de modo que os resultados estiveram, portanto, abaixo dos limites estabelecidos 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, 2021a, 2021b, 2021c, , 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e, 2023), exceto na segunda campanha do Piloto de Tupi, que encontrou concentrações de BTEX de até 1.313,69 µg/L (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012a).

Os resultados obtidos na análise de BTEX na água produzida descartada pelo flutador mostrou concentrações acima do limite de detecção para os parâmetros benzeno (908,996 µg/L), tolueno (1029,583 µg/L), etilbenzeno (24,641 µg/L), o-xilenos (54,938 µg/L) e m,p-xilenos (112,339 µg/L). Entretanto, devido a ausência de concentrações quantificáveis de BTEX nas estações, pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno no que tange aos parâmetros acima citados.

Como também não foram detectadas nem quantificadas concentrações de BTEX nas campanhas anteriores deste projeto, não existe variabilidade de resultados a ser verificada através de gráficos e testes estatísticos.

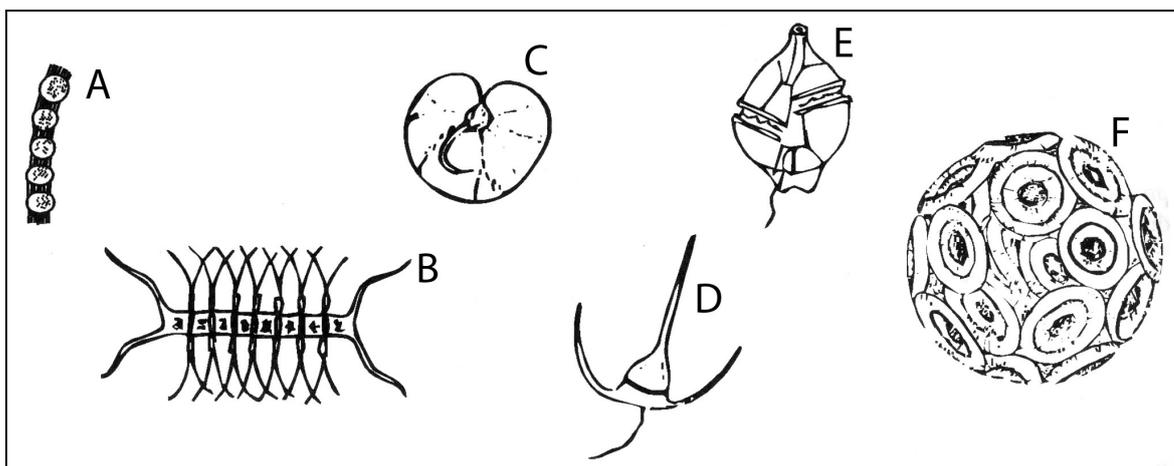
V.2 - PLÂNCTON

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

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

V.2.1 - Fitoplâncton

O fitoplâncton é representado por procariotos e eucariotos, pluricelulares ou unicelulares, que podem ou não formar colônias. No entanto, a grande maioria é unicelular. São microrganismos autotróficos que pertencem a várias classes. Microalgas é um termo genérico, pois este grupo é constituído por diversos organismos nos mais variados tamanhos pertencentes às seguintes classes: Bacillariophyceae (diatomáceas); Dinophyceae (dinoflagelados); Chlorophyceae (clorofíceas); Haptophyceae (coccolitoforídeos); Classe Crysophyceae (silicoflagelados); Cryptophyceae (criptofíceas) (BONECKER *et al.*, 2009; LALLI & PARSONS, 1997) (Figura V-256).



Fonte: Bonecker, Bonecker e Bassani (2009).

Figura V-25 - Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) *Skeletonema*; (B) *Chaetoceros*; (C) *Pleurosigma*. Dinoflagelados: (D) *Noctiluca*; (E) *Ceratium*. Primnesiófitas: (F) *Coccolithus*.

A comunidade fitoplanctônica possui grande importância nos ecossistemas, pois contribui com aproximadamente 90% da produção orgânica anual dos oceanos, formando a base da teia alimentar marinha (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, 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.2.1.2 - Avaliação da Amostragem

Considerando o histórico de nove campanhas de monitoramento em PIL-LL-NE, ao todo foram analisadas 80 amostras para identificação de indivíduos fitoplanctônicos. A curva formada pelo número cumulativo de taxa identificados ao longo do período de execução do projeto (2014 a 2023) contabilizou 119 taxa, sendo encontrados 9 novos taxa na atual campanha (Figura V-27).

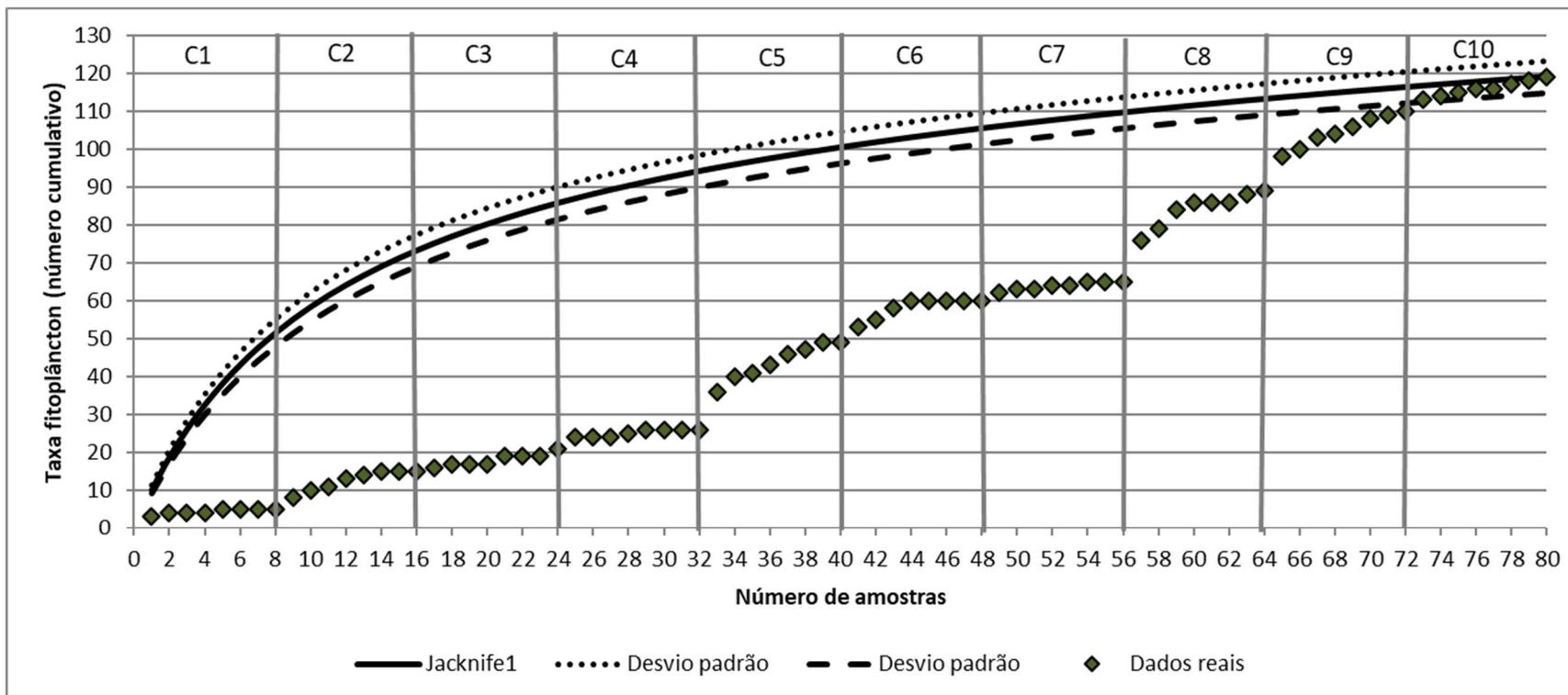


Figura V-26 – Número cumulativo de taxa de fitoplâncton ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.

Pode-se observar uma leve tendência a estabilização da curva entre a segunda e a quarta campanha. Na quinta campanha o incremento de taxa foi maior em comparação com as campanhas anteriores, recebendo destaque por deter, sozinha, 19% dos taxa amostrados durante todo o projeto. Já na sexta campanha ocorreu o incremento de 9% do total de taxa, enquanto na sétima campanha o incremento foi de 4%. Na oitava campanha houve um incremento maior, de 20% do total, na nona campanha foi de 18%, enquanto na décima campanha, foi de 7%.

É possível que parte das diferenças verificadas no número de taxa entre as campanhas esteja associado 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 a partir da 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 e da integridade dos organismos coletados, e tendo em conta também a adequação dos procedimentos analíticos com vistas a garantia de qualidade dos resultados do projeto.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada na maioria das amostras, indicando a necessidade de aprimoramento no esforço amostral empregado nas campanhas iniciais. A aproximação da distribuição esperada para as amostras ocorreu na décima campanha, onde todos os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife, e as amostras finais ocorreram sobre a curva, indicando estabilização dos dados reais sobre essa curva. Os resultados encontrados sugerem um adequado esforço amostral, com grande parte dos taxa presentes no local sendo amostrados. A tendência à estagnação da curva demonstra a baixa probabilidade de aumento da riqueza, mesmo com o aumento do esforço de amostragem.

V.2.1.4 - Análise Qualitativa

No presente trabalho, foram registrados organismos pertencentes a quatro filos: Ochrophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa (Figura V-27).

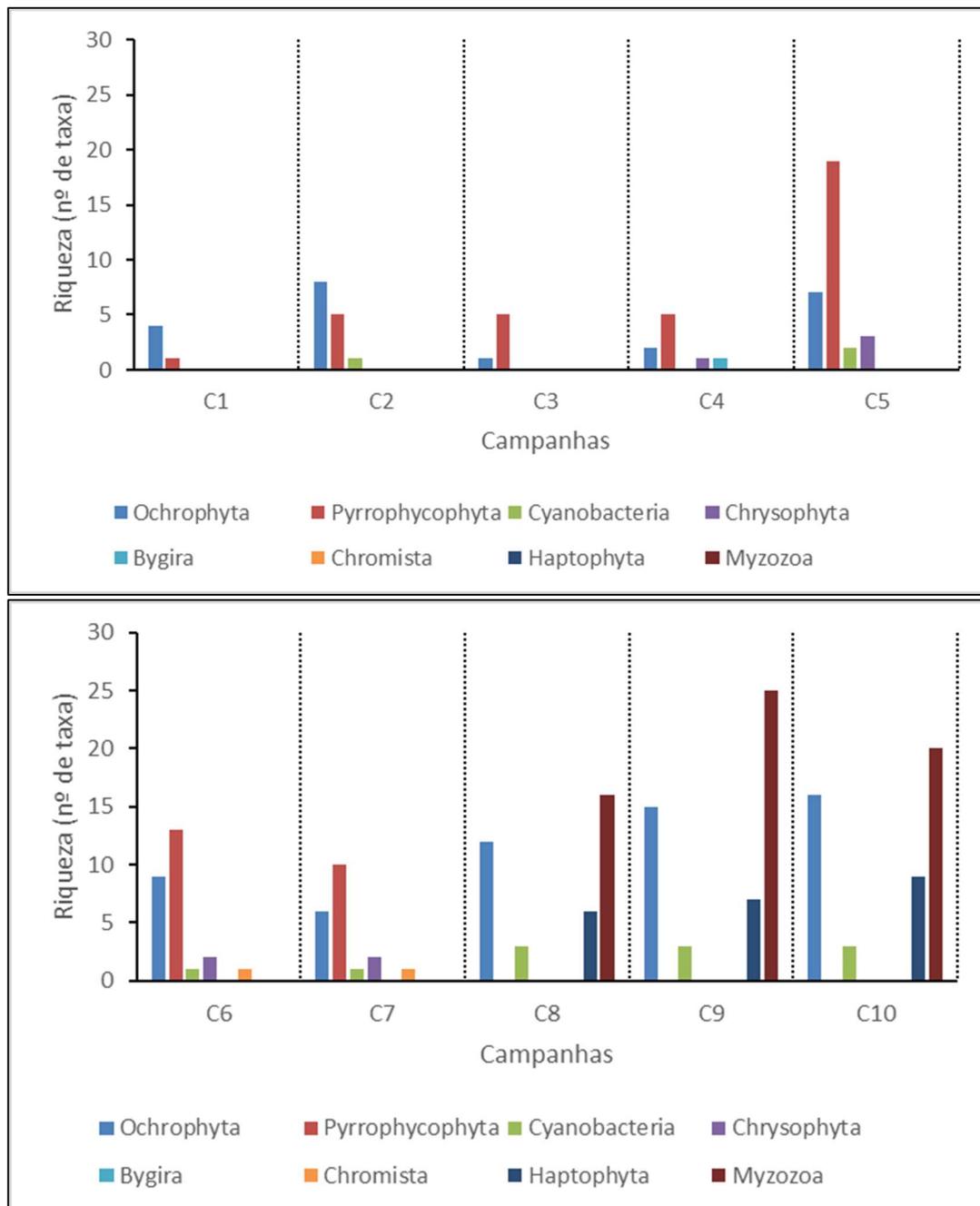


Figura V-27 – Riqueza (n de taxa) fitoplanctônica ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

O filo Myzozoa apresentou riqueza total de 20 taxa, Ochrophyta de 16 taxa, Haptophyta de 9 taxa, e Cyanobacteria de 3 taxa (48 taxa no total). Vale ressaltar que o nível taxonômico das identificações foi variável, e que podem existir mais espécies dentro dos taxa identificados em níveis superiores (Figura V-27), como por exemplo, ordem e gênero (Ochrophyta e Pyrrophyphyta foram registradas em todas as campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018d, 2019a, 2019e, 2020c) , exceto em C8, em que Pyrrophyphyta (Myzozoa) não ocorreu (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c). A listagem dos taxa fitoplanctônicos coletados na presente campanha está contida no Anexo X-13.

Nas campanhas C7 e C8 de PMPR_E1_PIL-LL-NE se observa uma mudança na composição da população fitoplânctônica, expressa pelo incremento da riqueza de Cyanobacteria e Haptophyta, grupos com vantagens competitivas diferenciadas. As cianofíceas compreendem um grupo com reconhecida capacidade de fixação de nitrogênio, enquanto o grupo de Haptophyta (Yamagishi-Costa, 2023) é um grupo reconhecido pela ocorrência de organismos fotossintetizantes, que apresentam clorofilas “a” e “c” e um pigmento denominado fucoxantina, sendo capazes de ingerir partículas.

Ao longo da plataforma continental brasileira, a comunidade fitoplanctônica é composta principalmente por diatomáceas e células flageladas do nanoplâncton e do micropoplâncton pertencentes às classes Dinophyceae, Prymnesiophyceae, Cryptophyceae, Prasinophyceae e Chlorophyceae (BRANDINI *et al.*, 1997). No estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022) ficou constatado uma importante contribuição do nanoplâncton (1,8-20,0 µm) para a composição da comunidade localizada na plataforma externa e oceânica. O nanoplâncton teve uma maior contribuição, tanto em termos de densidade (99%) quanto de biomassa (47-90%), na região de talude como oceânica onde predominam condições oligotróficas. Os cocolitoforídeos (Classe Prymnesiophyceae) 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.

Os dinoflagelados, identificados historicamente como integrantes da Divisão Pyrrophyphyta, e mais recentemente reclassificadas como Myzozoa (pelo

laboratório Bioconsult, 2021), e as diatomáceas (Divisão Ochrophyta) são organismos de grande importância para as comunidades fitoplanctônicas, pois constituem a base da teia alimentar aquática e possuem alta diversidade de espécies (BONECKER *et al.*, 2009; BRANDINI *et al.*, 1997; RAVEN *et al.*, 2001). O grupo das diatomáceas necessita de maiores concentrações de nutrientes para sobreviver, e conseqüentemente é mais escasso em águas oligotróficas afetadas pela Água Tropical (AT) (BRANDINI *et al.*, 1997).

Em áreas com maior concentração de nutrientes as diatomáceas têm maior sucesso de colonização, já os dinoflagelados são um grupo oportunista, devido ao fato de serem melhores competidores em condições mais instáveis como, por exemplo, concentrações irregulares de nutrientes (HALLEGRAEFF, 1995). O predomínio de dinoflagelados pode ser favorecido em águas oceânicas, tipicamente caracterizadas pela baixa concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos, devido a sua habilidade de migração vertical na coluna de água e a alta afinidade por nutrientes, associada à sua capacidade mixotrófica e heterotrófica (HOPPENRATH *et al.*, 2009, SHERR *et al.*, 2009).

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. 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 possuem sistema fotossintetizante semelhante ao das algas (vegetais eucariontes) e, ao mesmo tempo, possuem características de bactérias (procariontes), sendo usualmente denominadas como bactérias fotossintetizantes (BRANDINI *et al.*, 1997; ESTEVES & SUZUKI, 2011; LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009).

Algumas espécies de algas são capazes 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.2.1.5 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-11 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-11 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind) e equitabilidade fitoplanctônicas encontrados na PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10

Estação de PIL-LL-NE	Estratos	Riqueza (Nº de taxa)	Densidade (ind/L)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
M1000	SUP	24	353,59	2,52	0,79
	ACTC	19	219,49	2,40	0,81
	TC	21	214,03	2,36	0,78
	ABTC	16	227,41	2,38	0,86
J1002	SUP	24	214,14	2,48	0,78
	ACTC	25	226,26	2,64	0,82
	TC	23	228,00	2,58	0,82
	ABTC	21	227,39	2,53	0,83
	Mínimo	16	214,03	2,36	0,78
	Máximo	25	353,59	2,64	0,86
	Média	21,63	238,79	2,48	0,81
	Desvio padrão	3,02	46,76	0,10	0,03

Já na Tabela V-12, são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental realizadas entre os anos de 2010 e 2021, durante a execução de 4 projetos na Bacia de Santos.

Tabela V-12 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o fitoplâncton nos estudos anteriores.

	Riqueza total (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	12	14	134.190	227.209	0,37	0,49	0,33	0,44
PIL-LL_C2 ¹	14	19	176.418	589.248	0,45	0,61	0,39	0,51
PIL-LL_C3 ²	17	27	1.206.845	2.440.892	0,01	0,07	0,01	0,05
PIL-LL_C4 ⁴	3	8	1.000	39.000	1,10	1,94	0,81	1
PIL-LL_C5 ⁵	0	4	0	31.000	0	1,33	0	0,96
PIL-LL_C6 ⁶	1	6	100	800	0	1,67	0	1
PIL-LL_C7 ⁷	0	3	0	60	0	1,10	0	1,00
PIL-LL_C8 ⁸	1	2	20	80	0	0,69	0	1,00
PIL-LL_C9 ⁹	6	21	46,89	126,08	1,24	2,79	0,50	1,00
PIL-LL_C10 ¹⁰	7	17	32,09	94,78	1,85	2,63	0,92	0,97
PIL-LL_C11 ¹¹	9	13	41,86	268,05	0,85	2,23	0,37	0,93
PIL-LL_C12 ¹²	14	22	427,50	511,24	1,79	2,22	0,68	0,79
PIL-LL_C13 ¹³	11	26	355,79	539,13	1,54	2,43	0,64	0,76
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	0	5	0	8.0000	0	0,50	0	0,45
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	2	5	200	500	0,69	1,61	0,95	1
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	0	3	0	100	0,00	1,10	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	0	6	0	380	0	1,70	0	1,00
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	8	15	43,68	89,01	1,81	2,62	0,83	0,97
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	7	13	21,69	183,24	1,83	2,25	0,86	0,97
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	6	11	49,19	160,54	1,13	2,16	0,57	0,90
PIL-LL-NE_C8 ²¹	15	23	455,87	819,51	2,09	2,33	0,73	0,78
PIL-LL-NE_C9 ²²	18	27	335,14	602,08	1,90	2,56	0,66	0,81
PIL-SAP_C1 ²³	0	1	0	1.000	0	0	0	0
PIL-SAP_C2 ²⁴	0	4	0	400	0	1,38	0	1

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

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

A análise da comunidade fitoplanctônica na campanha de PMPR_PIL-LL-NE_C10 registrou um total de 48 taxa, dentre os quais dois foram identificados a nível de ordem, oito a nível de gênero e 38 a nível de espécie. O número de taxa variou entre 16, na amostra PIL-LL-NE_M1000_ABTC e 25, na amostra PIL-LL-NE_J1002_ACTC. A riqueza média calculada entre todas as amostras foi de $21,63 \pm 3,02$ taxa. Os valores encontrados na atual campanha foram superiores em relação a maioria dos encontrados anteriormente, onde a riqueza variou de nula a 32 taxa (Tabela V-128). Segundo Petrobras (2022), foram registrados um total de 786 taxa infra-genéricos, na Bacia de Santos, durante campanha realizada entre inverno de 2019 e verão de 2021. Nesse estudo as amostragens foram conduzidas com rede de plâncton, abrangendo nanoplâncton (2-20 μ m) e microplâncton (20-200 μ m)

A oitava, a nona e a décima campanhas apresentaram a maiores valores, maiores médias e maiores amplitude de riqueza fitoplanctônica. Ao passo que a primeira, segunda, terceira e quarta campanhas apresentaram os menores valores, médias e amplitudes desses dados. Já a quinta, sexta e sétima campanhas apresentaram valores intermediários (Figura V-28).

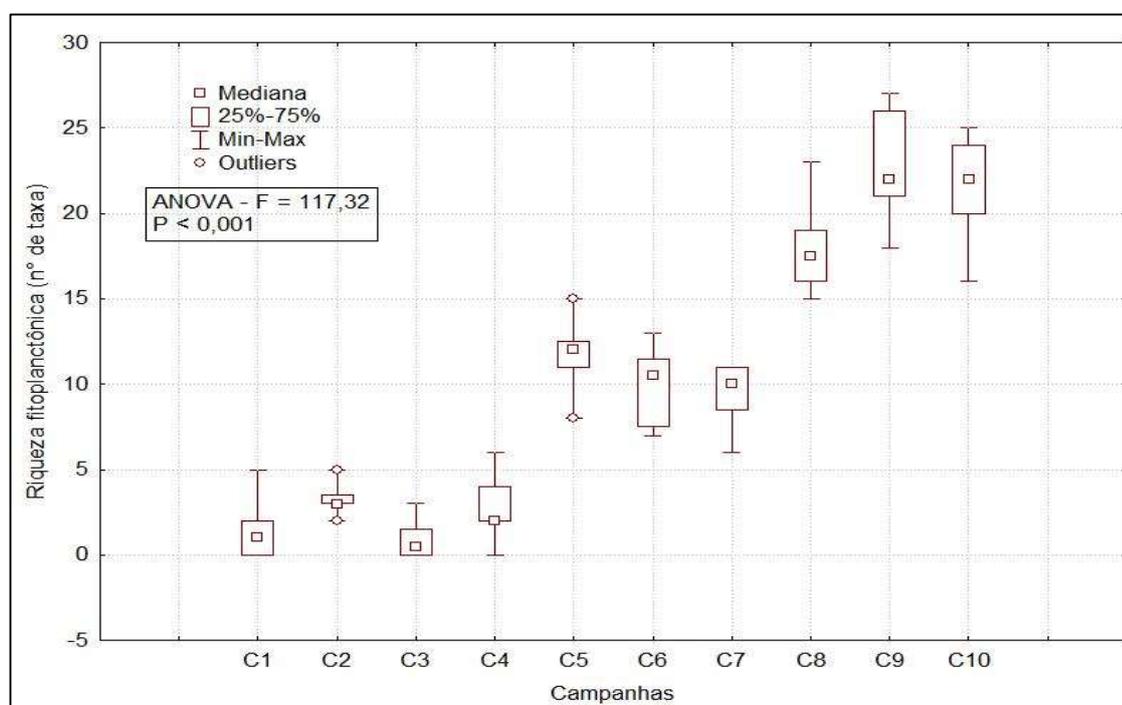


Figura V-28 – Box plots representativas dos valores de riqueza (n° de taxa) fitoplanctônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza de taxa das campanhas de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE (ANOVA, $p < 0,05$), em que a oitava, a nona e a décima campanha diferiram significativamente das demais campanhas, contudo a nona e a décima não diferiram entre si, e a quinta, sexta e sétima campanhas diferiram da primeira, segunda, terceira e quarta campanha (Tukey, $p < 0,05$).

A densidade média dos organismos fitoplanctônicos em PIL-LL-NE_C10 foi de $238,79 \pm 46,76$ ind/L, variando de 214,03, na TC da estação PIL-LL-NE_M1000, a 353,59 ind/L, na SUP, dessa mesma estação. Em comparação aos dados de densidade já verificados para os quatro projetos desenvolvidos na região (Tabela V-128), observa-se que os resultados da atual campanha se encontram na faixa de variação dos resultados dos demais projetos já desenvolvidos na região (Tabela V-128). 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 1.026×10^3 cels/L, enquanto a densidade do nanoplancton foi de $52,4 \times 10^5$ cels/L, para o verão. No inverno, esses valores foram menores, $385,9 \times 10^3$ cel/L e $38,1 \times 10^5$ cel/L, respectivamente.

A primeira campanha do projeto apresentou a maior variação e os maiores valores de densidade fitoplanctonica (Figura V-29) em comparação às demais campanhas.

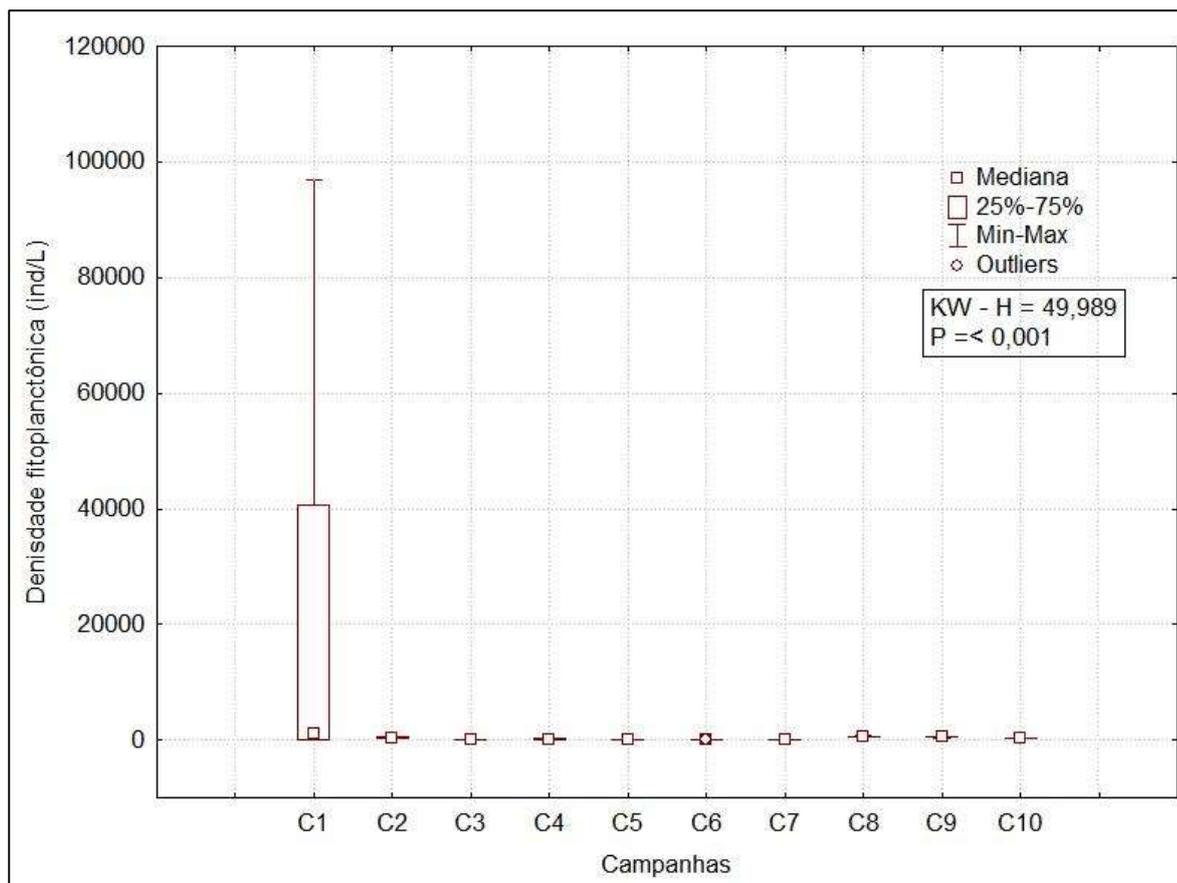


Figura V-29 – Box plots representativos dos valores de densidade fitoplanctônicas (ind/L) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A nona campanha diferiu da terceira, da quinta e da sexta, a terceira diferiu da segunda, e a oitava diferiu da terceira, quarta, quinta, sexta e sétima campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

Estudos demonstram que, nas áreas oceânicas do Brasil, a densidade fitoplanctônica varia de 50×10^3 a 200×10^3 ind/L (KOENING & MACEDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 1999), consistente com os resultados históricos obtidos PMPR_E1_PIL-LL-NE. O aumento abrupto de densidade pode ser devido a florações de espécies de algas oportunistas perante condições adversas no ambiente, como também em decorrência de fenômenos de ressurgência (CASTRO & MOSER, 2012) ou de incremento da poluição (Navas-Pereira, 1994). 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 1.026×10^3 cels.L⁻¹. O nanoplâncton (1,8-5 μ m), 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⁻¹.

O filo Myzozoa apresentou a maior densidade média, com valor de $111,43 \pm 14,00$ ind/L, seguido pelo filo Ochrophyta, com valor de $69,23 \pm 35,64$ ind/L e Cyanobacteria, com $31,65 \pm 14,73$ ind/L. Haptophyta apresentou densidade média de $26,48 \pm 14,46$ ind/L (Figura V-30), sendo observada pouca dispersão dos dados em torno da média para a maioria dos registros (entre 14 e 47%).

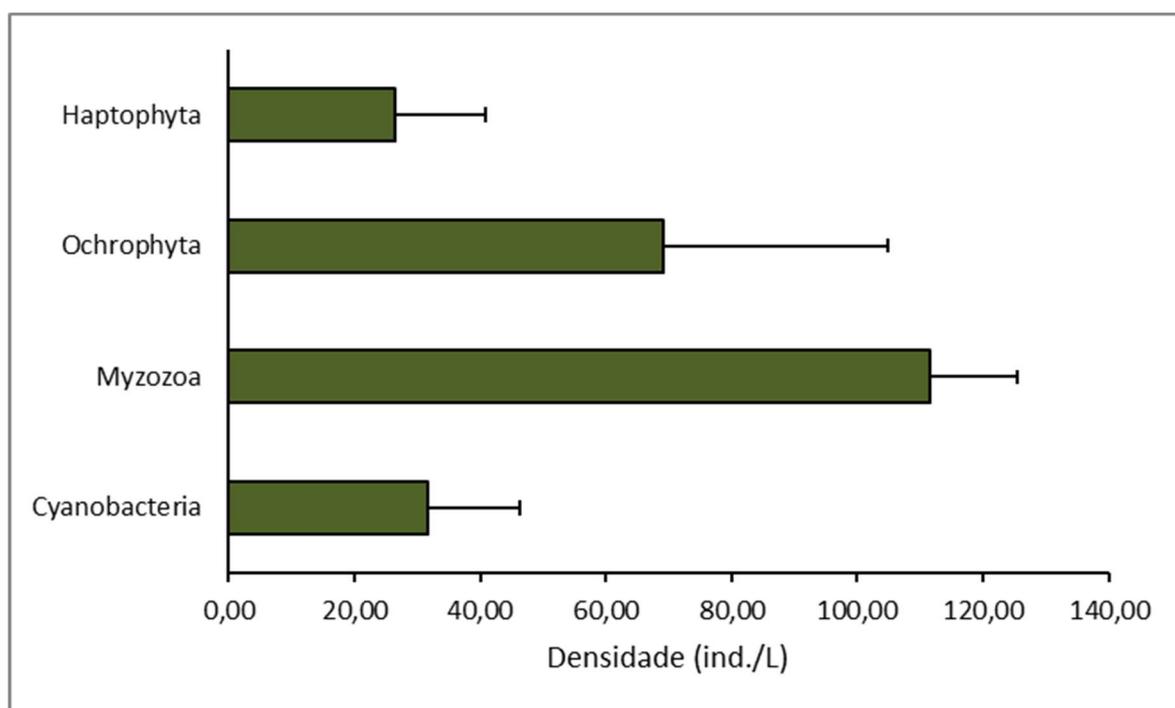


Figura V-30 – Densidade fitoplanctônica (ind./L) da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10. A barra verde representa a densidade média do grupo \pm desvio-padrão.

Na primeira campanha do PMPR_E1_PIL-LL-NE o grupo Ochrophyta foi o grupo mais representativo quanto ao parâmetro densidade (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b), enquanto que na segunda, Ochrophyta e Pyrrophytophyta foram os mais abundante em relação a Cyanobacteria (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c) Já na terceira, Ochrophyta e Pyrrophytophyta apresentaram a mesma densidade média

(PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018a). Na quarta campanha, bem como na sexta, Ochrophyta e Pyrrophytophyta apresentaram as maiores densidades (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018d). Na quinta campanha, Pyrrophytophyta apresentou a maior densidade média e a menor variabilidade entre os resultados das diferentes amostras (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2019a). Na sétima e oitava campanha, Cyanobacteria apresentou a maior densidade (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c). Na nona campanha, Myzozoa apresentou a maior densidade (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022c)

A diversidade média dos organismos fitoplanctônicos foi de $2,48 \pm 0,10$ bits/ind, variando entre 2,36 bits/ind, na TC da estação PIL-LL-NE_M1000, e 2,64 bits/ind na ACTC de PIL-LL-NE_J1002. Os registros da atual campanha encontram-se na faixa de variação dos resultados obtidos na região em campanhas anteriores (Tabela V-12).

Na Figura V-31, são apresentados os valores de diversidade de fitoplâncton obtidos no PMPR_E1_PIL-LL-NE. A quinta, a sexta, a oitava, a nona e a décima campanhas apresentaram os maiores valores de diversidade, e os valores da sétima campanha também foram elevados, enquanto a quarta apresentou maior variação dos valores. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A oitava e a nona campanhas diferiram da primeira, terceira e quarta campanha, a quinta e a sexta diferiram significativamente da primeira e da terceira, e décima campanha diferiu da primeira, segunda, terceira e quarta (*Tukey*, $p < 0,05$).

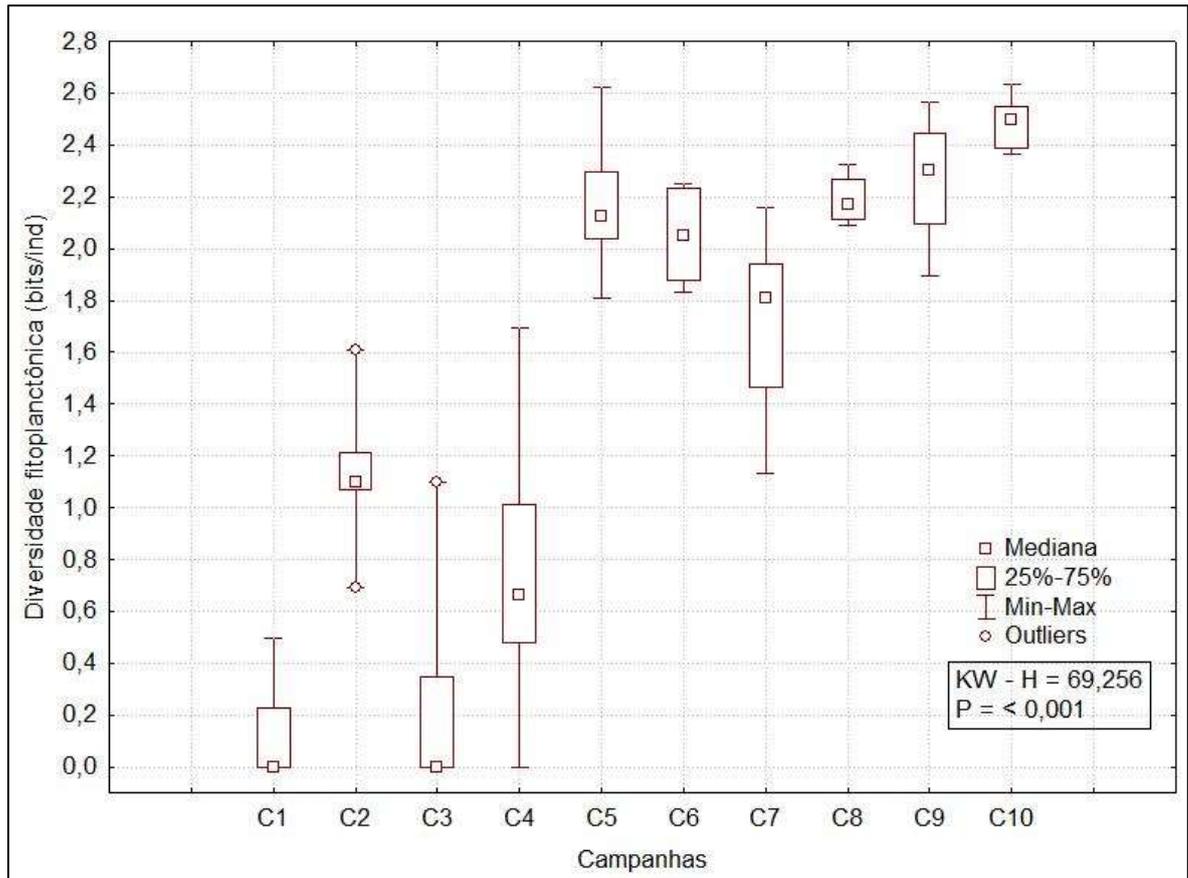


Figura V-31 - Box plots representativos dos valores de diversidade fitoplanctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Essa ampla variação de diversidade pode ser reflexo da capacidade de adaptação da comunidade zooplanctônica mediante às variações das condições ambientais. A condição oligotrófica dominante nas regiões oceânicas tropicais e subtropicais tem grande influência para moldar a estrutura da comunidade zooplanctônica, especialmente em ambientes marcados pela ocorrência de processos regenerativos intensos, e pela presença de espécies com altas taxas reprodutivas, elevada eficiência alimentar e ciclo de vida curto (LALLI & PARSONS, 1997; MAUCHILINE, 1998; MARTINELLI FILHO, 2013).

A equitabilidade média dos organismos fitoplanctônicos foi de $0,81 \pm 0,03$, variando de 0,78, na TC e SUP de PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002, respectivamente, a 0,86, na ABTC da estação PIL-LL-NE_M1000 (Tabela V-11). Os valores obtidos na atual campanha estão dentro da faixa de variação dos resultados obtidos nas campanhas realizadas anteriormente na região (Tabela V-12).

Na Figura V-32, são apresentados os valores de equitabilidade de fitoplâncton obtidos no PMPR_E1_PIL-LL-NE. A terceira e a quarta campanha apresentaram as maiores amplitudes de valores de equitabilidade, sendo identificada uma maior uniformidade entre as espécies na campanha C4. A primeira campanha, por sua vez, apresentou a menor uniformidade, coincidente a menor diversidade, dentre todas as campanhas. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A segunda campanha diferiu significativamente da primeira, da terceira, da oitava e da nona campanha; e a quarta, a quinta e a sexta também diferiram da primeira campanha (*Tukey*, $p < 0,05$).

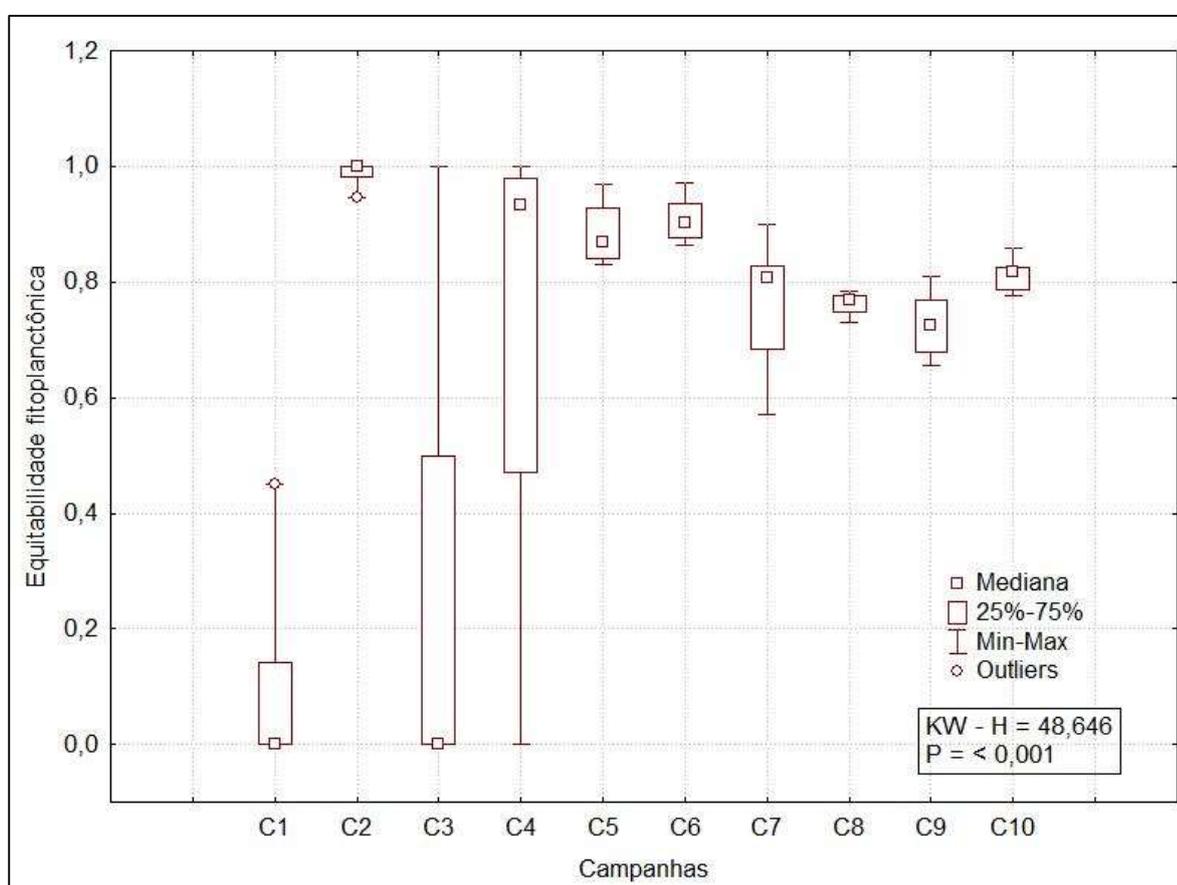


Figura V-32 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade fitoplanctônica encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Por fim, é importante salientar que, apesar de todas as campanhas utilizarem os mesmos critérios de contabilização dos organismos e cálculo dos índices ecológicos, baseado no número de taxa identificados até o menor nível taxonômico

possível, conforme descrito no item IV – Material e Métodos, as amostras da quinta campanha em diante foram submetidas a um tratamento diferente (filtração reversa e tempo de sedimentação de 72 horas), de modo que é provável que tal alteração tenha influenciado nos resultados obtidos. Também é possível que haja diferenças entre as campanhas decorrentes do menor nível taxonômico encontrado em cada uma, tanto pelas diferentes condições de integridade dos organismos, como também em virtude da troca de laboratório ocorrida entre a segunda e a terceira e entre a sétima e oitava campanhas.

Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton

Avaliando a riqueza total acumulada nas profundidades de cada estação, foi encontrado um total de 36 taxa na estação PIL-LL-NE_M1000 e de 42 taxa na estação PIL-LL-NE_J1002 (Figura V-33).

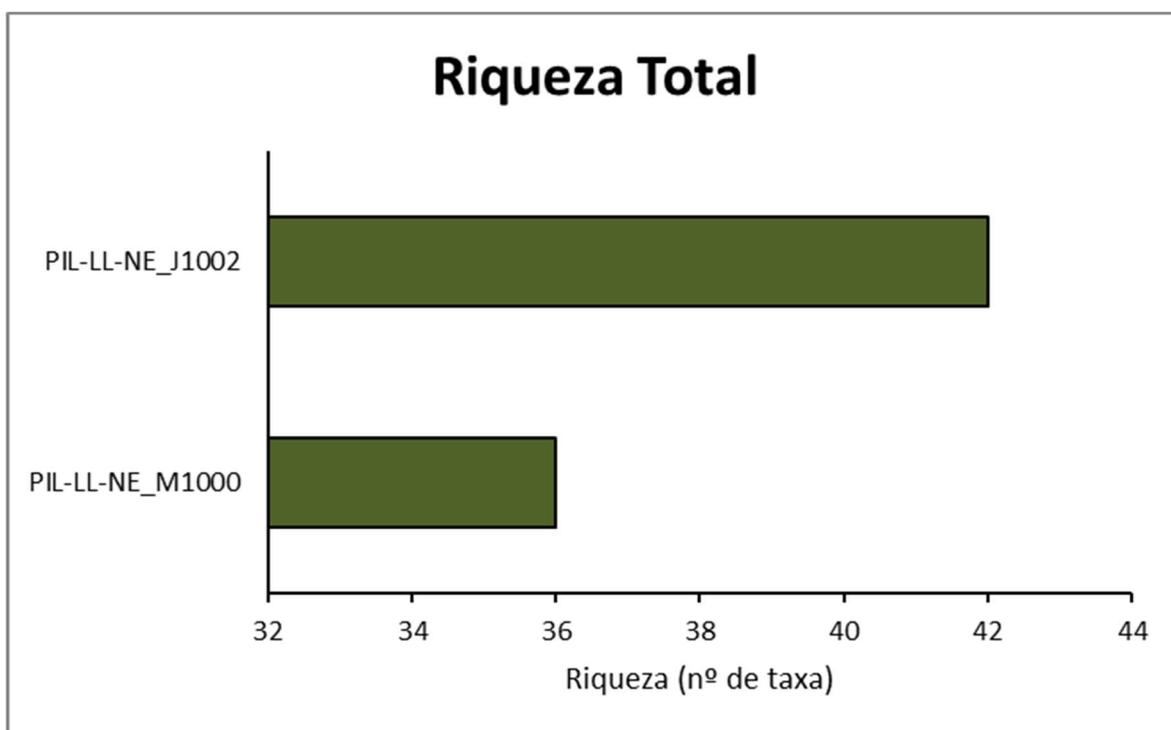
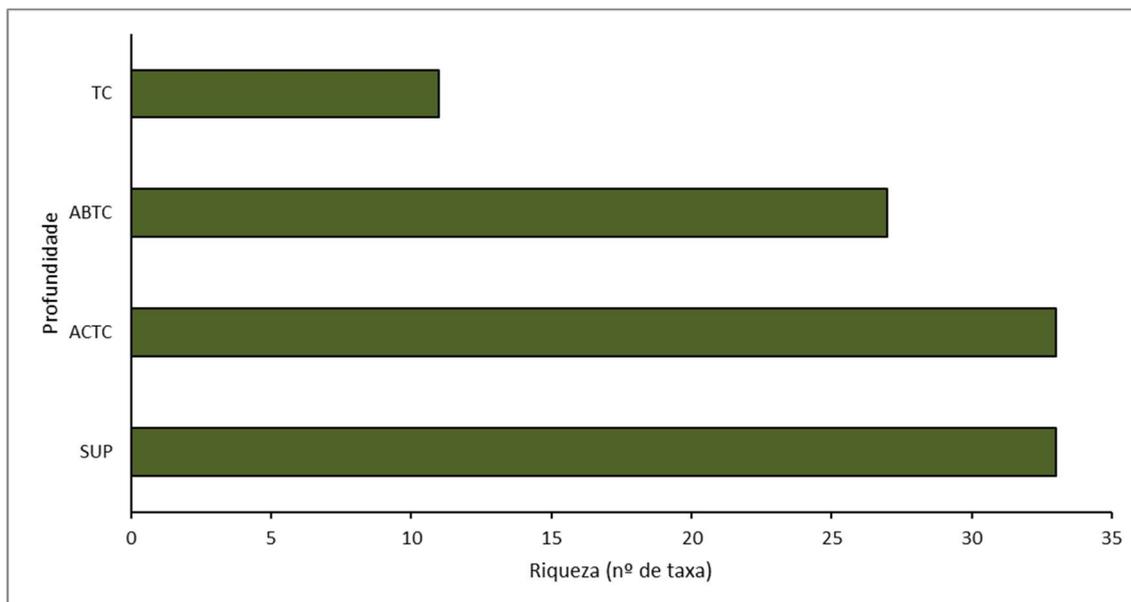


Figura V-33 – Riqueza fitoplanctônica (n de taxa) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).

A riqueza total nas diferentes profundidades variou de 11 na TC a 33 taxa, na SUP e na ACTC (33 taxa). Na ABTC foi registrada riqueza total de 27 taxa (Figura V-34).

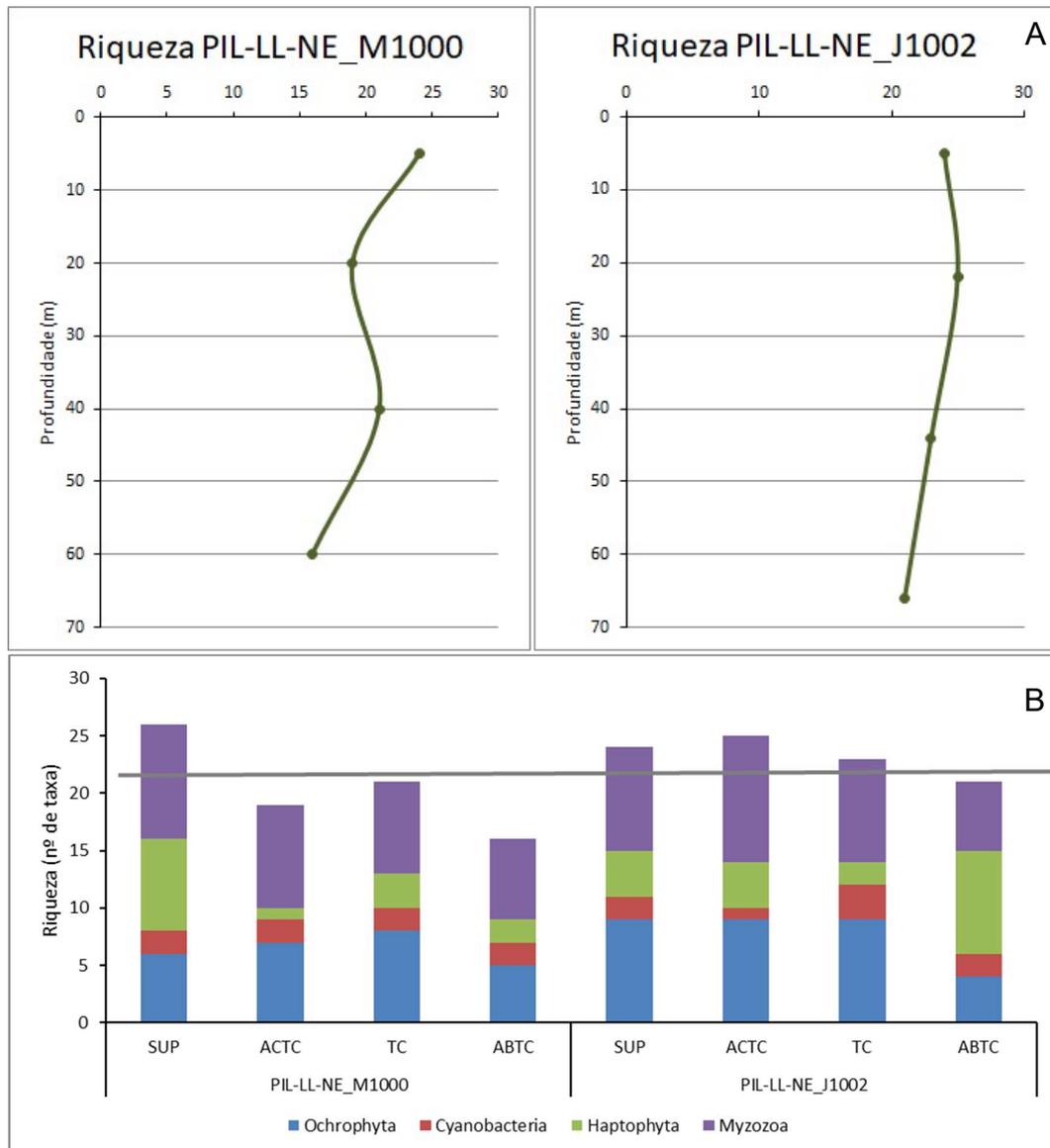


Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-34 – Riqueza fitoplanctônica (Nº de taxa) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).

Avaliando todas as amostras com relação à riqueza de taxa, as duas estações apresentaram padrão vertical similar. Em ambas as estações houve tendência de redução da riqueza com o aumento da profundidade (Figura V-35 A).

Também foi possível observar que, na distribuição de taxa entre as estações e profundidades, todos os filos ocorreram em todas as amostras, com contribuição nas amostras de, no mínimo, um taxa. Myzozoa e Ochrophyta dominaram em riqueza em todas as amostras, exceto na ABTC de PIL-LL-NE_J1002, quando haptophyta foi dominante (Figura V-35B).



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

Figura V-35 – Riqueza fitoplânctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d’água. B) Número de taxa por filo fitoplânctônico. A linha cinza representa a média de todas as amostras e filios.

Com relação ao parâmetro densidade média não houve ampla variação entre as duas estações. A estação PIL-LL-NE_M1000 obteve valor maior de $253,63 \pm 66,87 \text{ ind/L}$ e PIL-LL-NE_J1002 obteve média de $223,95 \pm 6,58 \text{ ind/L}$ (Figura V-36).

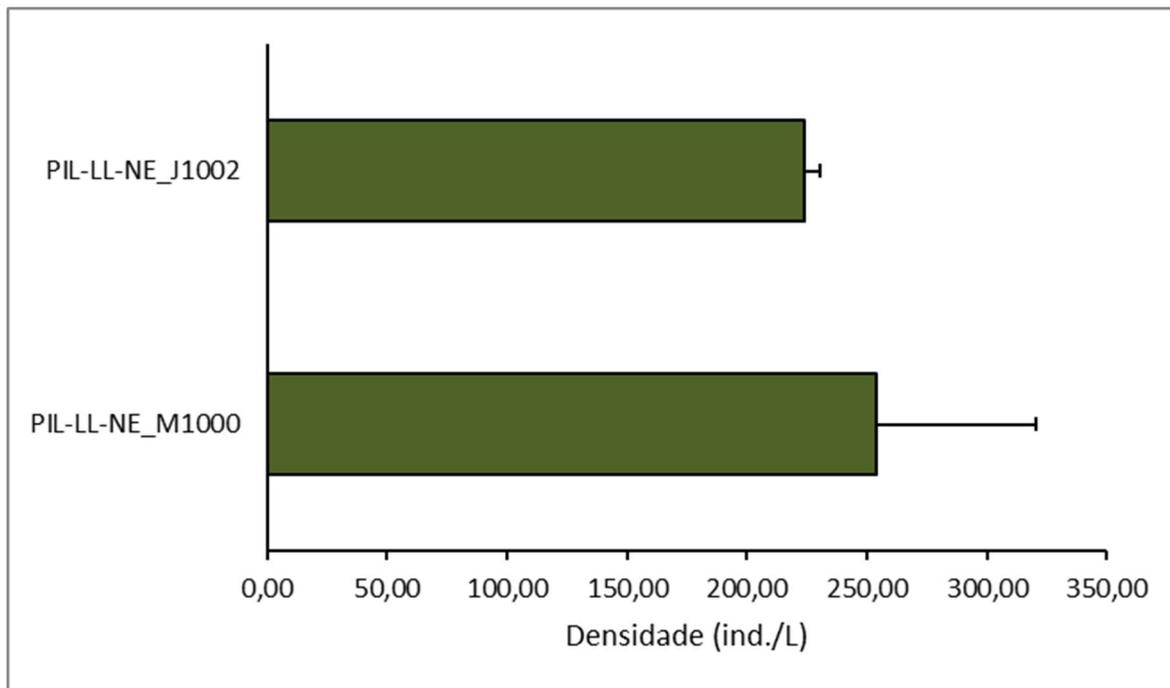
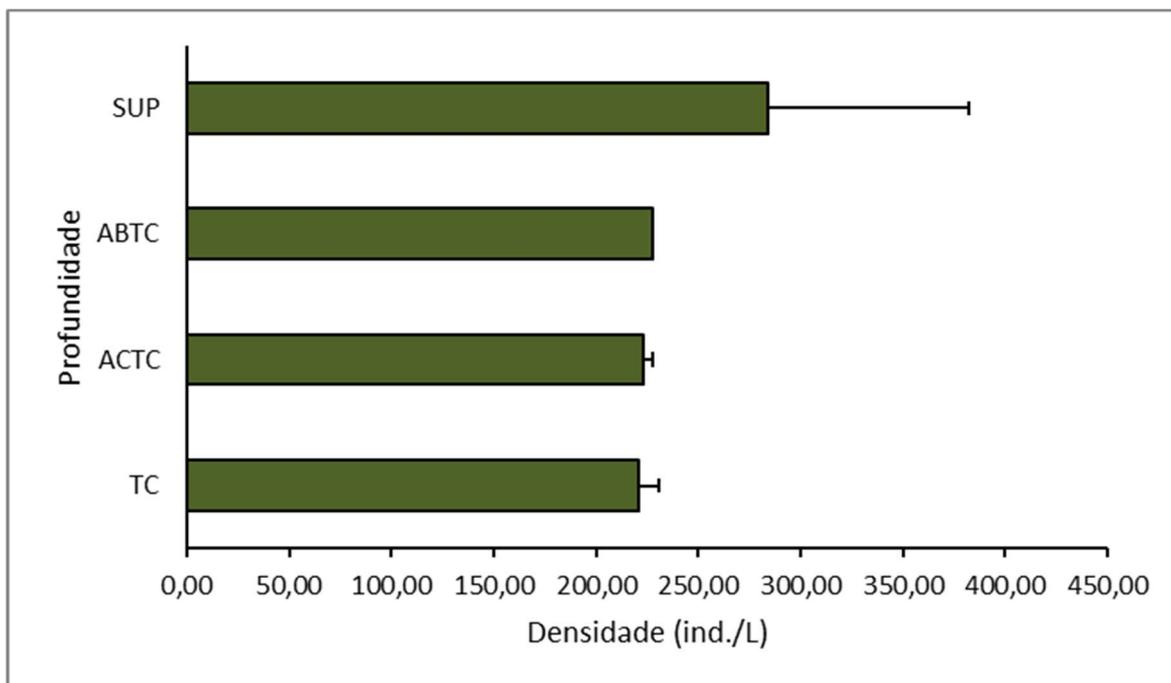


Figura V-36 – Densidade fitoplanctônica (ind/L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a densidade média das profundidades \pm desvio-padrão.

A densidade média entre as profundidades também não apresentou ampla variação. A camada SUP apresentou a maior média ($283,87 \pm 98,61$ ind/L) seguida pela ABTC ($227,40 \pm 0,01$ ind/L) e as menores médias foram encontradas na ACTC e TC ($222,87 \pm 4,79$ ind/L e $221,01 \pm 9,88$ ind/L, respectivamente) (Figura V-37).

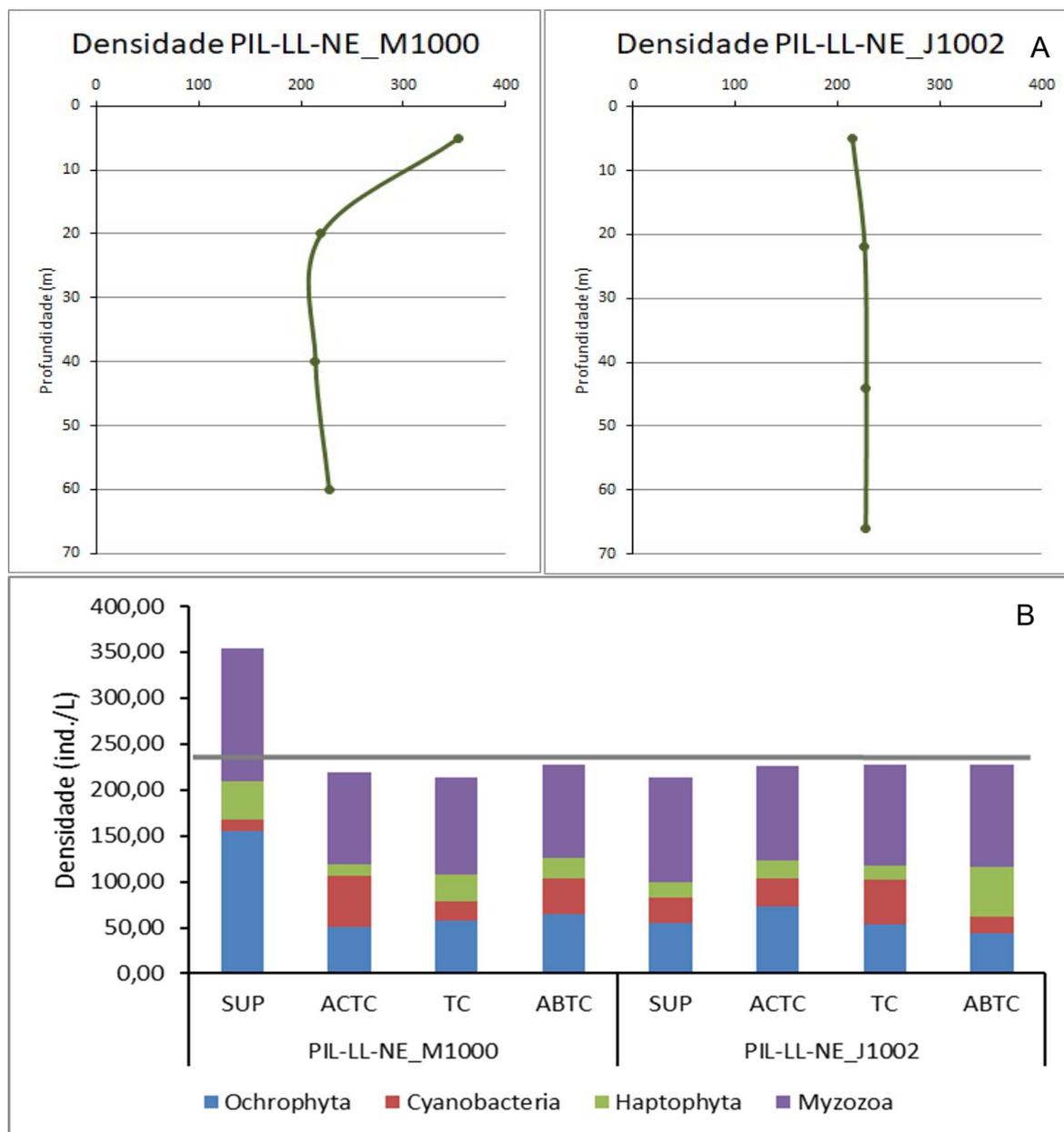


Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-37 – Densidade fitoplanctônica (ind./L) na atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A barra verde representa a densidade média \pm desvio-padrão.

Avaliando as diferentes amostras, é possível observar que as estações apresentaram padrões diferentes. Na estação PIL-LL-NE_M1000, os valores de densidade foram superiores e tenderam a diminuir com o aumento da profundidade, enquanto na estação PIL-LL-NE_J1002, os valores praticamente não variaram com a profundidade (Figura V-38 A).

Os maiores valores de densidade se dão, principalmente, pela maior presença de indivíduos do filo Myzozoa na maioria das amostras, exceto na SUP e na ACTC da estação PIL-LL-NE_M1000, em que Ochrophyta e Cyanobacteria dominaram em densidade, respectivamente. Ochrophyta foi o segundo filo de relevante contribuição em densidade para o conjunto de amostras (Figura V-38 B).



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) da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A) Perfis de variação da densidade na coluna d’água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade dos filos fitoplanctônicos; linha cinza representa a média de todas as amostras.

A diversidade tendeu a apresentar um leve decaimento do valor com o aumento da profundidade, em ambas as estações. Já a equitabilidade variou ao longo da profundidade, aumentando de SUP para ACTC, diminuindo de ACTC para TC e aumentando novamente de TC para ABTC, em PIL-LL-NE_M1000. EM PIL-LL-NE_J1022, a equitabilidade se manteve constante (Figura V-39)

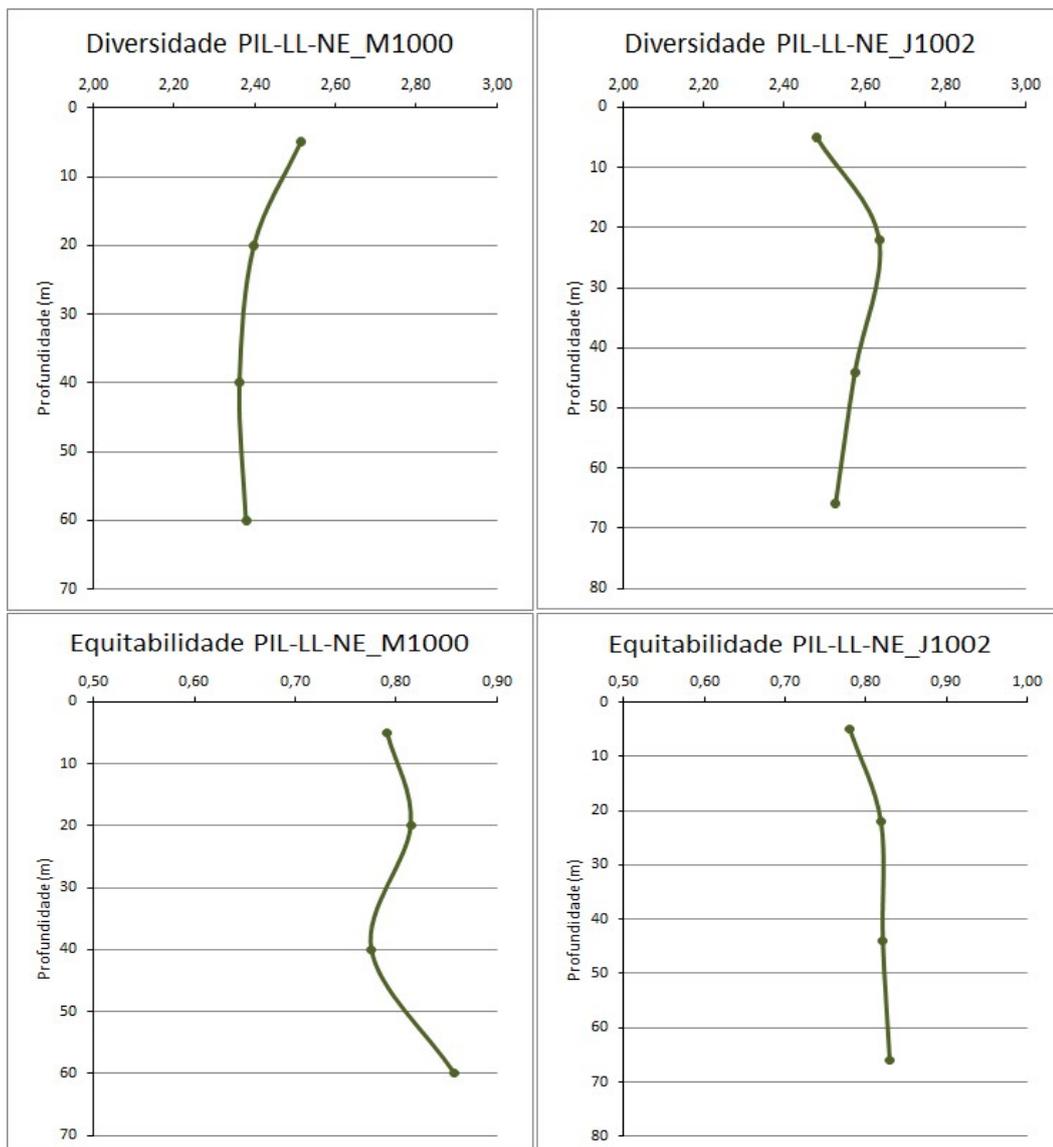


Figura V-39 – Diversidade e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

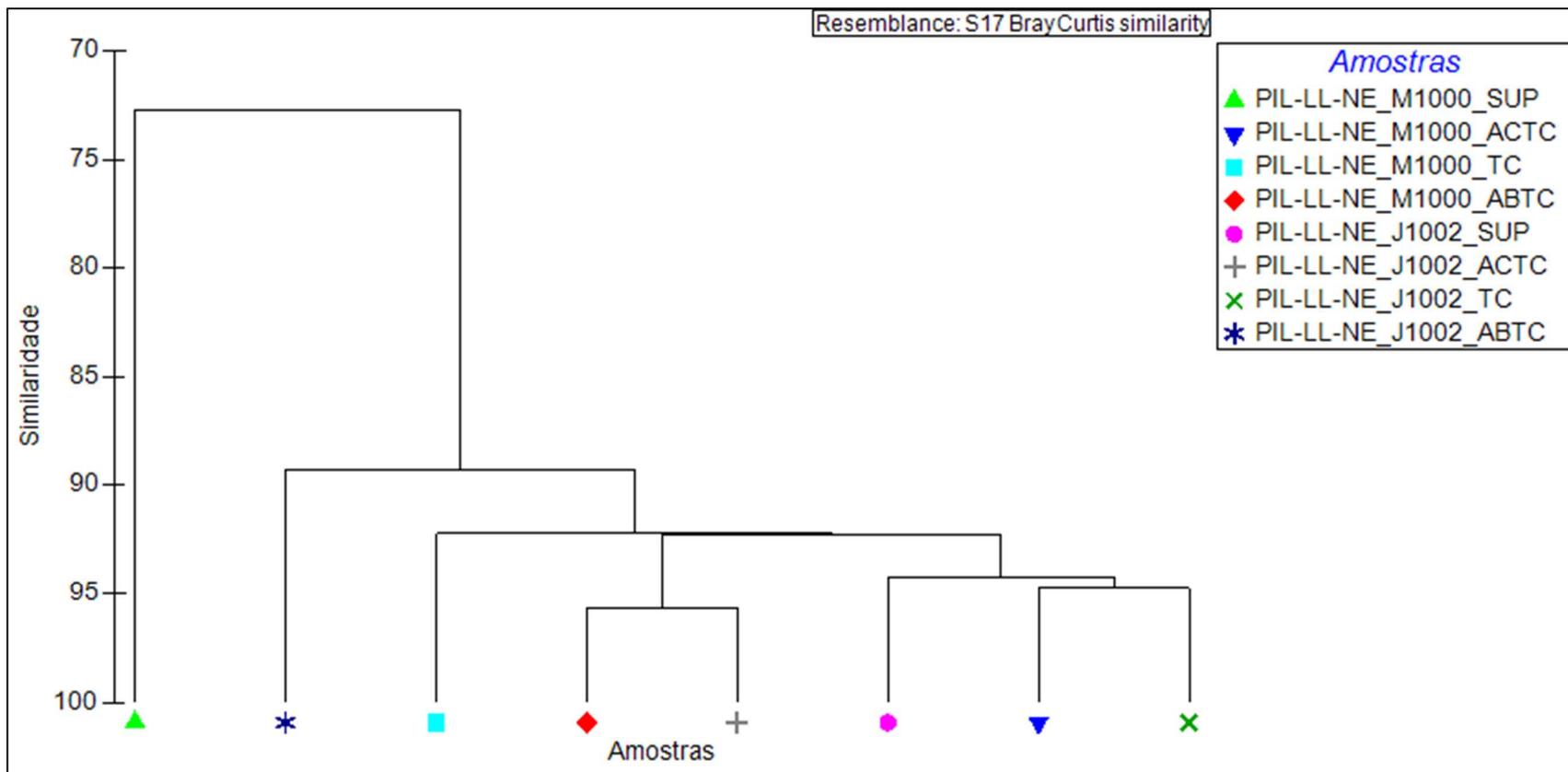
Variações verticais e horizontais nas densidades fitoplanctônicas podem ocorrer naturalmente nas regiões oceânicas em função da variação dos diferentes parâmetros limitadores da produção primária (MANN & LAZIER, 2006). Na horizontal, a variação da distribuição ocorre ao longo do eixo costa-oceano, influenciada 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 (Petrobras, 2022), os resultados apontaram 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. Entretanto, foram identificados episódios de aumentos de biomassa no setor central, provavelmente devido à atuação de mecanismo injeção vertical de nutrientes gerados a partir de interações com vórtices atuantes na área (Capítulo IV, Volume III; Pereira et al., 2009).

Contudo, no presente trabalho, não foi observada uma zonação vertical definida da comunidade para os parâmetros avaliados, pois não ocorreu efeito acentuado da estratificação da coluna d'água, com homogeneização da água devido aos processos de mistura (CASTRO *et al.*, 2006).

V.2.1.6 - Análise de Cluster

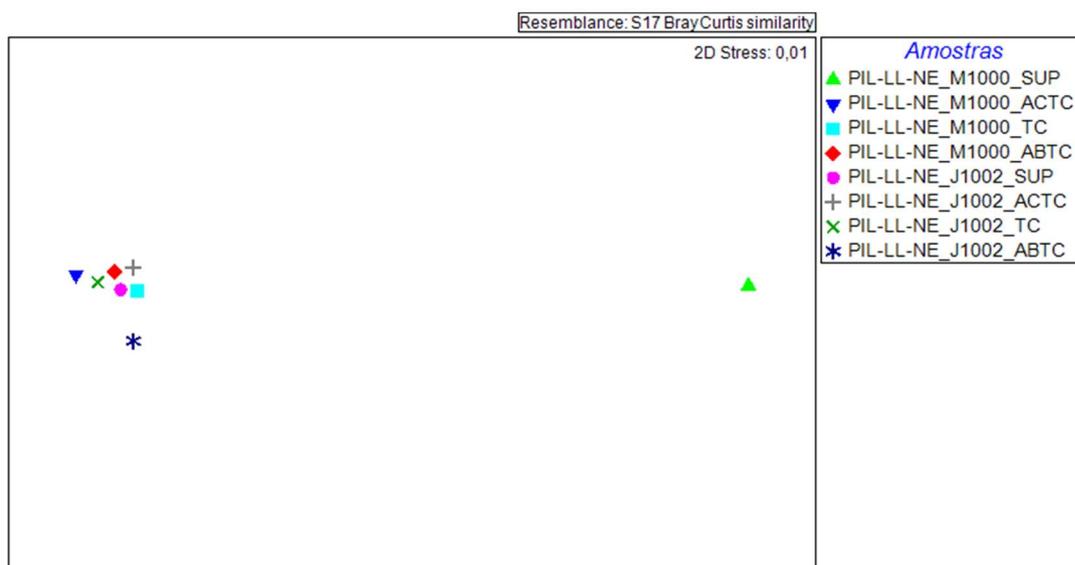
A análise de *Cluster* apresentou diversos agrupamentos entre as amostras, com similaridades variando entre 73 e 96%, demonstrando grande similaridade entre a maioria das amostras. A estação PIL-LL-NE_M1000_SUP se distanciou das demais, apresentando a menor similaridade observada no dendograma e no escalonamento multidimensional (MDS), provavelmente como reflexo das maiores densidades observadas, para a maioria dos filós registrados. As amostras mais semelhantes, com 96% de similaridade, foram PIL-LL-NE_M1000_ABTC e PIL-LL-NE_J1002_ACTC que apresentaram valores de densidade muito semelhantes entre os filós.



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

Figura V-40 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Na análise de MDS (Figura V-41), destacou-se principalmente a maior diferença entre PIL-LL-NE_M1000_SUP, em relação às demais. O MDS apresentou *stress* no valor de 0,01. Na literatura, valores acima de 0,20 não representam uma boa ordenação entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados (CLARKE & WARWICK, 2001). Portanto, o atual valor de *stress* representa uma boa ordenação dos dados.



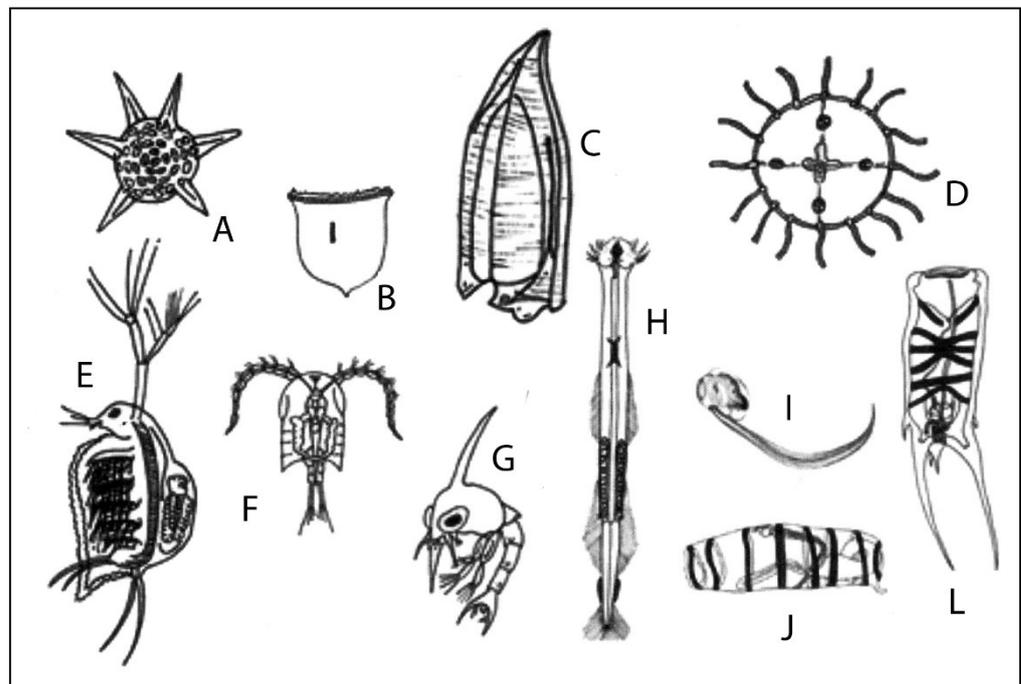
Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-41 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade fitoplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

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-42 mostra diversos exemplos dos principais componentes do zooplâncton no ambiente marinho.



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

Figura V-42 – 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 pois são 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 ao 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). No PCR-BS (Petrobras, 2022), foi identificado que a distribuição dos organismos zooplanctônicos, e em especial das espécies de Copepoda, estão diretamente relacionadas às variáveis ambientais. Segundo o 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 todas as campanhas de monitoramento realizadas pelo projeto, foram identificados 171 taxa em 40 amostras analisadas para a

comunidade de zooplâncton. Nas quatro amostragens realizadas na atual campanha foram identificados sete novos taxa.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 10 campanhas já realizadas no PMPR_E1_PIL-LL-NE evidencia um incremento de taxa mais acentuado até a segunda amostra da terceira campanha, contabilizando 97 taxa (Figura V-44), o que representa 56,7% do total. Observa-se um grande incremento no início da terceira campanha, quando foram adicionados 16 novos taxa já na primeira amostra. Ao final da terceira, e ao longo das campanhas subsequentes, a curva estabiliza e os incrementos verificados são menores. Na oitava campanha há um novo incremento na primeira amostra (21 taxa), com posterior estabilização nas demais amostras, se mantendo ao longo das nona e décima campanhas.

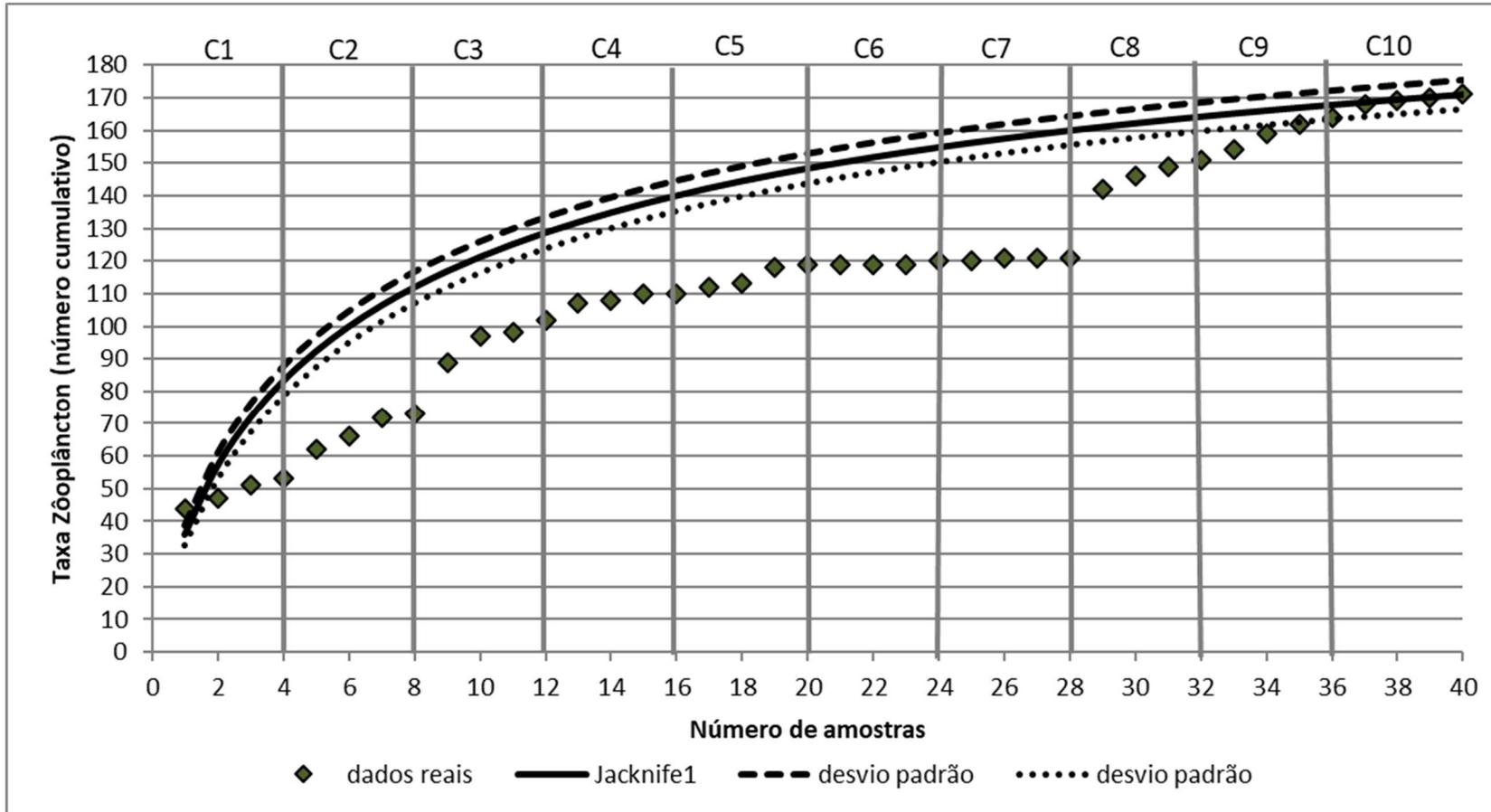


Figura V-43 – Taxa de zooplâncton (número cumulativo) encontrados ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.

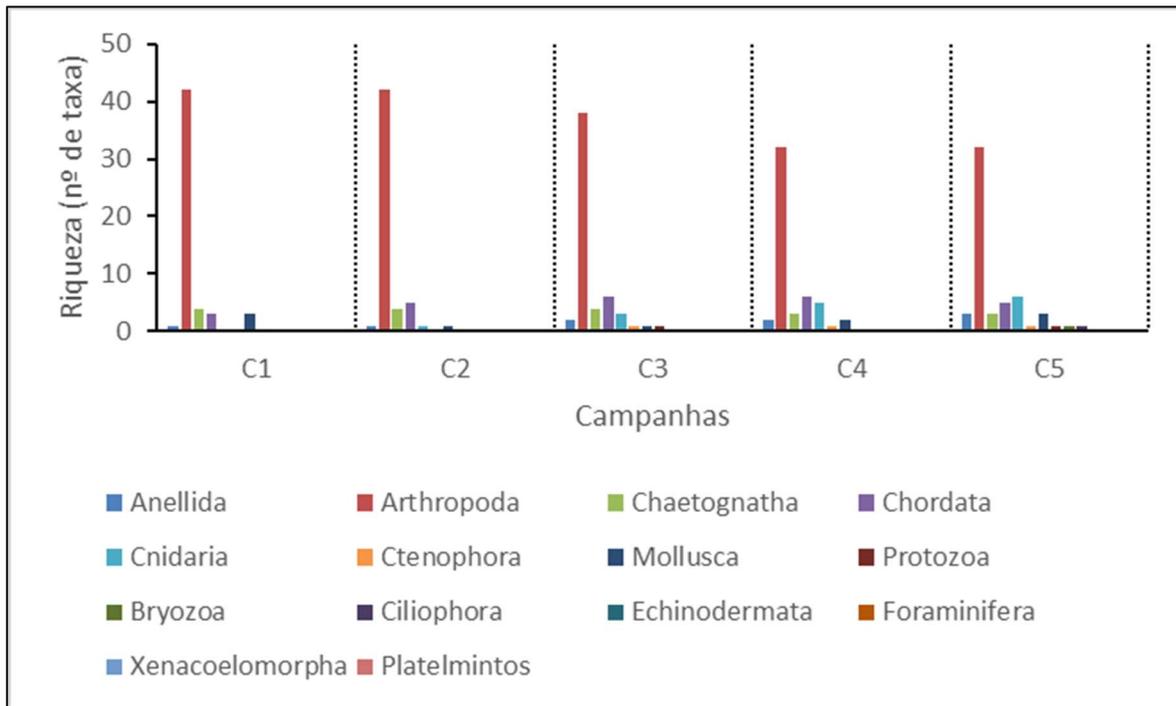
Os grandes incrementos verificados no início da terceira e da oitava campanhas podem estar associados a uma mudança na composição dos taxa da comunidade local. Todas as comunidades zooplanctônicas são dinâmicas, e podem variar a composição ao longo tempo, em função de mudanças nas condições ambientais, como por exemplo variações de massa d'água que resultem numa nova estrutura de comunidade (STEMPNIEWICZ *et. al.*, 2007; RICHARDSON, 2008). Outro aspecto a ser considerado, no entanto, é a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas observado entre a 2ª e 3ª e entre a 7ª e 8ª campanha, que pode ter ocasionado diferenças na identificação de alguns organismos. Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, a primeira amostra da primeira campanha esteve acima da distribuição esperada. A tendência de estabilização da curva a partir do final da terceira campanha e a partir das amostras finais da oitava campanha sugere um baixo incremento do número de taxa com o aumento do esforço amostral. A distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada na maioria das amostras de todas as campanhas, aproximando-se da distribuição esperada a partir da segunda amostra da nona campanha, pois os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. Na décima campanha a distribuição real da maioria das amostras ocorre sobre a curva Jackknife, indicando uma estabilização dos dados reais sobre essa curva. Os resultados encontrados sugerem um adequado esforço amostral, com grande parte dos taxa presentes no local sendo amostrados.

V.2.2.2 - .Análise Qualitativa

Foram identificados organismos pertencentes a onze filos (Anellida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platalmintos). A maioria desses filos foi registrada em alguma das campanhas anteriores da região de interesse (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018d, 2019a, 2019e, 2020c;

PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c, 2022c). O filo com maior número de *taxa* foi Arthropoda, com riqueza de 31 *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, Ctenophora, Echinodermata, Foraminifera e Platelmintos), totalizando 48 *taxa* (Figura V-44). A lista completa com os *taxa* encontrados é apresentada no Anexo X-3.



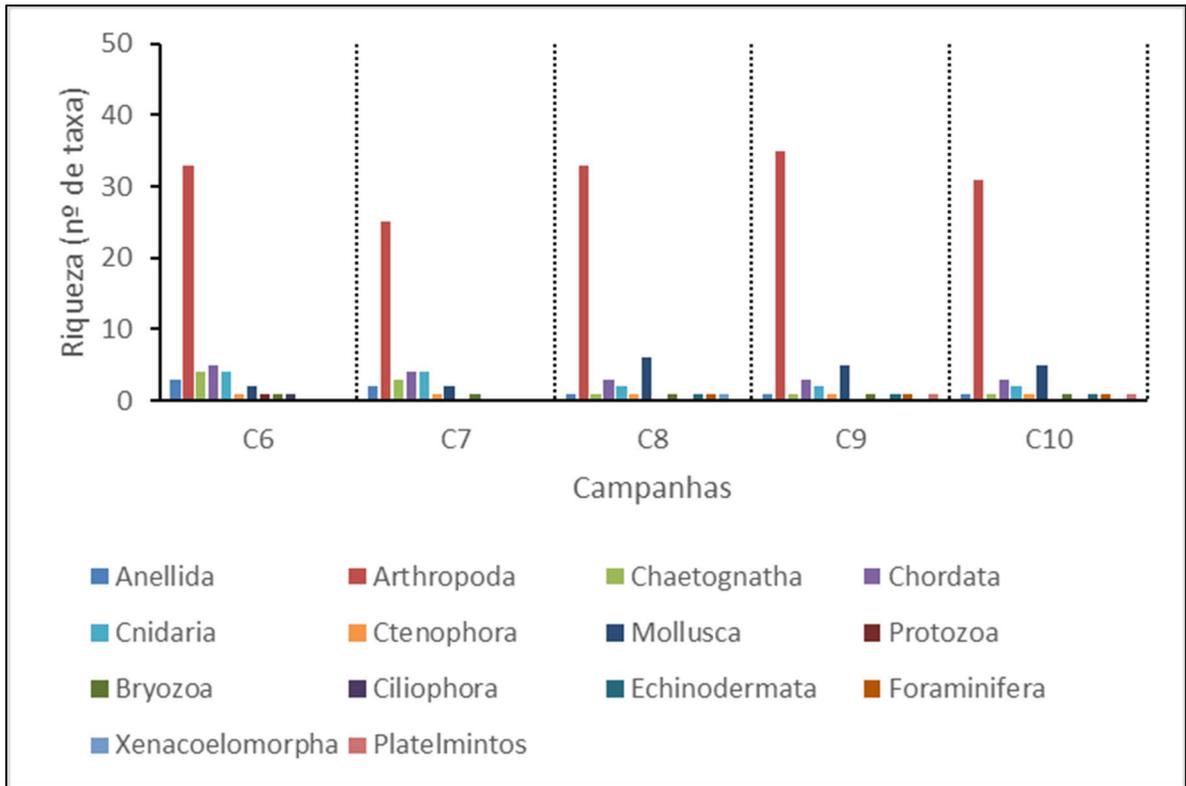


Figura V-44 – Riqueza zooplancônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

A dominância de Arthropoda em número de taxa verificada na atual campanha corrobora os dados das campanhas de monitoramento já realizadas na região de interesse (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010, 2012a, 2012b; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015a, 2015d, 2015e, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2019a, 2019b, 2019c, 2019e, 2020c, 2020d; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2023). No presente trabalho, cerca de 64% dos taxa pertencem ao filo Arthropoda. Nas campanhas anteriores do PMPR_PIL-LL-NE, os organismos desse filo representaram cerca de 78%, 79%, 68%, 63%, 57%, 60%, 59%, 65% e 67% respectivamente, dos taxa coletados e os outros filios também registraram contribuição percentual baixa em relação ao total coletado em cada campanha.

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, 2021c), 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 BM-S-08, 09, 10, 11 e 21, esse grupo também é dominante nas amostras (PETROBRAS/HABTEC, 2003). No PCR-BS (Petrobras, 2022), os copépodes também representaram o grupo zooplanctônico predominante, tanto na campanha de inverno como de verão. Nesse estudo, a comunidade zooplanctônica da zona oceânica da BS, registrada nas campanhas de verão e de inverno, ficou representada pela presença de Copepoda e também de Salpida (ARAÚJO & MONTÚ, 1993). O zooplâncton da Bacia de Santos 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 copépodes onívoros na composição do microzooplâncton durante o verão (Petrobras, 2022).

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

As classes Thaliacea e Appendicularia, pertencentes ao filo Chordata, são componentes frequentes do zooplâncton, apesar de normalmente não serem abundantes em biomassa (VEGA-PÉREZ *et al.*, 2011). Também foram registrados indivíduos do Filo Ctenophora. Nestes, embora sejam quase transparentes, a bioluminescência e a iridescência nos pentes ciliares são comuns, propriedades que os tornam visíveis na coluna de água, tanto de noite quanto de dia (OLIVEIRA *et al.*, 2007). Pertencente ao filo Cnidaria, foi registrada a classe Hydrozoa; que faz parte do zooplâncton gelatinoso, tem corpo flexível, transparente ou semitransparente e consistência gelatinosa. Os indivíduos pertencentes a essa classe ocupam o nicho de predadores do carcino e ictioplâncton em ambientes pelágicos e tem grande importância ecológica em cadeias tróficas do ecossistema pelagial (NASCIMENTO & OLIVEIRA, 2010).

V.2.2.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-13 são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade zooplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-13- Valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplânctônica da atual campanha de monitoramento.

Estação	Estrato	Riqueza (Nº de taxa)	Densidade (ind/m ³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-LL-NE_M1000	HOR	35,00	146,05	3,42	0,67
	OBL	33,00	118,66	3,48	0,69
PIL-LL-NE_J1002	HOR	36,00	132,09	3,28	0,63
	OBL	36,00	154,96	3,87	0,75
	mínimo	33,00	118,66	3,28	0,63
	máximo	36,00	154,96	3,87	0,75
	média	35,00	137,94	3,51	0,68
	desvio padrão	1,41	15,93	0,25	0,05

Os valores de riqueza total variaram entre 33 (PIL-LL-NE_M1000_OBL) e 36 taxa (PIL-LL-NE_J1002_HOR e PIL-LL-NE_J1002_OBL), apresentando média de 35,00 ± 1,41 taxa.

Foram registrados 48 taxa, considerando as quatro estações de coleta, dentre os quais, 6 foram identificados a nível de filo, 1 a nível de subfilo, 7 foram identificados a nível de classe, 1 a nível de infraclasse, 9 a nível de ordem, 1 a nível de família, 4 a nível de gênero e 19 foram identificados a nível de espécie.

Na Tabela V-20 constam os resultados mínimos e máximos dos dados ecológicos obtidos com o monitoramento da comunidade zooplanctônica em campanhas realizadas anteriormente, é possível verificar que os dados de riqueza da atual campanha são condizentes e semelhantes à faixa de variações dos resultados apresentados na maioria das campanhas.

Tabela V-20 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o zooplâncton obtidos em campanhas de monitoramento realizadas nos estudos anteriores na região de interesse.

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m ³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	31	32	345,07	1.509,44	2,09	2,64	0,61	0,76
PIL-LL_C2 ²	29	33	300,10	301,40	1,23	1,26	0,81	0,86
PIL-LL_C3 ³	25	32	522,80	1.519,30	0,94	1,17	0,67	0,81
PIL-LL_C4 ⁴	36	52	36.739	54.035	2,32	3,03	0,65	0,80
PIL-LL_C5 ⁵	32	41	1.088	4.777	2,24	2,88	0,63	0,82
PIL-LL_C6 ⁶	30	35	245	310	2,70	3,04	0,79	0,86
PIL-LL_C7 ⁷	37	41	215,73	381,60	2,93	3,24	0,81	0,87
PIL-LL_C8 ⁸	34	40	738,67	995,43	3,14	3,42	0,89	0,93
PIL-LL_C9 ⁹	26	39	1.271,05	2.621,72	2,41	3,15	0,74	0,86
PIL-LL_C10 ¹⁰	26	32	198,44	473,17	2,82	3,09	0,86	0,91
PIL-LL_C11 ¹¹	35	38	96,55	1211,90	3,25	3,31	0,89	0,92
PIL-LL_C12 ¹²	36	40	207,38	282,52	3,31	3,82	0,62	0,74
PIL-LL_C13 ¹³	34	39	340,47	7.941,96	3,15	3,55	0,62	0,67
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	31	45	1.757	3.443	2,66	3,12	0,75	0,82
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	37	40	206	583	2,43	3,01	0,66	0,82
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	29	39	100,27	483,88	2,74	2,92	0,77	0,81
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	30	42	499,88	1.136,04	2,94	3,15	0,80	0,86
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	30	41	1.092,39	1.731,90	2,48	3,02	0,72	0,89
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	26	38	565,78	4.217,16	2,74	2,95	0,78	0,84
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	24	33	109,80	673,21	2,92	3,13	0,85	0,94
PIL-LL-NE_C8 ²¹	37	43	171,11	286,46	3,78	4,01	0,70	0,76
PIL-LL-NE_C9 ²²	35	38	136,75	465,49	3,78	4,15	0,74	0,79
PIL-SAP_C1 ²³	25	43	2.142	3.443	2,40	2,88	0,74	0,77

	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/m ³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-SAP_C2 ²⁴	35	41	316	578	2,69	3,02	0,76	0,85
PIL-SAP_C3 ²⁵	35	44	141,77	345,35	2,99	3,24	0,79	0,88
PIL-SAP_C4 ²⁶	35	39	375,75	474,00	2,93	3,25	0,80	0,91
PIL-SAP_C5 ²⁷	33	36	1.274,85	3.212,44	3,03	3,13	0,86	0,89
PIL-SAP_C6 ²⁸	28	34	453,65	1.067,23	2,73	3,12	0,81	0,91
PIL-SAP_C7 ²⁹	27	36	399,34	2622,46	2,99	3,26	0,87	0,92
PIL-SAP_C8 ³⁰	37	48	125,81	192,30	3,78	4,09	0,71	0,75
PIL-SAP_C9 ³¹	30	37	149,80	297,02	3,18	3,81	0,64	0,77
DP-IRA-S_C1 ³²	30	38	53,04	294,08	2,79	3,27	0,82	0,91
DP-IRA-S_C2 ³³	35	41	739,21	2.220,53	2,78	3,17	0,78	0,85
DP-IRA-S_C3 ³⁴	34	41	526,64	1.482,32	2,93	3,34	0,83	0,90
DP-IRA-S_C4 ³⁵	27	32	245,30	493,71	2,88	3,15	0,87	0,91
DP-IRA-S_C5 ³⁶	30	38	53,04	294,08	2,79	3,27	0,82	0,91
DP-IRA-S_C6 ³⁷	20	30	307,34	1027,77	2,57	2,69	0,79	0,86
DP-IRA-S_C7 ³⁸	35	36	194,55	370,27	3,53	4,09	0,69	0,79
DP-IRA-S_C8 ³⁹	34	37	157,24	223,19	3,59	4,12	0,71	0,79
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	31	33	103,18	219,90	3,57	3,77	0,71	0,75

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

Os valores de riqueza do PMPR_E1_PIL-LL-NE são apresentados na Figura V-45. Pode-se observar que a primeira campanha apresentou a maior amplitude, enquanto os maiores resultados de riqueza registrada entre as campanhas ocorreram na oitava campanha. Foram observadas diferenças significativas entre a riqueza de taxa das nove campanhas de monitoramento (ANOVA, $p < 0,05$), com a sétima campanha diferindo da primeira, segunda e oitava campanha (Tukey, $p < 0,05$).

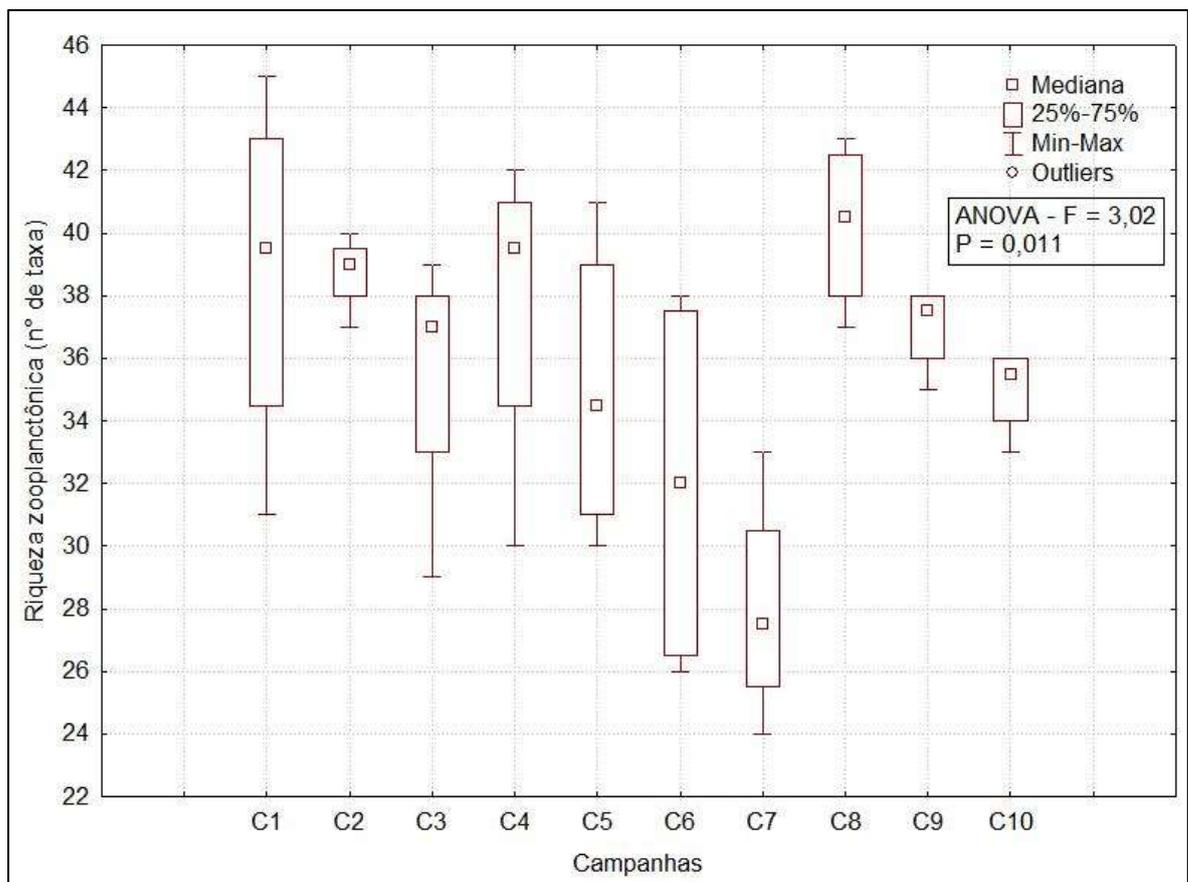


Figura V-45 – Box plots representativos dos valores de riqueza zooplancônicas (número de taxa) das comunidades encontradas ao longo das campanhas de monitoramento do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

A densidade média de organismos zooplancônicos na atual campanha foi de $137,94 \pm 15,93 \text{ ind/m}^3$, variando de 118,66, no arrasto oblíquo da estação PIL-LL-NE_M1000, a $154,96 \text{ ind/m}^3$, no arrasto oblíquo da estação PIL-LL-NE_J1002. Como pode ser observado na Tabela V-19, os valores de densidade oscilaram bastante nas campanhas realizadas entre 2010 e 2023 na região, registrando, em

sua maioria, valores mínimos e máximos bem superiores aos encontrados na atual campanha. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-3.

Segundo Petrobras (2022), a abundância do zooplâncton na Bacia de Santos variou entre 0,17 e 7.125 ind/m³, durante o inverno de 2019 e entre 0,01 e 121.003 ind/m³, 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/m³ no Bloco BM-S-11 (PETROBRAS/HABTEC, 2003) e de 2 a 4 x 10⁵ 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 zooplanctônicos oscilou entre 53,04 ind/m³ (em DP-IRA-S_C1) e 54.035,0 ind/m³ (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/m³. Esse trabalho também afirma que 46% dos valores observados na literatura situam-se entre 10.000 e 20.000 ind/m³ e que os valores comumente flutuam entre 10.000 e 50.000 ind/m³, apresentando variação sazonal. No PCR-BS (Petrobras, 2022), a abundância do zooplâncton variou, na camada mais superficial (0-25 m), entre 100 ind/m³ e 500 ind/m³ durante o inverno, e entre 500 ind/m³ e 100.000 ind/m³ na campanha de verão. Já na camada mais profunda (25-50 m), a abundância do zooplâncton variou entre 100 ind/m³ e 500 ind/m³ durante o inverno, e entre 10.000 ind/m³ e 100.000 ind/m³ na campanha de verão. Cabe destacar que o mesozooplâncton foi coletado através de arrastos oblíquos, durante o período noturno (18h até 6h).

Os valores de densidade obtidos no PMPR_E1_PIL-LL-NE são apresentados na Figura V-46. Pode-se observar que a primeira campanha registrou a maior densidade média em comparação com as demais campanhas de monitoramento, enquanto a sexta campanha apresentou maior valor máximo, assim como a maior oscilação dos resultados. Foi observada diferença significativa entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), com a primeira campanha diferindo significativamente da terceira e da décima, e a quinta diferindo da décima (*Tukey*, $p < 0,05$), as quais apresentaram menores valores de densidade.

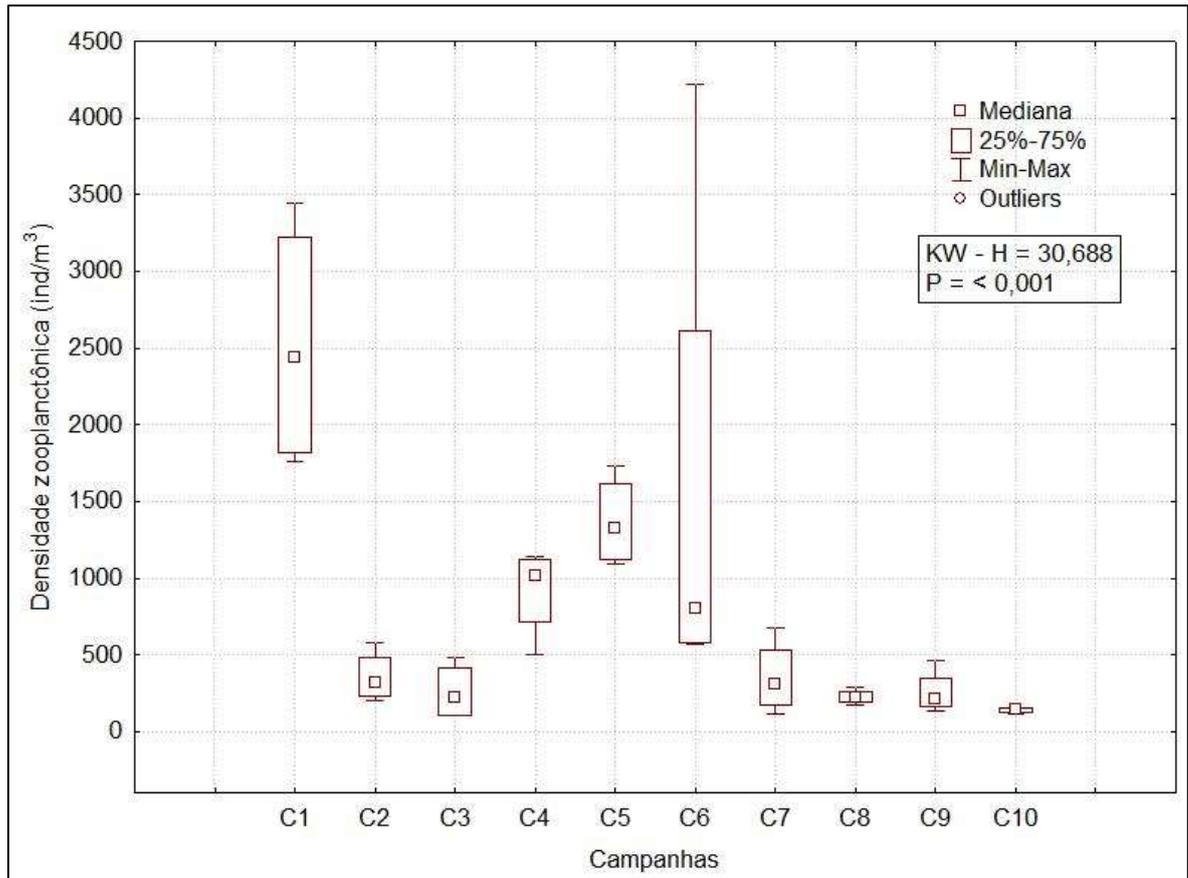


Figura V-46 – Box plots representativos dos valores de densidade zooplancônica (ind/m³) longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Além de ter registrado o maior número de taxa (Figura V-47), Arthropoda também apresentou a maior densidade média de organismos nas comunidades do local, registrando média de $49,61 \pm 19,17$ ind/m³, correspondendo aproximadamente 36% dos organismos, seguido por Chordata, com média de $30,50 \pm 13,22$ ind/m³ e Mollusca, com média de $30,30 \pm 6,33$ ind/m³, representando 22,1% e 22% dos organismos, respectivamente. Os demais grupos somados totalizam aproximadamente 20% dos organismos. O quarto filo com maior densidade foi Chaetognatha ($13,70 \pm 2,65$ ind/m³), seguido de Cnidaria ($9,95 \pm 6,36$ ind/m³), Foraminifera ($3,29 \pm 4,45$ ind/m³), Annelida ($0,55 \pm 0,11$ ind/m³), Echinodermata ($0,03 \pm 0,03$ ind/m³), Platelmintos ($0,01 \pm 0,02$ ind/m³), Ctenophora ($0,01 \pm 0,01$ ind/m³) e Bryozoa ($0,003 \pm 0,01$ ind/m³), (Figura V-47).

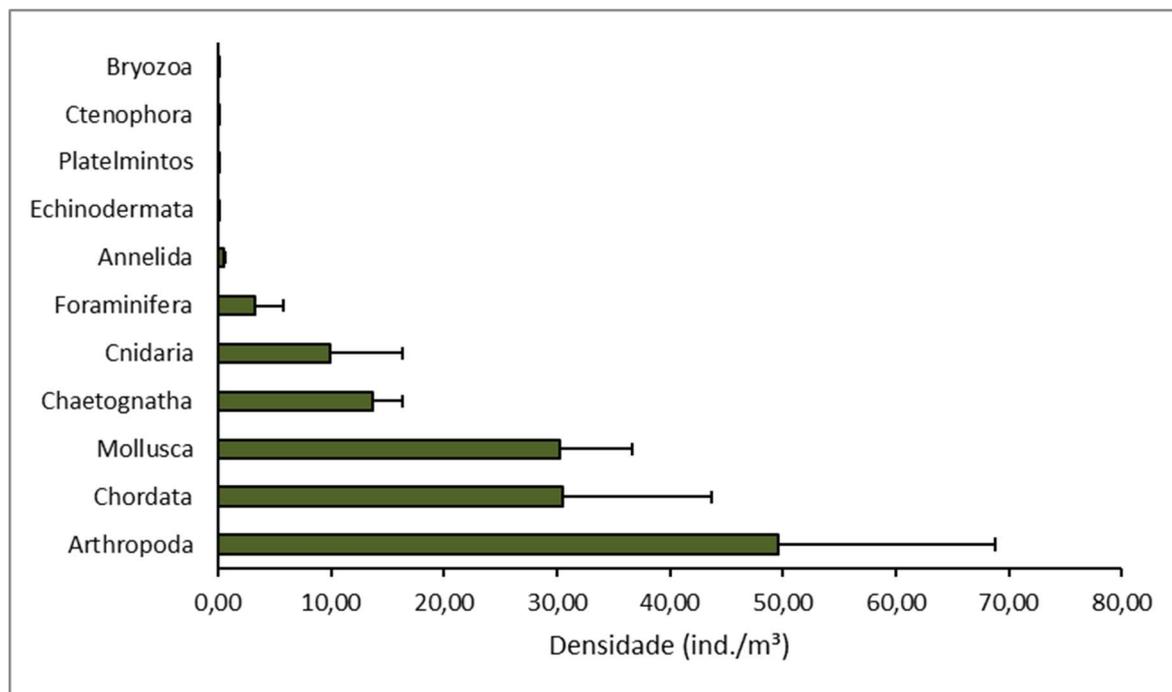


Figura V-47 – Densidade zooplancônica (ind./m³) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média dos filões \pm desvio-padrão.

Nas campanhas anteriores do Piloto de Tupi NE (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018d, 2019a, 2019e, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022c), também foram registradas altas densidades de artrópodes, sendo o grupo com maior densidade em todas as campanhas, com aproximadamente 80% dos organismos coletados, corroborando os dados do presente trabalho. Em todas as campanhas anteriores, esse resultado está atribuído às altas densidades de copépodes.

A diversidade média da atual campanha foi de $3,51 \pm 0,25$ bits/ind, variando entre 3,28, no arrasto horizontal da estação PIL-LL-NE_J1002, a 3,87 bits/ind, no arrasto oblíquo da mesma estação (Tabela V-139). Esses resultados encontram-se acima da faixa de variação dos resultados obtidos nas campanhas realizadas na região (Tabela V-20).

Os valores de diversidade obtidos no PMPR_E1_PIL-LL-NE são apresentados na Figura V-48. Pode-se observar que a segunda e a quinta campanha apresentaram valores semelhante e também maior amplitude nos resultados, porém a oitava, a nona e a décima campanha apresentaram os maiores valores de diversidade. Foram observadas diferenças significativas entre a diversidade das

nove campanhas de monitoramento (ANOVA, $p < 0,05$), com a oitava e a décima campanha diferindo das demais campanhas (Tukey, $p < 0,05$), mas não diferindo entre si, nem da décima. A nona campanha diferiu significativamente das demais, exceto da oitava (Tukey, $p < 0,05$).

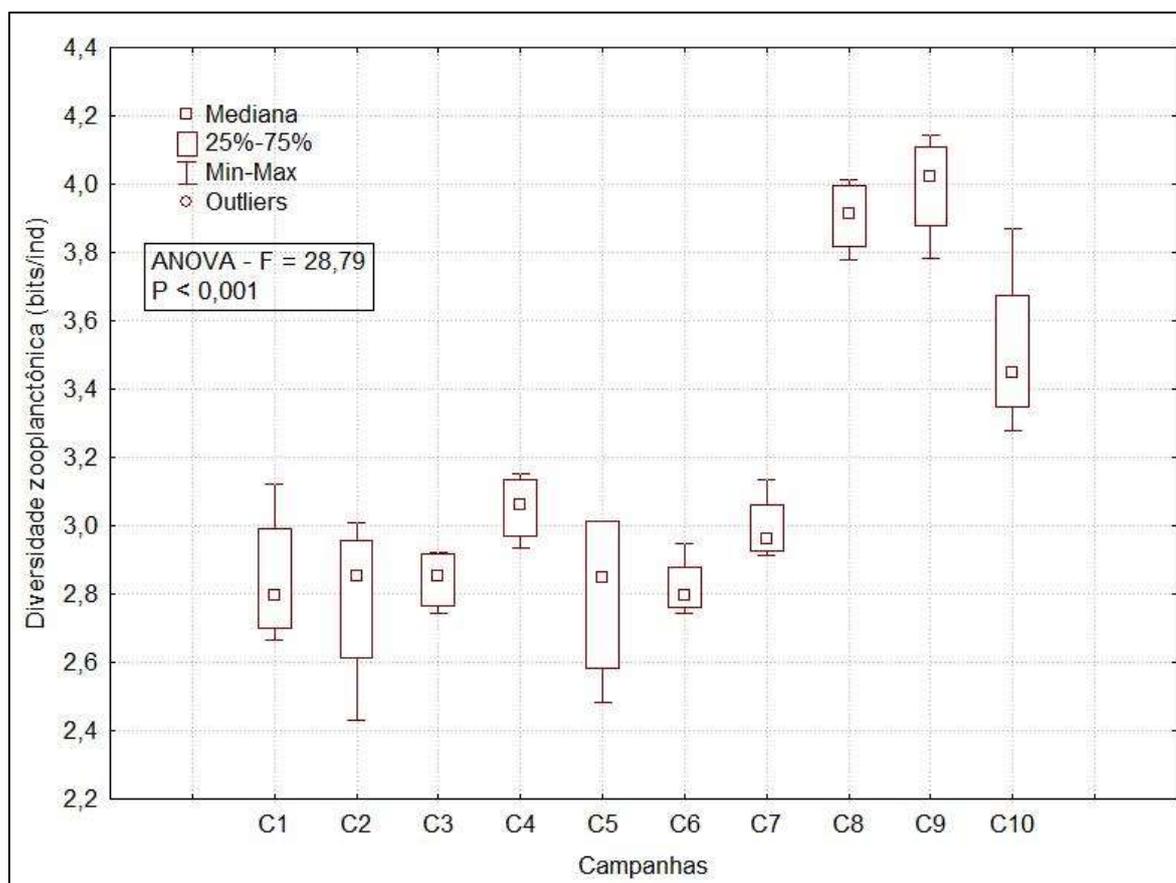


Figura V-48 – Box plots representativos dos valores de diversidade zooplânctônica (bits/ind) encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

A equitabilidade média da atual campanha foi de $0,68 \pm 0,05$, variando entre 0,63 e 0,75 nos arrastos horizontal e oblíquo da estação PIL-LL-NE_J1002, respectivamente (Tabela V-139). Esse resultado encontra-se na faixa de variação dos resultados obtidos em campanhas realizadas anteriormente na região, que encontraram valores de equitabilidade sempre superiores a 0,61, sendo, entretanto, levemente inferiores aos valores máximos registrados na maioria delas (Tabela V-20).

Os valores de equitabilidade obtidos no PMPR_E1_PIL-LL-NE são apresentados na Figura V-49. Pode-se observar que a sétima campanha registrou os maiores valores para a equitabilidade em comparação com as demais campanhas de monitoramento. Foram observadas diferenças significativas entre a equitabilidade das 10 campanhas de monitoramento (ANOVA, $p > 0,05$), em que a sétima campanha diferiu significativamente da primeira, segunda, quinta, oitava, nona e décima campanha, sendo que a oitava também diferiu da quarta e décima campanha, e a décima também diferiu da terceira, quinta e sexta campanha (Tukey $< 0,05$).

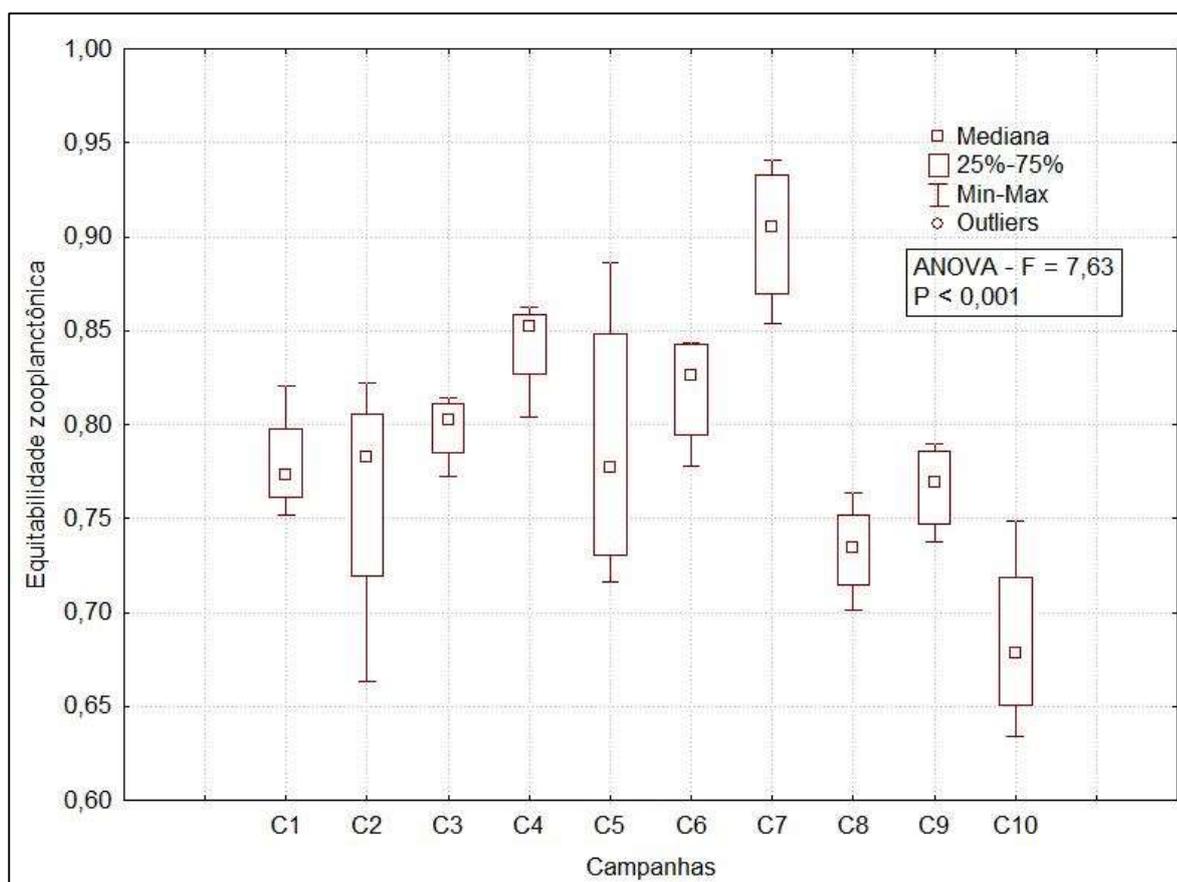


Figura V-49 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades zooplancônicas encontradas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Por fim, é importante ressaltar que em todas as campanhas foram utilizados os mesmos cálculos para os índices ecológicos, baseado no número de taxa identificados até o menor nível taxonômico possível, conforme explicado na

metodologia deste relatório. Entretanto, é possível que haja variações entre as campanhas decorrentes do menor nível taxonômico encontrado, tanto pelas diferentes condições de integridade dos organismos, como também e virtude da troca de laboratório ocorrida entre a segunda e terceira e entre a sétima e oitava campanhas. Nota-se, que nessas campanhas o esforço amostral (curva de suficiência amostral) foi maior também.

V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton

Os valores de riqueza total entre as estações foram similares nos arrastos horizontais, variando de 35 a 36 taxa, e nos arrastos oblíquos, variando de 33 a 36 taxa (Figura V-50). A contribuição relativa dos filos nas amostras foi semelhante, reforçando a similaridade entre as estações. Annelida, Arthropoda, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca e Foraminifera foram encontrados em todas as amostras, enquanto Bryozoa e Ctenophora ocorreram somente no arrasto horizontal da estação PIL-LL-NE_J1002. Platelminetos ocorreu somente nos arrastos horizontais de ambas as estações. As pequenas diferenças não representaram distinção marcante, provavelmente representando uma variação natural da distribuição espacial dessas comunidades. A maior parte dos filos contribuiu com poucas taxa nas amostras (Figura V-50), enquanto Arthropoda dominou a riqueza de todas elas.

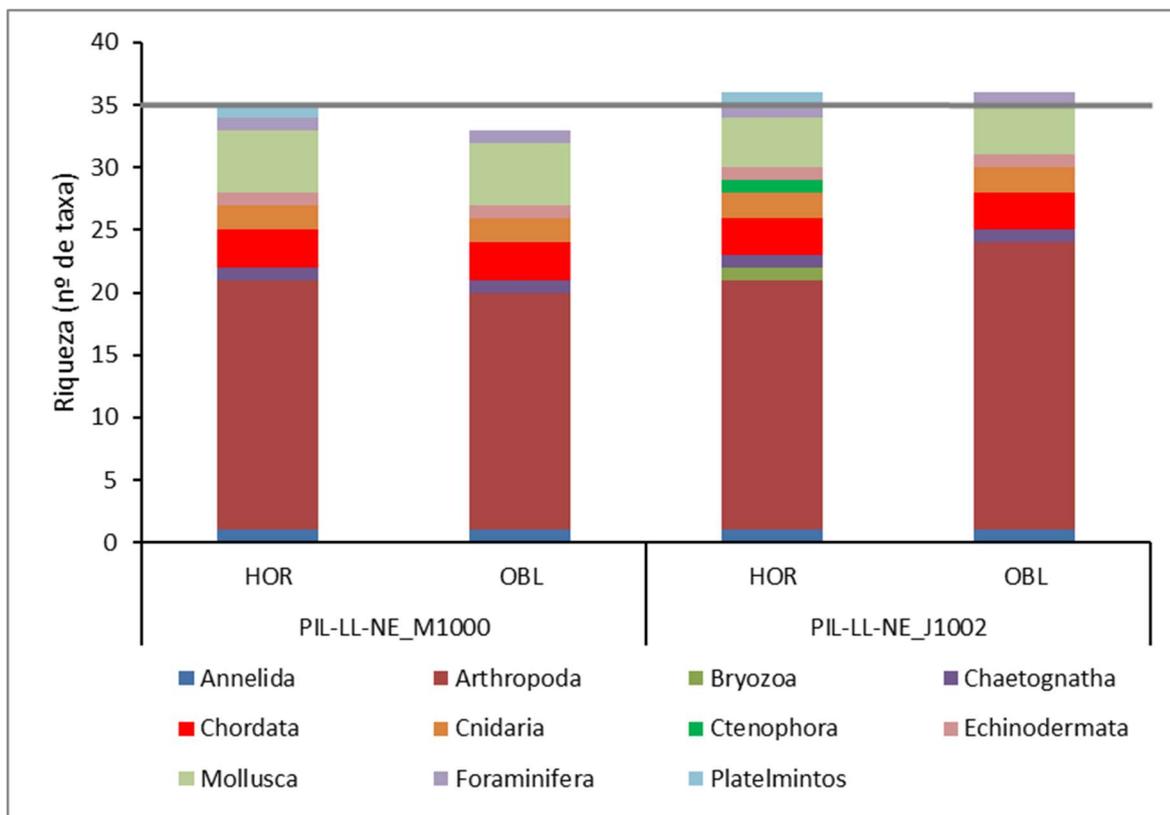


Figura V-50 – Riqueza zooplanctônica (N de taxa) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A maior densidade foi registrada na amostra PIL-LL-NE_J1002_OBL (154,96 ind/m³), seguida pela amostra PIL-LL-NE_M1000_HOR (146,05 ind/m³). A amostra PIL-LL-NE_M1000_OBL apresentou o menor valor de densidade (118,66 ind/m³), e a amostra PIL-LL-NE_J1002_HOR apresentou 132,09 ind/m³ (Figura V-51).

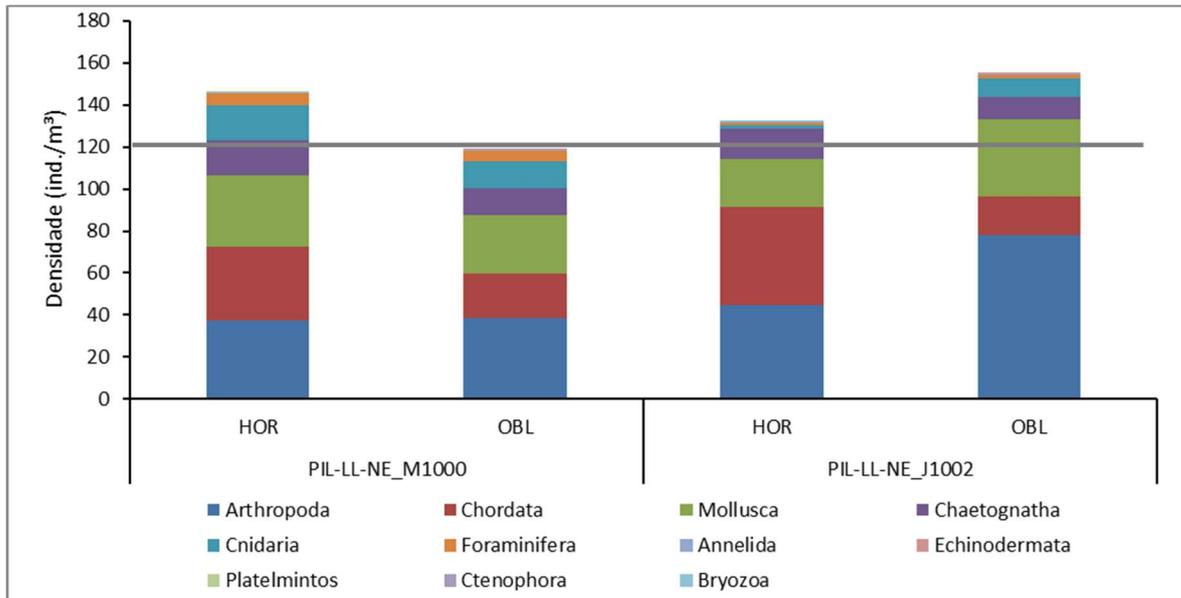


Figura V-51 – Densidade zooplanctônicas (ind./m³) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A composição proporcional da comunidade foi similar entre as estações. O filo Arthropoda dominou em todas as amostras, exceto o arrasto horizontal de Pil-LL-NE_J1002, dominado pelo filo Chordata. Chordata e Mollusca foram os filios que mais contribuíram depois de Arthropoda. Os demais taxa apresentaram contribuições menores. Conforme já esclarecido anteriormente, a elevada abundância de artrópodes ocorreu devido ao grande número de copépodes em todas as estações.

O índice de diversidade apresentou valores satisfatórios, sendo semelhante entre os arrastos e as estações e levemente menor no arrasto horizontal da estação PIL-LL-NE_J1002 e maior no arrasto oblíquo da mesma estação (Figura V-52). Isso também foi observado para a equitabilidade, que registrou valores intermediários em todas as amostras, e igual característica de valores nesses dois arrastos. Esse resultado, bem como do índice de Shannon, apontam para uma composição específica relativamente bem distribuída e com boa diversidade (Figura V-52).

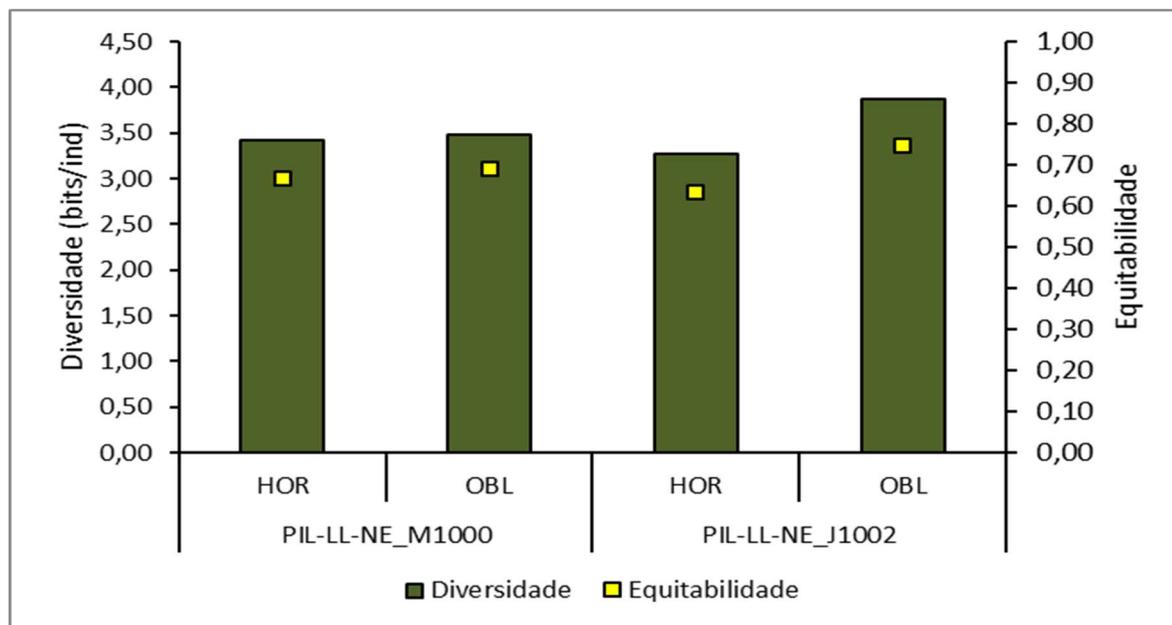
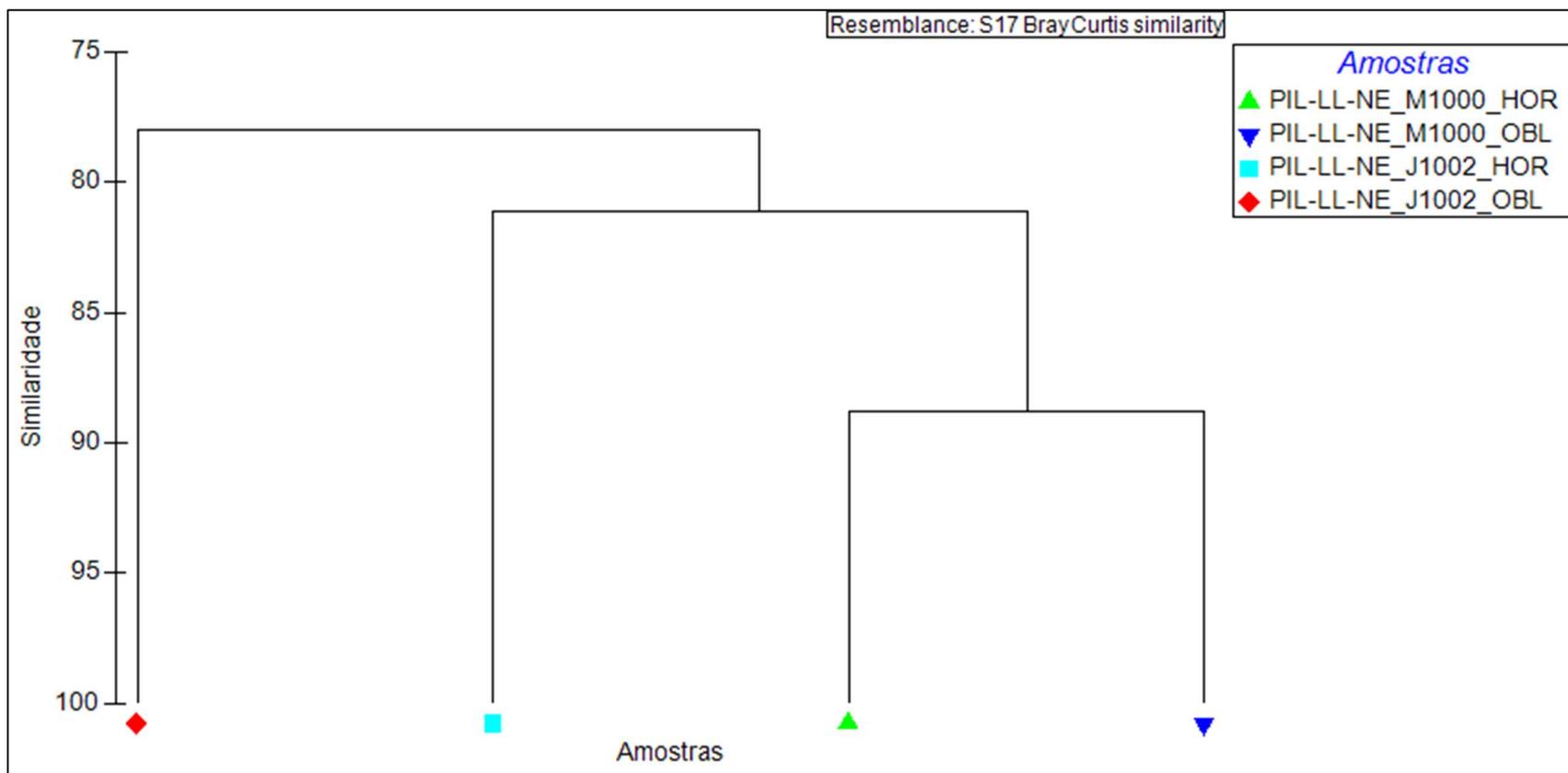


Figura V-52 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento.

No zooplâncton, ocorrem oscilações na estrutura das comunidades direcionadas por fatores como os ciclos biológicos de cada espécie e a sazonalidade de fenômenos como a ressurgência, principalmente em águas de plataforma e oceânicas (BASSANI *et al.*, 1999). A distribuição do zooplâncton está diretamente ligada ao movimento das massas de água, modificando-se com a origem e mistura das águas predominantes em uma determinada região (VALENTIN, 1988).

V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS

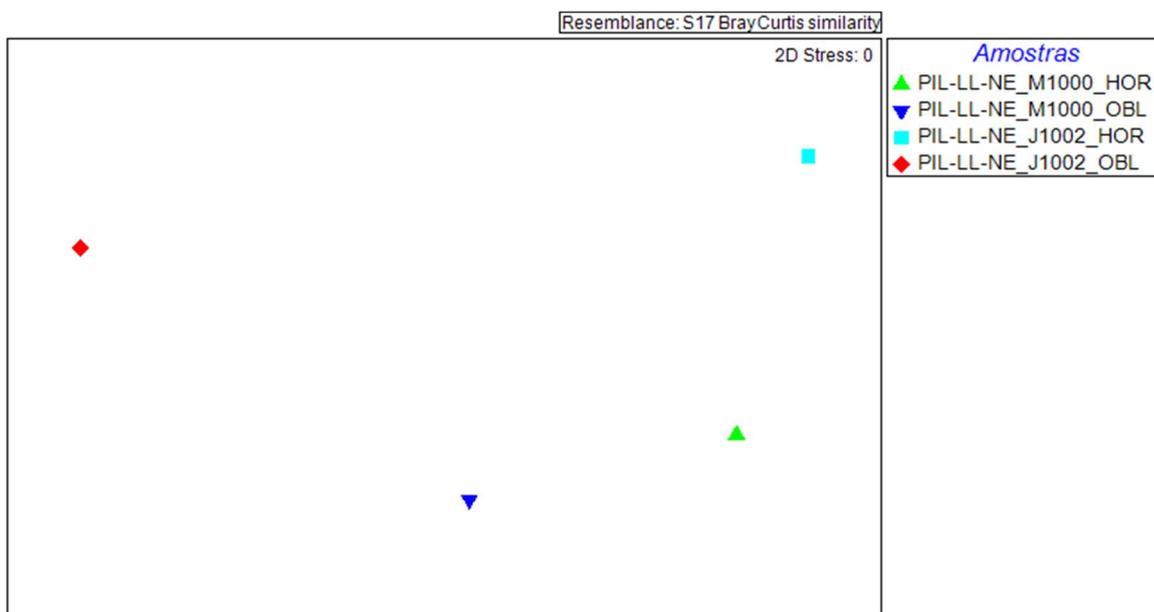
A análise *Cluster* mostrou que as amostras a montante foram as mais similares entre si, com 90% de similaridade, apresentando valores de densidades mais semelhantes entre os filos registrados. A amostra PIL-LL-NE_J1002_HOR se agrupou com esse grupo com aproximadamente 82% de similaridade. Já a amostra PIL-LL-NE_J1002_OBL foi a mais distinta das demais e se agrupou com a amostra PIL-LL-NE_J1002_HOR com aproximadamente 78% de similaridade (Figura V-53). A menor similaridade observada para PIL-LL-NE_J1002_OBL está provavelmente refletindo o alto valor de densidade observado para essa amostra.



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

Figura V-53 – Dendrograma de agrupamento (Cluster) da comunidade zooplancônica da atual campanha de monitoramento.

O maior distanciamento da amostra PIL-LL-NE_J1002_OBL também foi observada na análise de MDS (Figura V-55). O MDS apresentou *stress* nulo, o que representa uma boa ordenação dos dados.



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

Figura V-54 – Escalonamento multidimensional (MDS) da comunidade zooplanctônica 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-55 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).

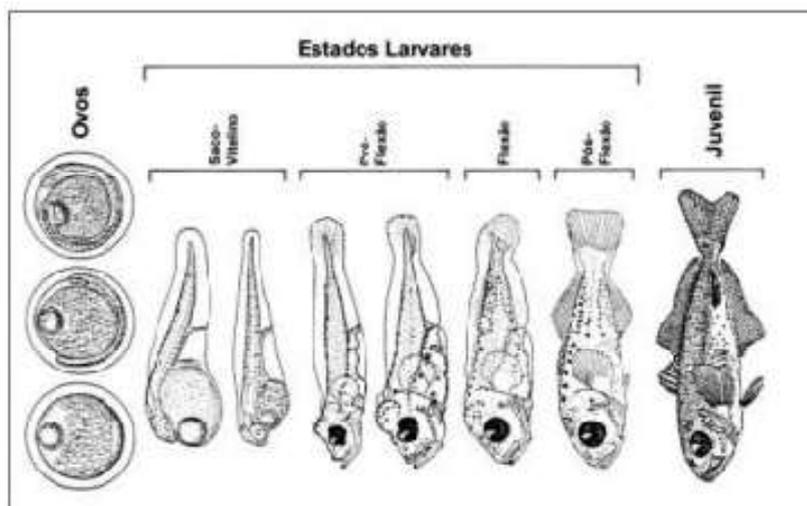


Figura V-55 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de *Trachurus symmetricus*. Adaptado de Moser (1984).

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 todas as campanhas de monitoramento realizadas pelo PMPR_E1_PIL-LL-NE, foram coletadas 80 amostras para esse grupo, sendo empregados por campanha, arrastos (oblíquo e horizontal) e porosidade de malhas distintas em cada estação.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 10 campanhas realizadas contabilizou 129 taxa, sendo que 19 destes foram encontrados na atual campanha (Figura V-56). Houve uma tendência a estabilização da curva nas amostras ao final da primeira campanha que se manteve no decorrer de toda a segunda campanha. Já durante a terceira campanha, ocorreram novos incrementos do número de taxa, que podem estar associados a uma mudança na composição dos taxa da comunidade local, ou ainda a mudança

no laboratório executor das análises taxonômicas, o que pode ter ocasionado diferenças na identificação de alguns organismos. Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados. A curva segue crescente até a metade da quarta campanha, quando ocorre nova estabilização, com novos incrementos no início da quinta campanha, havendo nova tendência a estabilização da curva a partir da segunda amostra, até as amostras finais da sexta campanha. Durante a sétima campanha ocorrem novos incrementos discretos, sem alteração na tendência de estabilização da curva verificada a partir da quinta campanha. Já durante a oitava campanha ocorreram novos incrementos do número de taxa nas primeiras amostras, que podem estar associados a uma mudança na composição dos taxons da comunidade local ou ainda a mudança no laboratório executor das análises taxonômicas, com tendência de estabilização da curva nas quatro amostras finais, o que se mantém ao longo da nona campanha. Na décima campanha ocorrem novos incrementos, indicando uma curva crescente.

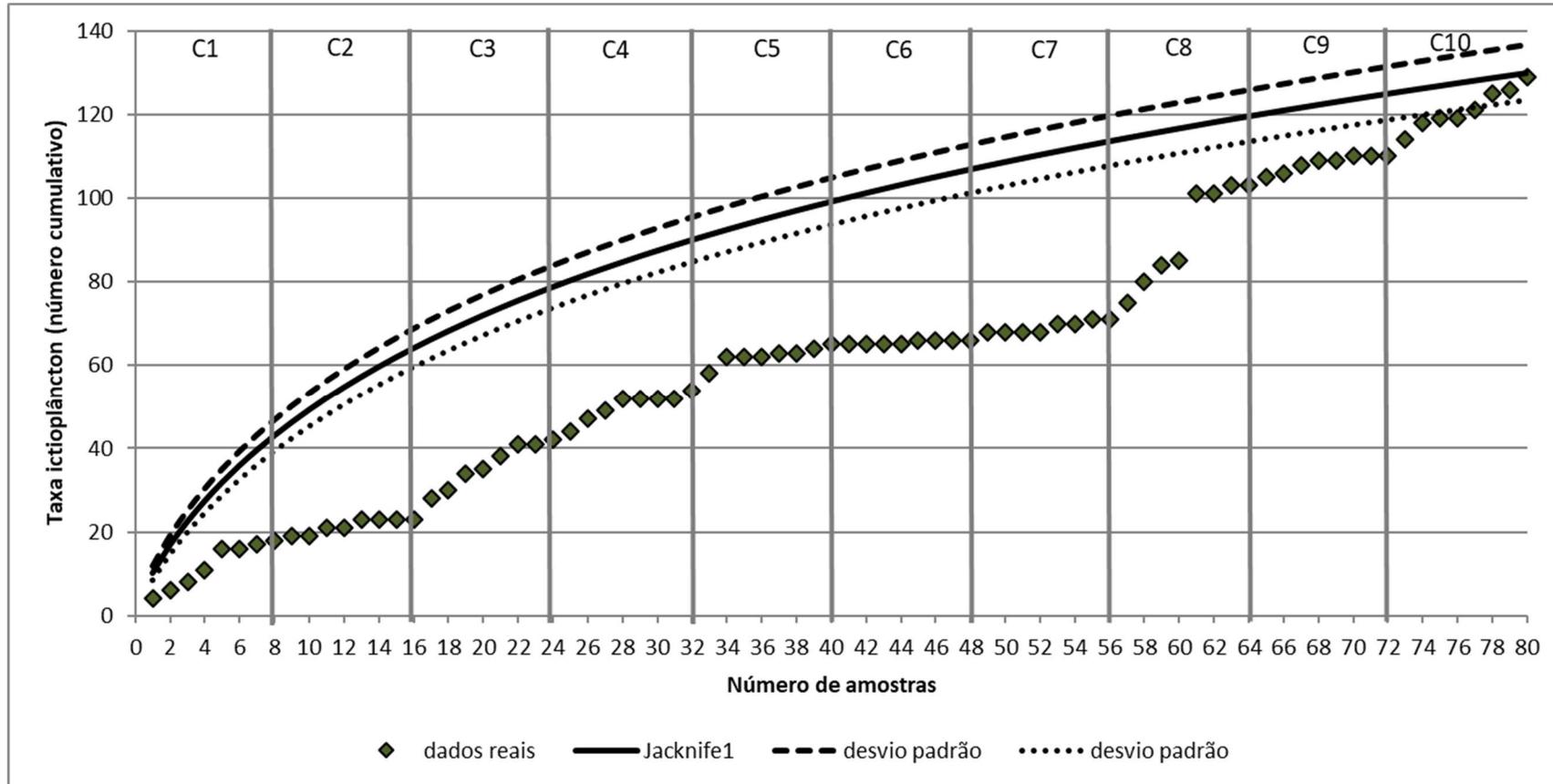


Figura V-56 – Número cumulativo de taxa de ictioplâncton, encontrados ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE. A curva de Jackknife1 (linha preta) representa o número cumulativo de taxa esperados.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada ao longo de todas as campanhas, aproximando-se da distribuição esperada nas amostras finais da décima campanha, pois os pontos estiveram dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. A estabilização dos dados de riqueza ao final da curva evidencia a importância da manutenção do mesmo esforço amostral ao longo do monitoramento de todas as campanhas realizadas no PMPR_E1_PIL-LL-NE (Figura V-56).

V.2.3.2 - Análise Qualitativa

As larvas encontradas pertenciam a 18 ordens: Gobiiformes (famílias Microdesmidae e Gobiidae), Mulliformes (família Mullidae), Centrarchiformes (família Cirrhitidae), Eupercaria (famílias Lutjanidae, Scaridae e Labridae), Lophiiformes (família Ogocephalidae), Dactylopteriformes (família Dactylopteridae), Ophidiiformes (família Ophidiidae), Ovalentaria (família Pomacentridae), Tetraodontiformes (família Tetraodontidae), Carangiformes (famílias Carangidae e Coryphaenidae), Kurtiformes (família Apogonidae), Scombriformes (famílias Nomeidae, Gempylidae e Scombridae), Myctophiformes (família Myctophidae), Pleuronectiformes (família Bothidae), Stomiiformes (famílias Gonostomatidae, Phosichthyidae, Stomiidae e Sternoptychidae), Aulopiformes (família Paralepididae), Acanthuriformes (famílias Caproidae e Pomacanthidae) e Perciformes (família Serranidae) (Figura V-57). No presente estudo, as ordens Stomiiformes (7 taxa), Myctophiformes (5 taxa) e Scombriformes (5 taxa) foram dominantes (Figura V-578), enquanto os demais grupos contribuíram com 1 a 4 taxa cada (total de 40 taxa). Nas campanhas anteriores, Perciformes obteve sempre a maior riqueza (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015b, 2015c, 2018a, 2018d, 2019a, 2019e, 2020c; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2021c). As larvas coletadas foram identificadas ao menor grupo taxonômico possível, resultando na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3.

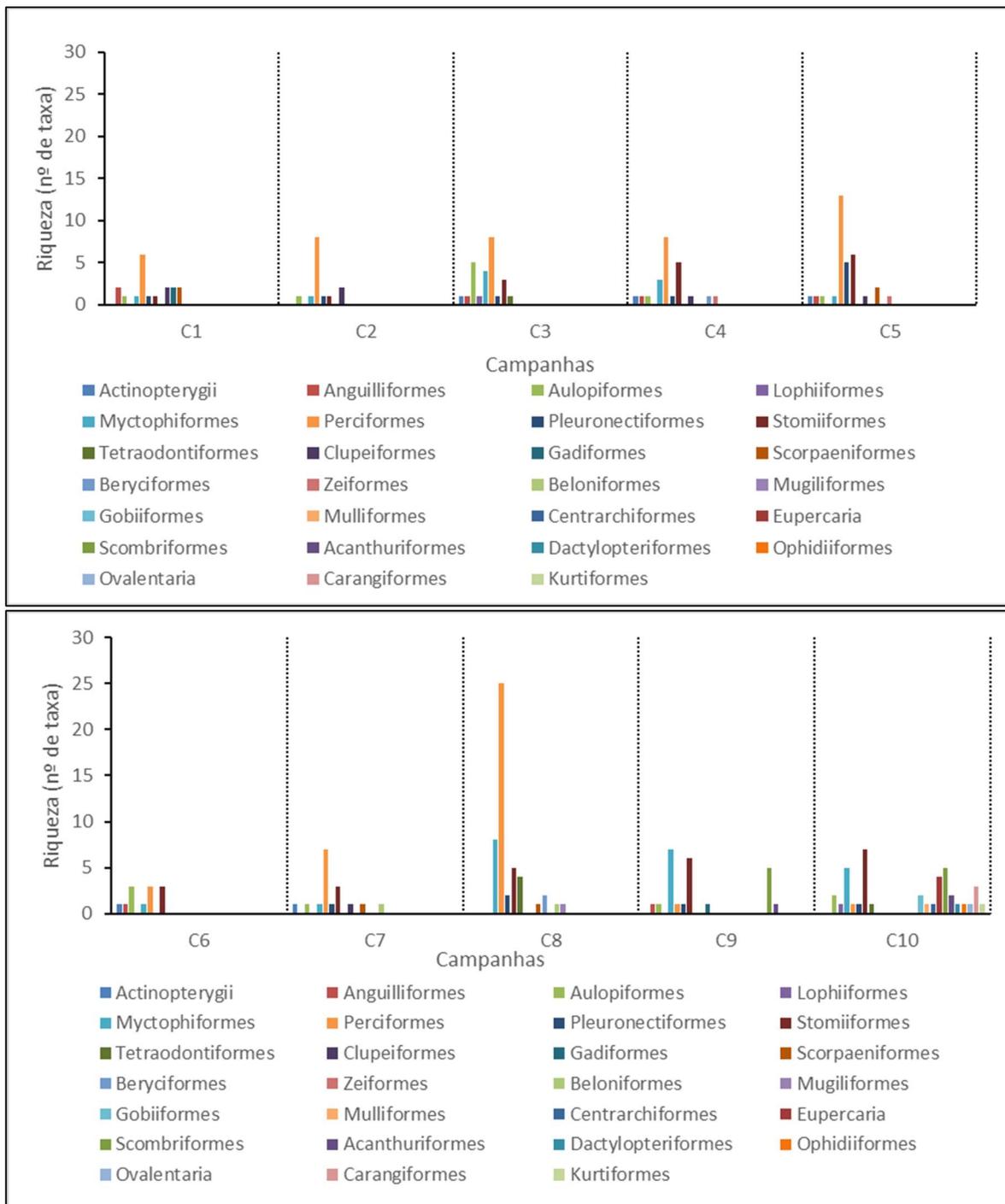


Figura V-57 – Riqueza ictioplânctônica (n de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

A ordem Stomiiformes é composta por espécies marinhas, sendo a maior parte de ocorrência em grandes profundidades. A presença de fotóforos é a principal característica das larvas em transformação e dos adultos. Na atual campanha, a

ordem foi representada pelos gêneros *Cyclothone*, *Pollichthys* e *Vinciguerria* (BONECKER *et al.*, 2014).

Os indivíduos ictioplanctônicos da ordem Myctophiformes também possuem fotóforos que auxiliam na identificação das espécies. A família Myctophidae, encontrada na atual campanha, é tipicamente marinha, sendo composta por 32 gêneros com 240 espécies. Compreendem peixes mesopelágicos, que alcançam cerca de 35 cm de comprimento na fase adulta (BONECKER *et al.*, 2014).

A ordem Perciformes é a mais diversa de todas as ordens e é composta por 160 famílias e mais de 10.000 espécies (BONECKER *et al.*, 2014). A ordem Pleuronectiformes estão presentes em ambientes com diferentes salinidades, podendo habitar o oceano, como também ocupar áreas estuarinas e de água doce. As larvas dessa ordem são simétricas e quando atingem de 10 a 25 mm sofrem a metamorfose, com a migração de um dos olhos para um dos lados do corpo. Quando isso ocorre, há uma assimetria e um aumento do pigmento no lado que o olho está localizado (BONECKER *et al.*, 2014). Na família Bothidae, encontrada na atual campanha, os olhos ficam posicionados do lado esquerdo, após a metamorfose da maioria das espécies. No Brasil existem 19 espécies identificadas, considerando larvas e adultos.

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

V.2.3.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-1 são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade ictioplânctônica encontrada na atual campanha. Já na Tabela V-2 são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplânctônica em campanhas de monitoramento ambiental anteriores do Piloto de Tupi NE e em campanhas realizadas anteriormente na região.

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

Estação	Malha	Arrasto	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind/100m ³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
PIL-LL-NE_M1000	300 µm	HOR	7	14,47	1,21	0,88
	500 µm	HOR	4	4,12	1,04	0,95
	300 µm	OBL	14	84,27	1,88	0,82
	500 µm	OBL	13	36,66	2,09	0,84
PIL-LL-NE_J1002	300 µm	HOR	12	40,07	2,18	0,95
	500 µm	HOR	12	19,80	2,17	0,94
	300 µm	OBL	16	89,06	1,89	0,76
	500 µm	OBL	13	33,50	2,19	0,91
	mínimo		4	4,12	1,04	0,76
	máximo		16	89,06	2,19	0,95
	média		11,38	40,24	1,83	0,88
	desvio padrão		3,93	31,09	0,45	0,07

Um total de 40 taxa de larvas de peixes foi coletado nas 8 amostras da campanha, sendo 6 identificados em nível de família, 14 em nível de gênero e 20 em nível de espécie. A riqueza total variou de 4 a 16 taxa nas amostras, com média de $11,38 \pm 3,93$ taxa. Valores baixos, em número de taxa, em comunidades ictioplanctônicas são considerados comuns, visto que existe um menor número desses organismos na coluna d'água.

Pode-se observar que na atual campanha foram registrados valores de riqueza de ictioplâncton dentro da faixa de variação dos resultados obtidos anteriormente nos estudos na região de interesse (Tabela V-).

No PCR-BS (Petrobras, 2022), foram identificadas 98 famílias de larvas de peixes. No inverno observou-se 80 famílias, 154 gêneros e 195 espécies, durante o verão foram observadas 81 famílias, 153 gêneros e 192 espécies.

Tabela V-22 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos encontrados para o ictioplâncton nos estudos anteriores realizados na região de interesse.

Empreendimento	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/100m ³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-LL_C1 ¹	6	19	24,72	304,60	0,52	0,86	0,55	0,93
PIL-LL_C2 ¹	5	7	50,60	122,19	0,47	0,68	0,68	0,88
PIL-LL_C3 ²	4	11	98,93	1.340,15	0,09	0,57	0,11	0,68
PIL-LL_C4 ⁴	7	12	43,00	1060	0,18	1,60	0,08	0,69
PIL-LL_C5 ⁵	3	8	6,00	30,00	0,95	1,58	0,49	0,96
PIL-LL_C6 ⁶	3	7	3,00	49,00	0,96	1,59	0,59	1,00
PIL-LL_C7 ⁷	4	8	46,83	129,55	1,05	1,66	0,53	0,73
PIL-LL_C8 ⁸	3	10	26,54	192,55	0,64	1,66	0,36	0,80
PIL-LL_C9 ⁹	9	20	46,89	126,08	0,82	2,10	0,38	0,73
PIL-LL_C10 ¹⁰	4	8	35,66	77,84	1,13	1,34	0,64	0,82
PIL-LL_C11 ¹¹	6	11	53,67	159,63	1,10	1,51	0,48	0,69
PIL-LL_C12 ¹²	6	16	6,82	69,64	1,24	1,71	0,65	0,90
PIL-LL_C13 ¹³	7	12	30,60	74,95	1,47	2,11	0,79	0,96
PIL-LL-NE_C1 ¹⁴	2	10	3,00	42,00	0,63	2,08	0,80	0,96
PIL-LL-NE_C2 ¹⁵	3	10	8,00	66,00	1,04	2,00	0,71	0,96
PIL-LL-NE_C3 ¹⁶	6	13	34,47	323,84	0,84	1,45	0,39	0,71
PIL-LL-NE_C4 ¹⁷	5	13	39,36	123,86	0,99	1,44	0,43	0,64
PIL-LL-NE_C5 ¹⁸	5	18	30,78	124,65	0,50	2,08	0,24	0,76
PIL-LL-NE_C6 ¹⁹	1	8	9,87	84,20	0,00	1,59	0,00	1,00
PIL-LL-NE_C7 ²⁰	4	11	29,87	144,87	0,34	1,11	0,19	0,57
PIL-LL-NE_C8 ²¹	9	31	12,11	374,61	1,57	2,04	0,63	0,90
PIL-LL-NE_C9 ²²	4	12	14,03	86,95	1,04	2,04	0,84	0,97
PIL-SAP_C1 ²³	3	9	9,00	60,00	0,33	1,96	0,25	0,89

Empreendimento	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/100m ³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
PIL-SAP_C2 ²⁴	0	6	0,00	40,00	0,00	1,55	0,00	0,98
PIL-SAP_C3 ²⁵	8	16	100,15	252,75	1,10	1,59	0,43	0,66
PIL-SAP_C4 ²⁶	5	12	130,66	1.280,39	0,61	1,32	0,27	0,53
PIL-SAP_C5 ²⁷	5	10	36,14	88,72	0,87	1,84	0,45	0,82
PIL-SAP_C6 ²⁸	3	10	37,06	84,18	1,00	1,58	0,62	0,91
PIL-SAP_C7 ²⁹	3	9	16,66	234,16	0,80	1,16	0,41	0,73
PIL-SAP_C8 ³⁰	3	17	1,88	91,34	0,69	2,47	0,88	1,00
PIL-SAP_C9 ³¹	4	12	14,16	274,93	0,69	1,82	0,77	1,00
DP-IRA-S_C1 ³²	1	9	1,00	13,00	0,00	2,10	0,00	0,95
DP-IRA-S_C2 ³³	6	14	50,44	253,17	0,90	1,70	0,36	0,67
DP-IRA-S_C3 ³⁴	7	14	33,15	306,04	0,85	2,17	0,39	0,82
DP-IRA-S_C4 ³⁵	10	19	62,29	181,60	1,10	1,94	0,44	0,79
DP-IRA-S_C5 ³⁶	5	10	25,72	90,85	1,03	1,75	0,64	0,91
DP-IRAS_C6 ³⁷	2	8	16,81	66,41	0,50	1,30	0,41	0,90
DP-IRA-S_C7 ³⁸	4	10	4,88	49,29	0,56	1,75	0,62	1,00
DP-IRA-S_C8 ³⁹	9	20	37,93	237,19	1,09	2,67	0,61	0,94
DP-IRA-S_C9 ⁴⁰	3	11	3,48	76,87	0	1,97	0	1,00

* Somente arrastos oblíquos

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

O ictioplâncton apresentou maior amplitude e maior valor máximo de riqueza de taxa na oitava campanha, além de maior riqueza média (Figura V-58). Os menores valores de riqueza foram verificados na sexta campanha. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A oitava campanha diferiu significativamente da primeira, segunda e sexta campanha (Tukey, $p < 0,05$), provavelmente como reflexo da riqueza bastante elevada (31) identificada para PIL-LL-NE_J1002_300 μ m, em C8, e a décima diferiu da sexta (Tukey, $p < 0,05$).

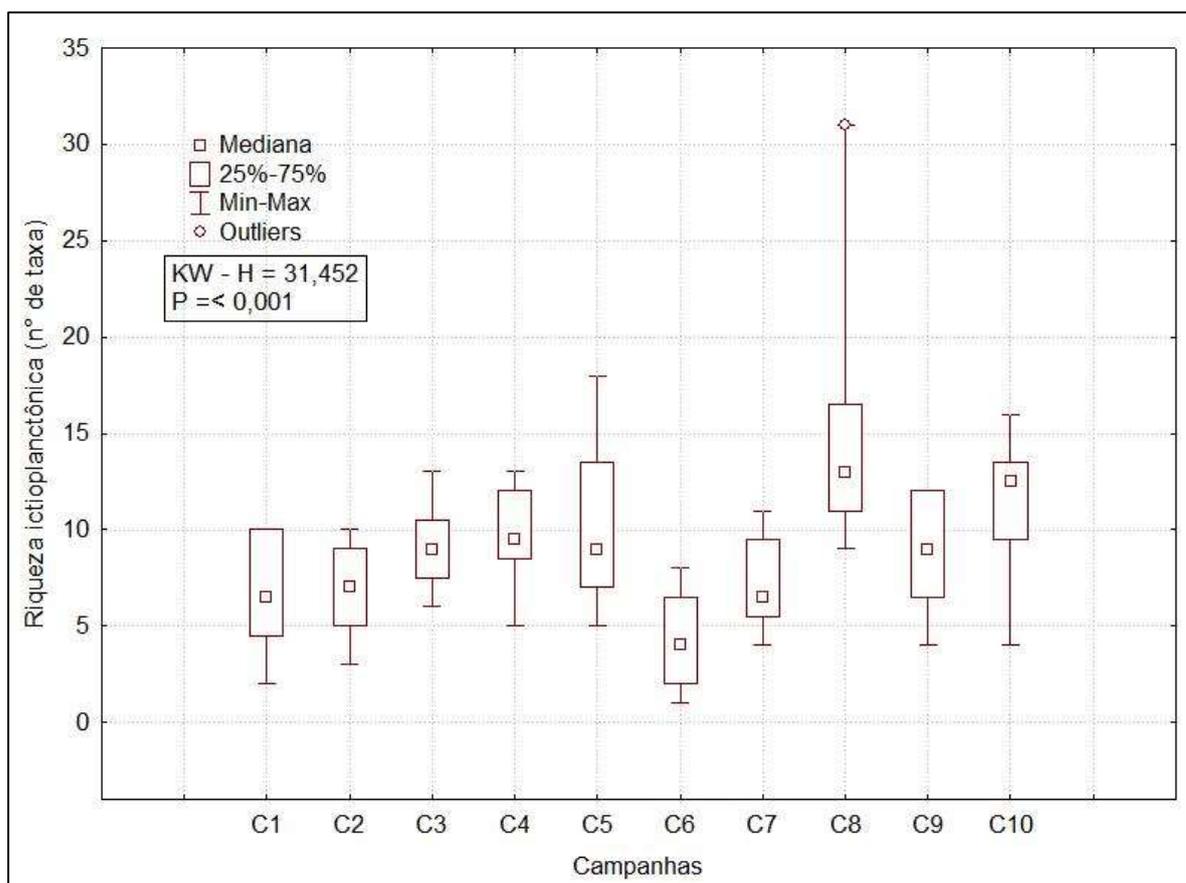


Figura V-58 – Box plots representativas de riqueza ictioplancônicas (número de taxa) ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

A densidade média de larvas e ovos da atual campanha foi de $40,24 \pm 31,09$ ind/100 m³, variando de 4,12 ind/100m³, no arrasto horizontal com malha de 500 μ m da estação PIL-LL-NE_M1000, a 89,06 ind/100m³ no arrasto oblíquo com malha de 300 μ m da estação PIL-LL-NE_J1002 (Tabela V-). No PCR-BS (Petrobras, 2022), observou-se variação nas abundâncias de larvas de peixes entre inverno

(2019) e verão (2022). Na região oceânica, as densidades máximas, entre verão e inverno atingiram cerca de 300 ind/10m² e 150 ind/10m². PIR2/TRANSPETRO (2009) realizaram levantamento do icteoplâncton no sudeste do Brasil e obtiveram densidades de larvas que variaram entre de 6 e 29 ind/100 m³. 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-2, que os dados de densidade registrados nas campanhas de monitoramento da região são bastante variáveis, sendo encontradas densidades bastante elevadas, como por exemplo, 1.280,39 ind/m³ em PIL-SAP_C4 (2018) e 1.340 ind/100m³ em PIL-LL_C3 (2012). Apesar disso, densidades tão elevadas não são frequentes, e os valores máximos comumente encontrados nas campanhas são da ordem de até centenas de indivíduos/100 m³, corroborando os dados obtidos durante a atual campanha. Nas demais campanhas realizadas na região até 2022, a densidade oscilou entre 0 ind/m³ (PIL-SAP_C2) e 1.340,15 ind/m³ (PIL-LL_C3), enquanto nas 8 campanhas de PIL-LL-NE, a densidade oscilou entre 3 ind/m³ (C3) e 374,61 ind/m³ (C8).

A terceira e a quarta campanha apresentaram as maiores densidades médias icteoplânctônicas e a oitava apresentou a maior amplitude de valores e a maior densidade máxima (Figura V-60), sendo observadas diferenças estatísticas (Kruskal-Wallis, $p < 0,05$) entre as campanhas. A primeira campanha diferiu da terceira e da quarta campanha (Tukey, $p < 0,05$).

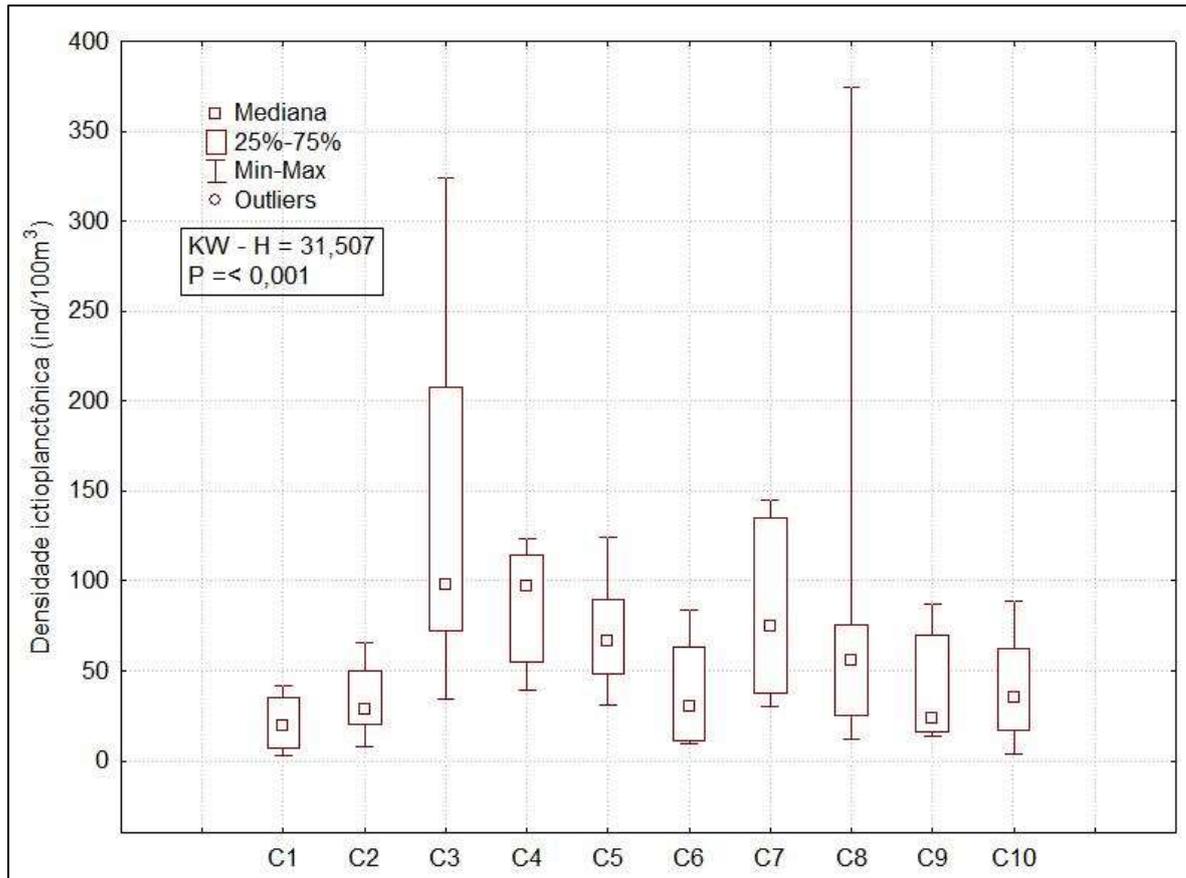


Figura V-60 – Box plots representivos dos valores de densidade ictioplanctônica (ind/100 m³) ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

As ordens Stomiiformes, Myctophiformes e Scombriformes foram dominantes em número de taxa, contudo apenas a ordem Myctophiformes apresentou a maior densidade média de organismo ($22,24 \pm 20,23$ ind/100 m³). As demais ordens obtiveram médias variando entre $0,09 \pm 0,24$ ind/100 m³ (Mulliformes) e $5,99 \pm 5,78$ ind/100 m³ (Pleuronectiformes) (Figura V-591). Ocorreu grande dispersão da maioria dos valores encontrados, com desvios em torno de 89 a 282% em relação à média das classes/ordens. Essa variação sugere que os resultados podem estar sujeitos a fenômenos estocásticos (do acaso) e que existe grande probabilidade de não refletirem um padrão representativo para o local, provavelmente em função de alterações de massas d'água na região.

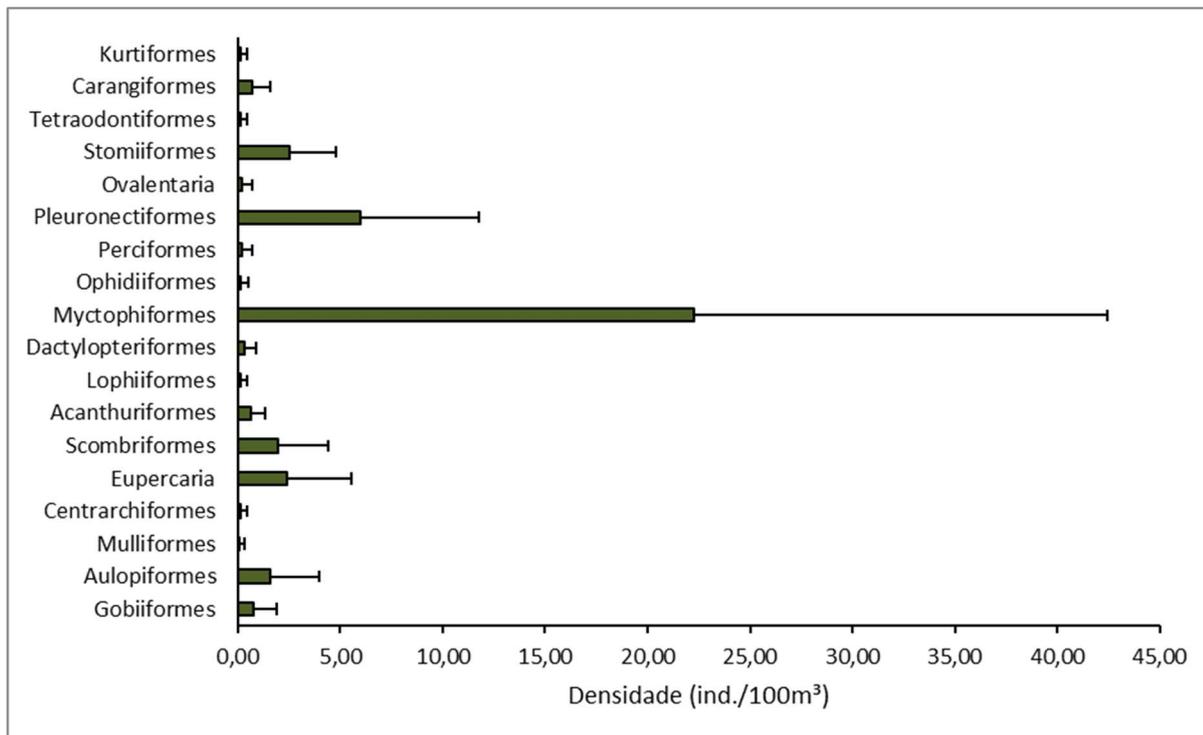


Figura V-59 – Densidade ictioplânctônica (ind/100m³) da atual campanha de monitoramento. A barra verde representa a densidade média das ordens ± desvio-padrão.

A diversidade média da presente campanha foi de $1,83 \pm 0,45$ bits/ind, com valores variando entre 1,04 bits/ind, no arrasto horizontal com malha de 500 μ m da estação PIL-LL-NE_M1000, e 2,19 bits/ind, no arrasto oblíquo com malha de 500 μ m da estação PIL-LL-NE_J1002, sendo esses resultados representativos de baixa diversidade (Tabela V-). A maioria dos valores de diversidade encontrada para a região são geralmente baixos, e corroboram os dados registrados na atual campanha (Tabela V- e Tabela V-).

A diversidade de larvas de peixes obtida no PCR-BS (Petrobras, 2022), próxima a área amostral de PIL-LL-NE, 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 ictioplânctônica na estação do ano com temperaturas mais elevadas.

O ictioplâncton apresentou maior amplitude de valores de diversidade na quinta e sexta campanha, enquanto a décima campanha apresentou a maior diversidade média (Figura V-60). Foram observadas diferenças significativas entre as

campanhas (ANOVA, $p < 0,05$). A oitava e a décima campanha diferiram da sexta e da sétima, a sétima diferiu da primeira, da segunda e da nona (Tukey, $p < 0,05$).

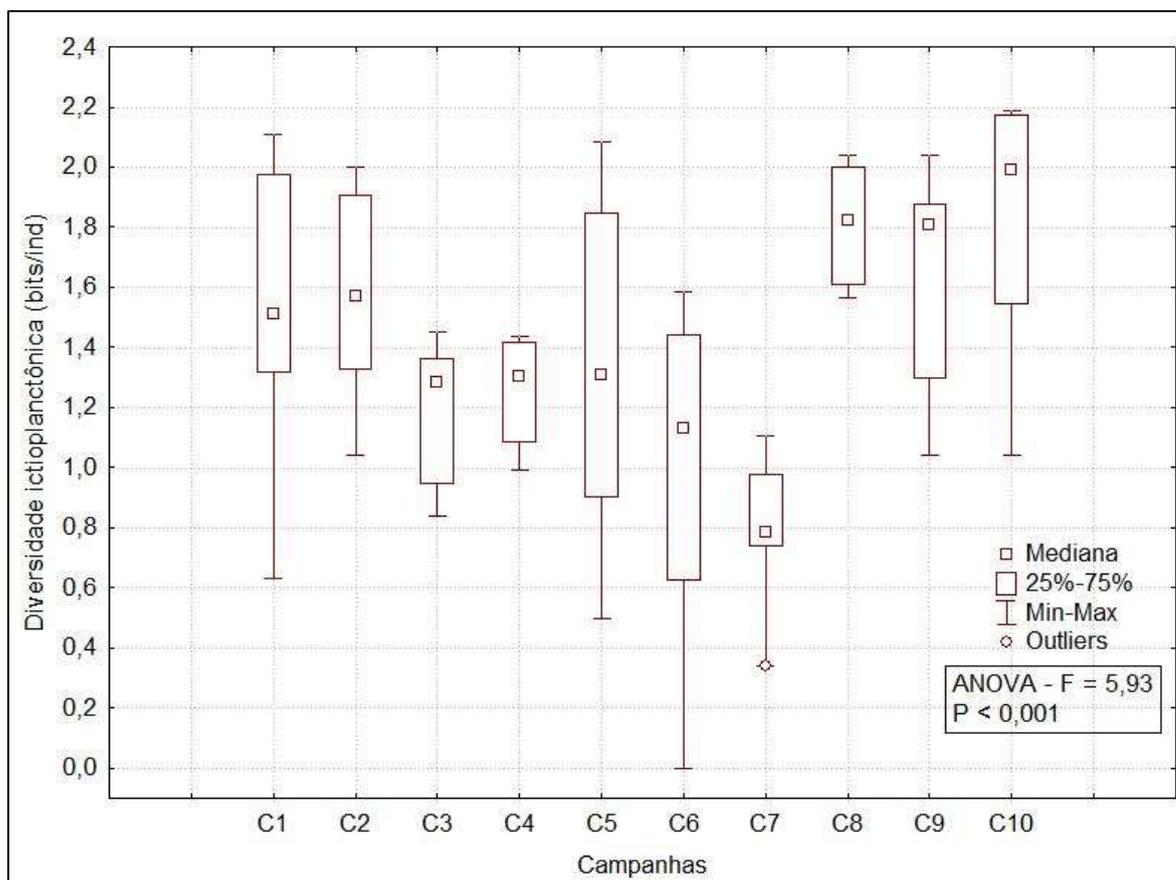


Figura V-60 – Box plots representativos da diversidade ictioplanctônica (bits/ind) ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

A equitabilidade média da presente campanha foi de $0,88 \pm 0,07$, com valores variando entre 0,76 e 0,95, no arrasto oblíquo com malha de 300 μm e no arrasto horizontal com malha de 300 μm da estação PIL-LL-NE_J1002, respectivamente (Tabela V-). De acordo com a Tabela V-, os valores de equitabilidade encontrados para o local variaram bastante ao longo do monitoramento, e os dados da atual campanha apresentaram valores ligeiramente superiores a maioria dos resultados obtidos anteriormente.

O ictioplâncton apresentou menor equitabilidade média na sétima campanha e maior amplitude de valores na sexta campanha (Figura V-61). Os valores verificados nas duas primeiras, na sexta, na oitava, na nona e na décima campanhas foram os mais elevados. Foram observadas diferenças significativas

entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$). A primeira, a segunda e a décima campanha diferiram significativamente da terceira, quarta e sétima campanha, e a nona campanha diferiu da terceira, quarta, quinta e sétima (*Tukey*, $p < 0,05$).

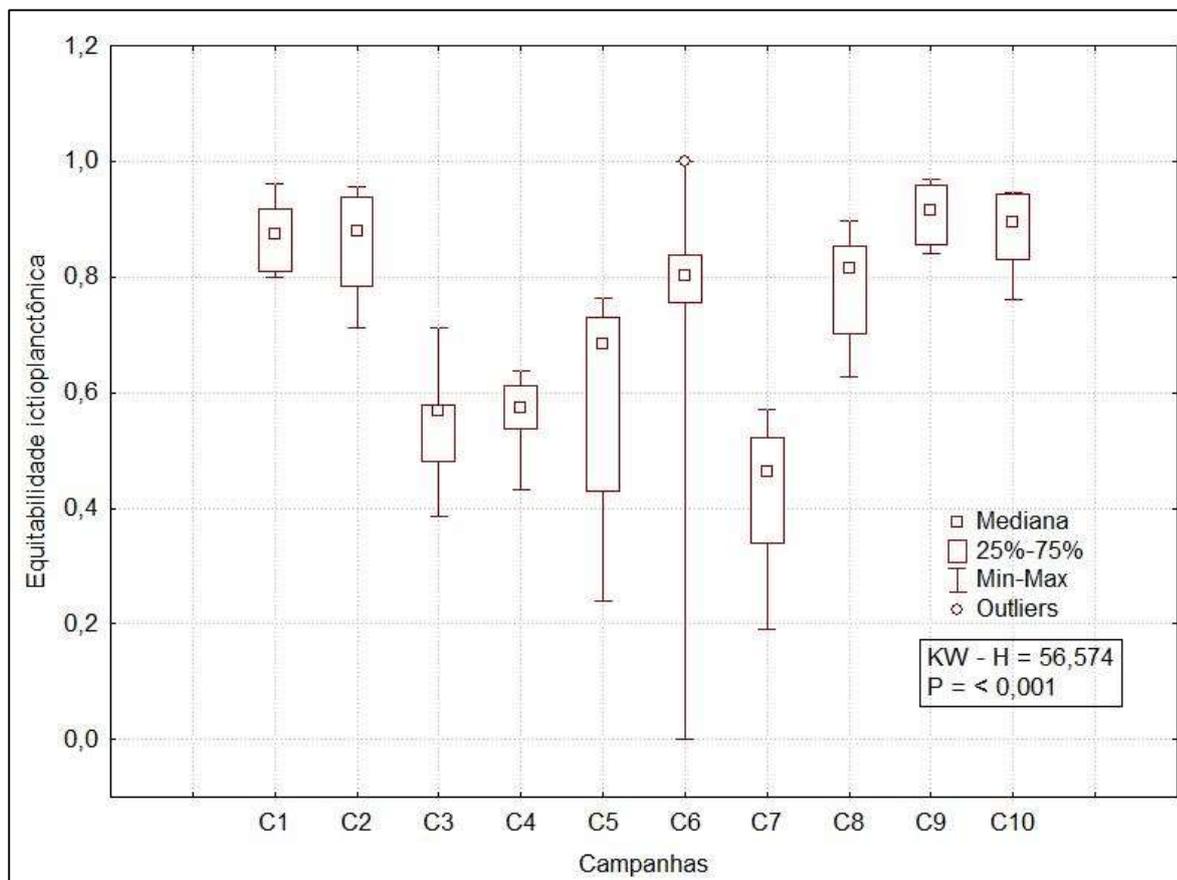


Figura V-61 – Box plots representativos da equitabilidade das comunidades ictioplancctônicas ao longo das campanhas do PMPR_E1_PIL-LL-NE.

Todas as campanhas utilizaram o mesmo cálculo para os índices ecológicos, baseado no número de taxa identificados até o menor nível taxonômico possível conforme explicado na metodologia deste relatório. Entretanto, é possível que haja variações entre as campanhas decorrentes do menor nível taxonômico encontrado em cada uma delas, pelos diferentes laboratórios que executaram as análises.

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

As amostras com o maior número de taxa foram aquelas obtidas nos arrastos oblíquo com a malha de 300 µm das estações PIL-LL-NE_J1002 (16 taxa) e PIL-LL-NE_M1000 (14 taxa), todas com maiores contribuições de Myctophiformes (Figura V-62). Comparando-se, individualmente, as amostras obtidas através das mesmas metodologias em ambas as estações, maiores riquezas foram observadas nas amostras da estação PIL-LL-NE_J1002. As ordens Myctophiformes, Stomiiformes e Pleuronectiformes foram as únicas que ocorreram em todas as amostras, enquanto Scombriformes ocorreu na maioria das amostras, exceto nos arrastos horizontais de ambas as estações. Eupercaria teve o mesmo padrão de Scombriformes, porém ocorreu no arrasto horizontal de malha 300 µm de PIL-LL-NE_J1002. Aulopiformes não ocorreu em nenhuma amostra de PIL-LL-NE_M1000, Mulliformes somente ocorreu em PIL-LL-NE_M1000_HOR_300, Ovalentaria e Perciformes só ocorreram em PIL-LL-NE_J1002_OBL_300. Centrarchiformes ocorreu apenas em PIL-LL-NE_M1000_OBL_300, Gobiiformes ocorreu em PIL-LL-NE_M1000_HOR, ambas as malhas e em PIL-LL-NE_J1002_OBL, ambas as malhas. Acanthuriformes ocorreu em PIL-LL-NE_M1000_OBL_500, PIL-LL-NE_J1002_HOR, ambas as malhas e em PIL-LL-NE_J1002_OBL_500. Lophiiformes ocorreu apenas em PIL-LL-NE_M1000_OBL_500, Dactylopteriformes em PIL-LL-NE_M1000_OBL_300 e em PIL-LL-NE_J1002_OBL_300. Ophidiiformes apenas ocorreu em PIL-LL-NE_M1000_OBL_300, Tetraodontiformes e Kurtiformes apenas em PIL-LL-NE_J1002_HOR_500, e Carangiformes ocorreu em PIL-LL-NE_M1000, ambos os arrastos nas malhas de 300 µm e em PIL-LL-NE_J1002_HOR_300 e 500. (Figura V-624).

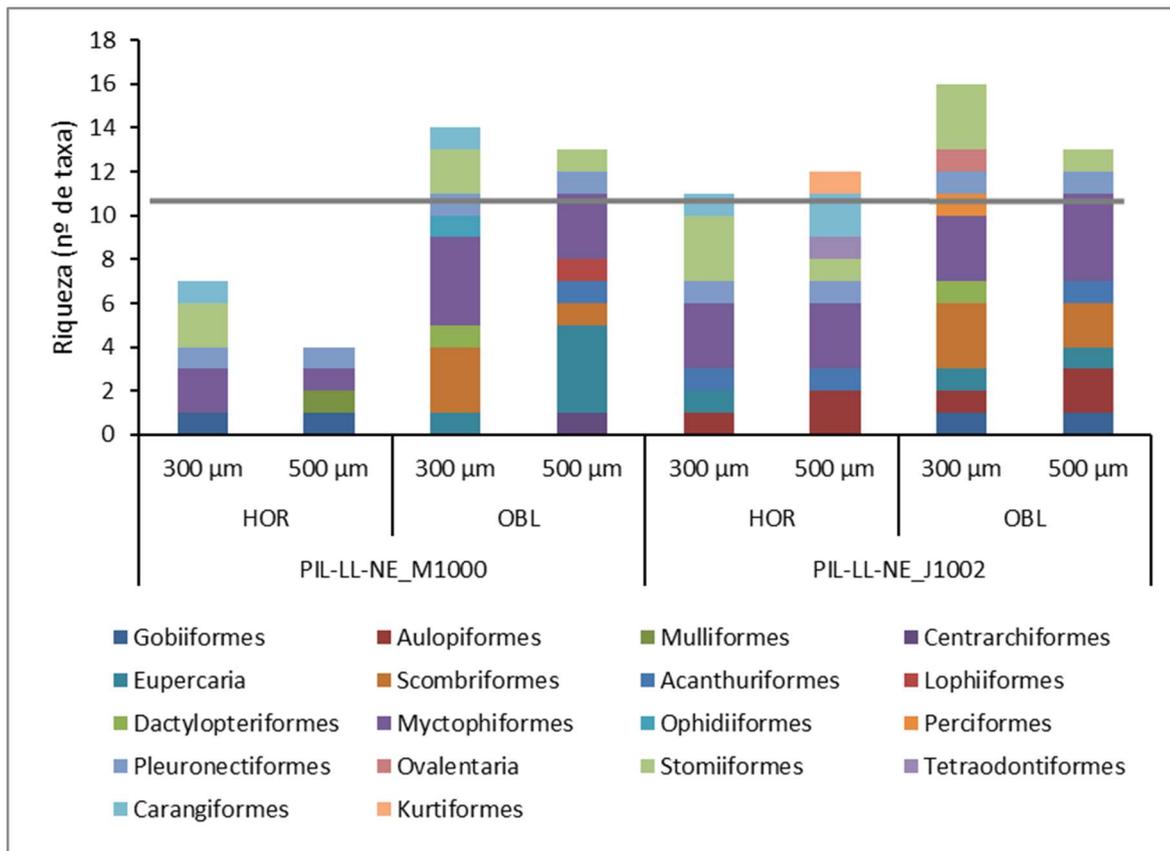


Figura V-62 – Riqueza ictioplanctônica (Número de taxa) da atual campanha de monitoramento ambiental. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

A densidade foi maior nos arrastos oblíquos com malha de 300. Em todas as amostras, Myctophiformes apresentou maior contribuição para a densidade. Pleuronectiformes também contribuiu bastante para a densidade em PIL-LL-NE_J1002_OBL_300 (Figura V-63). As demais ordens contribuíram em menor proporção.

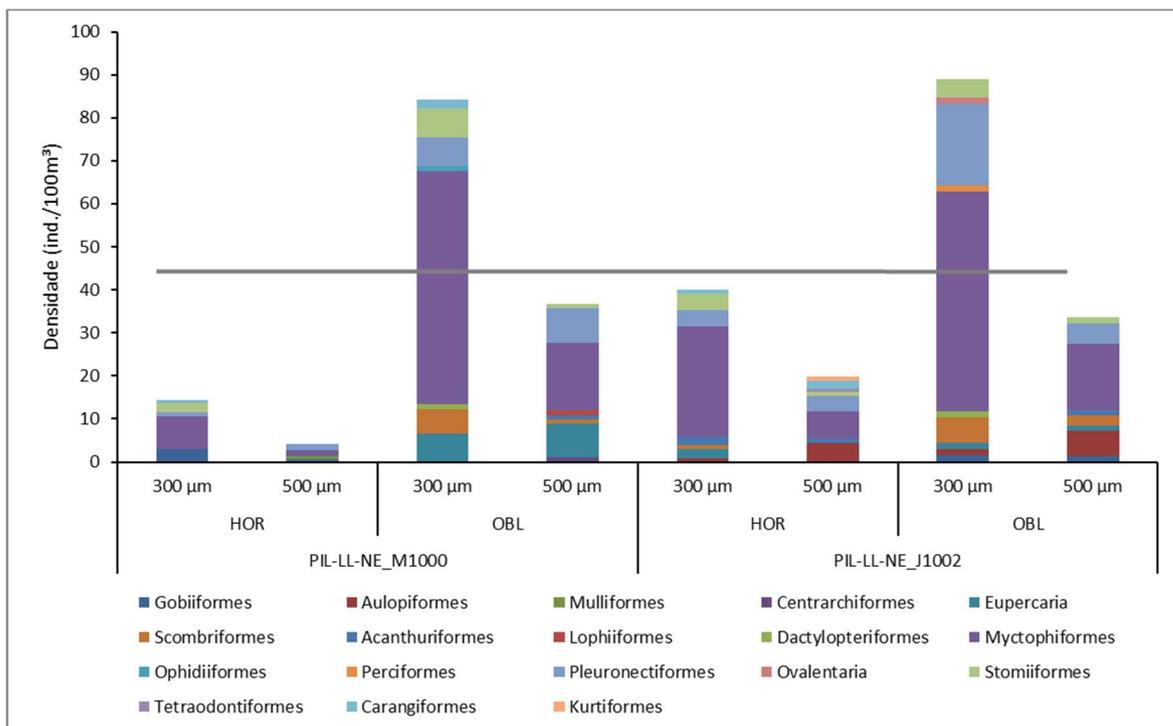


Figura V-63 – Densidade ictioplanctônica (ind/100m³) da atual campanha de monitoramento. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

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

A observação de padrões em comunidades 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 apresentou resultados mais baixos nos arrastos horizontais da estação PIL-LL-NE_M1000, enquanto para a equitabilidade, valores mais elevados foram observados nos arrastos horizontais (Figura V-64). De maneira geral, as amostras da estação PIL-LL-NE_J1002 apresentaram maiores valores de diversidade e equitabilidade. Os resultados obtidos para o índice de diversidade e para a equitabilidade apontam para uma comunidade pouco diversa e com uma composição específica igualitária em todas as amostras (Figura V-64).

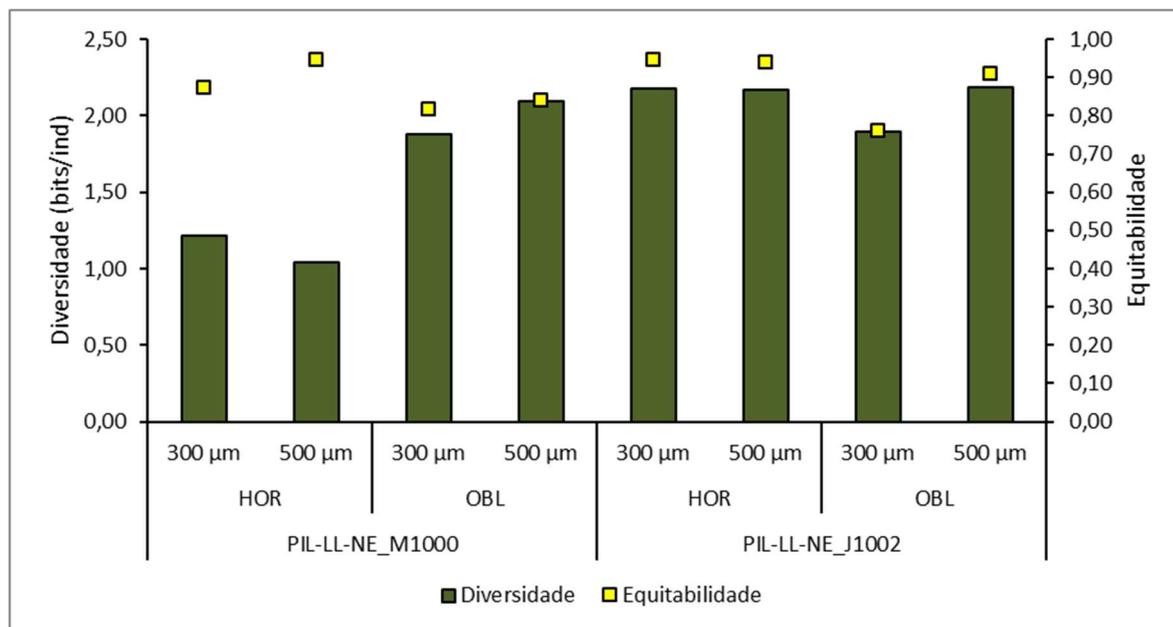
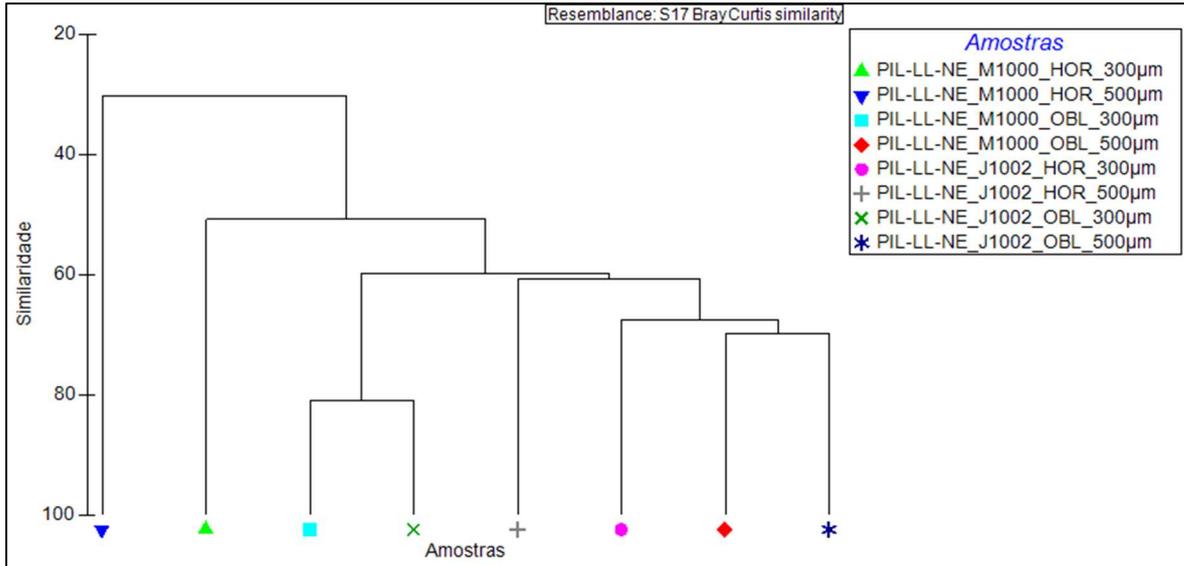


Figura V-64 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade ictioplanctônica (bits/ind) da atual campanha de monitoramento.

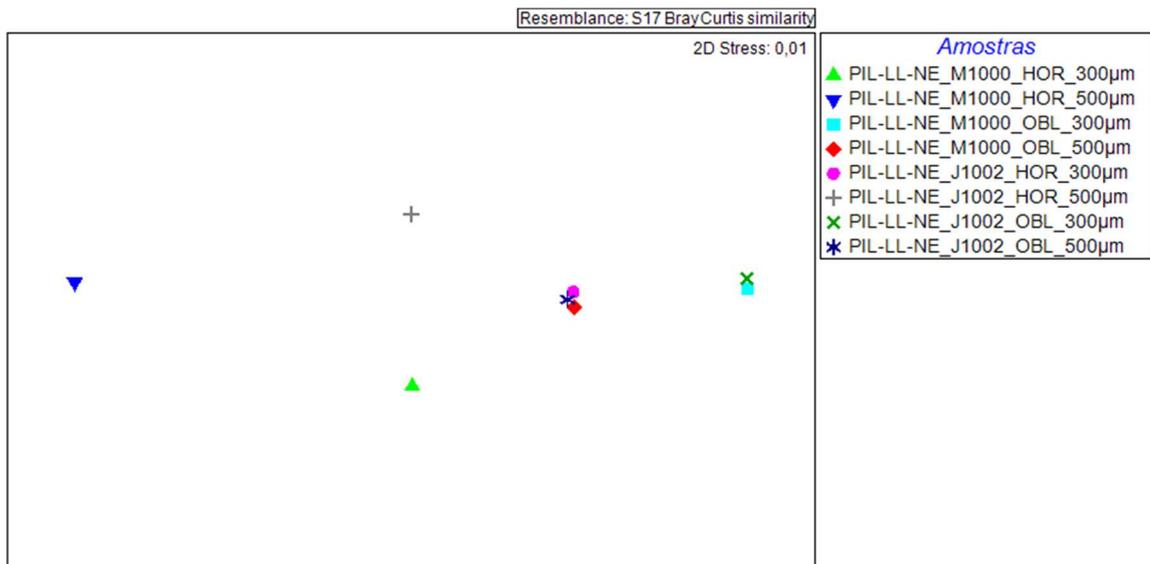
V.2.3.6 - Análise de Cluster e MDS

A análise de *Cluster* mostrou similaridades variando entre 30 e 80%, entre as amostras (Figura V-65). De fato, com 30% de similaridade houve a formação de dois grupos, com a separação da amostra PIL-LL-NE_M1000_HOR_500 das demais. Tal separação ocorreu, provavelmente, aos menores valores de densidade observados nessa amostra em relação às demais. No grupo formado pelas amostras da estação PIL-LL-NE_M1000_OBL_300 e PIL-LL-NE_J1002_OBL_300 que apresentaram 80% de similaridade entre si, tal formação ocorreu, provavelmente por essas amostras apresentarem os maiores valores de densidade em comparação às demais. A formação desses grupos distintos supracitados também foi observada na análise de MDS, da mesma maneira que no cluster (Figura V-66). O MDS apresentou *stress* 0,01, representando bom ordenamento dos dados.



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

Figura V-65 – Dendograma de agrupamento (Cluster) do ictioplâncton da atual campanha de monitoramento.



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

Figura V-66 – Escalonamento multidimensional (MDS) do ictioplâncton da atual campanha de monitoramento.

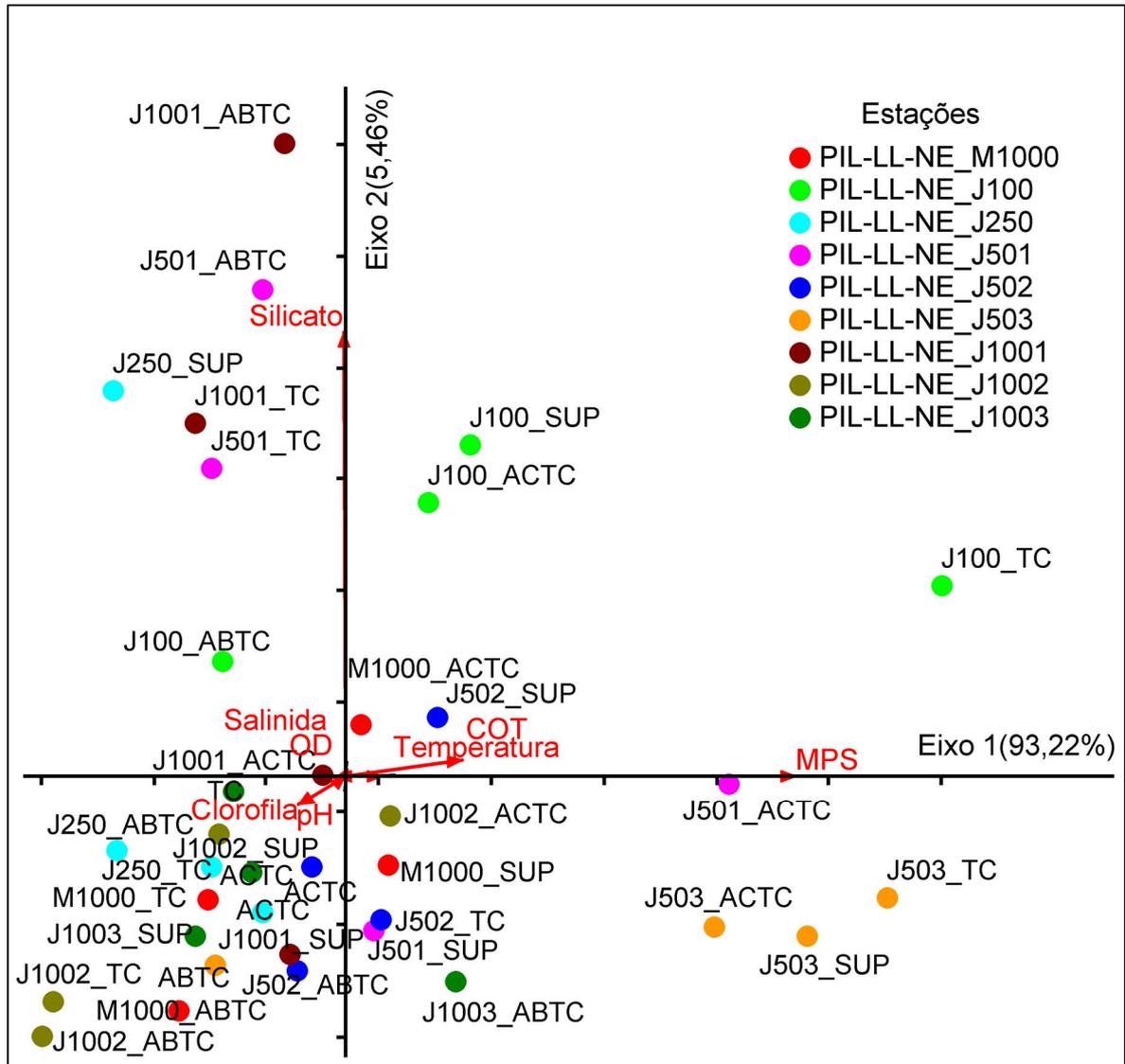
VI - ANÁLISE INTEGRADA

A seguir é apresentada a análise integrada dos dados bióticos e abióticos do ambiente pelágico da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO

VI.1.1 - Variáveis Ambientais

A análise de componentes principais (ACP) realizada com as variáveis físico-químicas da água, utilizando-se todas as unidades amostrais da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10, explicou 98,68% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 93,22% de explicação e o segundo com 5,46% (Figura VI.1-1).



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 VI.1-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico do PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

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. 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.

A distribuição das amostras não foi significativa em ambos os eixos ($p > 0.05$). Contudo, considerando-se os autovalores observados e calculados (*brocken-stick*)

(JACKSON, 1993), verificou-se que os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,089 e 0,005, respectivamente, e autovalor calculado de 0,032 e 0,021, respectivamente. Portanto apenas o eixo 1 apresentou autovalor observado maior que o calculado e, assim, foram interpretadas as variações principalmente sobre esse eixo

Observa-se que a distribuição das amostras foi influenciada pelo MPS ($r=1,00$), correlacionado positivamente com o eixo 1, e também pelo silicato, correlacionado positivamente com o eixo 2 ($r=0,98$), embora as relações sobre o eixo 2 não tenham sido significativas para interpretações. No eixo 1, as amostras dividiram-se entre aquelas em que ocorreram menores concentrações de MPS variando entre 0,12mg/L (em PIL-LL-NE_J1002_ABTC) a 1,68mg/L (em PIL-LL-NE_J1001_ACTC), distribuídas na porção negativa do eixo; e aquelas amostras com maiores concentrações de MPS, acima de 2,04 (em PIL-LL-NE_M1000_ACTC) até 17,48 mg/L (em PIL_LL-NE_J100_TC), ocorrendo na porção negativa do eixo 1. Embora a distribuição no eixo 2 não tenha sido significativa, observa-se, principalmente, a influência de silicato sobre esse eixo. As amostras dispostas nesta porção positiva do eixo, tenderam a apresentar maiores concentrações de silicato, variando entre 0,33 a 1,05 mg/L, separando-se das amostras dispostas na porção negativa do eixo, que apresentaram menores concentrações (entre 0,08 e 0,28 mg/L).

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.

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

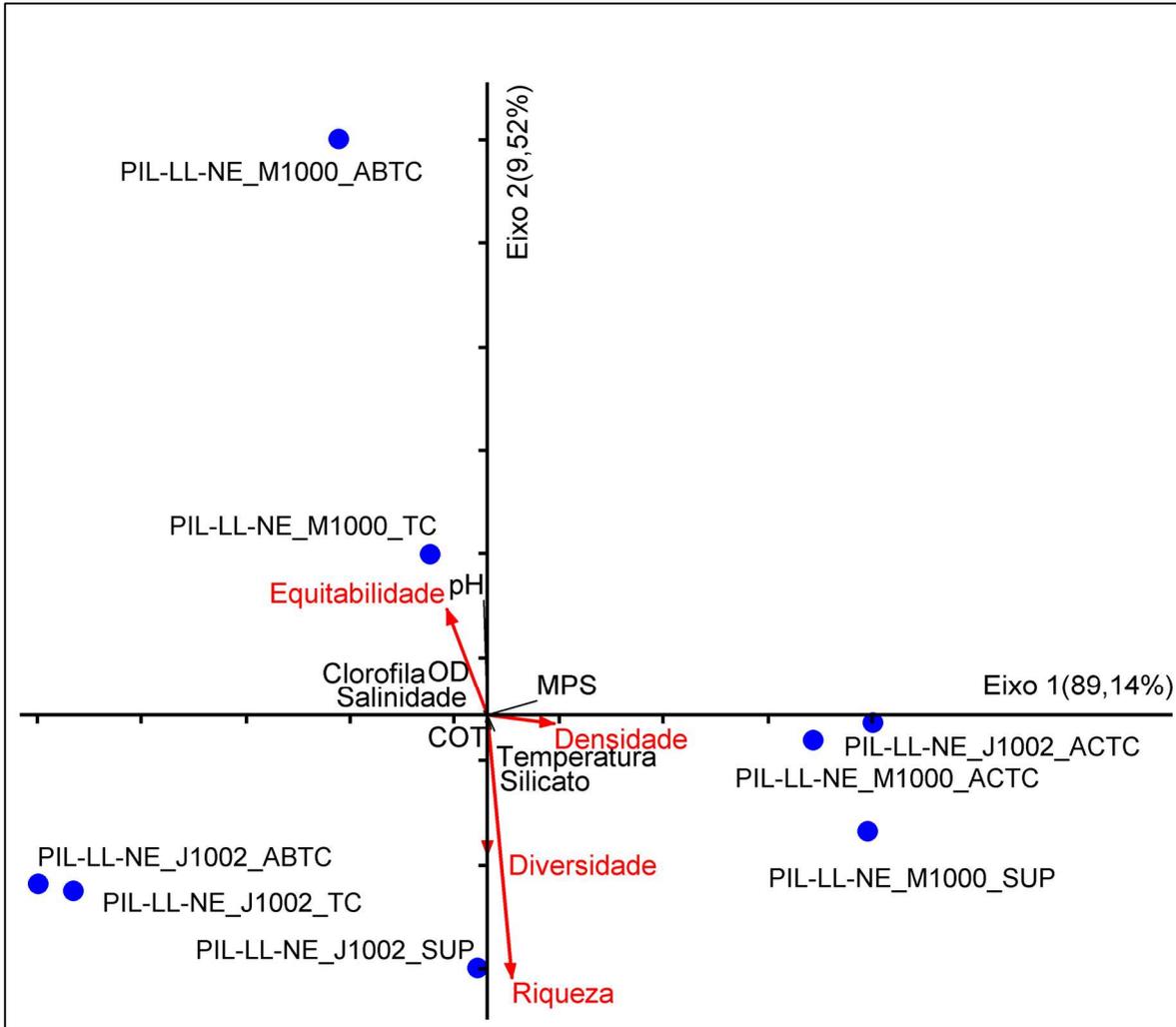
A correlação de Spearman realizada entre os indicadores biológicos de fitoplâncton e as variáveis ambientais indicou quatro correlações negativas significativas (Tabela VI.1-1), entre Riqueza fitoplanctônica e temperatura, salinidade, OD e clorofila a ($p<0,05$).

Tabela VI.1-1 - Correlação de Spearman entre os indicadores biológicos da estrutura da comunidade fitoplanctônica (densidade, riqueza, diversidade e equitabilidade) e as variáveis ambientais de qualidade da água da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10. Correlações significativas ($p < 0,05$) destacadas em vermelho.

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitabilidade
Temperatura	-0,31	0,71	0,14	-0,67
Salinidade	0,22	-0,75	-0,36	0,52
OD	-0,11	-0,89	-0,68	0,23
pH	-0,17	-0,69	-0,45	0,40
Silicato	-0,38	0,39	0,05	-0,55
MPS	-0,12	0,54	0,12	-0,48
Clorofila a	0,12	-0,75	-0,26	0,57
COT	-0,13	0,13	-0,02	-0,18

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

A análise de componentes principais (ACP) realizada entre as estações em que houve coleta biológica concomitantemente à coleta ambiental (PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002), explicou 98,66% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 89,14% de explicação e o segundo com 9,52% (Figura VI.1-2). Para fins de interpretação dos resultados da análise, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, conforme Bocard *et al.* (2011), todas aquelas com distâncias d ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.



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 VI.1-2 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico das estações PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002. Sobrepondo-se os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações sobre o plano da ACP.

De maneira geral, a distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos ($p > 0,05$). No entanto, conforme sugerido por Jackson (1993), se o autovalor observado para um eixo é maior do que o autovalor calculado (*brockenstick*), este eixo é considerado como possível de interpretar. Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,038 e 0,004 respectivamente, e autovalor calculado de 0,014 e 0,009, respectivamente. Portanto foram interpretadas as variações, principalmente, sobre o eixo 1.

Observa-se a separação das amostras (Figura VI.1-2), no plano da ACP, influenciada principalmente pelo MPS, que se correlacionou positivamente com o

eixo 1 ($r=0,99$), bem como pelo pH ($r=0,96$), embora as relações sobre o eixo 2 não tenham sido significativas para interpretações. No eixo 1, as amostras PIL-LL-NE_M1000_SUP, PIL-LL-NE_M1000_ACTC e PIL-LL-NE_J1002_ACTC, posicionadas na porção positiva do eixo 1, apresentaram as maiores concentrações de MPS (2,3, 2,04 e 2,32 mg/L, respectivamente), separando-se das demais amostras, PIL-LL-NE_J1002_(SUP, TC, ABTC) e PIL-LL-NE_M1000_(TC, ABTC) dispostas na porção negativa do eixo, com as menores concentrações de MPS ($\leq 0,94$ mg/L). As relações dos índices ecológicos com o eixo 1 foram fracas, destacando-se a densidade fitoplanctônica, com correlação positiva ($r=0,40$) sobre o eixo 1, o que indica tendência de maior densidade nas amostras sobre essa porção do eixo, em condição de maior concentração de MPS.

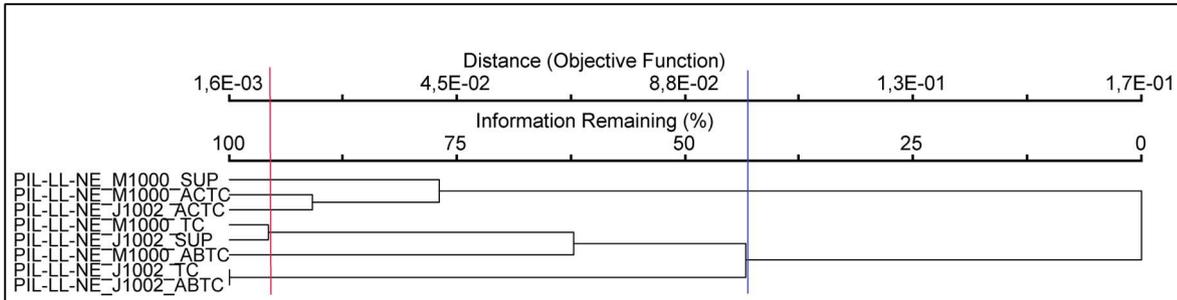
Embora as relações ao longo do eixo 2 não tenham sido significativas, observa-se que o pH foi o parâmetro que mais influenciou a distribuição das amostras sobre esse eixo, apesar de não ter apresentado ampla variação entre as amostras. Assim as amostras PIL-LL-NE_M1000_TC e PIL-LL-NE_M1000_ABTC, dispostas na porção positiva do eixo, separaram-se das demais dispostas na porção positiva, pois apresentaram os maiores valores de pH (8,06 e 8,16, respectivamente). As relações dos índices ecológicos sobre esse eixo, indicaram correlação negativa com riqueza ($r=-0,79$) e com diversidade fitoplanctônica ($r=-0,58$) e positiva com equitabilidade ($r=0,51$).

Não foram significativas as relações com as demais variáveis, 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 e uma análise de escalonamento multidimensional.

Na análise de agrupamento (*cluster*) (Figura VI.1-3) observou-se similaridades variando entre 43,40 e 95,7%, demonstrando similaridade entre as amostras. Com 43,40% de similaridade (linha azul), houve a formação de dois grupos, definida por diferenças nas características ambientais, principalmente em relação à concentração de MPS, separando as amostras PIL-LL-NE_M1000_SUP, PIL-LL-

NE_M1000_ACTC e PIL-LL-NE_J1002_ACTC, que apresentaram as maiores concentrações desse parâmetro, das demais amostras.



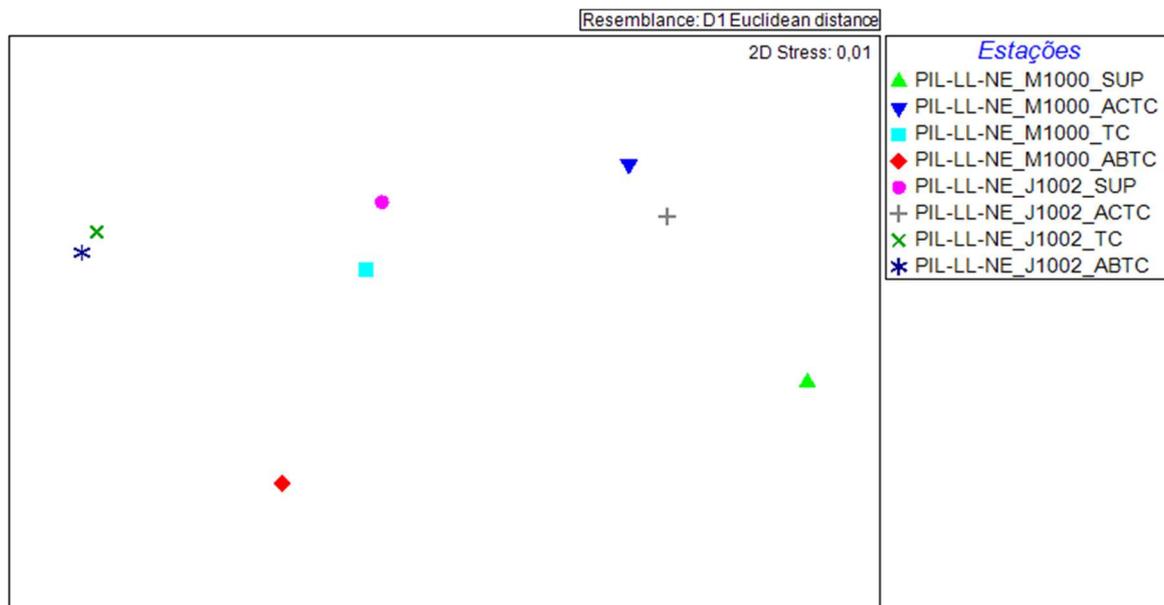
Legenda: PIL-LL-NE_M1000 = estação 1000 m à montante; PIL-LL-NE_J1002 = estação 2, 1000 m à jusante; SUP = superfície; ACTC = acima da termoclina; TC = termoclina; ABTC = abaixo da termoclina;

Figura VI.1-3 -Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das estações de amostragem de fitoplâncton da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

Considerando-se maior similaridade de formação dos grupos, observou-se com 95,7% (linha vermelha), em que se destaca a maior similaridade entre as amostras PIL-LL-NE_M1000_TC e PIL-LL-NE_J1002_SUP, por apresentaram menores valores de densidade e equitabilidade fitoplanctônica e valores intermediários de concentrações de MPS (entre 0,88 e 0,94 mg/L) e iguais concentrações de COT (0,85 mg/L C). Também se destaca a forte similaridade entre PIL-LL-NE_J1002_TC e PIL-LL-NE_J1002_ABTC, com 100% de similaridade, compartilhando, principalmente, as menores concentrações de MPS, e valores dos índices ecológicos semelhantes.

Para finalizar as análises relativas à relação do ambiente abiótico com os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica, foi realizada uma análise de escalonamento multidimensional (MDS). 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 0,01. 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.

A MDS (Figura VI.1-4) apresentou separação semelhante ao cluster, destacando-se a grande semelhança entre PIL-LL-NE_J1002_TC e PIL-LL-NE_J1002_ABTC, e de PIL-LL-NE_M1000_TC e PIL-LL-NE_J1002_SUP.



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

Figura VI.1-4 - Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

Na PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10, verificou-se, principalmente, a influência de MPS e silicato para a variabilidade entre as nove estações amostrais avaliadas (36 amostras). O MPS também foi o parâmetro mais importante, influenciando as variações entre as amostras das estações PIL-LL-NE_M1000 e PIL-LL-NE_J1002, separando PIL-LL-NE_M1000_SUP, PIL-LL-NE_M1000_ACTC e PIL-LL-NE_J1002_ACTC, das demais, por apresentarem maior concentração de MPS e tendência a maior densidade fitoplanctônica. Além disso, o pH também teve contribuição na variação das amostras, embora tais relações não tenham sido significativas.

Nas comunidades planctônicas, especialmente fitoplanctônica, os indicadores biológicos da estrutura da comunidade estão constantemente sujeitos à interação de diferentes fatores ambientais e biológicos, variando em diferentes escalas espaciais e temporais (WILLIAM *et al.*, 1993). Fatores como temperatura da água, intensidade luminosa, concentração de CO₂, 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). Variações espaciais e temporais das condições ambientais podem promover mudanças cíclicas ou erráticas na atividade planctônica, abundância ou declínio das populações (DANTAS *et al.*, 2009), e, portanto, influenciar a distribuição das comunidades planctônicas ao longo da coluna d'água (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009).

Em relação às correlações de *Spearman*, foram verificadas correlações negativas significativas entre salinidade e concentrações de OD e clorofila-a com riqueza fitoplanctônica e positiva com a temperatura. Quanto à salinidade devido à elevação da concentração de sais, há aumento na densidade da água (ESTEVES & SANTOS, 2011), podendo influenciar a distribuição vertical do fitoplâncton ao longo da coluna. Além disso, a salinidade também pode limitar a solubilidade do OD (quanto maior salinidade, menor a solubilidade do OD), sendo que o OD também é influenciado pela temperatura da água (quanto mais fria, maior solubilidade de OD) (PEREIRA E SOARES-GOMES, 2009; LEVINTON, 2009, ESTEVES, 2011). A clorofila-a, aqui correlacionada negativamente com a riqueza, é um pigmento fotossintético indicador de biomassa fitoplanctônica (JEFFREY *et al.*, 1997), e a proporção entre os diferentes pigmentos de clorofila podem ser indicativos da composição fitoplanctônica ou do estado fisiológico da comunidade (ESTEVES & SUZUKI, 2011). Normalmente, considera-se a clorofila-a como um indicador de aumento de densidade fitoplanctônica, principalmente de cianobactérias em corpos d'água, contudo nem sempre se verifica boa correlação entre essas variáveis (MARINO, 2016).

Embora diferentes fatores ambientais tenham a propriedade de influenciar a variabilidade das amostras, apenas MPS mostrou influenciar a variabilidade espacial das amostras, juntamente com a densidade fitoplanctônica, que tendeu a apresentar relação positiva com as amostras, em condição de maior concentração de MPS (ACP, Figura VI.1-1). O MPS tem a propriedade de reduzir a transparência da água, podendo afetar e reduzir a produtividade primária fotossintética. A comunidade fitoplanctônica é composta de organismos fotoautotróficos que vivem a maior parte do seu ciclo de vida nas zonas pelágicas de oceanos, lagos, tanques e reservatórios, e que são fortemente influenciados pela quantidade e qualidade da intensidade luminosa (REYNOLDS, 2006; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011). Dessa forma, a concentração de MPS na coluna d'água

influencia a penetração de luz e, conseqüentemente o crescimento fitoplanctônico. Além disso, cabe destacar que o MPS pode ter origem inorgânica ou orgânica, sendo um detrito disponível para ser decomposto pelo fitoplâncton ou podendo representar biomassa planctônica.

O pH também foi um parâmetro que indicou certa importância na variabilidade das amostras, embora as relações com esse parâmetro não tenham sido significativas. Contudo ressalta-se que flutuações do pH refletem efeitos no metabolismo aquático, indicando processos de decomposição ou atividades fotossintéticas. Ambientes de pHs alcalinos tendem a indicar processos fotossintéticos, refletindo produtividade primária no sistema, enquanto pHs mais ácidos, tendem a representar processos de decomposição de matéria orgânica (BAMBI ET AL, 2008).

A comunidade fitoplanctônica representa os maiores produtores de biomassa em ecossistemas aquáticos, tendo grande importância na regulação do clima global e, portanto, para a vida na Terra (RICHA *et al.*, 2014). Contribuem, com grande expressividade, para as cadeias alimentares aquáticas, para a produção de grandes quantidades de oxigênio atmosférico e para assimilação de carbono através da fotossíntese, ganhando maior destaque que as algas maiores e visíveis (GARRISON, 2011). A diversidade de grupos 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 taxos identificados nas amostras são representantes dos filos Ochrophyta (diatomáceas) e Myzozoa (dinoflagelados) (GUIRY & GUIRY, 2021), mas também outros filos com menores contribuições, como Haptophyta e Cyanobacteria, esse último caracterizado por apresentar algumas espécies com células diferenciadas, os heterocistos, especializados na fixação de nitrogênio. Nesse caso, destaca-se a *Trichodesmium* sp. identificada nesse estudo, e que tem grande importância devido sua capacidade de fixação do nitrogênio molecular (N₂), quando o nitrogênio inorgânico é limitante nas águas oceânicas (GALLON & CHAPPLIN, 1988 *apud* DETONI, 2017). Esse gênero, portanto, tem importante contribuição para a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes, pela fixação e liberação de carbono e nitrogênio, nos oceanos oligotróficos (CARPENTER & CARPENTER, 2008).

Finalmente, a dinâmica e a estrutura fitoplanctônica são influenciadas por diferentes parâmetros ambientais e biológicos que, por consequência, acabam por influenciar, direta e indiretamente, a dinâmica de outros níveis tróficos e vice-versa. Como no caso do zooplâncton e ictioplâncton, que possuem um papel importante na dinâmica dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017) e cujas relações dessas comunidades com as características ambientais serão exploradas a seguir.

VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico-químico

As variações na comunidade zooplanctônica e ictioplanctônica, juntamente com as variações dos parâmetros físico-químicos da água são observadas na Tabela VI.1-2 e Figura VI.1-5 a VI.1-20.

Tabela VI.1-2 - Indicadores biológicos e variáveis ambientais das comunidades zooplanctônicas e ictioplanctônicas do PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

	Zooplâncton				Ictioplâncton							
	PIL-LL-NE_M1000 HOR	PIL-LL-NE_M1000 OBL	PIL-LL-NE_J1002 HOR	PIL-LL-NE_J1002 OBL	PIL-LL-NE_M1000 HOR300µm	PIL-LL-NE_M1000 HOR500µm	PIL-LL-NE_M1000OBL300µm	PIL-LL-NE_M1000 OBL500µm	PIL-LL-NE_J1002 HOR300µm	PIL-LL-NE_J1002 HOR500µm	PIL-LL-NE_J1002 OBL300µm	PIL-LL-NE_J1002 OBL500µm
Densidade Zoo: ind/m³	146,05	118,66	132,09	154,96	14,47	4,12	84,27	36,66	40,07	19,80	89,06	33,50
Ictio: ind/100m³												
Riqueza	35,00	33,00	36,00	36,00	7,00	4,00	14,00	13,00	12,00	12,00	16,00	13,00
Diversidade (bits/ind)	3,42	3,48	3,28	3,87	1,21	1,04	1,88	2,09	2,18	2,17	1,89	2,19
Equitatividade	0,67	0,69	0,63	0,75	0,88	0,95	0,82	0,84	0,95	0,94	0,76	0,91
Temperatura °C	27,03	26,68	27,15	26,65	27,03	27,03	26,68	26,68	27,15	27,15	26,65	26,65
Salinidade (‰)	36,25	36,34	36,24	36,29	36,25	36,25	36,34	36,34	36,24	36,24	36,29	36,29
OD (mg/L)	6,63	6,84	6,29	6,49	6,63	6,63	6,84	6,84	6,29	6,29	6,49	6,49
pH	7,97	8,01	7,97	7,99	7,97	7,97	8,01	8,01	7,97	7,97	7,99	7,99
Silicato (mg/L)	0,20	0,23	0,23	0,19	0,20	0,20	0,23	0,23	0,23	0,23	0,19	0,19
MPS (mg/L)	2,30	1,74	0,94	1,14	2,30	2,30	1,74	1,74	0,94	0,94	1,14	1,14
Clorofila a (mg/L)	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,07
COT (mg/L)	0,81	0,80	0,85	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,85	0,85	0,81	0,81

Legenda: PIL-LL-NE_M1000, estação montante; PIL-LL-NE_J1002, estação jusante; OD oxigênio dissolvido; MPS, material particulado em suspensão; COT, carbono orgânico total.

Com relação à comunidade zooplanctônica, verifica-se tendência de maior densidade, diversidade e equitabilidade no arrasto oblíquo de PIL-LL-NE_J1002, destacando-se a ocorrência de menor temperatura, embora esse parâmetro não tenha variado muito entre as amostras. A menor densidade e riqueza fitoplanctônica, ocorreu no arrasto oblíquo de PIL-LL-NE_M1000 quanto observou-se também as maiores salinidade, concentração de OD e maior pH. As menores diversidades e equitabilidades ocorreram nos arrastos horizontais de ambas as estações, juntamente com maiores temperaturas, menores salinidades, menores valores pH e de clorofila a.

Com relação à comunidade ictioplanctônica, observa-se tendência de maiores densidades e riquezas e menores equitabilidades nos arrastos oblíquos com malha de 300 µm. Nessas amostras, observa-se também valores muito semelhantes de MPS, clorofila a e COT. As menores densidades, riquezas e diversidades ocorreram em PIL-LL-NE_M1000 HOR malha de 300 e 500 µm, não se verificando destaque entre maiores ou menores valores dos parâmetros ambientais, exceto pelo MPS que foi maior nessas amostras. Por fim, as maiores diversidades e equitabilidades ocorreram em PIL-LL-NE_J1002_HOR em ambas as malhas, juntamente com tendência a maiores temperaturas e concentrações de COT e menores salinidades e, concentrações de OD e MPS.

O zooplâncton marinho compreende uma assembléia filogenética e funcionalmente diversa de consumidores protistas e metazoários que ocupam vários níveis tróficos em teias alimentares pelágicas, tendo grande importância para a dinâmica ecossistêmica aquática. Essa rede complexa de interações bióticas e abióticas, conduzem a variabilidade temporal e espacial do zooplâncton, em termos de produção-pastejo, ciclagem de nutrientes, exportação e eficiência de transferência de nutrientes para níveis tróficos mais elevados (BEAUGRAND *et al.*, 2003; STEINBERG & LANDRY, 2017).

A comunidade zooplanctônica inclui uma grande variedade de representantes nos oceanos, refletindo importantes consumidores primários estreitamente ligados ao consumo de cianobactérias, diatomáceas, dinoflagelados entre tantos outros representantes do fitoplâncton. Essa comunidade, juntamente com a comunidade ictioplanctônica, apresenta essencial papel na dinâmica dos ecossistemas,

constituindo elos estruturadores das cadeias alimentares (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008), atuando principalmente na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (ESTEVES, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017). Sendo assim, mudanças na estrutura da comunidade, em termos de composição de espécie e abundância podem influenciar os ciclos biogeoquímicos e os fluxos de energia nos ecossistemas aquáticos (MITRA *et al.*, 2014).

Para essas comunidades, fatores ambientais são importantes causas de ajustes bióticos, promovendo variações nos seus números, que ocorrem direta ou indiretamente em resposta às variações ambientais em ecossistemas tropicais (PINTO-COELHO, 1999; TAYLOR *et al.*, 2002; HAYS *et al.*, 2005). Fatores ambientais tais como a temperatura (CHEN *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2018), salinidade (NEUMANN-LEITÃO *et al.*, 2018), correntes marinhas (SMETI *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2018) são importantes parâmetros influenciando a estrutura, a dinâmica e a distribuição espacial das comunidades de zooplâncton e, conseqüentemente, suas relações com outros elos das cadeias alimentares, como a comunidade fitoplanctônica, ictioplanctônica e a ictiofauna, representando para essa última importante recurso alimentar. A distribuição desses organismos ao longo da coluna d'água pode ser tanto influenciada pela incidência luminosa, como também estar associado a condições de estratificação e mistura da coluna d'água (ESTEVES, 2011), além de outras características de água como concentrações de nutrientes, MPS, OD, COT etc. Conforme o PCR-BS (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.

De fato, as características ambientais do ecossistema aquático influenciam a distribuição das comunidades planctônicas, devido a sua capacidade de resposta às variações ambientais de pequena a grande escala, conduzindo a padrões de distribuição e dispersão em escala temporal e espacial. Isso torna tais comunidades importantes indicadores de mudanças no ambiente, portanto a compreensão das variações espaciais e temporais entre essas comunidades e suas interações com o ambiente é de extrema importância e questão central para a ecologia (WILLIAN

et al., 1993), fornecendo uma noção vital sobre a saúde do sistema e os potenciais impactos.

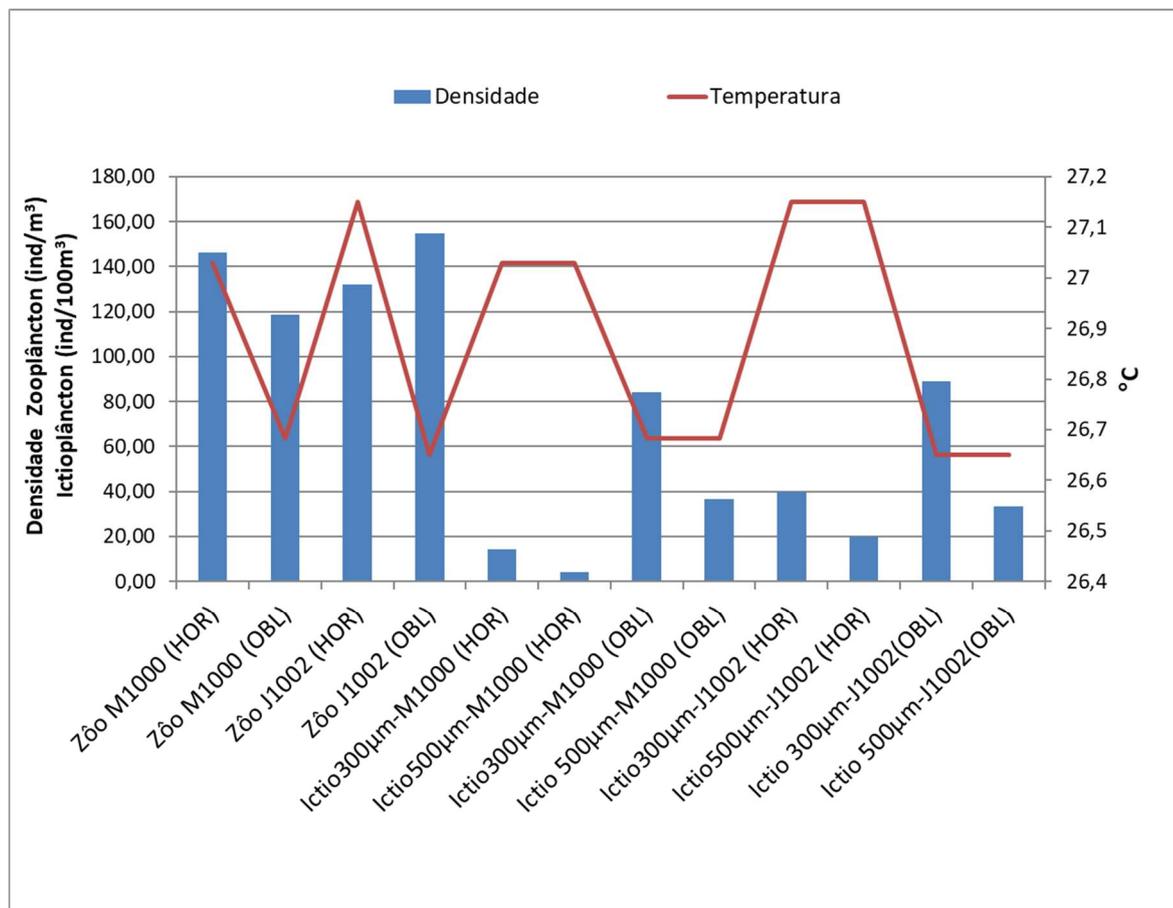


Figura VI.1-5 - Relação temperatura com a densidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

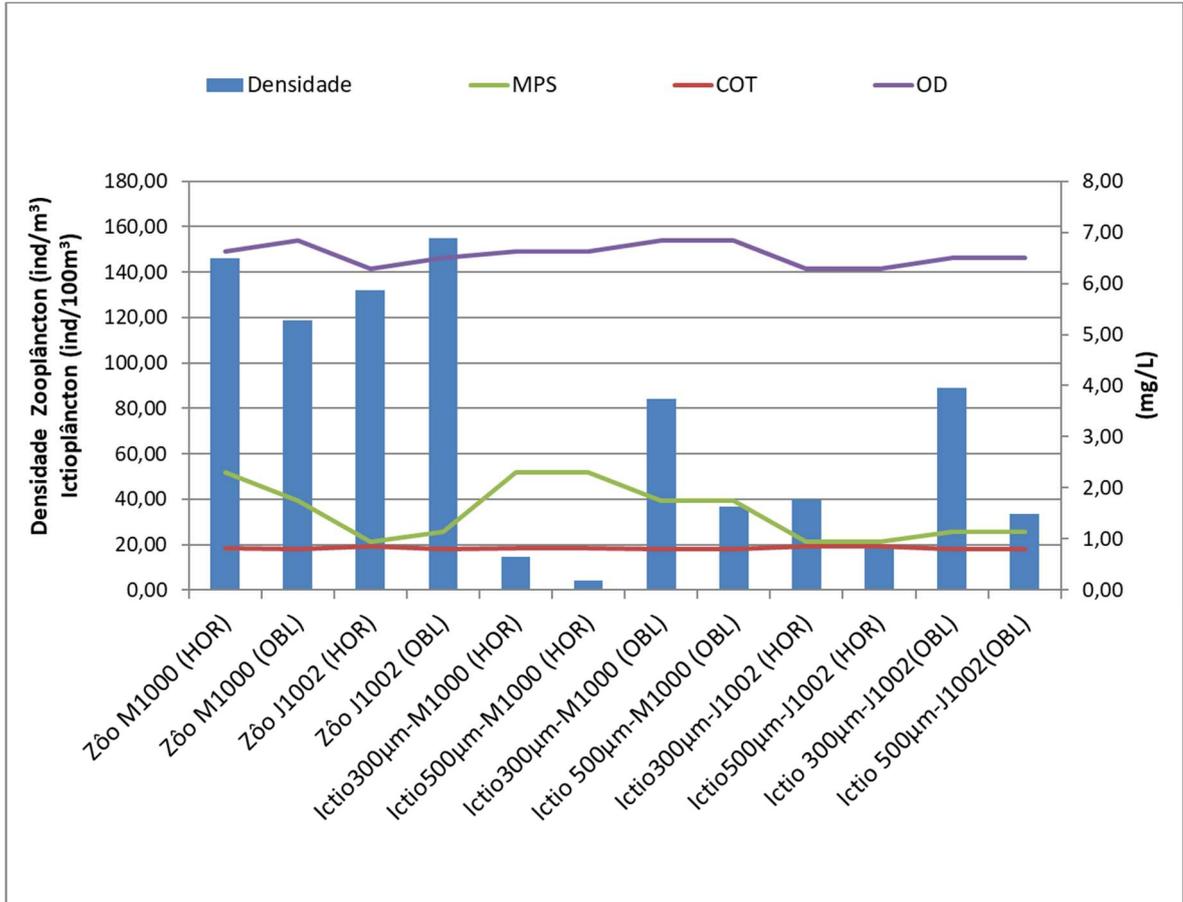


Figura VI.1-6 - Relação de MPS, COT e OD com a densidade zoo e ictioplânctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

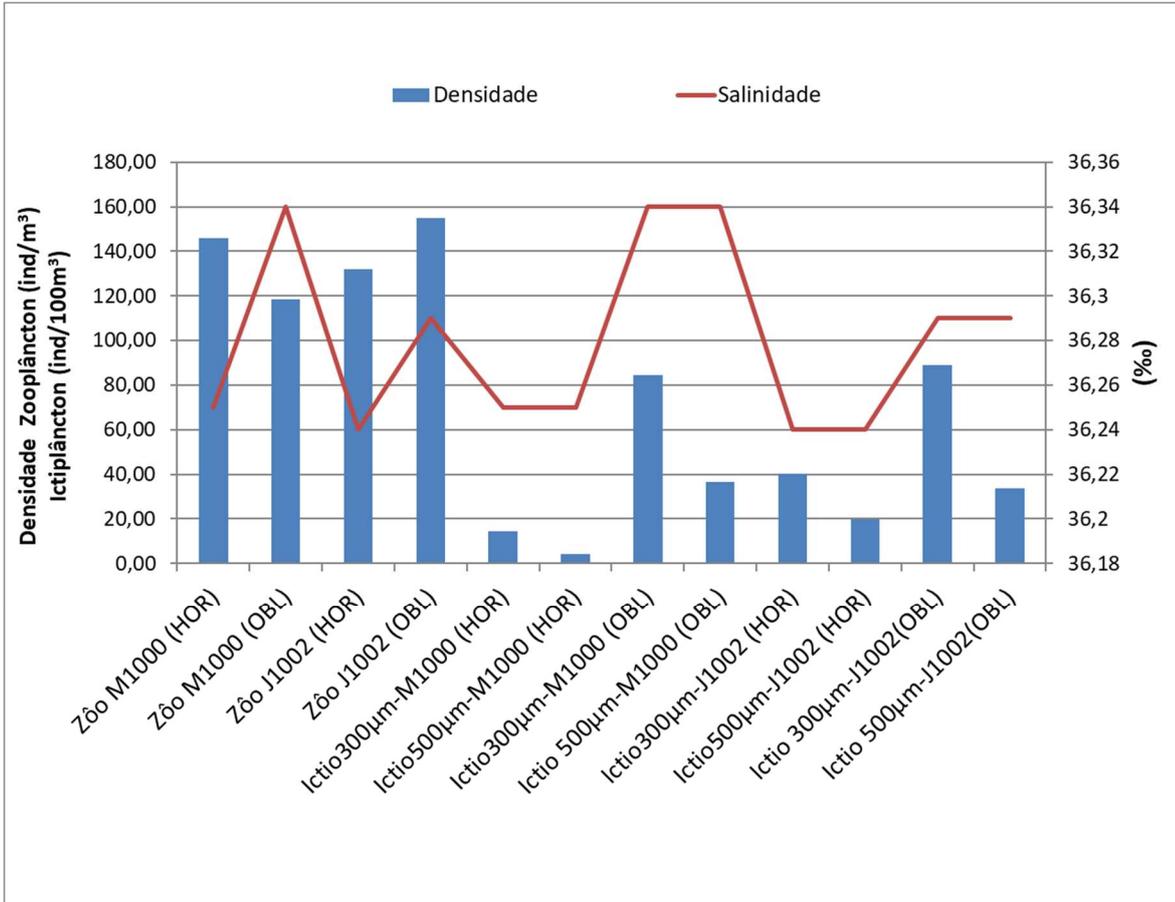


Figura VI.1-7 - Relação de salinidade com a densidade zoo e ictioplanctônica e da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

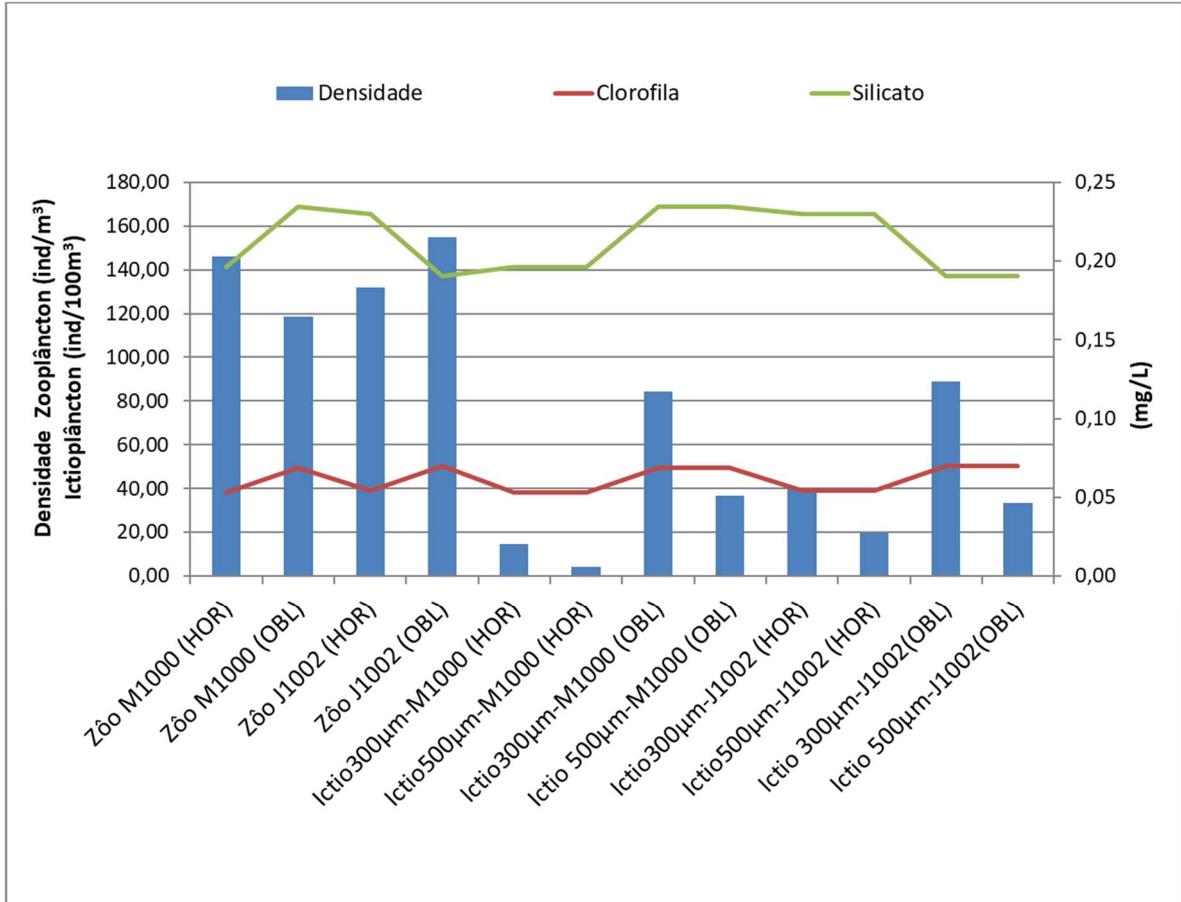


Figura VI.1-8 - Relação da clorofila-a e silicato com a densidade zoo e ictioplânctônica (da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10).

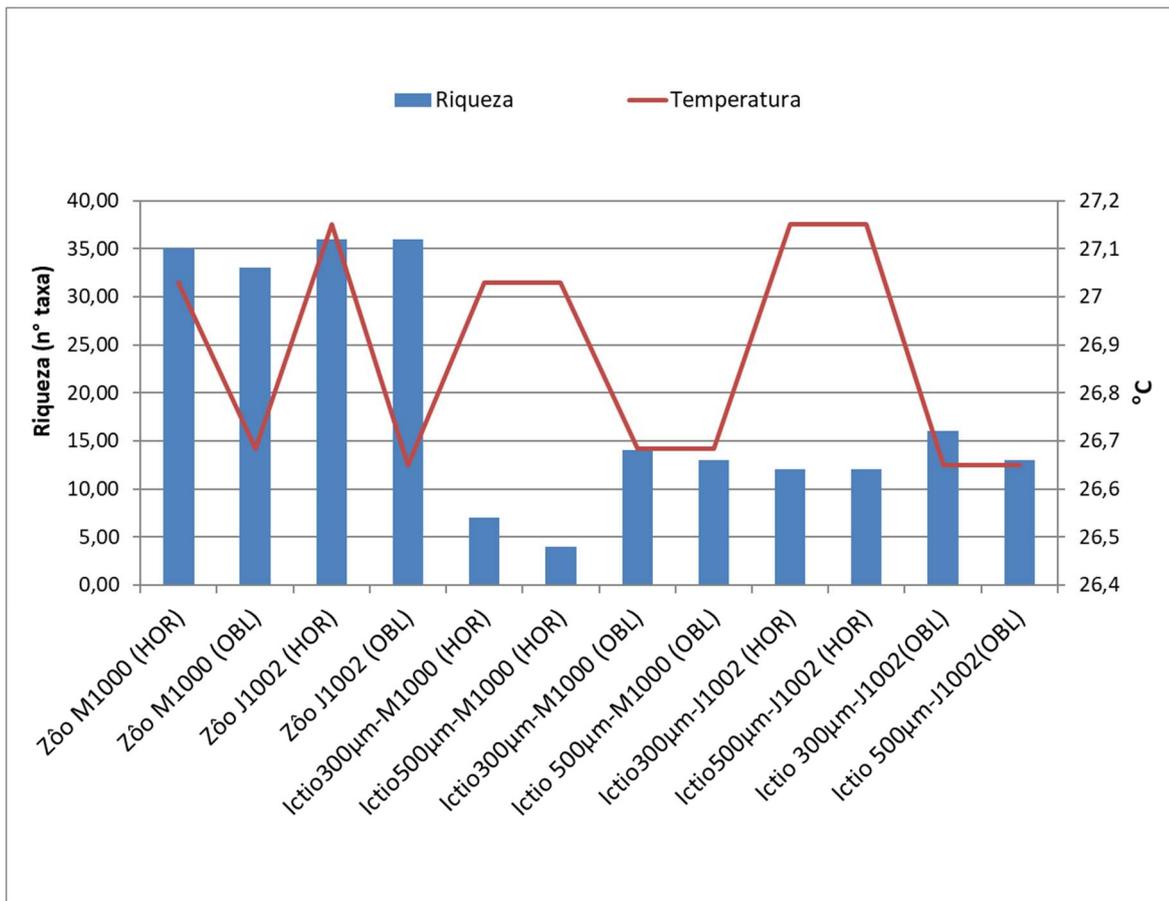


Figura VI.1-9 - Relação de temperatura com a riqueza zoo e ictioplânctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

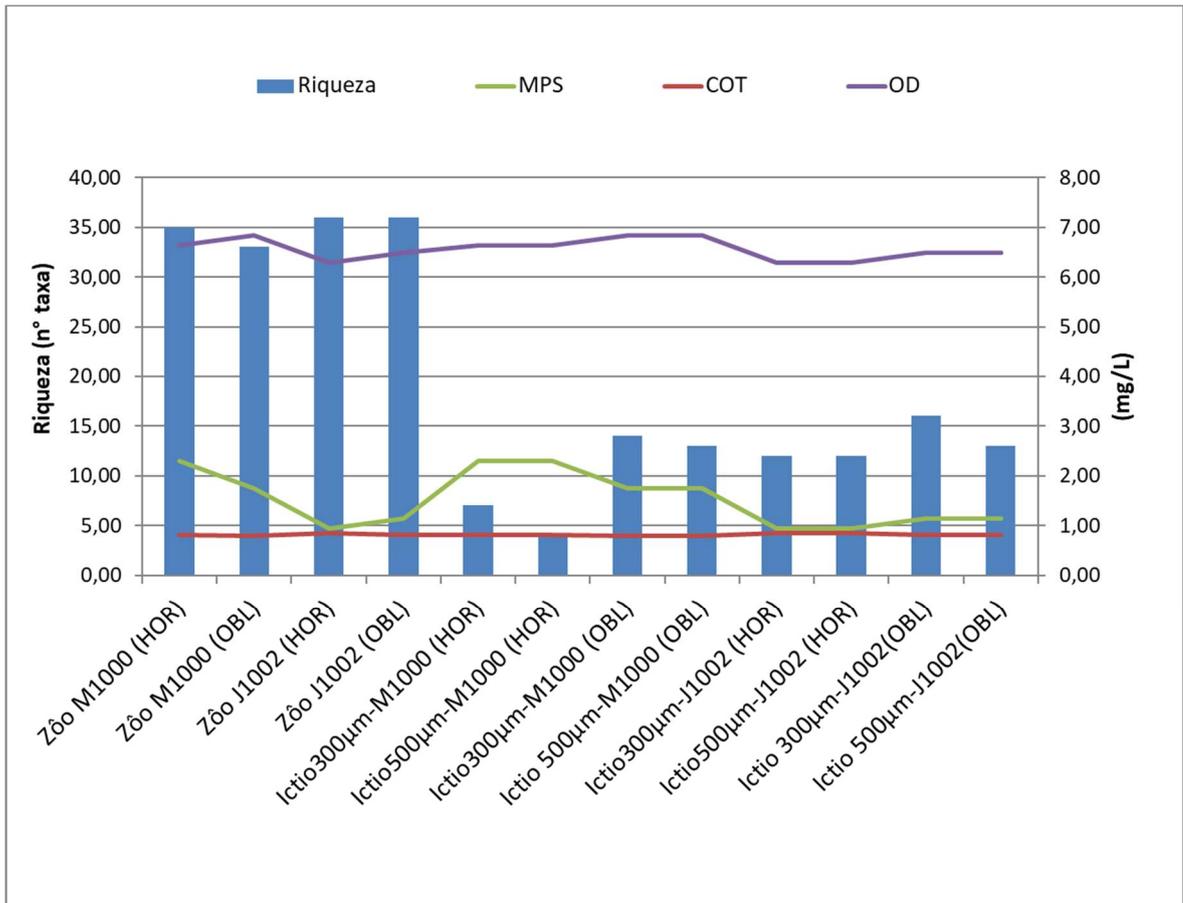


Figura VI.1-10 - Relação de MPS, COT e OD com a riqueza zoo e ictioplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

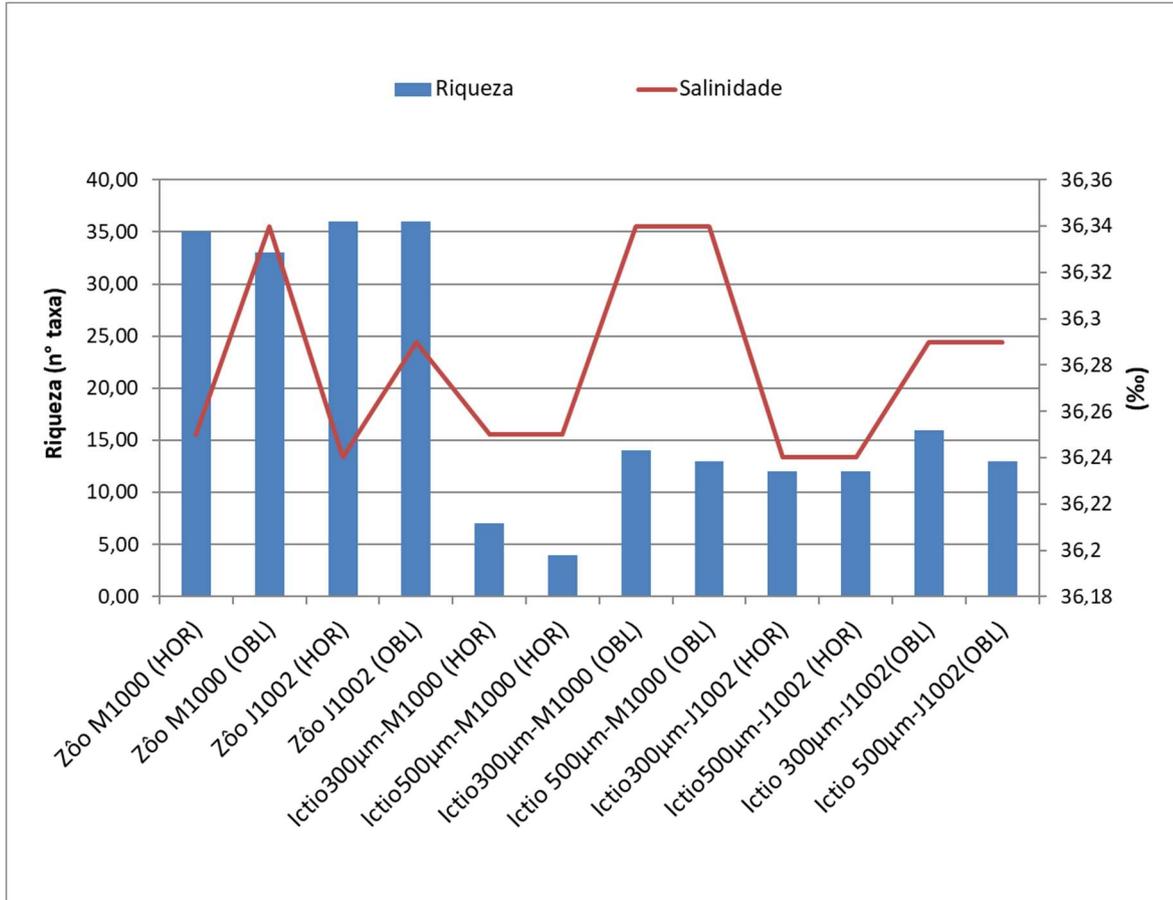


Figura VI.1-11 - Relação de salinidade com a riqueza zoo e da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

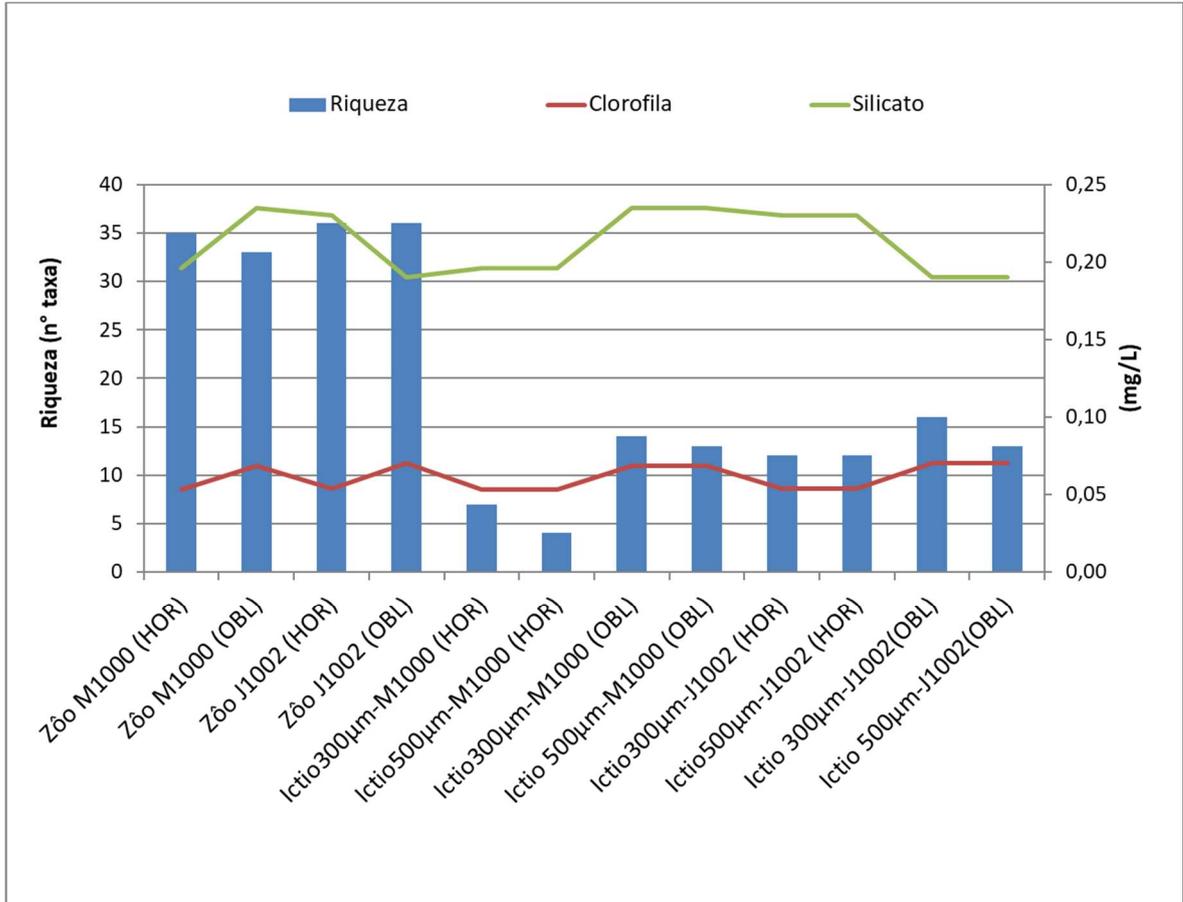


Figura VI.1-12 - Relação da clorofila-a e de silicato com a riqueza zoo e ictioplânctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

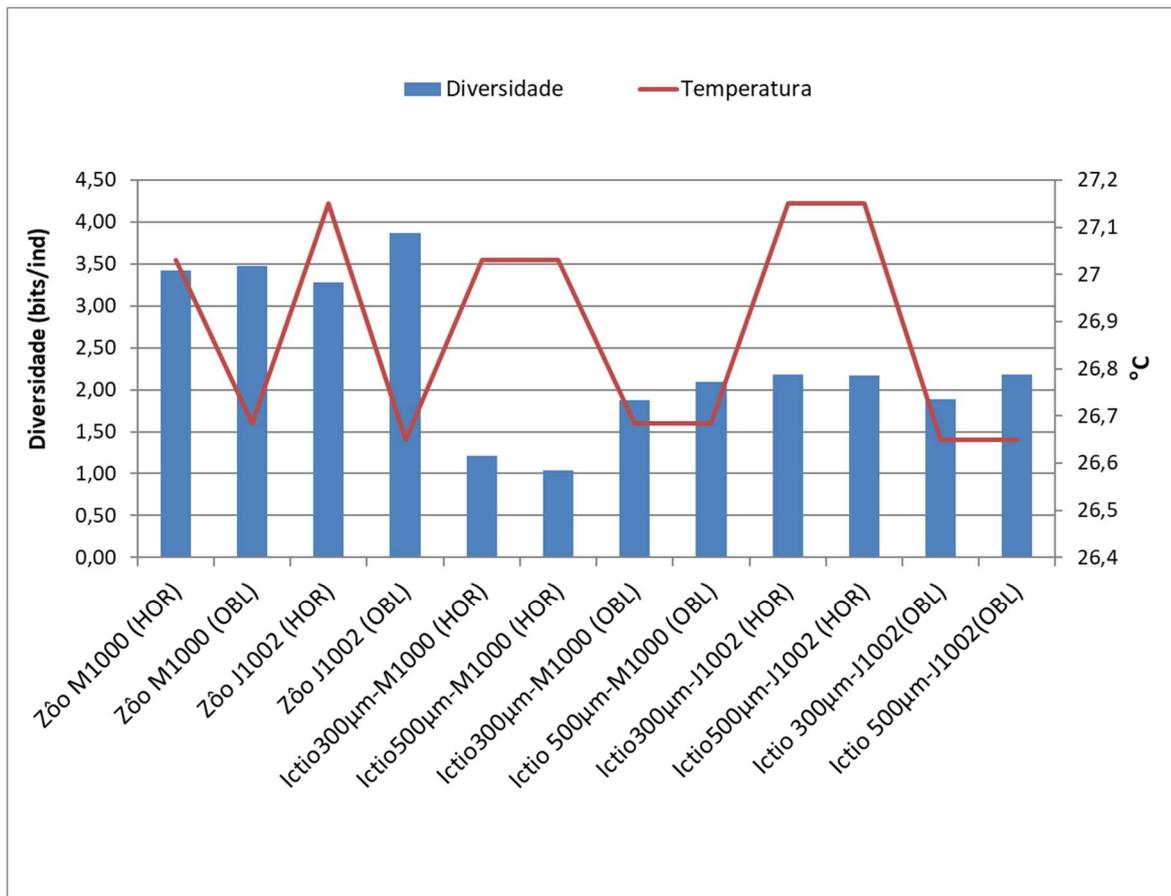


Figura VI.1-13 - Relação de temperatura com a diversidade zoo e ictioplânctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

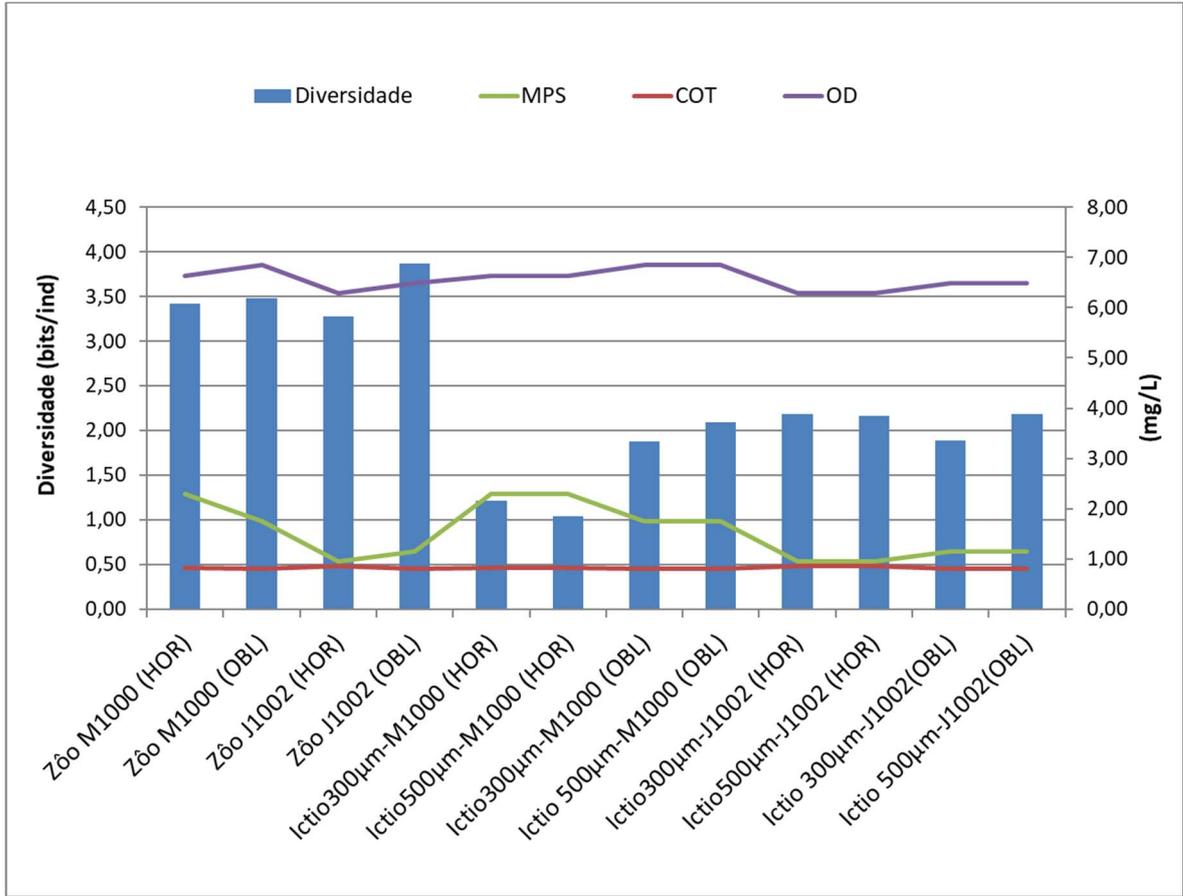


Figura VI.1-14 - Relação de MPS, COT e OD com a diversidade zoo e ictioplânctônica (da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10).

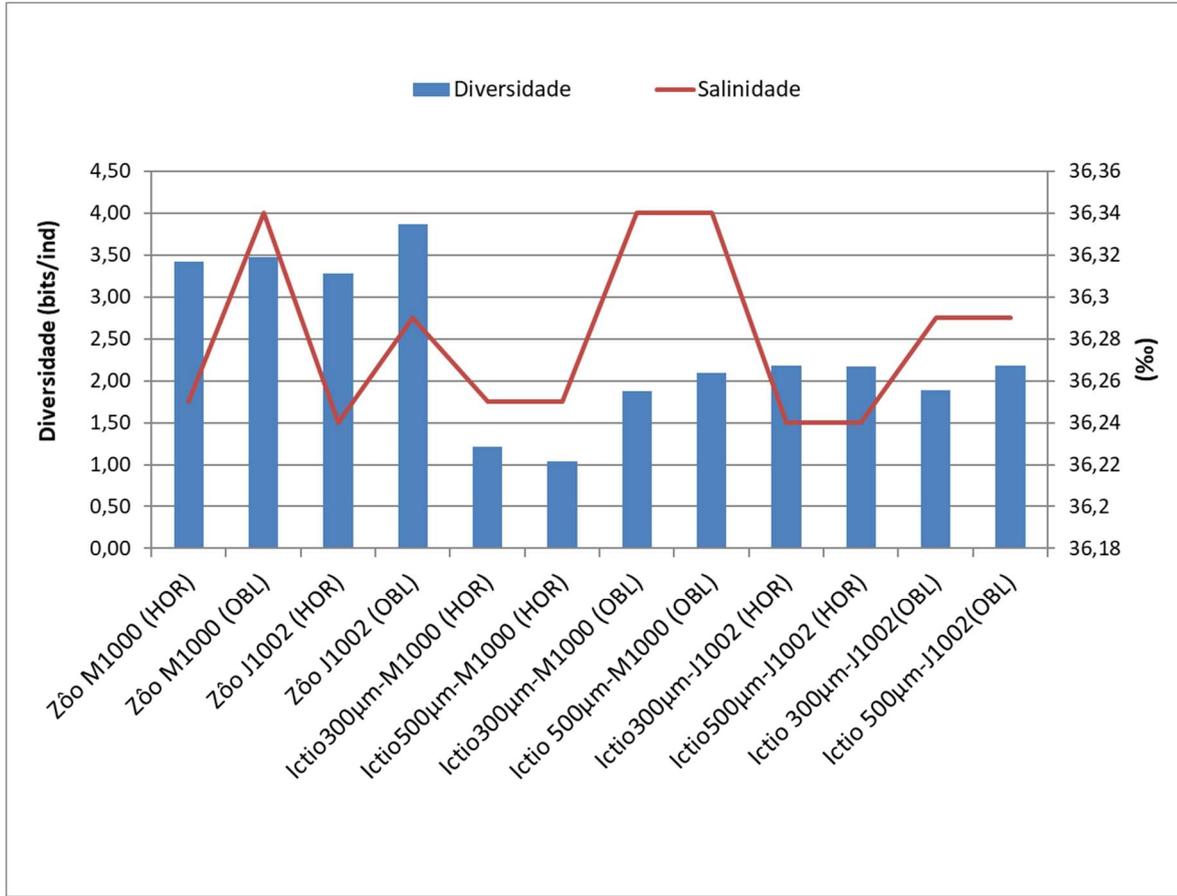


Figura VI.1-15 - Relação de salinidade com a diversidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

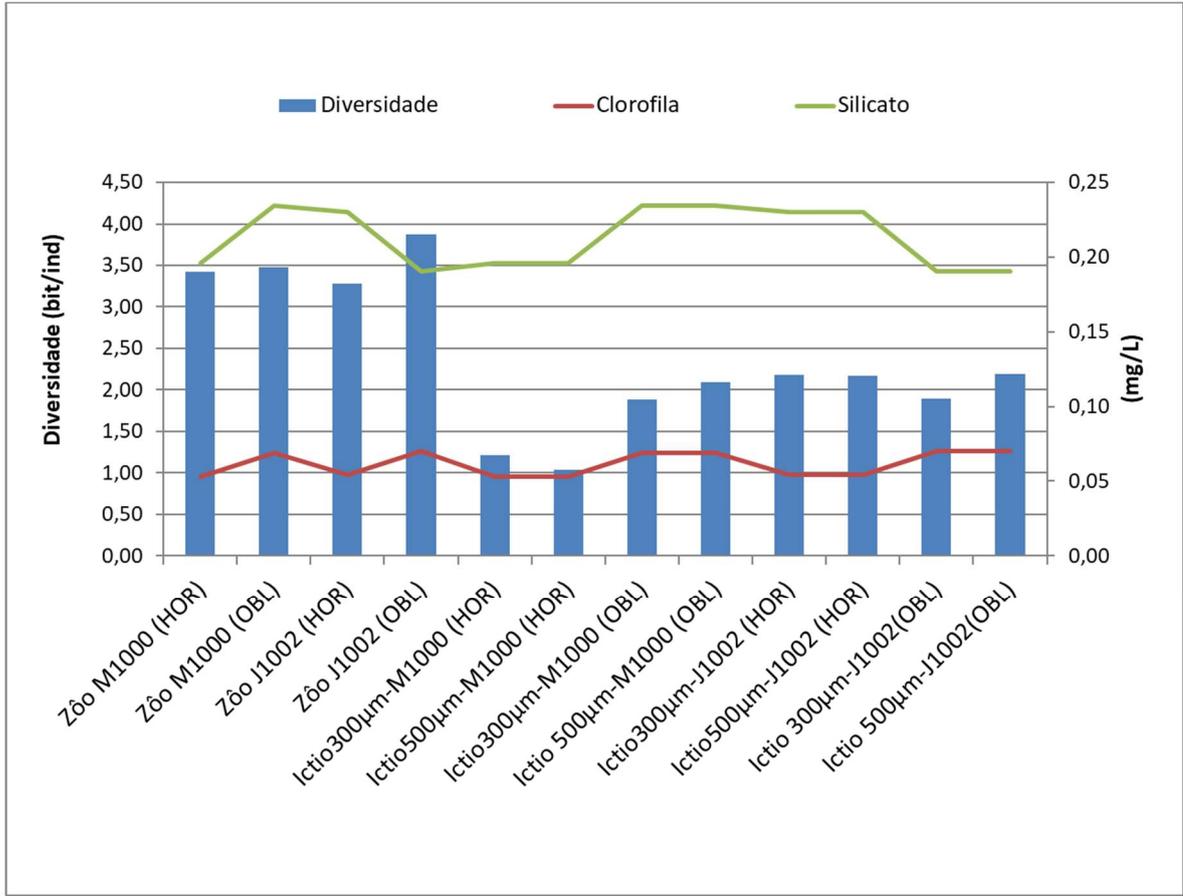


Figura VI.1-16 - Relação da clorofila-a com a diversidade zoe ictioplânctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

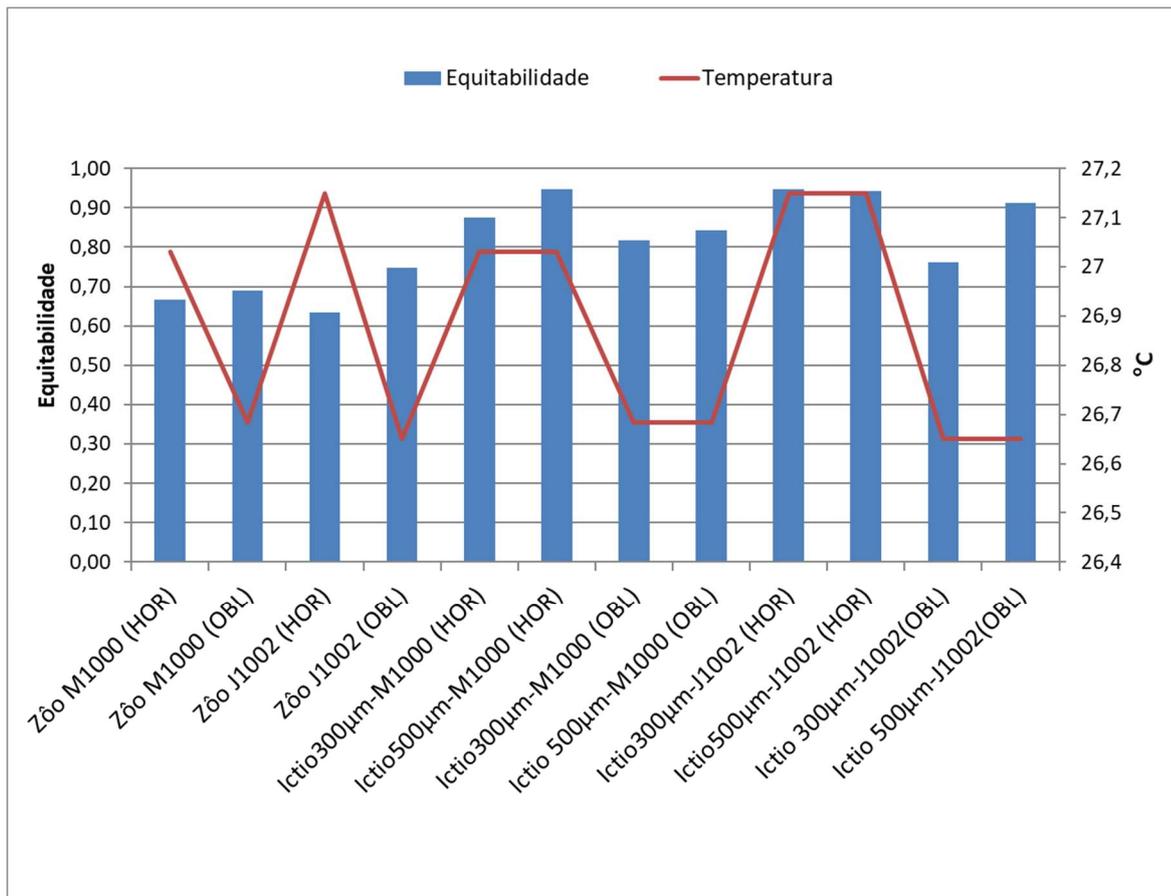


Figura VI.1-17 - Relação de temperatura com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

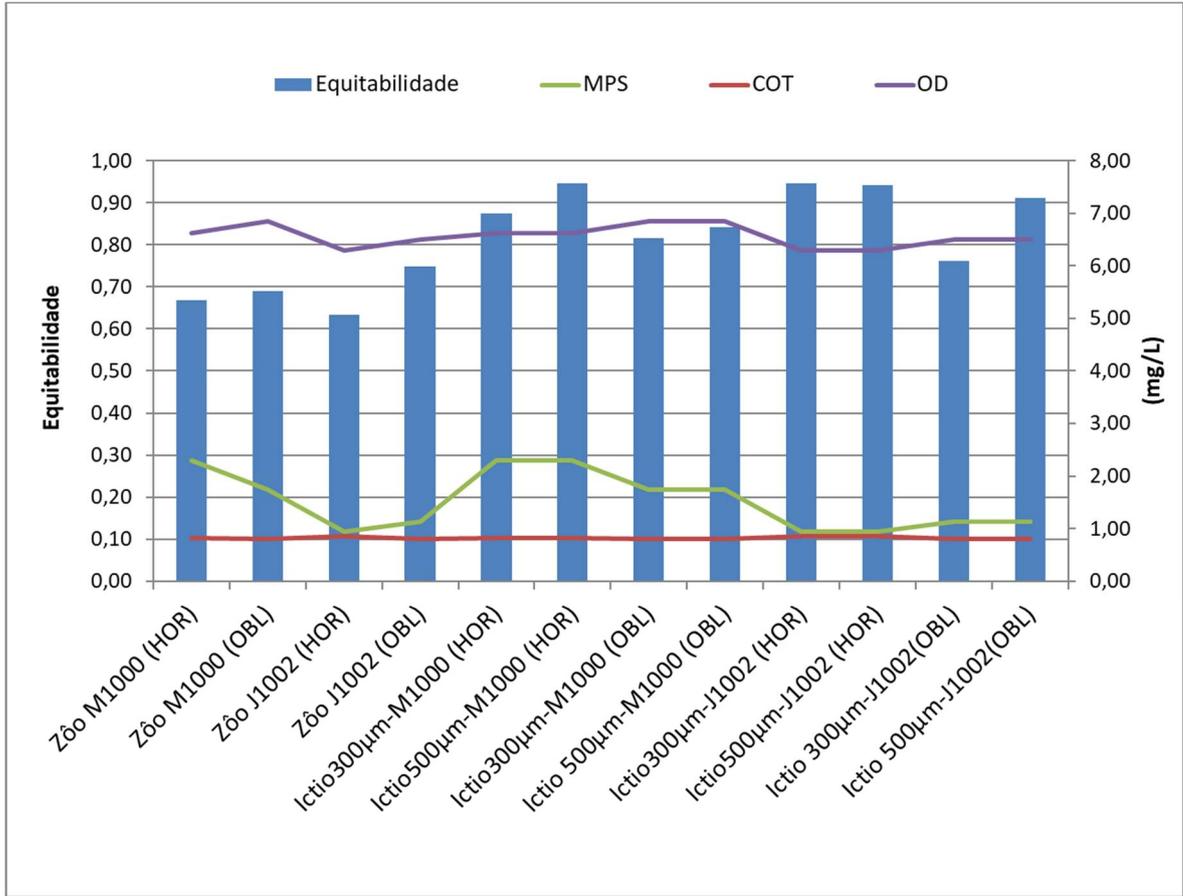


Figura VI.1-18 - Relação de MPS, COT e OD com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

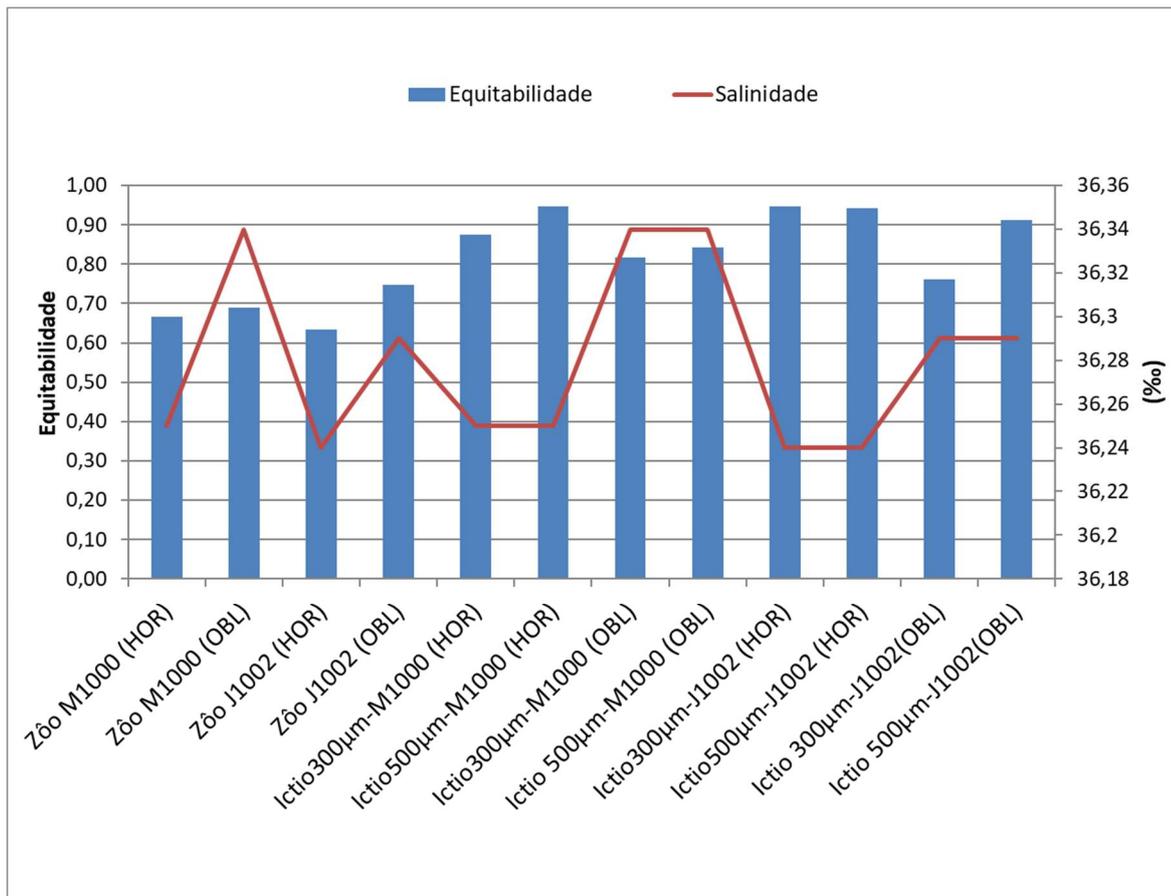


Figura VI.1-19 - Relação de salinidade com a equitabilidade zoo e ictioplanctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

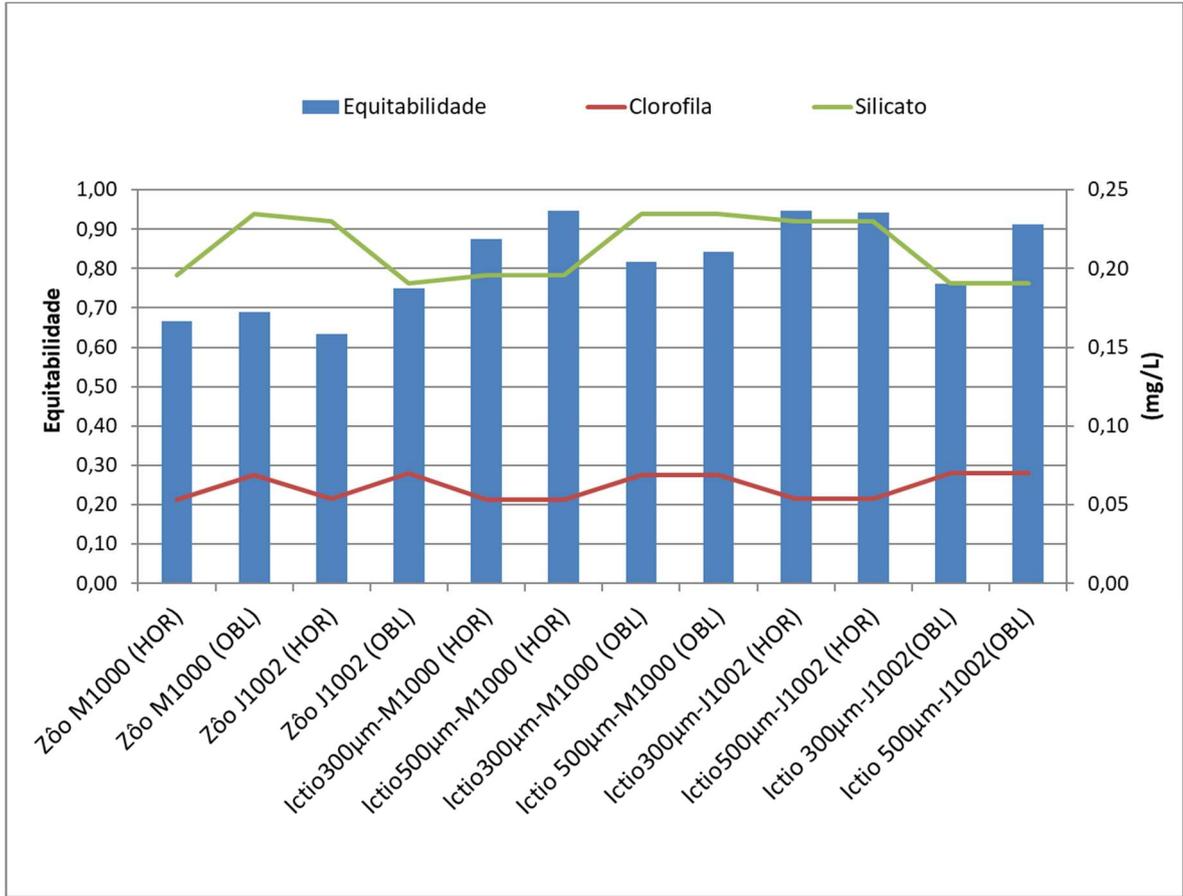


Figura VI.1-20 - Relação da clorofila-a e silicato com a equitabilidade zoo e icteoplânctônica da PMPR_E1_PIL-LL-NE_C10.

VII - 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 Tupi NE. Os resultados referem-se à qualidade da água e comunidade planctônica, sendo que os dados adquiridos subsidiaram a avaliação das condições ambientais do local, bem como de possíveis alterações em decorrência da operação do FPSO Cidade de Paraty na região.

O monitoramento histórico das massas d'água na região de PIL-LL-NE demonstra a recorrência de água tropicais nas águas superficiais de todas as estações, refletindo a mistura de águas costeiras com as águas centrais do atlântico. Nas camadas mais profundas é possível identificar a presença de águas polares provenientes da região antártica, enriquecidas com oxigênio dissolvido, na maioria das campanhas anteriores. A ocorrência dessa distribuição histórica de massas d'água permite elucubrar a ocorrência de gradiente sazonal de mistura com elevado potencial de dispersão de contaminantes por meio das correntes marítimas.

Com relação à qualidade da água, os resultados obtidos para os parâmetros de clorofila-a, MPS, COT e nutrientes durante a atual campanha de monitoramento são característicos de áreas oligotróficas (EKAU & KNOPPERS, 1999). A maioria dos resultados também é condizente 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, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e, 2023).

Os dados de temperatura e salinidade obtidos evidenciaram que todas as amostras foram coletadas em Água Tropical (AT) e na mistura de Água Costeira e Água Tropical (AC/AT) e em profundidade onde ainda não havia influência da Água

Central do Atlântico Sul (ACAS). Além disso, todos os parâmetros avaliados na atual campanha estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

Na presente campanha, as concentrações de sulfetos, fenóis, BTEX, HPAs, n-alcenos, MCNR e HTPs estiveram sempre abaixo do limite de quantificação das análises, evidenciando, assim, que não há indícios de contaminação por essas substâncias no entorno do local de operação do empreendimento.

Com relação ao descarte da água de produção, a comparação dos parâmetros avaliados no efluente, com os parâmetros avaliados no monitoramento ambiental (temperatura, salinidade, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, COT, BTEX, HPA e fenóis) mostrou que a influência desse efluente não pôde ser identificada a partir de 100 m à jusante do ponto de descarte, em nenhuma das profundidades amostradas, considerando que não é possível distinguir a variação dos resultados da variabilidade natural do meio.

A comunidade fitoplanctônica da atual campanha corrobora com os dados obtidos em campanhas realizadas anteriormente na região, com valores de riqueza relativamente maiores. Não foi observado um padrão de distribuição entre as estações para os parâmetros analisados, mas maiores valores de riqueza e densidade foram observados na superfície da estação PIL-LL-NE_M1000. As amostras mais semelhantes em relação à densidade dos filos foram: PIL-LL-NE_M1000_ABTC e PIL-LL-NE_J1002_ACTC, com 96% de similaridade.

Os dados qualitativos de zooplâncton na atual campanha também são condizentes com os dados registrados nas campanhas anteriores realizadas para a região. Em termos quantitativos, observou-se valores semelhantes de riqueza, de diversidade e menores de densidade e equitabilidade em relação aos dados anteriores. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas anteriores do monitoramento da atividade do Piloto de Tupi NE para todos os parâmetros. As amostras da atual campanha apresentaram contribuição relativa de densidade dos filos bastante similar, assim como sua composição proporcional de riqueza, com dominância de taxa e densidade de Arthropoda em todas as estações, como ocorreu ao longo das campanhas anteriores. A estação PIL-LL-NE_J1002 apresentou valores discretamente superiores para riqueza em ambos os arrastos e para densidade, diversidade e equitabilidade no arrasto oblíquo. Observou-se uma

tendência a separação entre as estações à montante e à jusante, onde se observou um agrupamento de 90% em relação à densidade.

Os dados de ictioplâncton corroboram a literatura encontrada para a região de interesse. Entre as campanhas do monitoramento de PMPR_E1_PIL-LL-NE foram observadas diferenças significativas para todos os parâmetros analisados. No geral, os maiores valores médios de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade foram observados nas amostras a jusante. Ainda nessa estação, no arrasto oblíquo e malha de 300 ocorreram a maior densidade e riqueza, e na malha de 500 a maior diversidade. Em relação à equitabilidade, os valores foram elevados em todas as estações, indicando uma distribuição mais igualitária de taxa, contudo destaca-se as amostras PIL-LL-NE_M1000_HOR_500 e PIL-LL-NE_J1002_HOR_300, com os maiores valores. Com 80% de similaridade houve o agrupamento das amostras PIL-LL-NE_M1000_OBL_300 e PIL-LL-NE_J1002_OBL_300, provavelmente devido às maiores densidades observadas nessas amostras.

Na atual campanha de monitoramento ambiental de PIL-LL-NE observou-se variação das estações amostrais em relação aos parâmetros ambientais, influenciada principalmente pelas concentrações de MPS. Nesse contexto, destaca-se que as camadas SUP e ACTC de PIL-LL-NE_M1000 e ACTC de PIL-LL-NE_J1002, tenderam a apresentar maiores concentrações de MPS, juntamente com maior densidade fitoplanctônica. Além disso, temperatura correlacionou positivamente com a riqueza fitoplanctônica, enquanto, salinidade, OD e clorofila a correlacionaram negativamente.

Quanto à dinâmica do zooplâncton e do ictioplâncton, verifica-se pouca variação dos índices ecológicos entre as amostras, especialmente entre a comunidade zooplanctônica. Para a comunidade zooplanctônica, destaca-se tendência de maiores valores em PIL-LL-NE_J1002_OBL, sem muita relevância dos parâmetros ambientais, que não apresentaram padrões específicos nessa amostra. Os menores valores foram observados em PIL-LL-NE_M1000_OBL, entre os maiores valores de salinidade, OD e pH. Para a comunidade ictioplanctônica, a tendência de variação dos indicadores biológicos ocorreu tanto entre as estações, como entre os arrastos. Dessa forma, amostras dos arrastos OBL e malha de 300 µm tenderam a apresentar maiores valores de densidade e riqueza, destacando

menores valores de clorofila a e COT enquanto as amostras a montante de de arrasto HOR e ambas as malhas, apresentaram os menores valores de densidade, riqueza e diversidade, juntamente com maior concentração de MPS.

A partir dos resultados obtidos nesta 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 Tupi NE, foi possível concluir que, atualmente não há indicativos de contaminação na região pelas atividades de produção realizadas pelo empreendimento em questão. Ressalta-se ainda que também não foram observadas alterações nos indicadores biológicos do plâncton em relação ao *background* da região que pudessem ser relacionadas com a atividade.

VIII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 des analyses chimiques en milieu Marin. **1 ère Ed. Brest Cedex**, Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), 395p.

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.

BAUMGARTEN, M. G. Z. et al. **Manual de análises em oceanografia química**. FURG. 132p 1996.

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.I.]: 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.

BRAGA, E.S. & NIENCHESKI, L.F.H. 2006. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI C. L. D. B. & MADUREIRA. L. S. P. (Eds). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**, São Paulo. EDUSP, p. 161-218.

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

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

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 25 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União nº 053**, Brasília, DF, 18 mar, p. 58-63.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 393, de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas

de petróleo e gás natural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União nº 153**, de 09 de agosto de 2007. Seção 1, p. 72-73.

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

CARPENTER, E.J. & CAPONE, D.G. 2008. Nitrogen fixation in the marine environment. *In: Nitrogen in the Marine Environment*, edited by D. G. Capone et al., 2nd Edn, Academic Press, San Diego, Calif, pp. 141-198.

CASTRO FILHO, B.M. & MIRANDA, L.B. 1998. Physical oceanography of the Western atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S. Coastal segment (4,W) *In: ROBINSON, A. R. & BRINK, K.H. (Eds). The Sea: The global coastal ocean – Regional studies and syntheses*. Vol. 11. John Wiley & Sons. 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. 2019. **Coleta, preservação, acondicionamento, tratamentos e análises de bordo de amostras para monitoramento ambiental costeiro e oceânico**.

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

CETESB. 2008. **Variáveis de Qualidade de Águas**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 08 de julho de 2008.

CHEN, H.J., QI, Y.P. & LIU, G.X. 2011. Spatial and temporal variations of macro- and mesozooplankton community in the Huanghai Sea (Yellow Sea) and East China Sea in summer and winter. **Acta Oceanol. Sin.** 30:84–95.

CHESTER, R. 2003. **Marine Geochemistry**. 2nd Ed. Liverpool: Blackwell Publishing Company.

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

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

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

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

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

DUGDALE, R.C. & GOERING, J.J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary production. **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. DE A. et al. 2012. Comunidade Zooplanctônica. In: ESTEVES, F. DE A. (Org.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, p. 523-580.

ESTEVES, F.A. & SANTOS, A.M. 2011. Propriedades físicas e químicas da água e sua importância limnológica. In: **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência.

ESTEVES, F.A. & SUZUKI, M.S. 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.

GALLON, J.R. & CHAPLIN, A.E. 2017. Recent studies on N₂-fixation by heterocystous cyanobacteria, p. 183-188. In: Both, J de Bruyn & WE Newton [eds.], Nitrogen fixation: hundred years after. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 1988. APUD DETONI, A. M.S. **A cianobactéria Trichodesmium spp. e fatores ambientais associados com sua abundância ao largo da plataforma sudeste-sul do Brasil**. FURG, Tese de doutorado, disponível em: <https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/bdtd/0000011477.pdf> Acesso: 26/04/2023.

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).

HOPPENRATH M., ELBRACHTER M. & DREBES, G. 2009. **Marine Phytoplankton: Selected microphytoplankton species from the North Sea**

around Helgoland and Sylt. Stuttgart, Germany: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nagele u. Obermiller). 264 pages.

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

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

IGAM. **Instituto mineiro de gestão de águas, projeto águas de Minas.** 2006. Disponível em: <http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/htmls/aminas_param_indi.htm>. Acesso em: 20 fev. 2006.

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

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

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.I.]: Addison Wesley Longman, p. 620.

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

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

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

LEVINTON, J. S. 2009. **Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology**. 3rd ed. New York: Oxford University Press.

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

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

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

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

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

MAIER, M.H. 1987. Ecologia da bacia do Rio Jacaré-Pepira (47° 55' - 48° 55' W; 22° 30' - 21° 55' S - Brasil). Qualidade da água do Rio Principal. **Ciência & Cultura** 39 (2): 164-185.

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

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

MARINO, L. 2016. Relação entre clorofila-a e cianobactérias no estado de São Paulo. **Revista DAE.** DOI: 10.4322/dae.2016.026.

MARTINELLI FILHO, J.E. 2013. **Variação temporal e crescimento do zooplâncton no litoral norte de São Paulo, com ênfase em estágios imaturos de copépodes.** Tese USP-IO.

MAUCHLINE, J. 1998. The biology of calanoid copepods. **Academic press.** San Diego, 710 p.

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.

MITRA, A., CASTELLANI, C., GENTLEMAN, W.C., JÓNASDÓTTIR, S.H., FLYNN, K.J., BODE, A., HALSBAND, C., KUHN, P., LICANDRO, P., AGERSTED, M.D., CALBET, A., LINDEQUE, P.K., KOPPELMANN, R., MØLLER, E.F., GISLASON, A., NIELSEN, T.G. & ST. JOHN, M. 2014. Bridging the gap between marine biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link. **Prog. Oceanogr** 129: 176–199.

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

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

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

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

NAVAS-PEREIRA, D. 1994. **Eutrofização e floração de fitoplâncton marinho. Ambiente**, Vol. 8 nº 1.

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?identification-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/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. 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. 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. 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 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 4ª 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 – Desenvolvimento da Produção de Iracema Sul. 5ª 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/BIOCONSULT. 2021b. 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. 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. 8ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2023. 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. 2016a. Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental do Piloto do Sistema de Produção e Escoamento de Óleo e Gás Natural na Área de Tupi, Bacia de Santos. 6ª campanha (fase de operação).

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

PETROBRAS/BOURSCHEID. 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. 8ª campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018c. 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. 2019d. 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. 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/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/BOURSCHEID. 2015b. Relatório Técnico de Avaliação Ambiental. Projeto de Monitoramento Ambiental da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural do Polo Pré-Sal da Bacia de Santos – Etapa 1 – Piloto de Tupi NE. 1ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 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 Tupi NE. 2ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2018a. 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. 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 Tupi NE. 4ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BOURSCHEID. 2019a. 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. 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 – Piloto de Tupi NE. 6ª 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 Tupi NE. 7ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021C. 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. 8ª 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 Tupi NE. 9ª 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. 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. 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. 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 Sapinhoá. 5ª 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 – Piloto de Sapinhoá. 6ª 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 Sapinhoá. 7ª Campanha (fase de operação).

PETROBRAS/BIOCONSULT. 2021a. 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. 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 Sapinhoá. 9ª 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. 2021. Relatório Técnico de Bordo da 8ª campanha 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 Nordeste (E1_PIL-LL-NE_C8).

PETROBRAS/OCEANPACT. 2023. Relatório técnico de bordo. 10ª Campanha de Monitoramento Ambiental de Plataformas Representativas da Bacia de Santos (PMPR-BS) – PIL-LL-NE_C10 (FPSO Cidade de Paraty).

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.

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

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

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

RICHA, R., SINHA, P. & HÄDER, D-P. 2014. Phytoplankton productivity in a changing Global Climate. In Sebatia, M. T. **Phytoplankton: Biology**,

Classification and Environmental Impactcs. New York: Nova Science Publishers.

RICHARDSON, A.J. 2008. In hot water: zooplankton and climate change. – ICES. **Journal of Marine Science** 65: 279–295.

RYTHER, J.H., DUNSTAN, W.M. 1971. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine enviroment. **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.

SHER, E.B., SHERR, B.F. & HARTZ, A.J. 2009. Microzooplankton grazing impact in the Western Arctic Ocean. Deep Sea Research Part II **Topical Studies in Oceanography** 56(17):1264-1273.

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.

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: 2676–2850.

SIMONEIT, B.R.T. & MAZURIK, M.A. 1982. Organic matter in the troposphere II: Natural background of biogenic lipid matter in aerosols over the rural western United States. **Atmospheric Environment** 16: 2139-2159.

SIMONEIT, B.R.T. 1984. Organic matter of the troposphere III: Characterization and sources of petroleum and pyrogenic residues in aerosols over the western United States. **Atmospheric Environment** 18: 51-67.

SIMPSON, E.H. 1949. Measurement of diversity. **Nature** 63: 688.

SMETI, H., PAGANO, M., MENKES, C., LEBOURGES-DHAUSSY, A., HUNT, B.P.V., ALLAIN, V., RODIER, M., DE BOISSIEU, F., KESTENARE, E. & SAMMARI, C. 2015. Spatial and temporal variability of zooplankton off New Caledonia (Southwestern Pacific) from acoustics and net measurements. **J. Geophys. Res.: Oceans** 120: 2676–2850.

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.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER – SMEWW. 22^a Ed. Centennial Edition, 2005.

STEINBERG, D.K. & LANDRY, M. R. 2017. Zooplankton and the Ocean Carbon Cycle. **Annual Review of Marine Science** 9:413-444. DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015924.

STEMPNIEWICZ, L., BŁACHOWIAK-SAMOŁYKB, K. & WĘŚLAWSKIB, J.M. 2007. Impact of climate change on zooplankton communities, seabird populations and arctic terrestrial ecosystem—A scenario. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography** 54 (23–26): 2934–2945.

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

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

TOMMASI, L.R. 1994. **Programa de monitoramento ambiental oceânico da Bacia de Campos, RJ (Relatório Final)**. Fundespa, Geomap, Cenpes-Petrobras, São Paulo, 169pp.

TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2008. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2005. Physical and Chemical Properties Models. Pollution Prevention Framework. Disponível em: <www.epa.gov/opFT/sf/pubs/p2frame-june05a2.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2010.

_____ Method 3510C. Separatory funnel liquid-liquid extraction.

_____ Method 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 8260C. Volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

_____ Method 8285D. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS).

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

UTERMÖHL, H. 1958. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. **Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theorestiche und Angewandte Limnologie** 10:109-122.

VALENTIN, J.L. 1988. **A dinâmica do plâncton na ressurgência de Cabo-Frio - RJ**. Inst. Pesq. Mar. Rio de Janeiro. Coletânea de trabalhos, In: F.P. Brandini (editor). Memórias de III EBP Curitiba.

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

VEGA-PÈRES, L.A. 1993. Estudo do zooplâncton da região de Ubatuba, Estado de São Paulo. **Publicação esp. Inst. Oceanogr. S Paulo**. 10: 65-84.

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

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

VENKATESAN, M.I. & KAPLAN, I.R. 1982. Distribution and transport of hydrocarbons in surface sediments of the Alaskan outer continental shelf. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 46: 2135-2149.

VIEIRA, S. 2008. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: Elsevier.

VIEIRA, L.M. et al. 2015. Filo Bryozoa: novas perspectivas no estudo da biodiversidade marinha no Brasil. **Informativo Sociedade Brasileira de Zoologia**, Universidade de São Paulo.

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

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.

YAMAGISHI-COSTA, J., SAMPAIO, D.S., MARQUES, D. & CAMPOS, P.A. 2023. Apostila Sistemática de Criptógamas: **Atlas Digital**. Consulta em 26/01/2023. Fonte: <http://www.criptogamas.ib.ufu.br/node/5>

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

IX - EQUIPE TÉCNICA

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

Profissional	Dr. Mário Sérgio Ximenez
Empresa	Bioconsult Ambiental
Formação Profissional	Biólogo
Registro no Conselho de Classe	CRBio nº: 12895/02
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental – IBAMA	204221
Responsável pela (s) seção (ões)	Coordenação Geral; Verificação e aprovação de Relatório de Resultados
Assinatura	

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

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

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

X - ANEXOS

Anexo X-1 – Carta de aceite de material biológico

Anexo X-2 – Laudos analíticos das amostras físico-químicas

Anexo X-3 – Laudos analíticos das amostras biológicas

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

Anexo X-5 – Ressalva de Zooplâncton