

**Projeto de Monitoramento Ambiental do
Sistema de Produção e Escoamento de Gás
Natural e Petróleo no Bloco BS-500,
Bacia de Santos**

**RTAA - Relatório Técnico de Avaliação Ambiental
15ª Campanha da Fase de Operação**

Volume Único

RTAA_URG_C15_BCA_22012024-02

Revisão 00

Março/2024



E&P

ÍNDICE GERAL

I - INTRODUÇÃO	27/288
II - OBJETIVO	29/288
II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29/288
III - ÁREA DE ESTUDO	30/288
III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPO DE URUGUÁ	30/288
III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE	31/288
IV - MATERIAL E MÉTODOS	39/288
IV.1 - ATIVIDADES DE CAMPO	39/288
IV.1.1 - Qualidade da Água	43/288
IV.1.2 - Fitoplâncton	47/288
IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton	47/288
IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	52/288
IV.2.1 - Qualidade da Água	52/288
IV.2.2 - Fitoplâncton	57/288
IV.2.3 - Zooplâncton	57/288
IV.2.4 - Ictioplâncton	58/288
IV.3 - TRATAMENTO DOS DADOS	60/288
IV.3.1 - Qualidade da Água	60/288
IV.3.2 - Plâncton	66/288
IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	72/288
IV.4.1 - Qualidade da Água	72/288
IV.4.2 - Biota Aquática	73/288
IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA	74/288

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76/288
V.1 - QUALIDADE DA ÁGUA	76/288
V.1.1 - Temperatura e Salinidade	76/288
V.1.2 - Oxigênio Dissolvido (OD)	90/288
V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico.....	97/288
V.1.4 - Clorofila-a	103/288
V.1.5 - Nutrientes	110/288
V.1.6 - Material Particulado em Suspensão (MPS) e Carbono Orgânico Total (COT)	124/288
V.1.7 - Sulfetos	134/288
V.1.8 - Fenóis	137/288
V.1.9 - Hidrocarbonetos.....	138/288
V.1.9.1 - Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's).....	139/288
V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)	140/288
V.1.10 - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX)	143/288
V.2 - PLÂNCTON	143/288
V.2.1 - Fitoplâncton.....	144/288
V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem	146/288
V.2.1.2 - Análise Qualitativa	149/288
V.2.1.3 - Análise Quantitativa	153/288
V.2.1.4 - Análise da Distribuição Espacial do Fitoplâncton.....	161/288
V.2.1.5 - Análise de Cluster e MDS.....	170/288
V.2.2 - Zooplâncton	172/288
V.2.2.1 - Avaliação da Amostragem	174/288
V.2.2.2 - Análise Qualitativa	177/288
V.2.2.3 - Análise Quantitativa	180/288
V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton.....	189/288
V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS.....	192/288
V.2.3 - Ictioplâncton	195/288
V.2.3.1 - Avaliação da Amostragem	196/288
V.2.3.2 - Análise Qualitativa	201/288

V.2.3.3 - Análise Quantitativa	203/288
V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton	216/288
V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS	219/288
VI - ANÁLISE INTEGRADA.....	222/288
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO.....	222/288
VI.1.1 - Variáveis Físico-Químicas e Clorofila-a.....	222/288
VI.1.2 - Relação do Fitoplâncton com o Ambiente Físico-químico	224/288
VI.1.3 - Relação do Zooplâncton e Ictioplâncton com o Ambiente Físico- químico	231/288
VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	257/288
VIII - BIBLIOGRAFIA.....	261/288
IX - EQUIPE TÉCNICA	283/288
X - ANEXOS.....	285/288

TABELAS E QUADROS

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do Programa de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Produção no Bloco BS-500, Bacia de Santos – Projeto de Monitoramento de Plataformas Representativas – Sistema Uruguá (PMAEpro-BS_PMPR_URG), com suas respectivas fases e períodos.	28/288
Tabela III-1 – Concentrações dos parâmetros monitorados na água produzida do FPSO Cidade de Santos, para o 1º semestre de 2023.	35/288
Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário das ETE-BB, ETE-BE e a ETE Águas Cinzas do FPSO Cidade de Santos, para o 1º trimestre de 2023.	37/288
Tabela IV-1 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°S) das estações de amostragem de água e plâncton do PMPR_URG_C15. R = estações reposicionadas.	42/288
Tabela IV-2 – Profundidades (m) das diferentes camadas amostradas nas coletas de água e fitoplâncton na atual campanha.	46/288
Tabela IV-3 - Volume de água do mar filtrado durante as coletas de zooplâncton e ictioplâncton no PMPR_URG_C15.	48/288
Quadro IV-1 – Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água e plâncton coletadas durante o PMPR_URG_C15.	51/288
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.	53/288
Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a qualidade da água.	61/288
Tabela IV-6 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	65/288
Tabela IV-7 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a biota planctônica.	71/288

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-1 – Valores de temperatura (°C) medidos nas quatro profundidades amostradas na atual campanha de monitoramento.	77/288
Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos nas quatro profundidades amostradas na atual campanha de monitoramento.	81/288
Tabela V-3 - Valores de temperatura (°C) e salinidade encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos.	84/288
Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água nos diferentes níveis de profundidade das estações amostradas nas campanhas de monitoramento da fase de operação do Sistema de Uruguá.	89/288
Tabela V-4 – Concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	91/288
Tabela V-5 - Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos.	95/288
Tabela V-6 – Valores de pH medidos nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	99/288
Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos.	102/288
Tabela V-8 – Concentração de clorofila-a (µg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	105/288
Tabela V-9 - Valores de clorofila-a (µg/L) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	108/288
Tabela V-10 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L N), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/L P) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos (nd = não detectado e nq = não quantificado).	112/288
Tabela V-11 – Concentração de silicato (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	119/288
Tabela V-12 – Concentração de MPS (mg/L) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	126/288

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela V-13 - Valores de MPS (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	128/288
Tabela V-14 – Concentração de COT (mg/L C) nas estações de coleta da atual campanha de monitoramento.	131/288
Tabela V-15 - Valores de COT (mg/L C) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos. n.d. = não detectado e n.q. = não quantificado.	133/288
Tabela V-16 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L)), diversidade (bits/ind), e equitabilidade encontrados para a comunidade fitoplanctônica do PMPR_URG_C15.	153/288
Tabela V-17 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o fitoplâncton nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.	154/288
Tabela V-18 - Valores de riqueza (número de taxa) de taxa, densidade (ind/m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplanctônica da atual campanha de monitoramento DO PMPR_URG.	181/288
Tabela V-19 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o zooplâncton nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.	182/288
Tabela V-20 - Valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/100m ³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade ictioplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_URG.	204/288
Tabela V-21 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o ictioplâncton nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.	205/288

TABELA OU QUADRO	PÁG.
Tabela VI-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 15ª campanha de monitoramento ambiental do Sistema de Uruguá. Correlações destacadas em vermelho são significativas ($p < 0,05$).	224/288
Tabela VI-2 – Indicadores biológicos das comunidade zooplanctônicas e ictioplanctônicas coletados através de arrastos horizontais (HOR) e oblíquos (OBL) nas estações amostrais URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	232/288

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura III-1 - Localização do FPSO Cidade de Santos – Bacia de Santos.	31/288
Figura III-2 - Estruturas de fundo e poços no entorno do FPSO Cidade de Santos. Os poços 9-TBU-2HA-RJS e 7-TBU-7HP-RJS localizam-se fora da área de abrangência do mapa, nas posições 24° 10' 18,52" S e 42° 42' 01,38" W e 24° 11' 00,88" S e 42° 42' 12,89" W, respectivamente, entre 13 e 14 km a norte da unidade de produção.	32/288
Figura III-3 - Volume de Água produzida descartada pelo FPSO Cidade de Santos.	33/288
Figura III-4 - Volume de efluente sanitário descartado pelo FPSO Cidade de Santos.	34/288
Figura III-5 - Volume de efluente oleoso descartado pelo FPSO Cidade de Santos.	35/288
Figura IV-1 - Diagrama do RV Ocean Stalwart mostrando o posicionamento dos principais equipamentos da embarcação.	39/288
Figura IV-2 – Gráficos com os dados pré-amostragem gerados com o emprego do ADCP em 28/02/2023 para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton.	41/288
Figura IV-3 – Mapa da malha amostral para coleta de água e plâncton do PMPR_URG_C15.	42/288
Figura IV-4 – Rosette com garrafas de coleta de amostras de água do modelo Go-flo utilizadas na atual campanha de monitoramento.	44/288
Figura IV-5 – Disco de Secchi utilizado para medir a transparência da coluna da água durante o PMPR_URG_C15.	45/288
Figura IV-6 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 µm para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante o PMPR_URG_C15.	49/288
Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 µm para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante o PMPR_URG_C15.	49/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-1 – Temperatura (°C) da água nas profundidades de coleta das diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento ambiental do PMPR_URG.	78/288
Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD nas diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	80/288
Figura V-3 – Valores de salinidade obtidos nas profundidades de coleta das diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PRMP_URG.	82/288
Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	83/288
Figura V-5 – Diagrama T-S na atual campanha de monitoramento. Em vermelhos, limites estabelecidos por Castro et al. (2006), e em preto, limites estabelecidos por Tommasi (1994) e Silveira et al. (2000).	86/288
Figura V-6 – Distribuição vertical das massas d'água na atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG durante a perfilagem com CTD.	87/288
Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas estações da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	93/288
Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	94/288
Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	96/288
Figura V-10 – Perfis de pH obtidos nas camadas SUP, ACTC, TC e ABTC das estações de coleta da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	101/288
Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	103/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-12 – Perfis das concentrações de clorofila-a obtidos nas estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	106/288
Figura V-13 - Mosaico da concentração de clorofila na superfície do mar obtidos a partir de dados coletados entre os dias 23 de fevereiro e 02 de março de 2023. O círculo em branco indica a localização do FPSO Cidade de Santos.	107/288
Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	110/288
Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	114/288
Figura V-16 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	116/288
Figura V-18 – Valores das concentrações de silicato (mg/L) obtidos nas profundidades de coleta das diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.	120/288
Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	121/288
Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	123/288
Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS obtidos nas estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento de PMPR_URG.	127/288
Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	129/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-23 – Perfis das concentrações de COT obtidos nas estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento de PMPR_URG.	132/288
Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina (em C4 ocorreu um valor máximo de 142 mg/L) e D) Abaixo da Termoclina.	134/288
Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	136/288
Figura V-26 – Concentrações de HTP (µg/L) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação do Sistema de Produção e Escoamento de Gás atural e Petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.	142/288
Figura V-27 - Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) Skeletonema; (B) Chaetoceros; (C) Pleurosigma. Dinoflagelados: (D) Noctiluca; (E) Ceratium. Primnesiófita: (F) Coccolithus.	145/288
Figura V-28 – Número cumulativo de taxa por amostra de fitoplâncton, encontrados ao longo das campanhas da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	148/288
Figura V-29 – Riqueza de taxa das divisões fitoplanctônicas ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A divisão Pyrrophycohyta corresponde ao filo Myzozoa, identificado nas campanhas C13, C14 e C15.	150/288
Figura V-30 – Box plots representativos dos valores de riqueza (nº de taxa) das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.	155/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-31 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/L) das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.	156/288
Figura V-32 – Densidade de organismos (ind/L) das divisões fitoplanctônicas na atual campanha (C15) de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média do grupo $\pm$ desvio-padrão.	158/288
Figura V-33 - Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.	159/288
Figura V-34 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.	160/288
Figura V-35 – Número de taxa fitoplanctônicos nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).	161/288
Figura V-36 – Número de taxa fitoplanctônicos nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).	162/288
Figura V-37 – Número de taxa fitoplanctônicos nas estações M1000 e J1002 e nas profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões e filos fitoplanctônicos; a linha cinza representa a média de todas as amostras.	163/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-38 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.	164/288
Figura V-39 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média $\pm$ desvio-padrão.	165/288
Figura V-40 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) das estações M1000 e J1002 da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. 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.	166/288
Figura V-41 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica nas duas estações (M1000 e J1002) e nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	168/288
Figura V-42 – Cluster da comunidade fitoplanctônica nas amostras da atual campanha (C15) de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	171/288
Figura V-43 – MDS da comunidade fitoplanctônica das amostras das estações M1000 e J1002 da atual campanha (C15) de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	172/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-44 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplancônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).	173/288
Figura V-45 – Número cumulativo de taxa por amostra de zooplâncton obtidas por arrastos oblíquos e horizontais, encontrados ao longo das últimas oito campanhas da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife ¹ , ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas e pontilhadas representam os desvios padrões da curva.	176/288
Figura V-46 – Riqueza (nº de taxa) dos filos zooplancônicos encontrados ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	178/288
Figura V-47 – Box plots representativos dos valores de riqueza de taxa (número de taxa) das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 (arrasto oblíquo e horizontal) do PMPR_URG.	183/288
Figura V-48 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/m ³) das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 (arrasto oblíquo e horizontal) do PMPR_URG.	185/288
Figura V-49 – Densidade de organismos (ind/m ³) dos filos zooplancônicos na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média das amostras ± desvio-padrão.	186/288
Figura V-50 - Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 do PMPR_URG.	187/288
Figura V-51 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 do PMPR_URG.	188/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-52 – Riqueza (Número de taxa) dos filos zooplanctônicos nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha cinza representa a média de todas as amostras da campanha C15.	190/288
Figura V-53 - Densidade de organismos dos filos zooplanctônicos (ind/m ³) nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação PMPR_URG. A linha cinza representa a média de todas as amostras da campanha C15.	191/288
Figura V-54 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade zooplanctônica nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	192/288
Figura V-55 – Cluster da comunidade zooplanctônica nas duas estações e nos dois arrastos (OBL e HOR) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	193/288
Figura V-56 – MDS da comunidade zooplanctônica nas duas estações e nos dois arrastos (OBL e HOR) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	194/288
Figura V-57 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de <i>Trachurus simmetricus</i> . Adaptado de Moser (1984).	196/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-58 – Número cumulativo de taxa de ictioplncton das amostras de arrastos oblíquos encontrados ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	198/288
Figura V-59 – Número cumulativo de taxa de ictioplncton das amostras de arrastos horizontais encontrados ao longo das últimas oito campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.	200/288
Figura V-60 – Riqueza (nº de taxa) das classes e ordens ictioplanctônicas ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	202/288
Figura V-61 – Box plots representativos de riqueza (número de taxa) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas do PMPR_URG.	206/288
Figura V-62 – Box plots representativos de riqueza (número de taxa) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas últimas oito campanhas do PMPR_URG.	207/288
Figura V-63 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/100m ³) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas consideradas do PMPR_URG.	209/288
Figura V-64 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/100m ³) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas oito campanhas consideradas do PMPR_URG.	210/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-65 – Densidade de organismos (ind/100m ³) das ordens ictioplanctônicas na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média das amostras $\pm$ desvio-padrão.	211/288
Figura V-66 – Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas do programa de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	212/288
Figura V-67 – Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas oito últimas campanhas do programa de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	213/288
Figura V-68 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas do programa de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	214/288
Figura V-69 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas oito últimas campanhas do PMPR_URG.	215/288
Figura V-70 – Número de taxa das ordens ictioplanctônicas nas duas estações, nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas malhas de redes (Rede 300 e 500 μ m) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha cinza representa a média de todas as amostras.	216/288
Figura V-71 – Composição da densidade de organismos das ordens ictioplanctônicas (ind/100m ³) nas duas estações, nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas malhas de redes (Rede 300 e 500 μ m) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	217/288

FIGURA	PÁG.
Figura V-72 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade ictioplanctônica nas duas estações, nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas malhas de redes (Rede 300 e 500 µm) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	218/288
Figura V-73 – Cluster da comunidade ictioplanctônica nas duas estações, nos dois arrastos (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas redes (300 µm e 500 µm) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	220/288
Figura V-74 – MDS da comunidade ictioplanctônica nas duas estações, nos dois arrastos (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas redes (300 µm e 500 µm) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.	221/288
Figura VI-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico de todas as nove estações amostrais de PMPR_URG_C15.	223/288
Figura VI-2 – Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico das estações URG_M1000 e URG_J1002, sobreposta com os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações amostrais.	226/288
Figura VI-3 – Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das duas estações de amostragem de variáveis ambientais e fitoplâncton de PMPR_URG_C15.	228/288
Figura VI-4 - Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica de PMPR_URG_C15.	228/288
Figura VI-5 – Relação temperatura com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	234/288

FIGURA	PÁG.
Figura VI-6 – Relação do OD, MPS e COT com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15	235/288
Figura VI-7 – Relação da clorofila a com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	236/288
Figura VI-8 – Relação da salinidade com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	237/288
Figura VI-9 – Relação do silicato com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	238/288
Figura VI-10 – Relação da temperatura com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	239/288
Figura VI-11 – Relação do OD, MPS e COT com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	240/288
Figura VI-12 – Relação da clorofila a com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	241/288
Figura VI-13 – Relação da salinidade com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	242/288

FIGURA	PÁG.
Figura VI-14 – Relação do silicato com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	243/288
Figura VI-15 – Relação da temperatura e diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	244/288
Figura VI-16 – Relação do OD, MPS e COT com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	245/288
Figura VI-17 – Relação da clorofila a com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	246/288
Figura VI-18 – Relação da salinidade com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	247/288
Figura VI-19 – Relação do silicato com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	248/288
Figura VI-20 – Relação da temperatura a Equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	249/288
Figura VI-21 – Relação do OD, MPS e COT com a Equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	250/288

FIGURA	PÁG.
Figura VI-22 – Relação da clorofila a com a Equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	251/288
Figura VI-23 – Relação da salinidade com a Equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	252/288
Figura VI-24 – Relação do silicato com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.	253/288

ANEXOS

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

I - INTRODUÇÃO

A operação do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos, empreendimento aqui tratado por Sistema de Uruguá, teve início em julho de 2010.

Conforme o Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), elaborado em outubro de 2007 e que subsidiou o licenciamento ambiental do Sistema de Uruguá (processo IBAMA/MMA nº 02022.004193/2006-49), existe um risco potencial de que a instalação das estruturas submarinas necessárias ao desenvolvimento da produção acarrete alterações da qualidade do sedimento e biota bentônica associada, e que o descarte de água de produção em mar aberto, durante a fase de operação da unidade marítima, afete a qualidade da água do mar e da biota planctônica associada (PETROBRAS/ENSR-AECOM, 2007). Assim, com o intuito de verificar e monitorar a qualidade ambiental na área de influência direta das atividades e de se identificar a ocorrência de possíveis impactos na região, deu-se início a execução do Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Uruguá, o qual é realizado em atendimento às condicionantes da Licença de Operação nº 941/2010, de 13 de julho de 2010.

A primeira campanha do projeto, referente à fase de pré-instalação, foi realizada em setembro de 2009 em um ambiente ainda sem interferências do empreendimento em questão (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a). Já a segunda campanha foi realizada logo após a instalação do empreendimento, porém, anteriormente ao início da sua operação, em janeiro de 2010 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010b). As demais campanhas ocorreram com periodicidade anual, já durante a operação do Sistema de Uruguá. As campanhas estão detalhadas abaixo, no Quadro I-1.

Quadro I-1 - Campanhas realizadas no âmbito do Programa de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Produção no Bloco BS-500, Bacia de Santos – Projeto de Monitoramento de Plataformas Representativas – Sistema Uruguá (PMAEpro-BS_PMPR_URG), com suas respectivas fases e períodos.

Campanha	Data	Fase
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C1	setembro de 2009	pré-instalação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C2	janeiro de 2010	pós-instalação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C3	dezembro de 2010 e janeiro de 2011	Pós-instalação e operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C4	novembro de 2011	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C5	dezembro de 2012	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C6	janeiro de 2014	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C7	fevereiro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C8	novembro de 2015	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C9	dezembro de 2016	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C10	janeiro de 2018	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C11	outubro de 2018	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C12	fevereiro de 2020	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C13	fevereiro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C14	novembro de 2021	operação
PMAEpro-BS_PMPR_URG_C15	fevereiro de 2023	operação

O presente relatório descreve os procedimentos técnicos realizados em campo, as metodologias de análise e os resultados obtidos durante a 15ª campanha do Projeto de Monitoramento Ambiental de Plataformas Representativas - Sistema Uruguá (PMPR_URG_C15) no Bloco BS-500, Bacia de Santos, referida neste relatório como 13ª campanha da fase de operação do monitoramento ambiental do sistema de Uruguá. A campanha foi realizada no período de 28 de fevereiro a 03 de março de 2023, a bordo do navio R/V *Ocean Stalwart*, e envolveu a coleta de amostras para análise de parâmetros físicos e químicos da água e parâmetros biológicos do plâncton. Os resultados obtidos foram tratados com o intuito de investigar os possíveis impactos decorrentes do descarte de água de produção em mar aberto pela unidade marítima de produção que opera no Sistema de Uruguá, o FPSO Cidade de Santos.

II - OBJETIVO

O objetivo principal do Projeto de Monitoramento Ambiental de Plataformas Representativas - Sistema Uruguá (PMPR_URG) é monitorar e avaliar a qualidade ambiental na área de influência direta do empreendimento, permitindo a identificação de possíveis impactos decorrentes das atividades de instalação das estruturas e operação da unidade de produção.

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

II.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente campanha apresenta como objetivos específicos:

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

III - ÁREA DE ESTUDO

III.1 - BACIA DE SANTOS – CAMPO DE URUGUÁ

A Bacia de Santos (BS) localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 352.000 km², entre os paralelos 23º e 28º Sul. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos, no Alto de Cabo Frio, e ao sul com a Bacia de Pelotas, no Alto de Florianópolis. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca, enquanto a leste, a Bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006). A BS tem um formato de lua crescente, ou seja, a plataforma continental é mais estreita nas proximidades de Cabo Frio (50 km) e Cabo de Santa Marta (70 km), onde a isóbata de 200 m, próxima à quebra da plataforma continental, aproxima-se da costa, e mais larga na parte central (230 km), em frente ao litoral de São Paulo, onde aquela isóbata encontra-se mais afastada da linha costeira (SOUZA, 2000). O limite batimétrico da bacia de Santos é considerado, atualmente, em cerca de 2.000 m de lâmina d'água (PORTILHO-RAMOS *et al.*, 2006) (Figura III-1).

O FPSO Cidade de Santos está situado na região norte da Bacia de Santos, a aproximadamente 80 milhas náuticas ao Sul da cidade do Rio de Janeiro/RJ (Figura III-1).

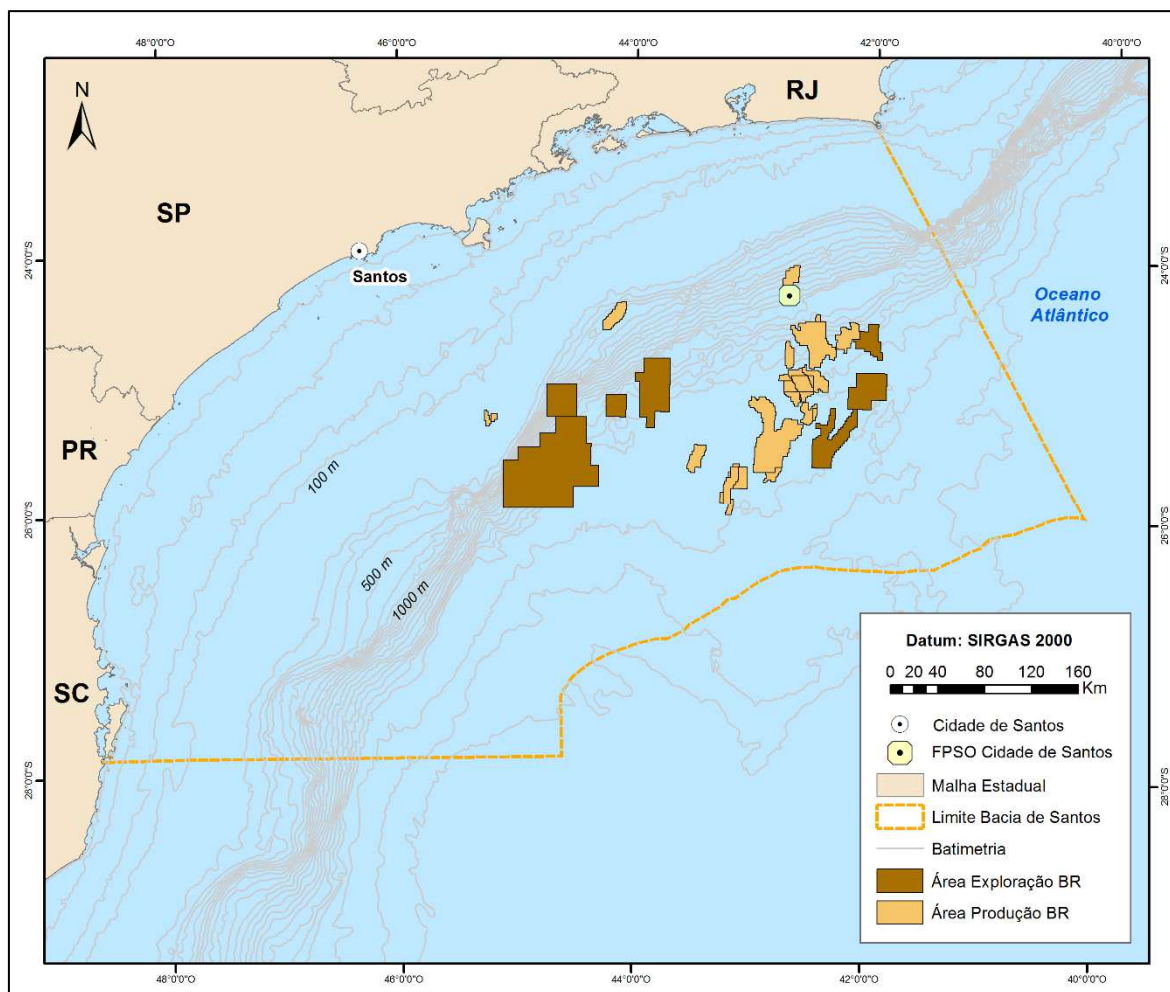


Figura III-1 - Localização do FPSO Cidade de Santos – Bacia de Santos.

III.2 - CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE

O Sistema de Uruguá é constituído por uma unidade de produção: o FPSO Cidade de Santos, seus sistemas de ancoragem e de interligação entre os poços produtores e a unidade marítima, e por um gasoduto de exportação com 174 km de extensão, que se prolonga obliquamente às isóbatas no sentido ascendente ao talude continental até a Plataforma de Mexilhão (PMXL-1), entre as profundidades de 1.100 e 172 m, e por onde é escoada a produção de gás. Já o escoamento da produção de petróleo é realizado através de navios aliviadores.

À época da execução da 13ª campanha da fase de operação do sistema de Uruguá, dois campos encontram-se interligados ao sistema, o Campo de Uruguá, com 8 poços produtores (os poços 7-URG-06HP-RJS, 7-URG-08HP-RJS, 7-URG-

12HP-RJS, 7-URG-10HP-RJS, 7-URG-14HP-RJS, 7-URG-19D-RJS, 7-URG-16HP-RJS e 7-URG-17D-RJS), sendo que os poços 7-URG-06HP-RJS, 7-URG-08HP-RJS, 7-URG-10HP-RJS, 7-URG-14HP-RJS e 7-URG-19D-RJS, estavam em produção e os demais fechados no momento da campanha, e 2 poços injetores (8-URG-20H-RJS e 8-URG-22-HP-RJS), e o Campo de Tambaú, com 2 poços produtores fechados (9-TBU-2HA-RJS e 7-TBU-7HP-RJS), localizados cerca de 13 km ao norte da unidade de produção (Figura III-2).

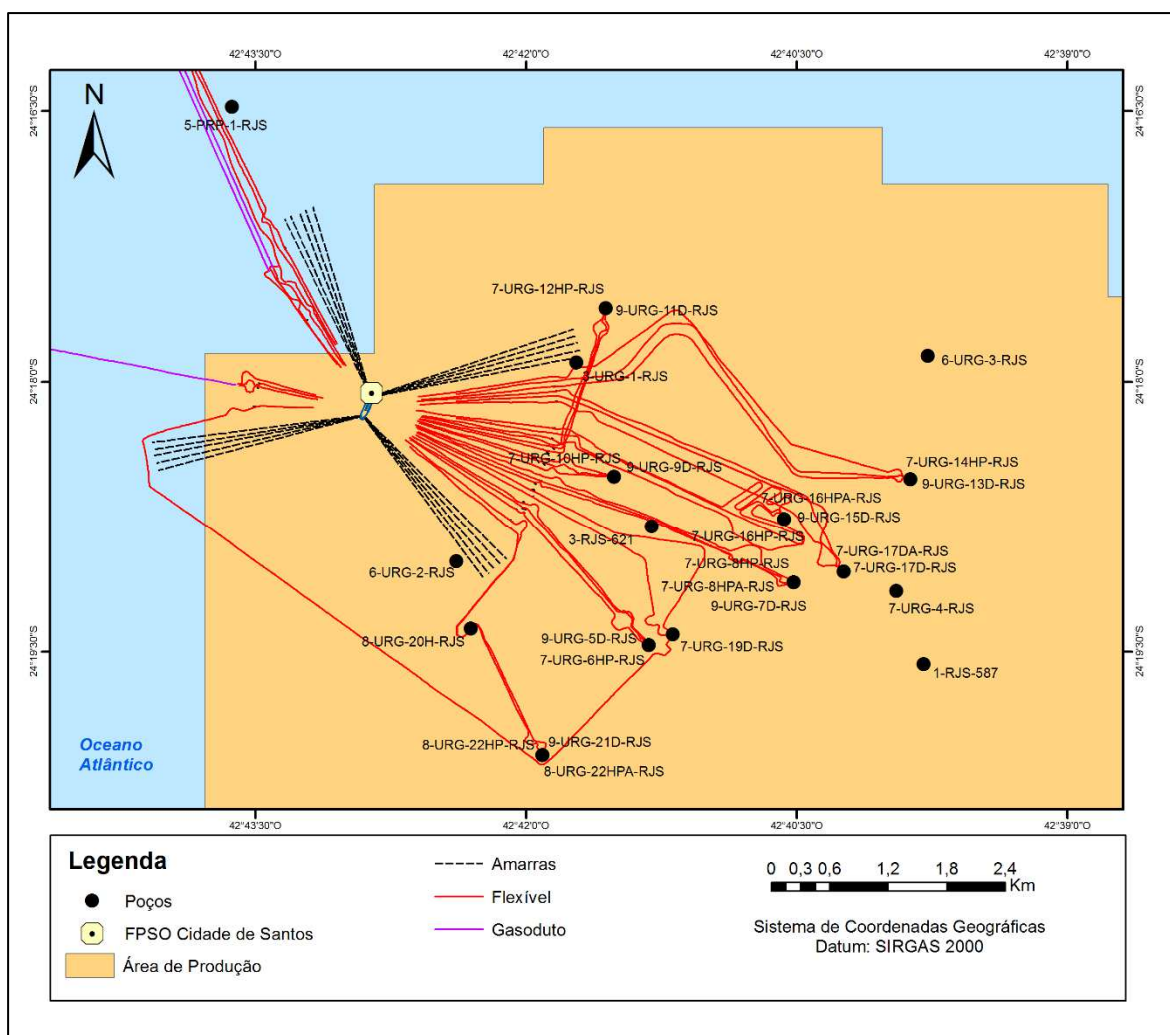
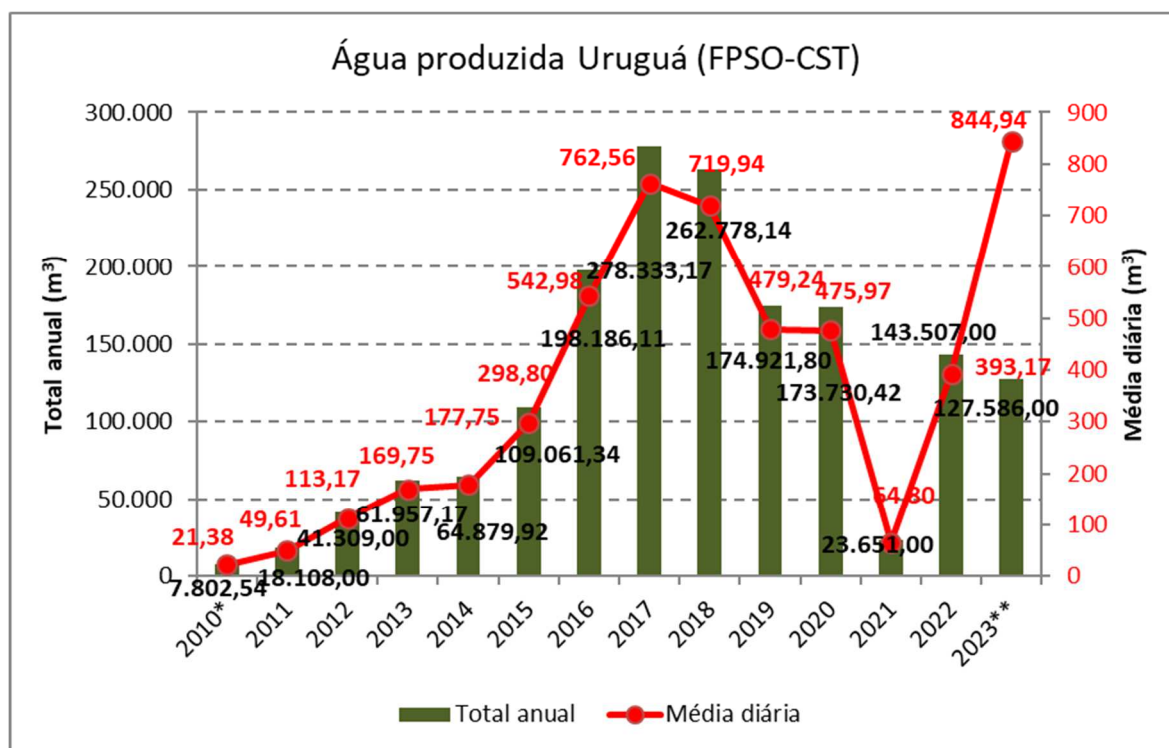


Figura III-2 - Estruturas de fundo e poços no entorno do FPSO Cidade de Santos. Os poços 9-TBU-2HA-RJS e 7-TBU-7HP-RJS localizam-se fora da área de abrangência do mapa, nas posições $24^{\circ} 10' 18,52'' S$ e $42^{\circ} 42' 01,38'' W$ e $24^{\circ} 11' 00,88'' S$ e $42^{\circ} 42' 12,89'' W$, respectivamente, entre 13 e 14 km a norte da unidade de produção.

Em atendimento à resolução CONAMA nº 393/2007 e a 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, com periodicidade semestral, conforme estipulado nos instrumentos legais supracitados. Alguns dos resultados deste monitoramento, informados pelo Sistema de Informação da Produção (SIP) da Petrobras são reproduzidos a seguir.

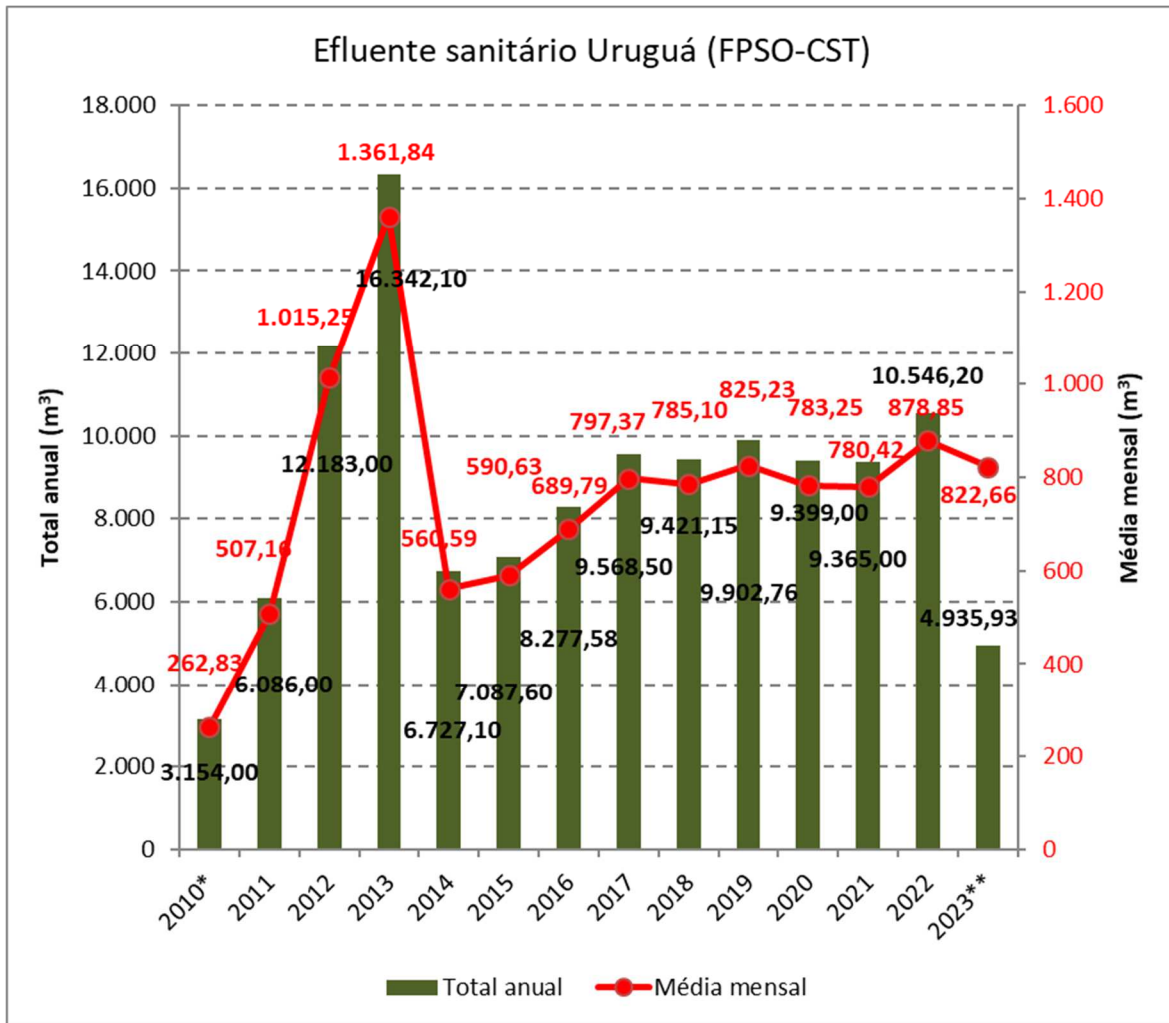
Os volumes dos efluentes descartados pelo FPSO Cidade de Santos desde o início da sua operação, em julho de 2010, são apresentados a seguir: água de produção na Figura III-3, efluente sanitário na Figura III-4 e efluente oleoso na Figura III-5. Importante ressaltar que houve descarte de água produzida durante o período da campanha, entre 28/02/2023 e 01/03/2023, com volume total de 2004,00 m³.



* Do início da produção em julho/10 até dezembro/10

** Volume considerado de Janeiro a Maio.

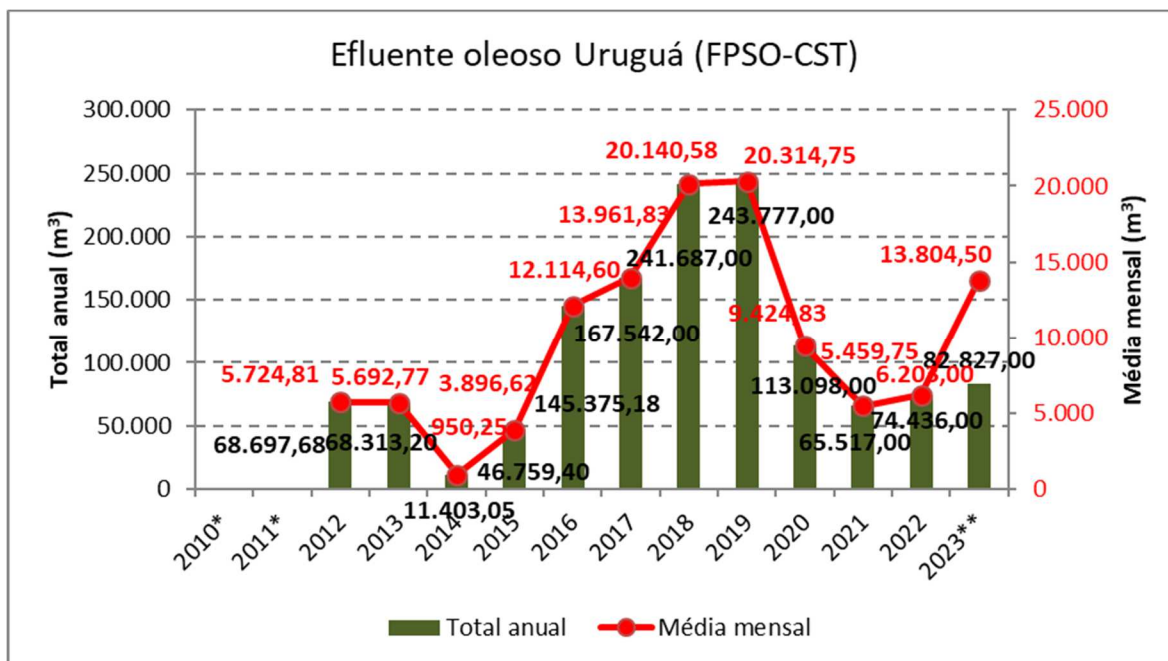
Figura III-3 - Volume de Água produzida descartada pelo FPSO Cidade de Santos.



* Do início da produção em julho de 2010, até dezembro

** Volume considerado de Janeiro a Junho

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



* Não houve medição.

** Volume considerado de Janeiro a Junho

Figura III-5 - Volume de efluente oleoso descartado pelo FPSO Cidade de Santos.

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

Tabela III-1 – Concentrações dos parâmetros monitorados na água produzida do FPSO Cidade de Santos, para o 1º semestre de 2023.

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Inorgânicos	Arsênio	0,0013	mg/L
Inorgânicos	Bário	116,441	mg/L
Inorgânicos	Cádmio	≤0,0005	mg/L
Inorgânicos	Cromo	0,0008	mg/L
Inorgânicos	Cobre	≤0,005	mg/L
Inorgânicos	Ferro	0,697	mg/L
Inorgânicos	Manganês	4,772	mg/L
Inorgânicos	Níquel	0,002	mg/L
Inorgânicos	Chumbo	≤0,0002	mg/L
Inorgânicos	Vanádio	≤0,0005	mg/L
Inorgânicos	Zinco	0,005	mg/L
Inorgânicos	Mercúrio	≤0,00009	mg/L
Radioisótopos	Rádio -226	≤0,44	Bq/L

Composto	Parâmetro	Resultado	Unidade
Radioisótopos	Rádio -228	≤0,32	Bq/L
Orgânicos - HPA	Naftaleno	7,679	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenafteno	0,0370	µg/L
Orgânicos - HPA	Acenaftileno	0,0090	µg/L
Orgânicos - HPA	Antraceno	0,0530	µg/L
Orgânicos - HPA	Fenantreno	0,307	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoreno	≤0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Fluoranteno	≤0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Pireno	≤0,0015	µg/L
Orgânicos - HPA	Benzo(a)antraceno	0,006	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	0,0180	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	0,001	
Orgânicos - BTEX	Benzeno	189,70	µg/L
Orgânicos - BTEX	Tolueno	50,450	µg/L
Orgânicos - BTEX	Etilbenzeno	9,700	µg/L
Orgânicos - BTEX	o-Xilenos	4,2	µg/L
Orgânicos - BTEX	m,p-Xilenos	13,250	µg/L
Orgânico - Fenóis	Fenóis	331,27	µg/L
Orgânico	Óleos e Graxas	15	mg/L
Complementares	Carbono Orgânico Total -COT	793,1	mg/L
Complementares	pH	7,06	-
Complementares	Salinidade	81.606,22	mg/L
Complementares	Temperatura	24,2	°C
Complementares	Nitrogênio Amoniacal Total	120	mg/L
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CENO	0,78	%
Toxicidade Crônica - <i>Echinometra lucunter</i>	CEO	1,56	%

Já os resultados das análises dos efluentes sanitários das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's), a ETE-BB – ETE Bombordo, a ETE-BE – ETE Boreste e a ETE Águas Cinzas, referentes ao 1º trimestre de 2023 são apresentados na Tabela III-2. As concentrações abaixo do limite de detecção

identificadas com o monitoramento de compostos ricos em hidrocarbonetos sugerem que os efluentes sanitários não apresentam um risco potencial para gerar impacto associado ao descarte desse tipo de efluente. A exceção ocorreu para o resultado de clorofórmio medido no efluente da ETE- bombordo.

Tabela III-2 - Concentrações dos parâmetros monitorados no efluente sanitário das ETE-BB, ETE-BE e a ETE Águas Cinzas do FPSO Cidade de Santos, para o 1º trimestre de 2023.

Ponto	Parâmetro	Resultado	Unidade
ETE-BB	DBO Entrada	1740	mg O ₂ /L
ETE-BB	DQO Entrada	2637,90	mg O ₂ /L
ETE-BB	DBO Saída	9,90	mg O ₂ /L
ETE-BB	DQO Saída	175,40	mg O ₂ /L
ETE-BB	TOG Total	<5,00	mg/L
ETE-BB	pH	8,60	-
ETE-BB	Cloro Residual	2,00	mg/L
ETE-BB	Coliformes Totais	259	NMP/100mL
ETE-BB	Clorobenzeno	<0,0050	mg/L
ETE-BB	Dicloroeteno	<0,0130	mg/L
ETE-BB	Tricloroeteno	<0,0040	mg/L
ETE-BB	Clorofórmio	0,0461	mg/L
ETE-BB	Tetracloroeto de Carbono	<0,0016	mg/L
ETE-BB	PCBs	<0,070	µg/L
ETE-BE	DBO Entrada	413	mg O ₂ /L
ETE-BE	DQO Entrada	529,40	mg O ₂ /L
ETE-BE	DBO Saída	83,20	mg O ₂ /L
ETE-BE	DQO Saída	213,60	mg O ₂ /L
ETE-BE	TOG Total	6,00	mg/L
ETE-BE	pH	8,87	-
ETE-BE	Cloro Residual	2,00	mg/L
ETE-BE	Coliformes Totais	7500	NMP/100mL
ETE-BE	Clorobenzeno	<0,0030	mg/L
ETE-BE	Dicloroeteno	<0,0060	mg/L
ETE-BE	Tricloroeteno	<0,0030	mg/L
ETE-BE	Clorofórmio	<0,0030	mg/L
ETE-BE	Tetracloroeto de Carbono	<0,0030	mg/L
ETE-BE	PCBs	<0,1400	µg/L
ETE Água Cinza	DBO Entrada	6574	mg O ₂ /L
ETE Água Cinza	DQO Entrada	9997,60	mg O ₂ /L
ETE Água Cinza	DBO Saída	32,20	mg O ₂ /L
ETE Água Cinza	DQO Saída	257,90	mg O ₂ /L

ETE Água Cinza	TOG Total	<5,00	mg/L
ETE Água Cinza	pH	7,48	-
ETE Água Cinza	Cloro Residual	0,62	mg/L
ETE Água Cinza	Coliformes Totais	<1	NMP/100mL
ETE Água Cinza	Clorobenzeno	<0,0030	mg/L
ETE Água Cinza	Dicloroeteno	<0,0060	mg/L
ETE Água Cinza	Tricloroeteno	<0,0030	mg/L
ETE Água Cinza	Clorofórmio	<0,0960	mg/L
ETE Água Cinza	Tetracloroeto de Carbono	<0,0030	mg/L
ETE Água Cinza	PCBs	<0,140	µg/L

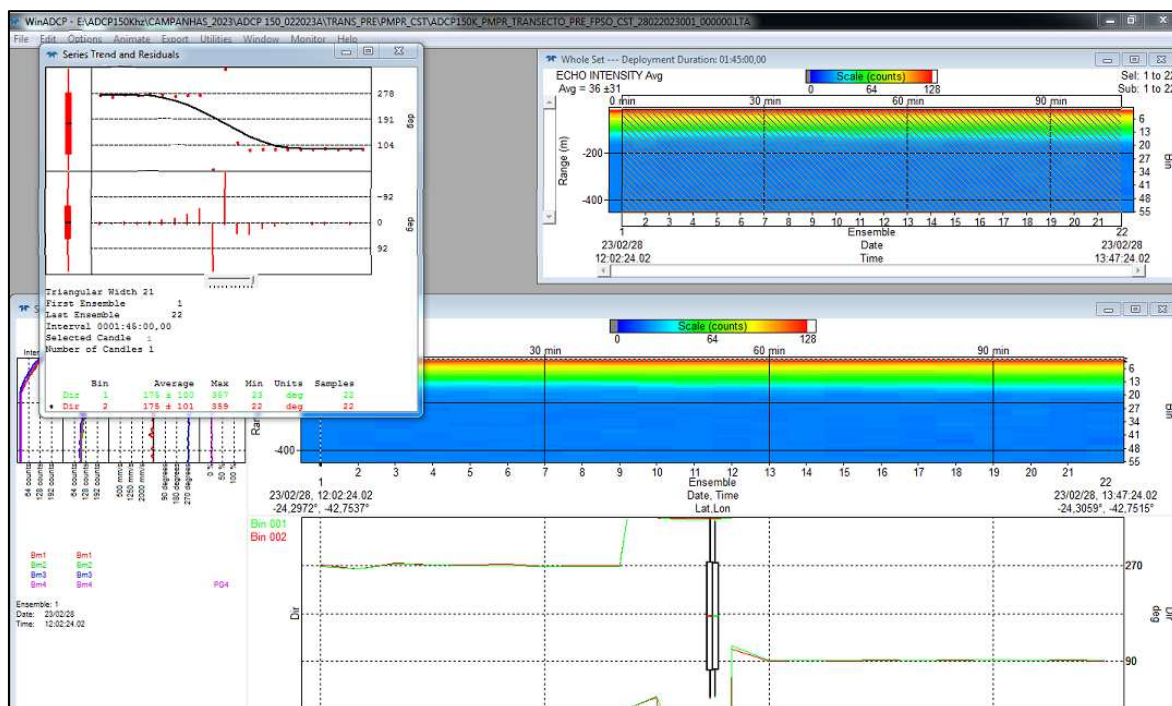
Os resultados aqui apresentados são posteriormente integrados aos resultados da campanha, no Item V - Resultados e Discussão.

amostragem. O desembarque das amostras coletadas durante a campanha ocorreu entre as 08h45min e 16h35min do dia 03/03/2023 no Estaleiro Mauá, Niterói/RJ, com o envio das remessas das amostras de água e biota aos laboratórios de análise.

Para a malha de amostragem de água, inicialmente, foi realizada uma medição da corrente no local, através de perfilagem com o ADCP de casco do navio em dois transectos, um localizado 500 m à montante da plataforma e o outro, 500 m à jusante (Figura IV-2). Após a determinação da direção e intensidade da corrente na área, as coletas de água foram realizadas em nove estações com posição definida em campo. Os dados mostraram que a corrente apresentava direção de 175° , a partir da qual foram plotadas as estações para realização das coletas de água e plâncton. As estações foram dispostas da seguinte maneira: uma estação 1.000 m a montante da plataforma, uma estação 100 m a jusante, uma estação 250 m a jusante, três estações 500 m a jusante, dispostas em ângulo de 15° entre si, e três estações 1.000 m a jusante, também dispostas com ângulos de 15° 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 no Tabela IV-1.

Cabe destacar que ao término das amostragens, foi realizada nova medição da corrente no local através de perfilagem com o ADCP de casco do navio, nos mesmos transectos previamente perfilados, indicando uma direção de 131° .



Fonte: Relatório Técnico de Bordo Oceanpact(RL-3A00.00-5521-996-OC8-002.pdf).

Figura IV-2 – Gráficos com os dados pré-amostragem gerados com o emprego do ADCP em 28/02/2023 para determinação da direção preferencial da corrente, utilizada para o posicionamento da malha amostra móvel de água e plâncton.

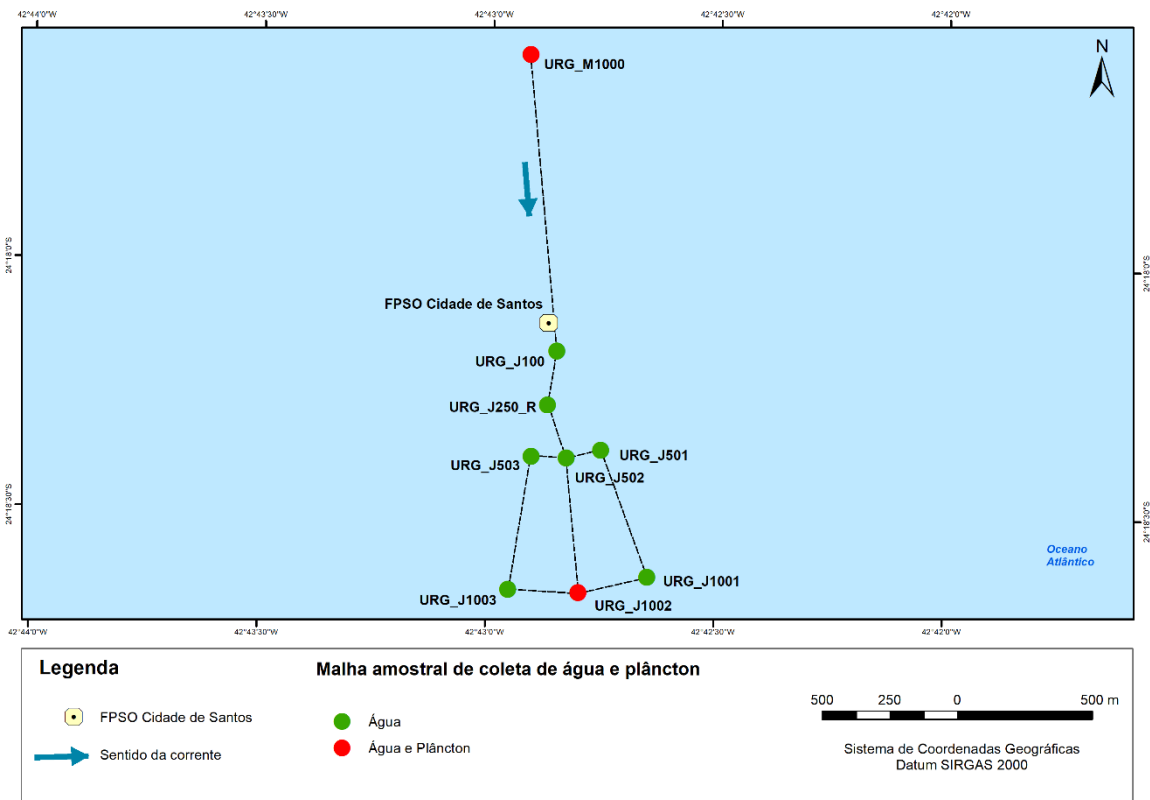


Figura IV-3 – Mapa da malha amostral para coleta de água e plâncton do PMPR_URG_C15.

Tabela IV-1 – Coordenadas UTM (Datum SIRGAS 2000, Zona UTM 23S, MC 45°S) das estações de amostragem de água e plâncton do PMPR_URG_C15. R = estações reposicionadas.

Estações	Compartimentos Coletados	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
FPSO Cidade de Santos	-	7310436,02	731954,03
URG_M1000	Água e plâncton	7311427,54	731889,01
URG_J100	Água	7310331,73	731984,88
URG_J250R	Água	7310132,49	731950,01
URG_J501	Água	7309961,50	732147,17
URG_J502	Água	7309933,25	732019,74
URG_J503	Água	7309938,94	731889,34
URG_J1001	Água	7309491,66	732318,18
URG_J1002	Água e plâncton	7309435,15	732063,32
URG_J1003	Água	7309446,54	731802,52

Os procedimentos técnicos de coleta e processamento das amostras de água e plâncton empregados durante a 13ª campanha da fase de operação do Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás

Natural e Petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos, foram realizados em conformidade com o escopo da campanha, informações obtidas na reunião de pré-campanha e com o protocolo de coleta elaborado pelo CENPES (PDEDS/AMA, 2019).

IV.1.1 - Qualidade da Água

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

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

As profundidades dos estratos de cada estação são apresentadas na Tabela IV-2. As amostragens foram realizadas com a utilização de um sistema CTD (SBE 9plus) / Rosette equipado com 24 garrafas oceanográficas de 10 litros 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 período do dia. As amostras de água foram coletadas entre 13h:56 e 16h:28, entre 20h:32 e 20h:49 do dia 28/02/2023, entre 00h:24 e 00h:48, entre 03h:18 e 03h:41, entre 06h:06 e 07h:15, entre 09h:36 e 10h:35, entre 13h:22 e 14h:28, entre 19h:17 e 19h:42, e entre 22h:30 e 22h:51 do dia 01/03/2023.

Devido à presença de obstáculos de fundo, por segurança, a perfilagem de CTD não foi realizada até o fundo para a maioria das estações, exceto em URG_J503, URG_J1003 e URG_M1000. A estação URG_100 foi perfilada até 100m. A estação URG_J250_R foi reposicionada em 10° e 50m, e perfilada até

150m. As estações URG_J501, URG_J502, URG_J1001 e URG_J1002 foram perfiladas até 150m.

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

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



Fonte: Relatório Técnico de Bordo Oceanpact (RL-3A00.00-5521-996-OC8-002.pdf).

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



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 o PMPR_URG_C15.

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

Estações	Níveis	Profundidade (m)
URG_M1000	SUP	5
	ACTC	15
	TC	30
	ABTC	45
URG_J100	SUP	5
	ACTC	12
	TC	24
	ABTC	36
URG_J250R	SUP	5
	ACTC	14
	TC	28
	ABTC	42
URG_J501	SUP	5
	ACTC	14
	TC	29
	ABTC	43
URG_J502	SUP	5
	ACTC	13
	TC	27
	ABTC	40
URG_J503	SUP	5
	ACTC	9
	TC	18
	ABTC	27
URG_J1001	SUP	5
	ACTC	15
	TC	31
	ABTC	46
URG_J1002	SUP	5
	ACTC	14
	TC	27
	ABTC	41
URG_J1003	SUP	5
	ACTC	9
	TC	17
	ABTC	26

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

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

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

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

IV.1.2 - Fitoplâncton

As coletas de fitoplâncton foram realizadas concomitantemente às coletas das amostras de água, através de garrafas Go-Flo, nas mesmas quatro profundidades definidas, sendo, entretanto, restritas às estações definidas para coleta do plâncton (URG_M1000 e URG_J1002).

IV.1.3 - Zooplâncton e Ictioplâncton

As amostras de zooplâncton foram coletadas em arrastos horizontais de superfície e arrastos oblíquos realizados da termoclina a superfície, com uma rede cilindro-cônica de malha 200 μm , com 2 m de comprimento total e com diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-6). A fim de calcular o volume de água filtrado, um fluxômetro foi acoplado à boca da rede. As amostras de ictioplâncton foram coletadas em arrastos horizontais de superfície e arrastos oblíquos, no sentido termoclina-superfície, com rede bongô de malhas de 300 e 500 μm , com fluxômetro acoplado, comprimento de 2 m e diâmetro de boca de 60 cm (Figura IV-7). Os arrastos e o processamento das amostras foram realizados na estação URG_J1002, entre 17:06 e 21:29h do dia 28/02/2023 e na estação URG_M1000 entre 17:14 e 21:28h do dia 01/03/2023.

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 no PMPR_URG_C15.

Grupo	Estação	Tipo de arrasto	Malha (μm)	Volume filtrado (m^3)
Zooplâncton	URG_M1000	Horizontal	200	70,50
Zooplâncton	URG_M1000	Obliquo	200	55,99
Ictioplâncton	URG_M1000	Horizontal	300	83,46
Ictioplâncton	URG_M1000	Horizontal	500	91,92
Ictioplâncton	URG_M1000	Oblíquo	300	66,24
Ictioplâncton	URG_M1000	Oblíquo	500	87,82
Zooplâncton	URG_J1002	Horizontal	200	109,93
Zooplâncton	URG_J1002	Obliquo	200	66,03
Ictioplâncton	URG_J1002	Horizontal	300	84,91
Ictioplâncton	URG_J1002	Horizontal	500	89,85
Ictioplâncton	URG_J1002	Oblíquo	300	80,06
Ictioplâncton	URG_J1002	Oblíquo	500	98,74

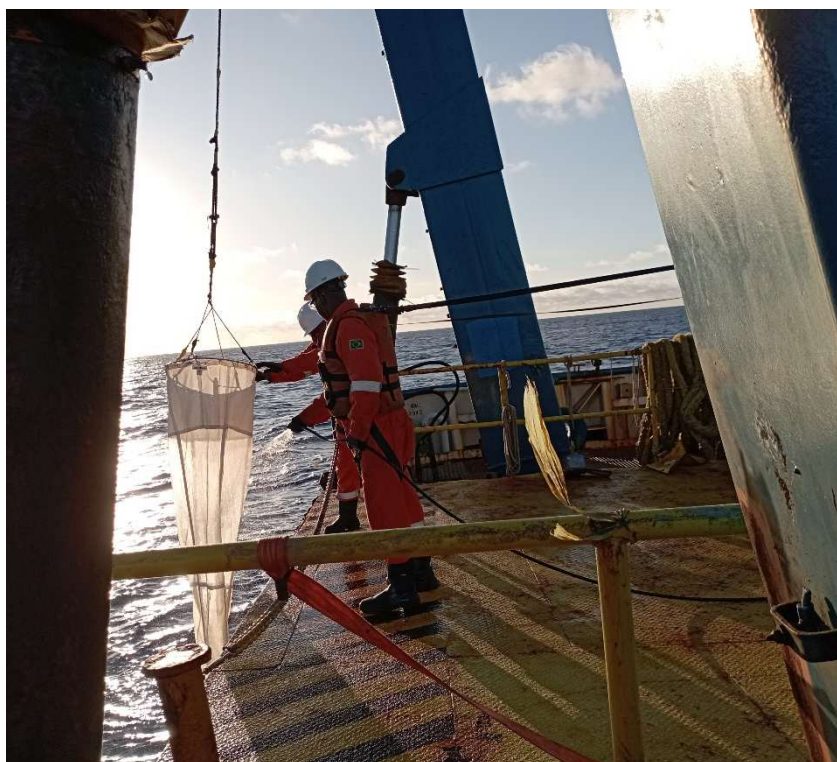


Figura IV-6 – Rede cilindro-cônica com malha de 200 μ m para coleta de amostras de zooplâncton utilizada durante o PMPR_URG_C15.

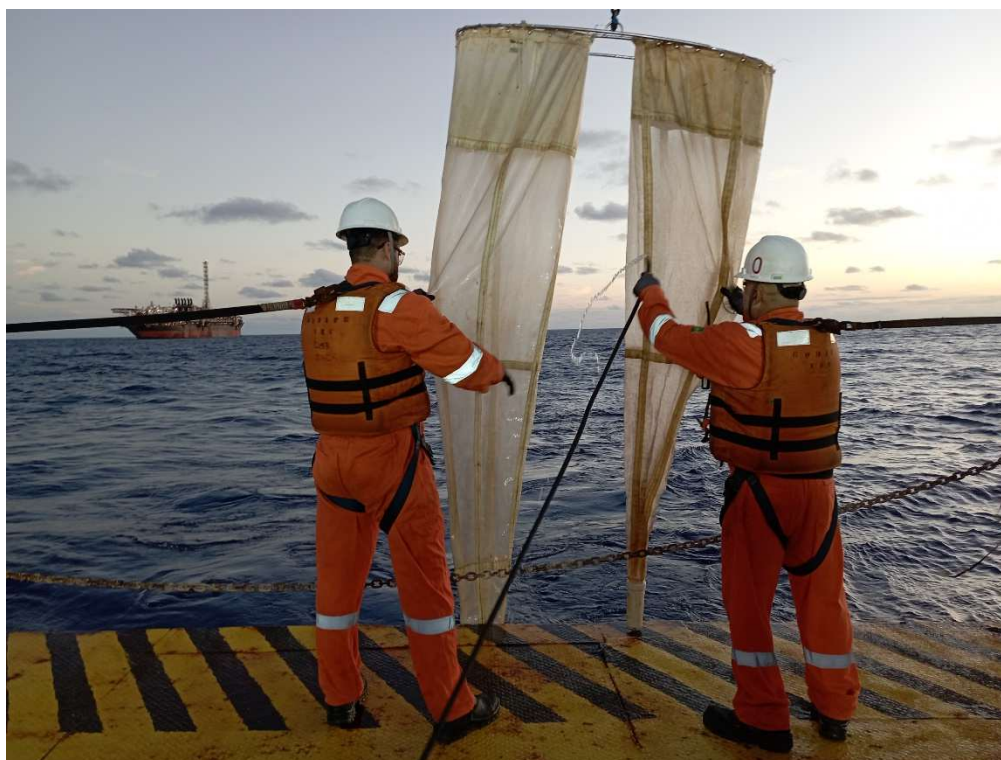


Figura IV-7 – Rede bongô com malhas de 300 e 500 μ m para coleta de amostras de ictioplâncton, utilizada durante o PMPR_URG_C15.

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

Quadro IV-1 – Parâmetros, volume, formas de acondicionamento e preservação das amostras de água e plâncton coletadas durante o PMPR_URG_C15.

PARÂMETROS	EQUIPAMENTO	VOLUME	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	ACONDICIONAMENTO
HPA, n-alcanos, MCNR, 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	5 L ou até saturação da membrana (volume filtrado)	filtro de acetato de celulose (47 mm, 0,45 µm)	-	Congelamento a ≤ -20°C
Clorofila-a	Garrafa go-flo	5 L (volume filtrado)	Filtro de fibra de vidro GFF/0,4-0,7µm Tubo criogênico	-	Congelamento a ≤ -80°C
Fitoplâncton	Garrafa go-flo	2 x 1 L	Frasco polietileno escuro	Formaldeído 2%	Temperatura ambiente
Zooplâncton	Rede cilindro-cônica	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente
Ictioplâncton	Rede bongô	1 L	Frasco polietileno	Formaldeído 4%	Temperatura ambiente

IV.2 - ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

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

IV.2.1 - Qualidade da Água

Neste item é apresentado um resumo dos parâmetros analisados para a qualidade da água, as referências oficiais dos métodos de extração, digestão e análise, os procedimentos de pré-tratamento utilizados e os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) dos métodos analíticos empregados (Tabela IV-4).

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

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
Nutrientes	Clorofila a	Fluorimetria	-	0,0012 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
HPA's	Acenafeno	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Acenaftileno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[a]antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[b]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[g,h,i]perileno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[k]fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Benzo[a]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Criseno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Dibenzo[a,h]antraceno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fenantreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoranteno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Fluoreno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Indeno[1,2,3,c,d]pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Naftaleno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
	Pireno			0,005 µg/L	0,001 µg/L
n-alcanos	n-C8	USEPA 3510C/ USEPA 8015D	-	1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C9			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C10			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C11			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C12			1,000 ug/L	0,200 ug/L

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
n-alcanos	n-C13			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C14			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C15			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C16			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C17			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C18			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C19			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C20			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C21			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C22			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C23			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C24			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C25			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C26			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C27			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C28			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C29			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C30			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C31			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C32			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C33			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C34			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C35			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C36			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C37			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C38			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C39			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	n-C40			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	Fitano			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	Pristano			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	HRP - Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo			1,000 ug/L	0,200 ug/L

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
	UCM - Mistura Complexa Não Resolvida			1,000 ug/L	0,200 ug/L
	HTP - Hidrocarbonetos totais de Petróleo			1,000 ug/L	0,200 ug/L
Fenóis	Fenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	0,040 ug/L	0,002 ug/L
	o-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	m-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	p-Cresol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2-Clorofenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,3-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,4-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,5-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	2,6-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	3,4-Dimetilfenol			0,040 ug/L	0,002 ug/L
	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
Fenóis	4-Cloro-3-Metilfenol	USEPA 3510C / USEPA 8270E	-	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

	Parâmetro	Métodos analíticos	Procedimentos pré-tratamento	LQ Método	LD Método
BTEX	Benzeno	USEPA 5030C / USEPA 8260C	-	1,000 µg/L	0,100µg/L
	Tolueno			1,000 µg/L	0,100µg/L
	Etilbenzeno			1,000 µg/L	0,100µg/L
	m,p-xileno			1,000 µg/L	0,100µg/L
	o-xileno			1,000 µg/L	0,100µg/L

IV.2.2 - Fitoplâncton

As amostras de fitoplâncton (1L) foram submetidas a filtração reversa com malha de 20 μm (DODSON & THOMAS, 1978). Para o processo de sedimentação, foram utilizadas cubetas de sedimentação de 100 mL de acordo com o método de Utermöhl (1958) durante 72 h para amostras oceânicas (Sournia, 1972).

Para a análise quali-quantitativa do microfitoplâncton (organismos > 20 μm), a identificação e contagem dos organismos foi realizada em microscópio invertido equipado com objetivas com campo claro e contraste de fase, com aumento de até 200 x (microscópio invertido Coleman®) ou aumento maior (400 x) para visualização de detalhes específicos de morfologia sempre que possível. Foram contadas, no mínimo, 400 células ou uma câmara inteira (quando não havia organismos o suficiente para alcançar tal número). Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação ocorreu até o menor nível taxonômico possível, com 49,41% da abundância total identificada 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 durante

a triagem inicial das 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 URG_M1000_HOR_200. Caso o número de organismos contabilizados no reexame da amostra fosse maior que 20% do total de organismos contabilizados na primeira triagem, a amostra seria reprovada e então uma nova amostra do mesmo colaborador seria sorteada. Em caso de uma nova rejeição, todo o lote deveria ser reanalisado. Os organismos a mais encontrados na validação são inseridos na amostra antes da análise taxonômica.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. A identificação dos organismos ocorreu ao menor nível taxonômico possível (BOLTOVSKOY, 1981), sendo 34,69% da abundância total identificada até o nível de ordem e 9,32 até o nível de espécie.

IV.2.4 - Ictioplâncton

As amostras foram triadas sob microscópio estereoscópico binocular e placas de Petri, separando-se os ovos e larvas de peixes dos demais organismos zooplancctônicos. 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 durante a triagem inicial das amostras. Para tal, a cada lote de dez amostras foi sorteada uma das amostras triadas por cada colaborador para conferência. Neste caso, a amostra validada foi URG_J1002_OBL_500. A validação das amostras apresentou resultados inferiores a 20%, validando todo o lote triado. Todos os indivíduos encontrados na validação foram inseridos em suas respectivas amostras.

Foram estimadas a abundância (número de indivíduos) e a composição específica de cada categoria taxonômica. Para o ictioplâncton, 65,56% da abundância total foi identificada até o nível de família e 18,67% até o nível de

espécie. Cabe ressaltar que a porcentagem total não considerou ovos e larvas não identificados, visto que, a ausência de caracteres morfométricos nesses estágios de desenvolvimento não permite a clara identificação dos grupos a que pertencem esses organismos.

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 obtidos com as amostras ensaiadas no laboratório, aprovados nos critérios de qualidade analíticos empregados.

Tabela IV-5 – Controles de qualidade (QC) analítica laboratorial por parâmetro para a qualidade da água.

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

(Continua)

Tabela IV-5 (Continuação)

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

(Continua)

Tabela IV-5 (Conclusão)

QUALIDADE DA ÁGUA	PARÂMETROS	Nº DE AMOSTRAS + BRANCOS	CONTROLES DE QUALIDADE (CQ)	CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO DOS CONTROLES DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS APROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	Nº DE AMOSTRAS REPROVADAS NO CONTROLE DE QUALIDADE	IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS REPROVADAS	OBS.
QUALIDADE DA ÁGUA	Sulfetos	36	Validade da amostra	Validade > Data de análise	36	0	-	-
			Branco de Frascaria	BF < LD	0			
			Branco de equipamento	BE < LD	36	0	-	-
			Branco do método	BM < LD	36	0	-	-
			Branco de reagentes	BR < LD	36	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	36	0	-	-
			Controle de curva de calibração	Linearidade da curva com $R^2 > 0,99$	36	0	-	-
			Material de referência certificado	Recuperação de 75 - 125% (sobre concentração real de 0,5 mg/L)	36	0	-	-
			Análises em triplicata	RSD < 10%	36	0	-	-
			Incerteza do método	-	36	0	-	-
	Fenóis/ HPAs/ HTP/ BTEX	136 (BTEX: 28, Fenóis: 36, HPA: 36 e HTP: 36)	Validade da amostra	Validade > Data de análise	136	0	-	-
			Branco do sistema cromatográfico	Ausência de picos e flutuações na linha de base	136	0	-	-
			Branco de Frascaria	BF < LD	0			
			Branco do método	BM < LD	136	0	-	-
			Amostra controle de laboratório (Branco fortificado)	Recuperação de 80 - 120%	136	0	-	-
			Solução padrão intermediária ¹	Recuperação de 80 - 120%	136	0	-	-
			Amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	136	0	-	-
			Duplicata da amostra fortificada	Recuperação de 60 - 120%	136	0	-	-
			Diferença percentual relativa	DRP < 30%	136	0	-	-
			Surrogates: HPA e fenóis: para-terfenil d-14 e 2-flúor-bifenila. HTP: triacontano d-62. BTEX: p-Bromofluorbenzeno, dibromofluorometano e tolueno-d8	Recuperação de 60 a 120%	136	0	-	-
			Incerteza do método	-	136	0	-	-

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

Os principais estudos utilizados para comparação dos valores obtidos na presente campanha foram o Estudo de Impacto Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo elaborado para a implantação do empreendimento no Polo BS-500, Bacia de Santos (PETROBRAS/ENSR-AECOM, 2007), e os Relatórios Técnicos de Avaliação Ambiental das quatorze primeiras campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b), realizadas conforme períodos descritos no Quadro I-1. Importante destacar que as doze últimas campanhas de monitoramento do Sistema de Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b) foram realizadas durante a fase de operação do empreendimento, quando já havia um empreendimento instalado e operando na área. Portanto, já havia uma potencial fonte de impactos no local e os dados não podem ser considerados como representativos de um meio prístino. 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 às amostras, pontuando as devidas ressalvas para uma correta interpretação das análises comparativas.

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

Com os dados de temperatura e salinidade obtidos durante a descida do CTD, foram confeccionados perfis verticais destes parâmetros para todas as estações amostradas. A partir destes, foi possível avaliar o comportamento vertical da temperatura e salinidade nas diferentes estações, bem como associá-lo às características geográficas e oceanográficas dos pontos de coleta.

Além disso, um diagrama TS também foi confeccionado através dos dados de temperatura e salinidade, utilizando-se o programa Microsoft Excel 2007. Este diagrama foi útil na identificação das massas d'água presentes na região de monitoramento. As classificações sugeridas por Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) foram utilizadas para classificar as massas d'água observadas, uma vez que fornecem maior detalhamento dos valores de salinidade e temperatura (Tabela IV-6).

Tabela IV-6 – Limites de salinidade e temperatura das massas d'água segundo Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000).

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

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

IV.3.2 - Plâncton

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

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

onde,

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

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

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

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

Para fitoplâncton foram utilizadas todas as campanhas da fase de operação (desde C3, realizada em jan/2011), enquanto para zooplâncton foram utilizados apenas os dados a partir de C7, realizada em fev/2015 (5ª campanha da fase de operação), pois nas campanhas anteriores eram realizados apenas arrastos verticais. Já para ictioplâncton, os tipos de arrastos foram analisados separadamente, considerando os arrastos oblíquos a partir de C3 (1ª campanha da fase de operação), e os arrastos horizontais a partir de C7 (5ª campanha da fase de operação), devido às diferentes metodologias empregadas ao longo das campanhas.

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

Os *taxa* foram avaliados quanto aos grandes grupos (filos/classes/Ordens), bem como quanto a distribuição quali e quantitativa dentro desses grupos. Os

grandes grupos considerados para fitoplâncton foram: Bacillariophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Os grupos Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platyhelminthes foram considerados para as análises de zooplâncton. Já para o ictioplâncton, foram considerados as seguintes ordens: Acanthuriformes, Carangiformes, Dactylopteriformes, Myctophiformes, Perciformes, Pleuronectiformes, Stomiiformes e Scombriformes. 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).

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

Onde:

Fator de Extrapolação (FE) = volume total da amostra (L) dividido pelo volume de amostra triada (L);

Fator de Diluição (FD) = 1, visto que não houve diluição;

Volume de água marinha filtrada em campo (m³).

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

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

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

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

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

onde,

p_i = probabilidade de ocorrência de cada espécie em relação ao total, ou seja, o número de indivíduos (ou células) da espécie é dividido pelo número total de indivíduos (ou células) da amostra (SHANNON, 1948).

Para o cálculo do índice de Shannon, quando não ocorre identificação até espécie, também são considerados os resultados que indiquem o número de indivíduos identificados somente até ordem e/ou família.

A equitabilidade corresponde à razão entre o índice de diversidade calculado e a diversidade máxima que a amostra poderia alcançar, tendo sido calculada a partir da diversidade de Shannon-Wiener. Este índice evidencia anomalias ligadas à ocorrência de amostras com um número baixo de espécies e foi calculado a partir da seguinte fórmula:

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

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

onde,

H' = índice de diversidade de Shannon-Wiener

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

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

A equitabilidade varia no intervalo de 0 a 1, sendo as comunidades mais homogêneas aquelas com valores mais próximos de 1. Este índice indica a homogeneidade das comunidades em termos de participação relativa de cada táxon (KREBS, 1999; PIELOU, 1977).

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

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

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

bibliografias pertinentes, para avaliar as espécies indicadores de qualidade ambiental, conforme a ocorrência destes organismos na campanha.

A Tabela IV-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-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	-	-
		Retriagem de no mínimo 20% amostras	Organismos esquecidos < 20%	4	0	-	Validação na amostra URG_C15_M1000_HOR_200
		Validade da amostra	Validade > Data de análise	8	0	-	-
	Ictioplâncton	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 URG_C15_J1002_OBL_500

IV.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA

IV.4.1 - Qualidade da Água

A estatística descritiva para os valores dos parâmetros da qualidade da água das doze campanhas de monitoramento da fase de operação foi feita utilizando Diagramas de Caixa (*Box-Plot*). Esse gráfico contém um valor central que descreve a tendência dos dados, que no caso foi a mediana das amostras. Além disso, esse tipo de diagrama contém dois valores de dispersão de dados, uma caixa (*Box*) e os fios de bigode (*Whiskers*). O *Box* compreende o intervalo entre 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 da fase de operação 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, 2001).

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

IV.5 - ANÁLISE INTEGRADA

A análise integrada foi realizada para o ambiente pelágico das estações de coleta amostradas para a 15ª campanha de monitoramento ambiental do Sistema de Uruguá (13ª campanha da fase de operação). Essa análise objetiva integrar os dados biológicos e físico-químicos coletados na área de estudo para investigar possíveis respostas da biota às variações ambientais.

Para fins de comparação entre o ambiente abiótico e a porção biótica do ambiente pelágico (plâncton), foram utilizados apenas os dados das estações URG_M1000 e URG_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 do ambiente pelágico, foi primeiramente realizada uma análise de componentes principais (ACP), considerando-se todas as amostras

coletadas na 15^a campanha. 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 ao zooplâncton e ictioplâncton, foram realizadas comparações gráficas entre as variáveis abióticas e bióticas, respeitando-se as profundidades de realização dos arrastos, conforme já elucidado anteriormente.

Em todas as ACP's, 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, a s ACP e *Cluster* no PCord 6.19 (MCCUNE & MEFFORD, 2011) e as MDS no software Primer 6.1.6.

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

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).

O monitoramento de temperatura e salinidade é importante para se observar a influência direta do descarte semi-submerso do efluente de água produzida, que usualmente apresenta temperaturas mais elevadas e altas salinidades.

Na atual campanha de monitoramento do sistema de Uruguá, os maiores valores médios de temperatura foram registrados na superfície ($28,11 \pm 0,19^{\circ}\text{C}$), com valores máximos de $28,45^{\circ}\text{C}$, na superfície da estação URG_J1002 (Tabela V-1).

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	27,90	28,36	27,96	28,08	28,11	27,90	28,02	28,45	28,19	28,11	0,19
ACTC	27,77	28,04	27,91	28,03	28,06	27,77	28,01	27,74	27,89	27,91	0,13
TC	26,28	27,45	27,29	27,23	27,73	26,28	26,88	26,67	27,56	27,04	0,54
ABTC	24,86	25,58	25,38	25,24	24,90	24,86	24,87	25,09	25,35	25,13	0,27
Máx.	27,90	28,36	27,96	28,08	28,11	27,90	28,02	28,45	28,19		
Mín.	24,86	25,58	25,38	25,24	24,90	24,86	24,87	25,09	25,35		
Média	26,70	27,36	27,14	27,15	27,20	26,70	26,95	26,99	27,25		
DP	1,43	1,24	1,21	1,33	1,54	1,43	1,48	1,46	1,29		

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

Nas demais camadas a temperatura média foi decaindo com a profundidade , sendo encontrados os valores máximos de 28,06 °C na camada acima da termoclina e de 27,73 °C na camada acima da termoclina, ambas na estação URG_J502, enquanto na camada abaixo da termoclina o valo máximo foi de 25,58 °C da estação URG_J100.

Na

Figura V-1, verifica-se o a variação vertical da temperatura nas estações de coleta ao longo da coluna d'água nas quatro profundidades amostradas. Percebe-se um padrão de diminuição dos valores de temperatura, com o aumento da profundidade (de SUP a ABTC) em todas as estações analisadas.

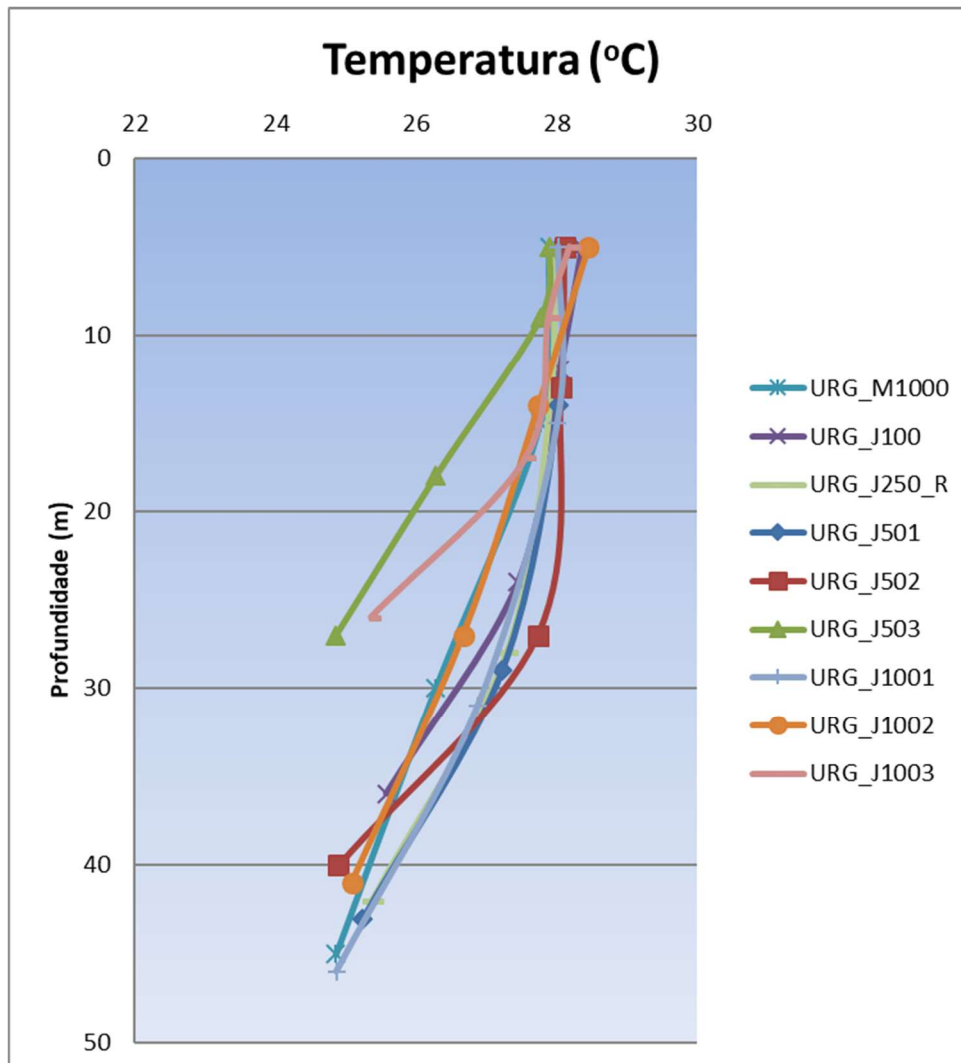


Figura V-1 – Temperatura (°C) da água nas profundidades de coleta das diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento ambiental do PMPR_URG.

Na Figura V-2 são apresentados os valores de temperatura da coluna d'água obtidos através da perfilagem com CTD, onde se nota a presença da termoclina permanente que, de modo geral, se localiza entre 150 e 1.000 m.

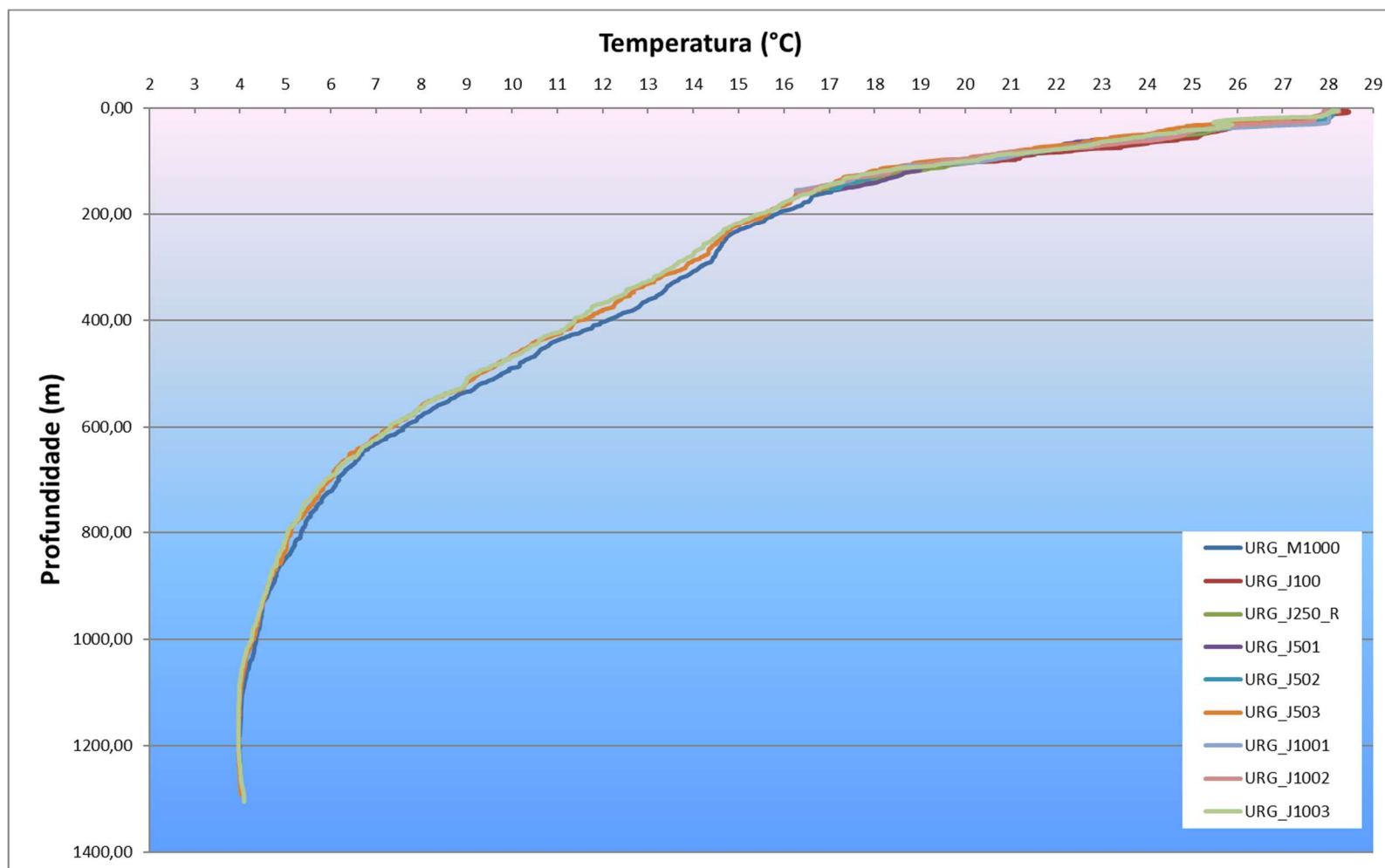


Figura V-2 – Perfis de temperatura (°C) obtidos com CTD nas diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

Em relação à salinidade, o menor valor medido foi de 36,04 na estação URG_J1003, na ABTC, e o maior, 36,65, na camada ABTC das estações URG_M1000, e URG_J502 (Tabela V-2). Considerando todas as estações, a salinidade média variou entre $36,30 \pm 0,11$, na TC, e $36,47 \pm 0,24$, na ABTC, tendendo a apresentar-se bastante homogênea entre a SUP e TC na maioria das estações e tendendo a aumentar da TC até a ABTC, exceto para URG_502 e URG_1003 que então a salinidade tendeu a diminuir de TC a ABTC (Figura V-3).

Tabela V-2 – Valores de salinidade medidos nas quatro profundidades amostradas na atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	36,19	36,26	36,20	36,20	36,24	36,19	36,24	36,25	36,20	36,22	0,03
ACTC	36,19	36,23	36,20	36,20	36,23	36,19	36,23	36,21	36,19	36,21	0,02
TC	36,46	36,20	36,27	36,28	36,22	36,46	36,18	36,38	36,21	36,30	0,11
ABTC	36,65	36,55	36,61	36,62	36,14	36,65	36,35	36,62	36,04	36,47	0,24
Máx.	36,65	36,55	36,61	36,62	36,24	36,65	36,35	36,62	36,21		
Mín.	36,19	36,20	36,20	36,20	36,14	36,19	36,18	36,21	36,04		
Média	36,37	36,31	36,32	36,33	36,21	36,37	36,25	36,37	36,16		
DP	0,22	0,16	0,20	0,20	0,05	0,22	0,07	0,18	0,08		

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

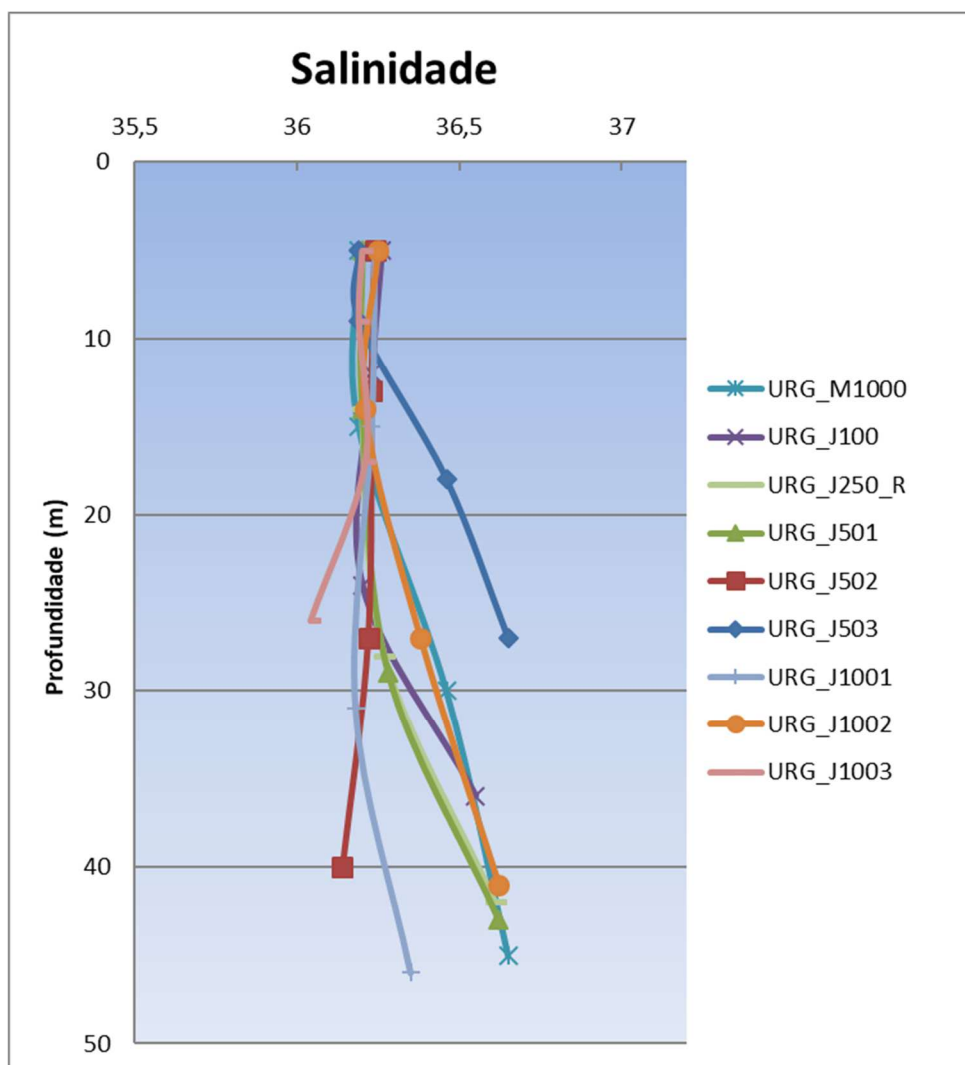


Figura V-3 – Valores de salinidade obtidos nas profundidades de coleta das diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PRMP_URG.

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 de uma haloclina bastante acentuada entre 80 e 200 m, mas que se estende até 600 m de profundidade.

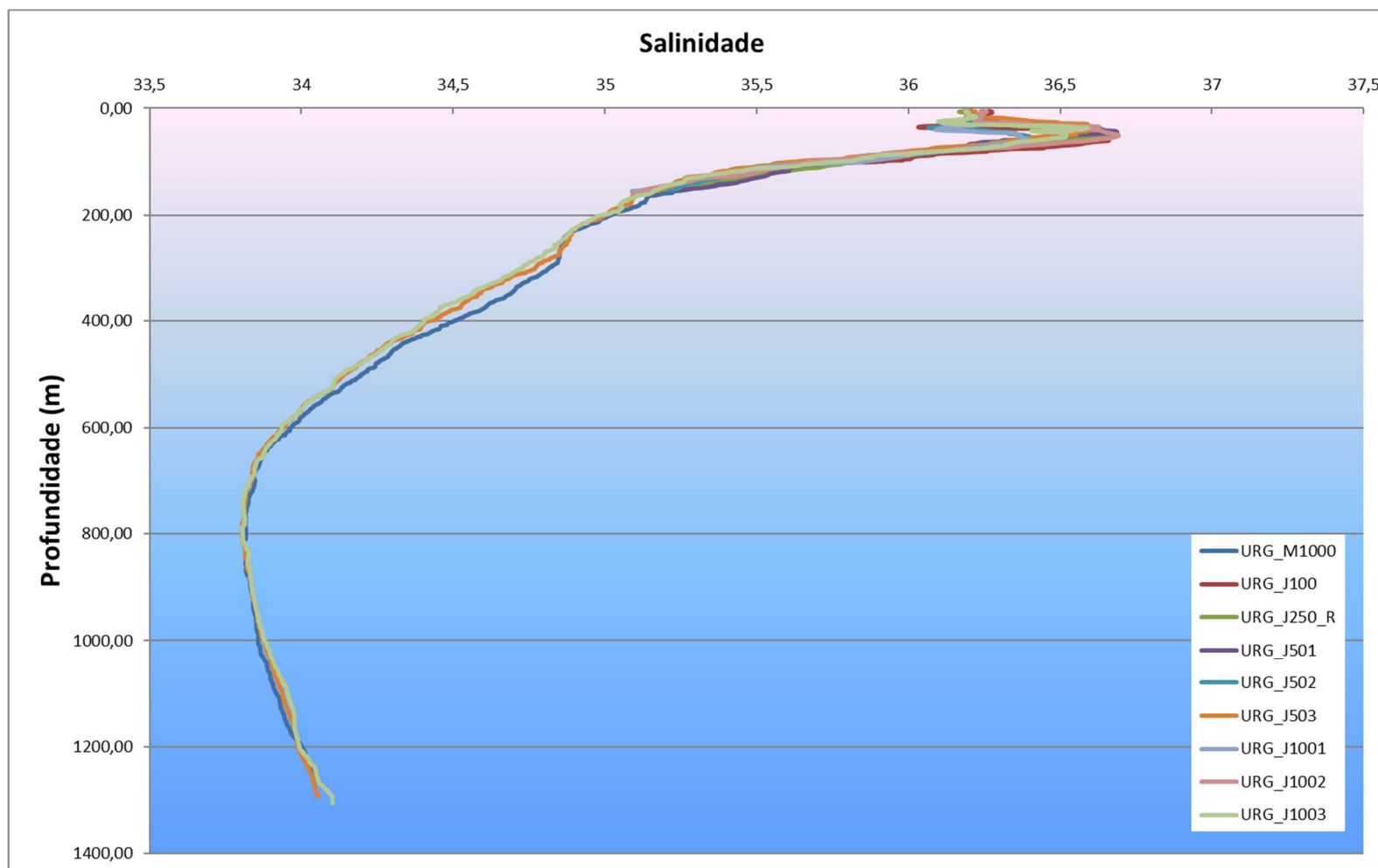


Figura V-4 – Perfis de salinidade (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

A água produzida pelo FPSO CST apresentou, na análise do efluente do 1º semestre de 2023, uma salinidade igual a 81.606,220 mg/L, na saída do flotor. O efeito esperado era que houvesse aumento da salinidade nas estações imediatamente a jusante da plataforma. Porém, não foram observadas variações positivas de salinidade em nenhuma das profundidades da estação PIL-LL-NE_J100 (Tabela V-2). Assim, e considerando que os valores observados são característicos de águas oceânicas e que o valor máximo foi encontrado na ABTC das estações PIL-LL-NE_M1000, PIL-LL-NE_J503, não é possível diferenciar os efeitos do descarte de água produzida das condições de salinidade naturais do corpo receptor.

Na Tabela V-3, são apresentados os valores mínimo e máximo de temperatura e salinidade, encontrados nas campanhas anteriores realizadas na região. As faixas de variação de temperatura (entre 13,11°C e 27,39°C) e salinidade (entre 35,24 e 37,29) já observadas corroboram os resultados verificados nesta campanha.

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

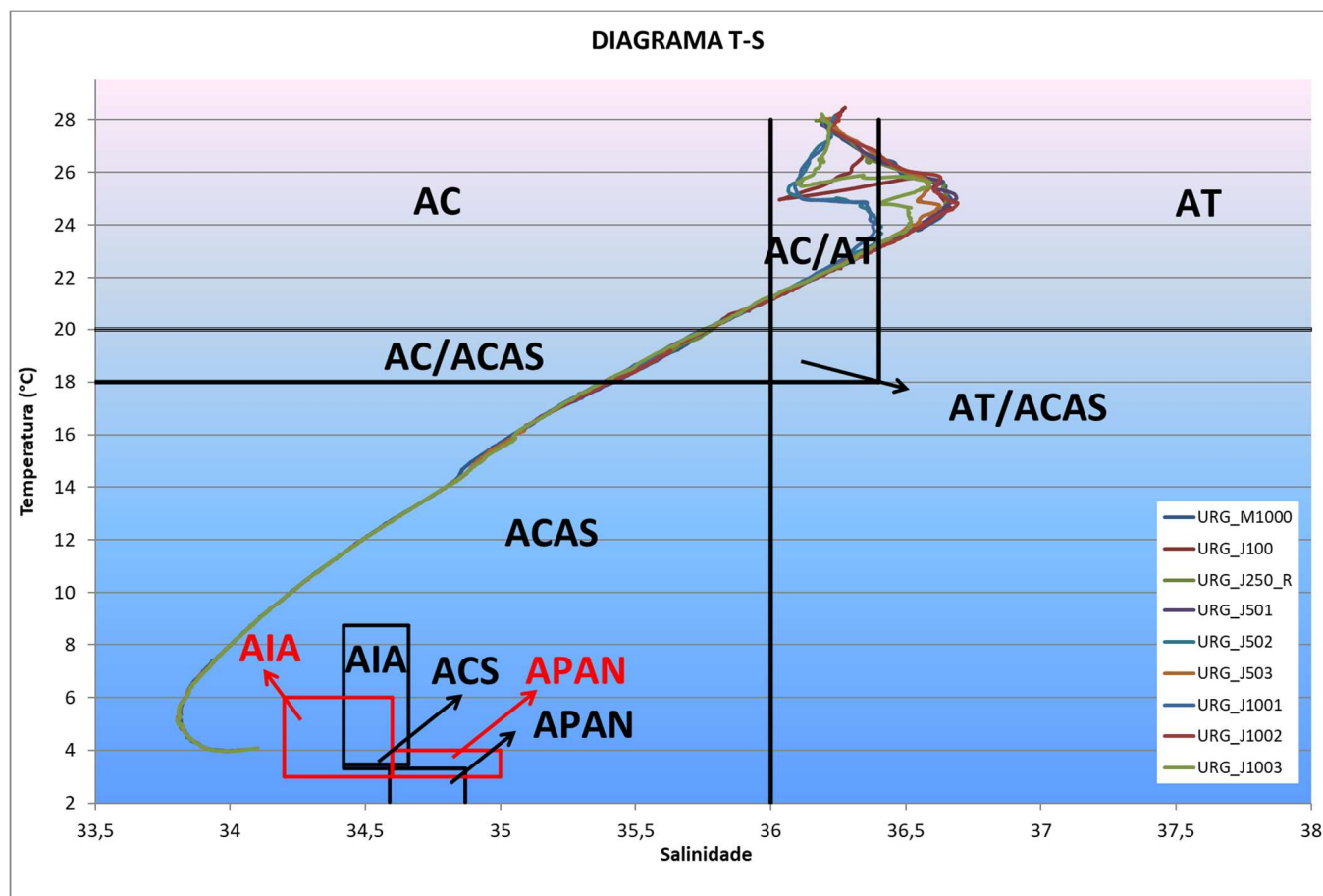
Campanha	Temperatura (°C)		Salinidade	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
URG_C3 ¹	13,11 (200 m)	27,39 (1 m)	35,24 (200 m)	37,04 (15 m)
URG_C4 ²	14,73 (200 m)	22,97 (1 m)	35,47 (200 m)	36,80 (5 m)
URG_C5 ³	19,44 (ABTC)	24,93 (SUP)	36,07 (ABTC)	36,47 (ABTC)
URG_C6 ⁴	15,64 (ABTC)	26,32 (SUP)	35,56 (ABTC)	37,18 (ACTC)
URG_C7 ⁵	21,76 (ACTC)	26,51 (ABTC)	36,70 (TC)	37,20 (ABTC)
URG_C8 ⁶	19,71 (ABTC)	24,82 (SUP)	36,31 (ABTC)	36,84 (TC)
URG_C9 ⁷	20,37 (ABTC)	25,97 (SUP)	36,31 (SUP)	36,95 (ABTC)
URG_C10 ⁸	23,94 (ABTC)	26,42 (SUP)	37,00 (SUP)	37,29 (TC)
URG_C11 ⁹	22,37 (ABTC)	24,35 (SUP)	36,94 (ABTC)	37,19 (SUP)
URG_C12 ¹⁰	23,27 (ABTC)	27,30 (SUP)	37,03 (ABTC)	37,25 (TC)
URG_C13 ¹¹	22,25 (ABTC)	26,69 (SUP/ACTC)	36,70 (ABTC)	37,06 (SUP/ACTC)
URG_C14 ¹²	16,72 (ABTC)	23,50 (SUP)	35,77 (ABTC)	36,74 (ABTC)

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

A partir dos dados de temperatura e salinidade coletados pelo CTD (Figura V-2 e Figura V-4), obteve-se o diagrama T-S (Figura V-5), através do qual as massas

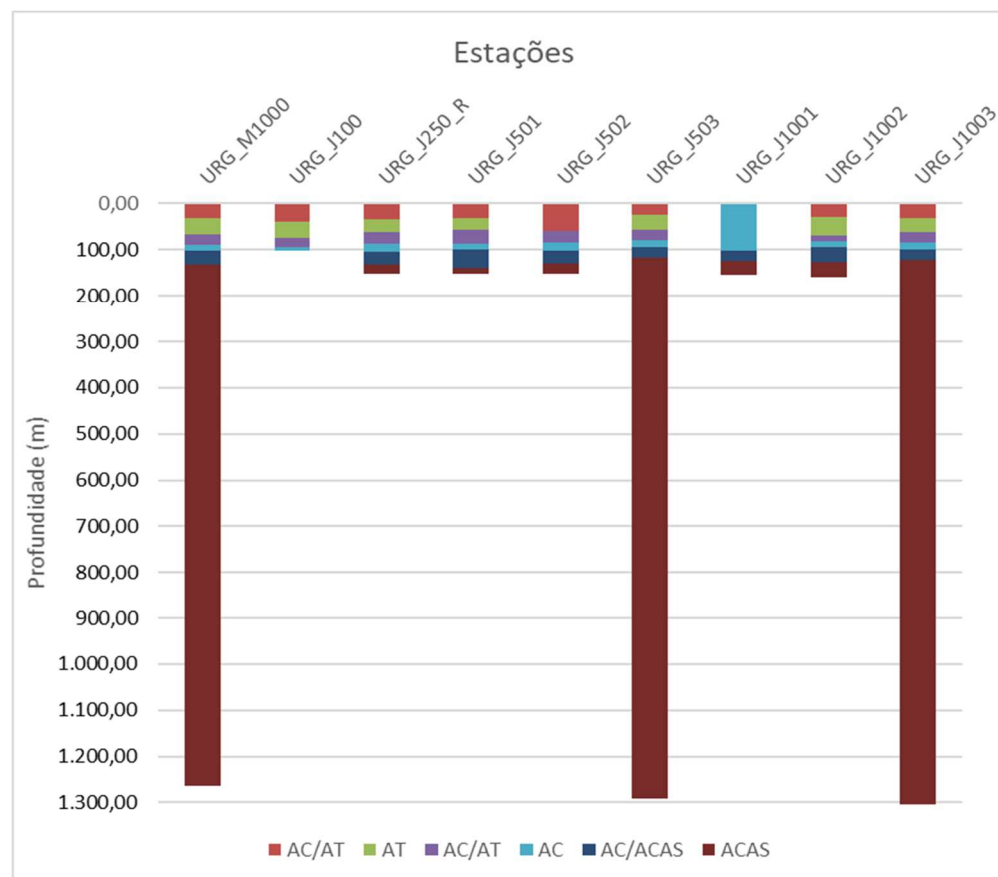
de água foram classificadas conforme Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) (Tabela IV-6), conforme proposto da metodologia do presente relatório. Adicionalmente, optou-se por considerar também no diagrama as classificações propostas por Castro *et al.* (2006), que analisa a área compreendida entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS), englobando, portanto, a Bacia de Santos, que é uma área pouco estudada em relação a esse aspecto, com poucos dados e estudos que explorem as massas d'água e seus limites especificamente para o local. Assim, em vermelho, estão destacados os trechos classificados conforme Castro *et al.* (2006), que classifica AIA e APAN, conforme os seguintes limites: salinidade entre 34,2 e 34,6 e temperatura entre 3 e 6°C para AIA e entre 34,6 e 35,0 e 3 e 4°C para APAN. Cabe ressaltar que os limites de temperatura e salinidade das massas d'água podem sofrer alterações conforme o critério de classificação considerado por cada um dos autores e conforme características geográficas da região estudada.

A análise dos dados conforme a classificação de Tommasi (1994) e Silveira *et al.* (2000) mostrou a ocorrência de AC/AT, AT, AC, AC/ACAS e ACAS na maioria dos perfis T-S monitorados nas estações amostrais (Figura V-5), sendo identificada a presença da ACAS a partir da profundidade de 117 m, em URG_J503. A exceção ocorreu na estação URG_J100, estação em que não ocorreu AC/ACAS, nem ACAS, visto que a perfilagem de temperatura e de salinidade ocorreu somente até 101 m. A estação URG_J1001 também se destacou das demais devido a ocorrência atípica de AC até a profundidade de 102m, não sendo observado a ocorrência de AT, e nem de AC/AT, até a profundidade máxima monitorada com o CTD nesta estação (Figura V-5).



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

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



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

Figura V-6 – Distribuição vertical das massas d'água na atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG durante a perfilagem com CTD.

A massa d'água caracterizada como mistura entre Água Costeira e Água Tropical (AC/TC) ocupou a porção mais superficial, até o nível da camada da termoclina, na maior parte dos pontos amostrais (Figura V-6). A presença de Água Costeira (AC) ocorreu em todas as estações atingindo profundidade máxima de até 104 m em URG_J250R. Essa massa d'água também ocorreu desde a camada superficial até o nível da camada abaixo da termoclina, apenas para URG_J1001.

A Água Tropical (AT) esteve presente desde o estrato abaixo da termoclina na maior parte das estações. A exceção ocorreu na estação J1001, em que essa massa d'água não ocorreu. A mistura de Água Costeira com Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS) ocorreu a partir da ABTCna faixa de profundidades entre 95 e 104 m (Quadro V-1).

Por último, ocorreu a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), que ocupou porções mais profundas da coluna d'água, a partir de aproximadamente 117 metros, na estação URG_J503, até 1304 metros, na estação URG_J1003. Essa massa d'água, juntamente com AC/ACAS não ocorreu somente na estação URG_J100, devido a menor profundidade de perfilagem do CTD. A ACAS é formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical e transportada pelas correntes através do giro Subtropical do Atlântico Sul até atingir a costa brasileira, onde sofre bifurcação aproximadamente em 22 ° S, na região do Cabo de São Tomé (SILVEIRA *et al.*, 2000).

Assim como na atual campanha, a AT e a ACAS foram as massas que ocorreram de forma mais recorrente nas amostragens das doze campanhas anteriores de monitoramento da fase de operação do sistema de Uruguá (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022) (Quadro V-1). A principal diferença encontrada entre a atual campanha (C15) e a maioria das campanhas anteriores foi a ausência de AT/ACAS e AIA na profundidade abaixo da termoclina, além de C15 estar marcada pela presença de AC/AT desde a superfície até a ocorrência de AT abaixo da termoclina. Também cabe destacar a ausência de AT e AT/ACAS abaixo da termoclina durante a campanha C6 e a ausência de ACS a partir da campanha C11.

Quadro V-1 - Distribuição das massas d'água nos diferentes níveis de profundidade das estações amostradas nas campanhas de monitoramento da fase de operação do Sistema de Uruguá.

Estratos	Campanhas												
	URG C3*	URG C4*	URG C5	URG C6	URG C7	URG C8	URG C9	URG C10	URG C11	URG C12	URG C13**	URG C14	URG C15
SUP	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC/AT AC
ACTC	AT	AT	AT	AT AT/ACAS	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AT	AC/AT AC
TC	AT	AT	AT	AT AT/ACAS ACAS	AT	AT	AT AT/ACAS	AT	AT	AT	AT	AT	AC/AT AC
ABTC	AT AT/ACAS ACAS	AT AT/ACAS ACAS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	ACAS AIA ACS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	AT AT/ACAS ACAS AIA ACS	AT AC/AT AT/ACAS ACAS AIA	AT AC/AT AT/ACAS ACAS AIA	AC/AT AC AT AC/ACAS ACAS

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

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

** Perfilagem realizada até 500 m.

A identificação da presença de AIA e ACS só foi possível a partir de C5, pois anteriormente as perfilagens com CTD não eram realizadas em toda a coluna d'água, sendo interrompidas alguns metros após a profundidade de identificação da termoclina.

V.1.2 - *Oxigênio Dissolvido (OD)*

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

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

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

Na presente campanha de monitoramento os valores de oxigênio dissolvido registrados nas estações variaram entre 6,26 mg/L, na superfície da estação URG_J502, e 7,43 mg/L, na camada acima da termoclina da estação URG_J501 (Tabela V-4 e Figura V-7).

Considerando-se as médias de cada profundidade, os menores valores de oxigênio dissolvido estão presentes na camada da superfície ($6,46 \pm 0,13$ mg/L) e na camada acima da termoclina ($6,70 \pm 0,34$ mg/L). Já os maiores valores médios de OD foram verificados na camada abaixo da termoclina ($6,86 \pm 0,16$ mg/L) e na termoclina ($6,73 \pm 0,28$ mg/L). De acordo com os padrões CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, todos os valores medidos na atual campanha estavam acima do limite mínimo estabelecido para águas salinas de classe 1, de 6,0 mg/L.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	6,44	6,42	6,44	6,61	6,26	6,30	6,52	6,66	6,48	6,46	0,13
ACTC	6,68	6,87	6,95	7,43	6,40	6,52	6,35	6,58	6,52	6,70	0,34
TC	6,72	6,62	6,84	6,99	7,29	6,65	6,31	6,53	6,61	6,73	0,28
ABTC	6,83	7,08	7,04	6,75	6,87	6,98	6,91	6,61	6,71	6,86	0,16
Máx.	6,83	7,08	7,04	7,43	7,29	6,98	6,91	6,66	6,71		
Mín.	6,44	6,42	6,44	6,61	6,26	6,30	6,31	6,53	6,48		
Média	6,67	6,75	6,82	6,95	6,71	6,61	6,52	6,60	6,58		
DP	0,16	0,29	0,26	0,36	0,47	0,28	0,27	0,05	0,10		

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

A distribuição vertical das concentrações medidas de OD na coluna d'água amostrada não apresentou um padrão comum entre todas as estações e profundidades. As estações URG_M1000, URG_J503 e URG_J1003 tenderam a apresentar aumento dos valores de SUP a ABTC, enquanto nas estações URG_J100 e URG_250R houve a tendência de aumento dos valores de OD a partir de SUP, mas com um declínio de ACTC para TC e aumento para ABTC. As estações URG_J1001 e URG_J1002 tenderam ao declínio discreto da SUP para TC e incremento na ABTC. As estações URG_501, URG_502 e URG_J1001 se destacaram por apresentar a maior amplitude de aumento dos valores de OD (0,8 mg/L) entre camadas adjacentes, respectivamente de SUP para ACTC, de ACTC para ABTC e de TC para ABTC (Figura V-7).

O perfil vertical das concentrações de OD na coluna d'água obtidos com CTD (Figura V-7) revelou um padrão de oscilação dos valores de OD entre as estações desde a sub-superfícies até aproximadamente uns 200 m. Em seguida, um aumento gradual das concentrações de oxigênio até 6,8 mg/L na profundidade em torno de 300 m, e novamente um padrão de oscilação das concentrações de OD, com redução das concentrações até 6,2 mg/L a cerca de 450 m e novamente aumento das concentrações até próximo de 6,8 na profundidade em torno de 700 m, para então tendência de redução até cerca de 6,0 mg/L nas máximas profundidades perfiladas. A variação do teor de oxigênio ao longo das diferentes profundidades reforça o modelo de saturação de oxigênio nas camadas superficiais onde ocorrem as trocas gasosas com o ar atmosférico e onde a atividade fotossintética é mais intensa. De modo geral, o declínio gradual com a profundidade em áreas oceânicas decorre do gradiente de consumo de oxigênio por animais e oxidação de detritos. O aumento do oxigênio em diferentes profundidades, por sua vez, está provavelmente relacionado à circulação de massas de água em larga escala nos oceanos.

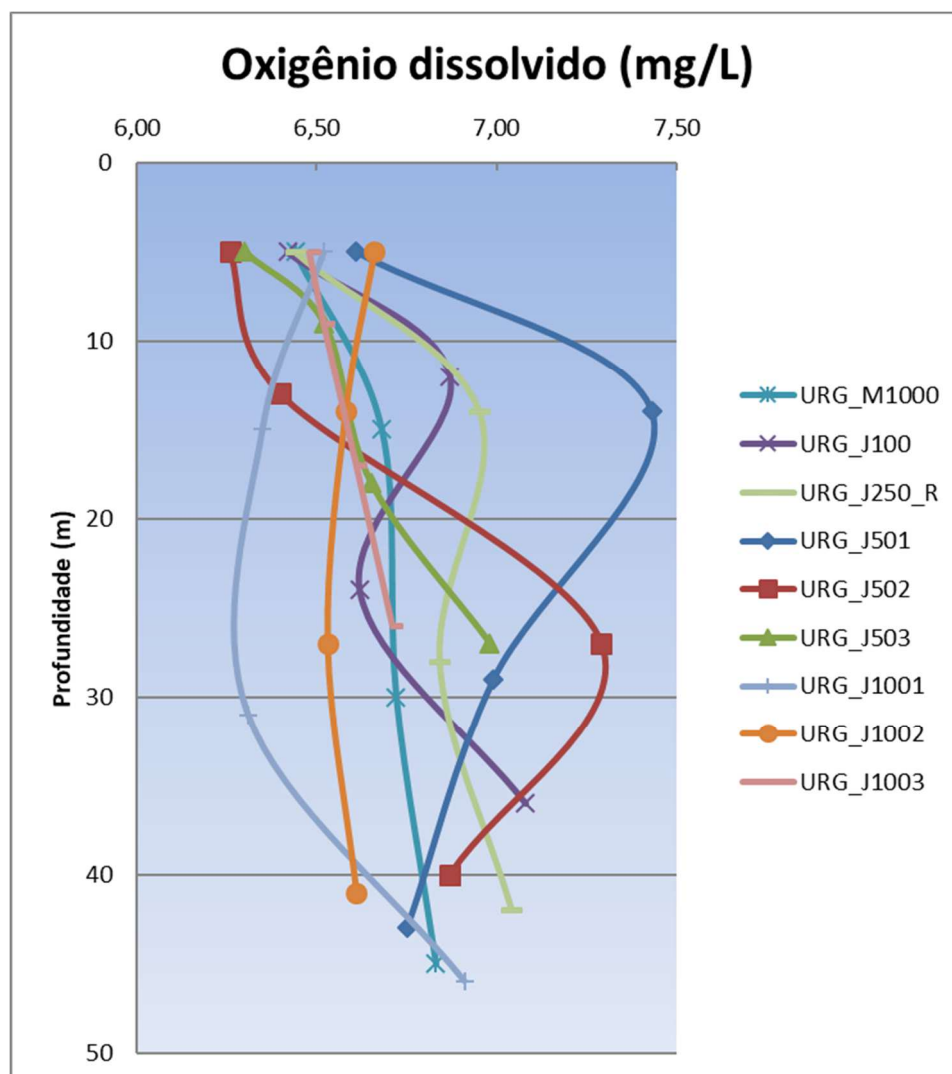


Figura V-7 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) obtidos nas estações da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

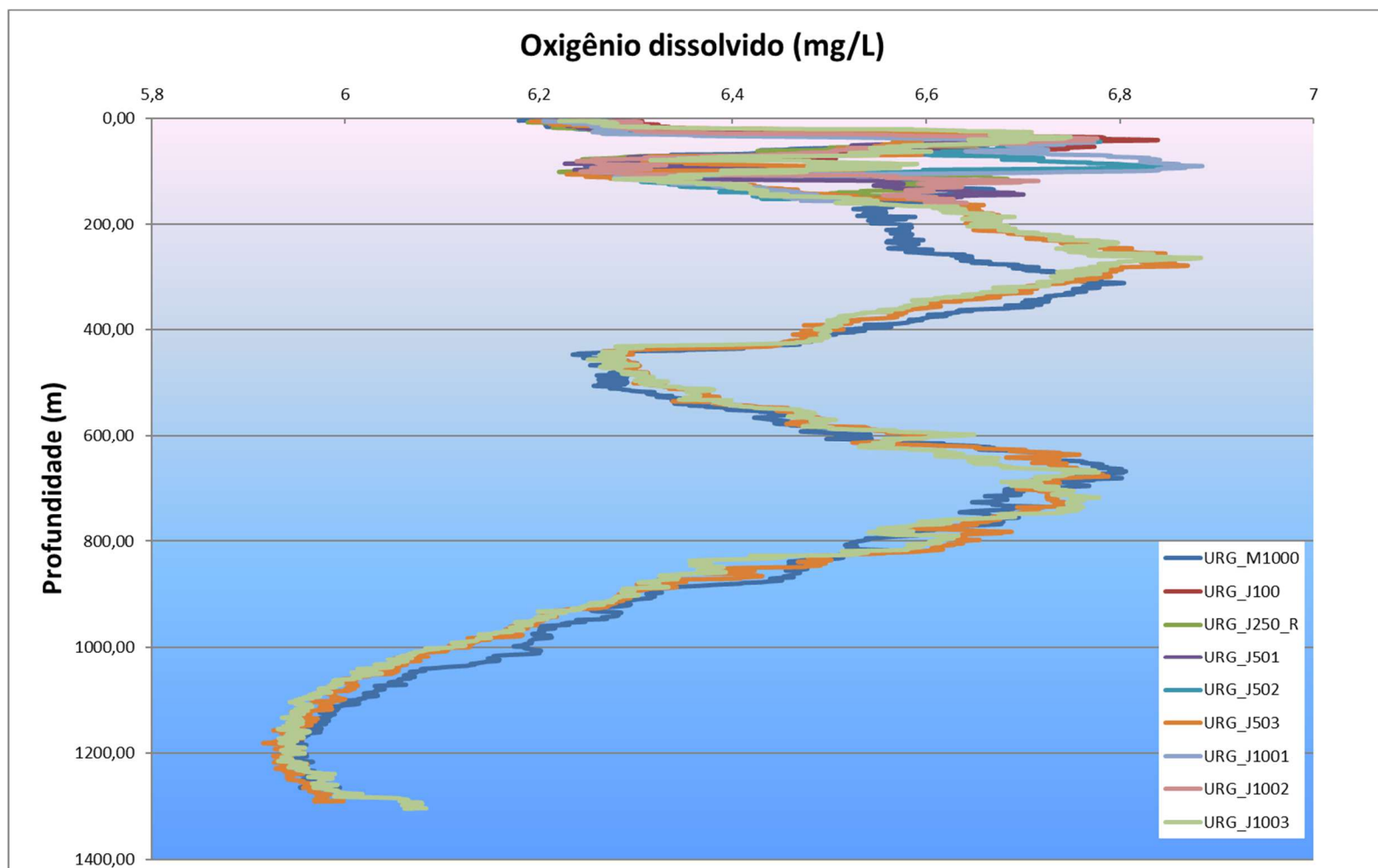


Figura V-8 – Perfis de oxigênio dissolvido (mg/L) (CTD) obtidos nas diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

Segundo Petrobras/Analytical Solutions (2002), nas proximidades do campo de Uruguá, região da Bacia de Santos, foram encontradas médias de oxigênio dissolvido iguais a 6,30 mg/L (10 m de profundidade) e 6,08 mg/L (40 m de profundidade). Na Tabela V-5, são apresentados os valores mínimo e máximo de oxigênio dissolvido encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. Essas faixas de variação corroboram as concentrações de OD verificadas nesta campanha.

Tabela V-5 - Valores de oxigênio dissolvido (mg/L) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos.

Campanha	Oxigênio dissolvido (mg/L)	
	Mín.	Máx.
URG_C3 ¹	5,93 (TC)	7,60 (TC)
URG_C4 ²	5,73 (TC)	6,73 (SUP)
URG_C5 ³	6,75 (TC)	7,54 (ABTC)
URG_C6 ⁴	4,61 (TC)	7,71 (SUP)
URG_C7 ⁵	6,18 (ACTC)	7,58 (ABTC)
URG_C8 ⁶	6,22 (ABTC)	7,29 (SUP)
URG_C9 ⁷	6,54 (TC/ABTC)	6,98 (ABTC)
URG_C10 ⁸	6,32 (SUP/TC)	6,86 (TC)
URG_C11 ⁹	5,96 (SUP)	6,72 (ABTC)
URG_C12 ¹⁰	6,28 (SUP)	7,09 (ABTC)
URG_C13 ¹¹	6,63 (ACTC)	7,44 (ABTC)
URG_C14 ¹²	6,44 (SUP)	7,18 (TC)

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

Na Figura V-9, são apresentadas as faixas de concentrações de oxigênio dissolvido (OD) obtidas em cada profundidade das campanhas de monitoramento da fase de operação. É possível verificar que C6 apresentou a variação mais ampla nas concentrações de OD em cada profundidade, com a maior parte dos valores inferiores a 6 mg/L. Nas campanhas C3, C4 e C15 também se observou camadas com maiores amplitudes de OD, mas com a maioria dos resultados acima de 6 m/L. Na comparação dos resultados obtidos em cada um dos níveis de profundidade nas campanhas de monitoramento, foram detectadas diferenças significativas entre as campanhas para todas as profundidades (*Kruskal-Wallis*, $p = < 0,001$). Na SUP, C5, C9, C13 e C14 diferiram de C11 e C12, C6 diferiu de C5, C9 e C14, e ainda C5

diferiu de C3 e C10 (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, C5 e C14 diferiu de C3, C6, C10, C11 e C12, C14 ainda também diferiu de C4. A C9 diferiu de C3, C6 e C11, enquanto a C13 difeiu da C3 e C6. A C8 e C15 diferiram da C6 (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, C5 e C7 diferiram de C3, C4, C6, C11 e C12, C14 diferiu de C3, C4, C6 e C11, e C6 diferiu de C9, C13 e C15 (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, C13 diferiu das demais campanhas, exceto de C5, C7, C12, C13, C14 e C15, C5 diferiu de C3, C4, C6, C8, C10 e C11, C7 diferiu de C4, C6 e C11; e C12, C14 e C15 diferiram de C4 e C6 (Tukey, $p < 0,05$).

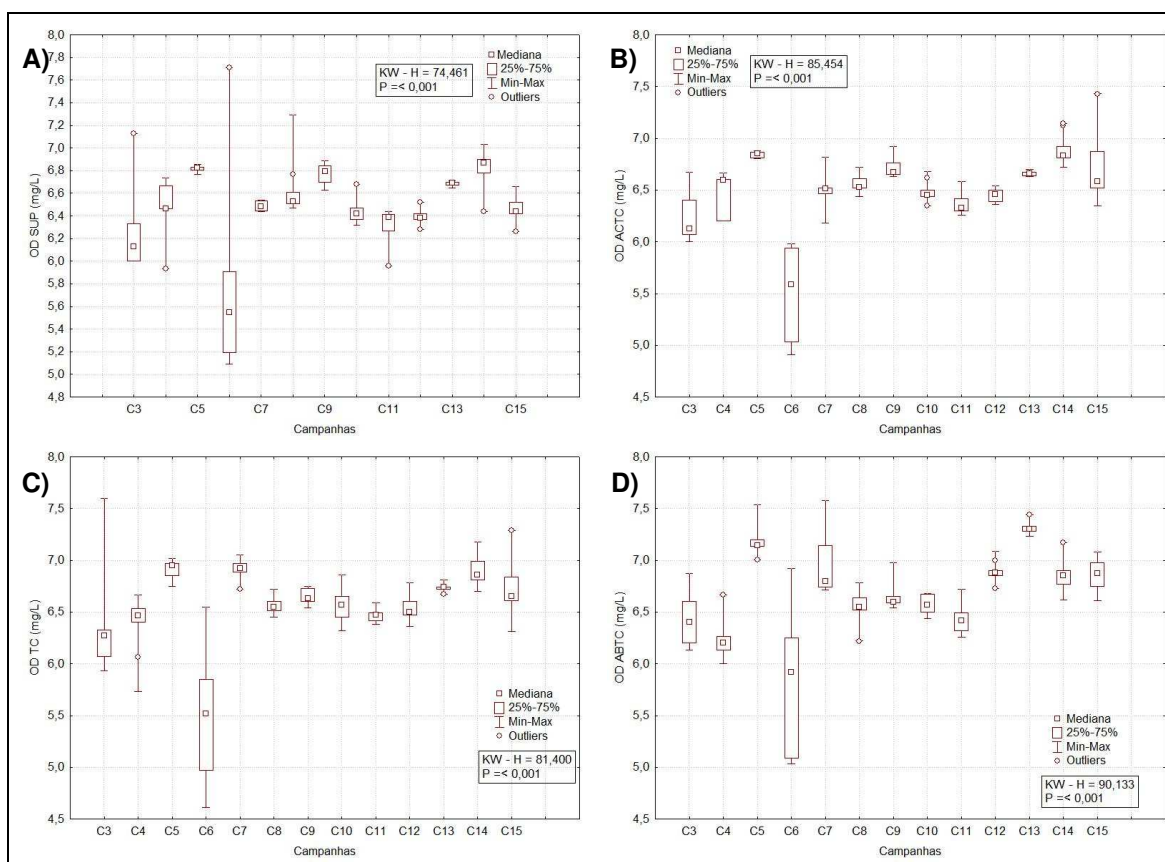


Figura V-9 – Concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.3 - Potencial Hidrogeniônico

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

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

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

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

Na presente campanha de monitoramento, o pH permaneceu alcalino em todas as amostras, variando entre 7,98, na camada acima da termoclina da estação

URG_J1002 e na termoclina da estação J502, e 8,06, na camada abaixo da termoclina das estações URG_J100 e URG_J250_R (Tabela V-6 e Figura V-10).

A média de pH entre as estações variou de $8,01 \pm 0,02$ (estações URG_J1001 e URG_1002) a $8,03 \pm 0,03$ (URG_J250_R). Na termoclina e na camada abaixo da termoclina foram observados os maiores valores médios, de pH de $8,02 \pm 0,02$ e $8,03 \pm 0,03$, respectivamente, enquanto os menores valores médios, 8,01, foram encontrados nas demais profundidades ($\pm 0,01$ na SUP e $\pm 0,02$ na ACTC) (Tabela V-6).

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	8,01	8,01	8,03	8,01	8,00	8,02	8,00	8,00	8,00	8,01	0,01
ACTC	7,99	8,02	8,04	8,02	8,01	8,00	8,04	7,98	8,02	8,01	0,02
TC	8,03	8,00	8,00	8,03	7,98	8,04	8,01	8,04	8,02	8,02	0,02
ABTC	8,05	8,06	8,06	8,01	8,01	8,02	7,99	8,03	8,05	8,03	0,03
Máx.	8,05	8,06	8,06	8,03	8,01	8,04	8,04	8,04	8,05		
Mín.	7,99	8,00	8,00	8,01	7,98	8,00	7,99	7,98	8,00		
Média	8,02	8,02	8,03	8,02	8,00	8,02	8,01	8,01	8,02		
DP	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02		

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

De maneira geral, não houve um padrão homogêneo de distribuição vertical ou horizontal dos valores de pH, sendo que as estações URG_J100, URG_J250_R, URG_J502 e URG_J1003, nas quais se observou uma tendência de aumento de SUP para ABTC, passando por um declínio em TC, camada em que três dessas estações apresentou valores de pH inferiores aqueles medidos na SUP. Nas estações URG_J503 e URG_J1002 se observou uma queda de valores da SUP para ACTC, seguido da tendência de aumento para ABTC, passando por um pico mais alto de pH em TC (Figura V-10). Os valores foram homogêneos entre as amostras, com baixos valores de desvio padrão, o que provavelmente está relacionado ao efeito tampão da água do mar sobre este parâmetro. Além disso, todos os valores de pH obtidos na atual campanha de monitoramento se encontram entre os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas classe 1, de 6,5 a 8,5.

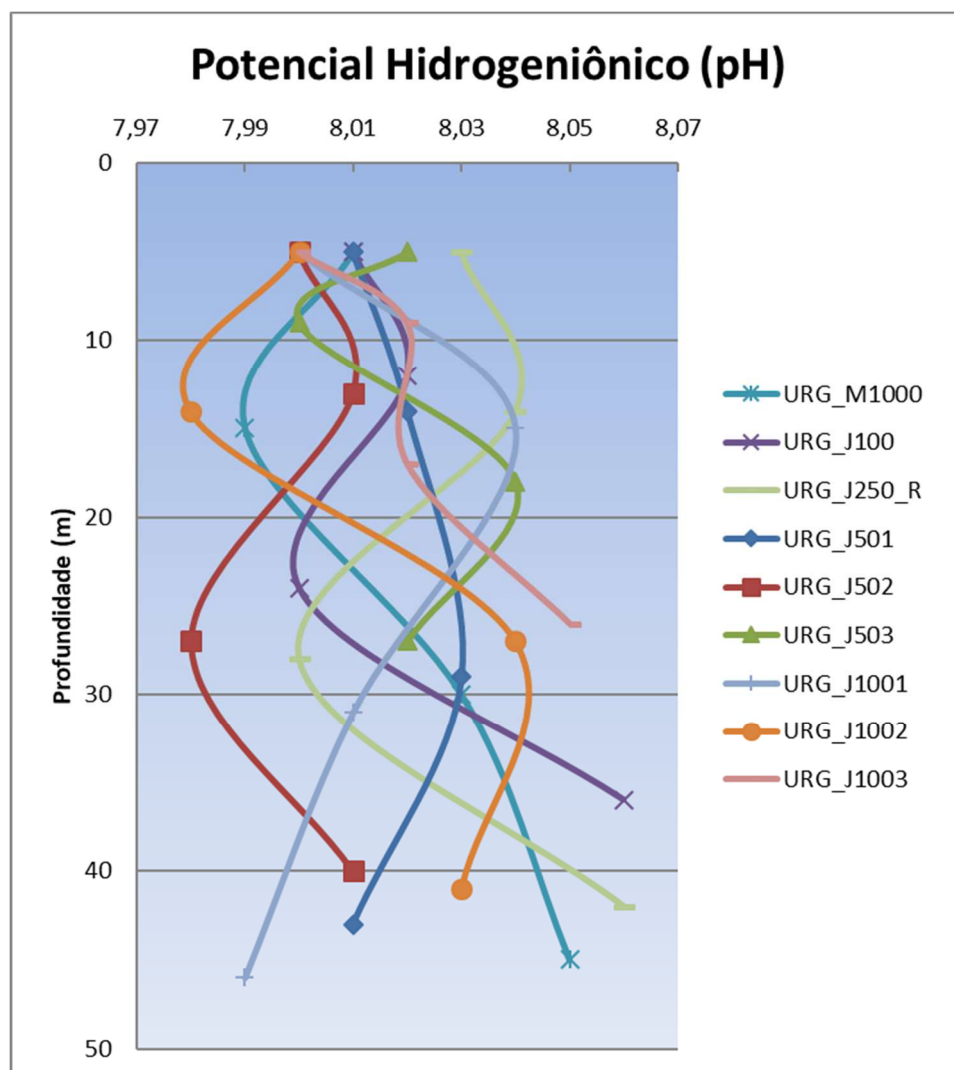


Figura V-10 – Perfis de pH obtidos nas camadas SUP, ACTC, TC e ABTC das estações de coleta da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

Em um estudo realizado por Niencheski *et al.* (1999), os valores de pH encontrados para a costa brasileira apresentam-se em torno de 8,2. Na Tabela V-7 são apresentados os valores mínimo e máximo de pH, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. De maneira geral, a faixa de variação total das campanhas anteriores (6,64 a 8,61) corrobora os valores verificados nesta campanha.

Tabela V-7 - Valores de pH encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos.

Campanha	pH	
	Mín.	Máx.
URG_C3 ¹	7,90 (ABTC)	8,07 (ACTC)
URG_C4 ²	8,16 (ABTC)	8,61 (ACTC)
URG_C5 ³	6,64 (SUP)	7,94 (ABTC)
URG_C6 ⁴	8,02 (SUP)	8,21 (ACTC)
URG_C7 ⁵	8,00 (SUP)	8,34 (ABTC)
URG_C8 ⁶	7,91 (SUP)	8,23 (ACTC)
URG_C9 ⁷	7,86 (TC)	8,19 (ABTC)
URG_C10 ⁸	8,24 (ABTC)	8,33 (ACTC/TC)
URG_C11 ⁹	8,08 (SUP)	8,27 (SUP)
URG_C12 ¹⁰	8,07 (SUP)	8,26 (TC)
URG_C13 ¹¹	8,02 (SUP)	8,14 (ACTC/TC/ABTC)
URG_C14 ¹²	7,98 (TC)	8,10 (ACTC)

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

Observa-se que a variação dos valores de pH em cada uma das profundidades foi mais ampla em C5, que também apresentou menores concentrações em relação às demais, exceto na camada acima da termoclina, em que a variação foi mais ampla em C4. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,001$) entre os dados de pH nas campanhas da fase de operação (Figura V-11). Na SUP, C4 e C10 diferiram de C3, C5, C8, C9, C14 e C15, C11 diferiu de C3, C5, C8 e C15; e C5 diferiu de C6, C7 e C12 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, C4 e C10 diferiram de C3, C5, C8, C9, C14 e C15, a C10 também diferiu da C13, a C11 e C12 diferiram de C3, C5, C14 e C15, a C7 diferiu de C3, C5 e C15, e C6 diferiu de C3 e C5 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, C4 diferiu da maioria das campanhas, exceto de C7, C10, C11 e C12, C10 diferiu de C3, C5, C8, C14 e C15, C7 e C11 diferiram de C3, C5, C14 e C15, e C12 diferiu de C3, C5 e C15, e C5 diferiu de C6 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, C4 e C10 diferiram de C3, C5, C8, C14 e C15, C10 também diferiu de C6, a C7 diferiu de C3, C5, C14 e C15, a C11 e C12 diferiram de C3, C5 e C15, e a C9 diferiu da C5 (*Tukey*, $p < 0,05$).

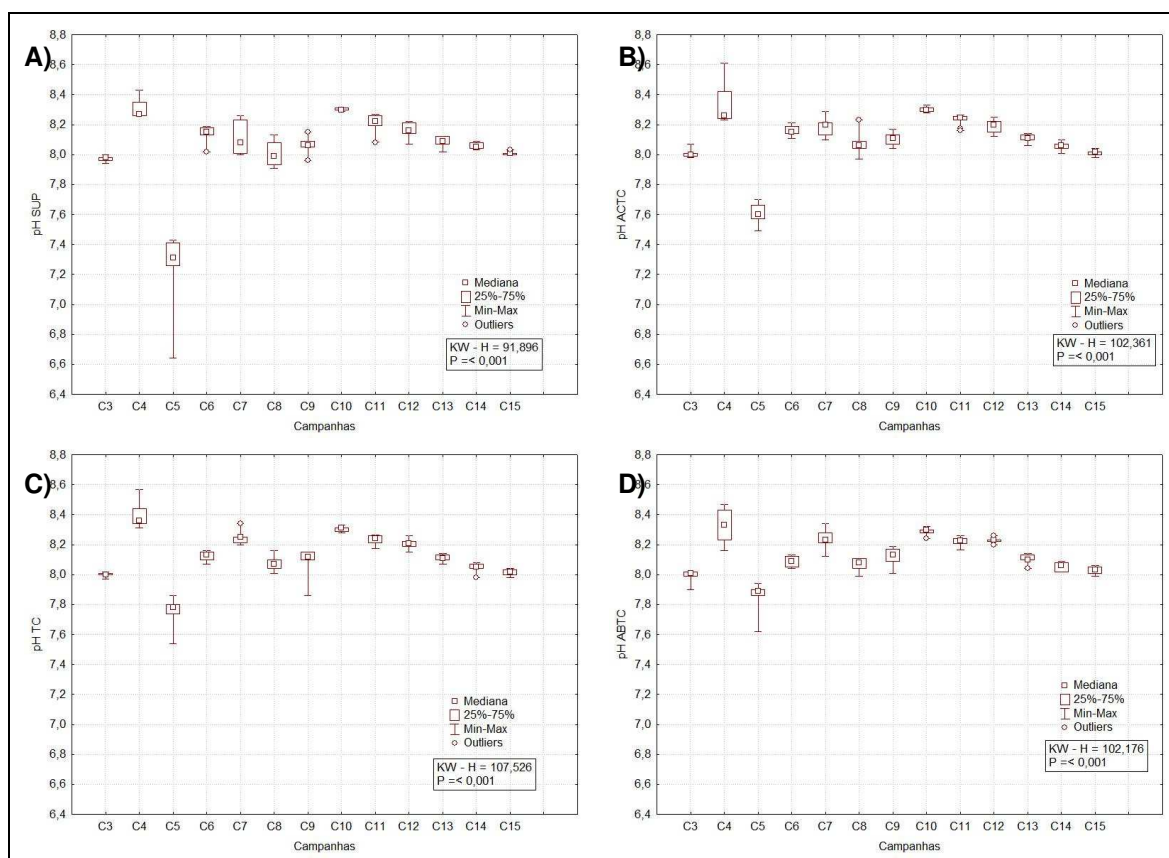


Figura V-11 – Concentrações de pH observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG.
A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.4 - Clorofila-a

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

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

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

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

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

Os valores de clorofila-a registrados na presente campanha variaram entre 0,015 µg/L, na termoclina da estação URG_J503, e 0,083 µg/L, na camada abaixo da termoclina da estação URG_J501 (As estações URG_J100 e URG_J502, por sua vez, apresentaram as concentrações médias mais baixas, obtidas entre os resultados de MPS medidos ao longo da coluna d'água (SUP, ACTC, TC e ABTC), ao passo que a estação URG_J1003 apresentou a maior concentração média ($10,39 \pm 4,00$ mg/L).

Tabela V-128). Entre os estratos, a maior concentração média de clorofila-a esteve associada a camada abaixo da termoclina ($0,064 \pm 0,014$ µg/L), enquanto a menor concentração média esteve associada à superfície ($0,040 \pm 0,007$ µg/L).

As concentrações médias, obtidas a partir dos resultados das amostras coletadas em quatro profundidades, indicaram variações entre as estações de monitoramento. As estações URG_J501 e URG_J502 apresentaram as maiores concentrações de clorofila a, enquanto as estações URG_J100 e URG_J1003 apresentaram as menores concentrações médias, sugerindo um possível aumento da produtividade nos pontos a 500 m da plataforma.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	0,051	0,034	0,036	0,042	0,032	0,049	0,034	0,039	0,043	0,040	0,007
ACTC	0,058	0,032	0,037	0,041	0,072	0,061	0,042	0,027	0,024	0,044	0,016
TC	0,052	0,033	0,048	0,050	0,047	0,015	0,053	0,077	0,044	0,047	0,017
ABTC	0,039	0,063	0,071	0,083	0,081	0,056	0,069	0,052	0,062	0,064	0,014
Máx.	0,058	0,063	0,071	0,083	0,081	0,061	0,069	0,077	0,062		
Mín.	0,039	0,032	0,036	0,041	0,032	0,015	0,034	0,027	0,024		
Média	0,050	0,041	0,048	0,054	0,058	0,045	0,050	0,049	0,043		
DP	0,008	0,015	0,016	0,020	0,023	0,021	0,015	0,021	0,016		

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

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de clorofila-a na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-2112. Através deles, foi possível verificar padrões distintos entre grupos de estações. Nas estações URG_J100, URG_J250_R, URG_J501 e URG_J1001, as concentrações de clorofila-a aumentaram da SUP até a ABTC. Na estação URG_J1003, as concentrações diminuíram da SUP até a ACTC e aumentaram da ACTC até a ABTC. Nas estações URG_J502 e URG_J503, as concentrações aumentaram da SUP até a ACTC, diminuíram da ACTC até a TC, voltando a aumentar da TC até ABTC.

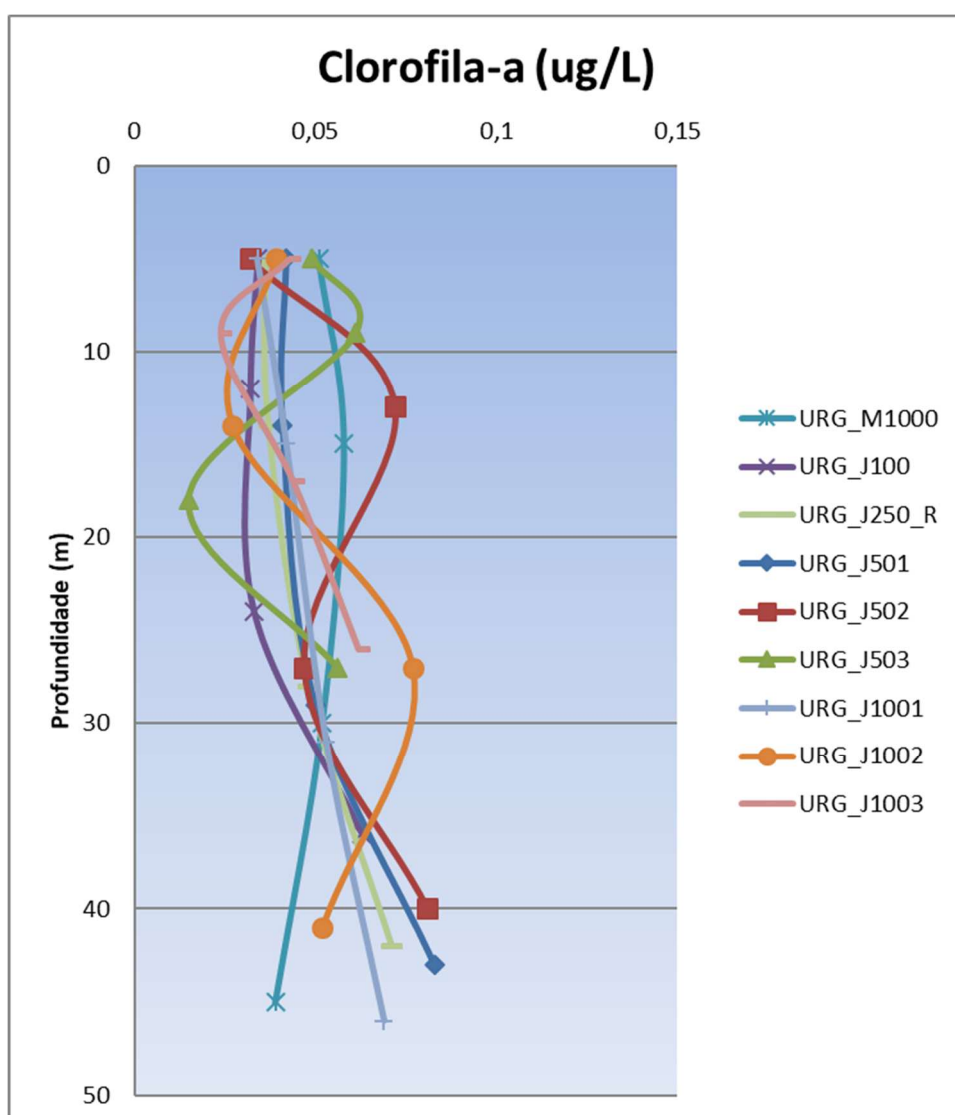
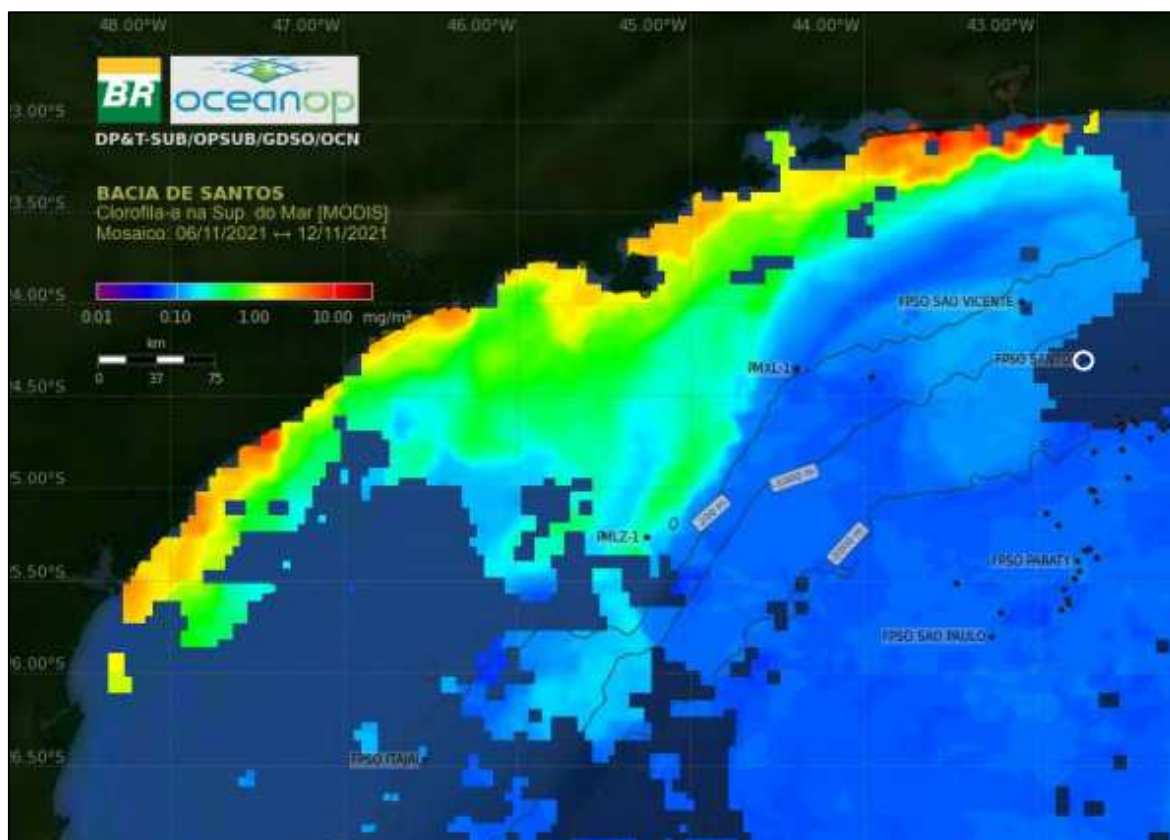


Figura V-12 – Perfis das concentrações de clorofila-a obtidos nas estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

As condições meteoceanográficas verificadas durante o período da campanha mostraram concentrações de clorofila na região, em torno de 0,045 µg/L (PETROBRAS, 2023, Figura V-13).



Fonte: Petrobras (2023)

Figura V-13 - Mosaico da concentração de clorofila na superfície do mar obtidos a partir de dados coletados entre os dias 23 de fevereiro e 02 de março de 2023. O círculo em branco indica a localização do FPSO Cidade de Santos.

Petrobras/Analytical Solutions (2002) encontraram concentrações de clorofila-a na Bacia de Santos variando entre 0,0157 e 6,308 µg/L. Na Tabela V-9 são apresentados os valores mínimo e máximo de clorofila-a, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. De maneira geral, a maioria dos valores não foi detectada nem quantificada ao longo das campanhas, enquanto nesta atual os valores quantificados e variaram entre 0,015 µg/L e 2,14 µg/L.

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

Campanha	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	
	Mín.	Máx.
URG_C3 ¹	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.q. (SUP, ACTC, TC, ABTC)
URG_C4 ²	0,11 (SUP)	0,35 (SUP)
URG_C5 ³	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)
URG_C6 ⁴	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.q. (SUP, ACTC, TC, ABTC)
URG_C7 ⁵	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	2,14 (ACTC)
URG_C8 ⁶	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	0,90 (ACTC)
URG_C9 ⁷	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)
URG_C10 ⁸	n.d. (SUP/ACTC/TC/ABTC)	n.q. (ACTC/ABTC)
URG_C11 ⁹	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)
URG_C12 ¹⁰	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.q. (ABTC)
URG_C13 ¹¹	0,03 (SUP)	0,18 (ABTC)
URG_C14 ¹²	0,008 (ACTC)	0,52 (ABTC)

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

Os valores de clorofila-a encontrados nas amostras de C7, considerando cada uma das quatro profundidades, foram, de maneira geral, superiores em relação aos valores verificados nas demais campanhas de monitoramento, apresentando também maior variabilidade nas concentrações de clorofila-a. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,001$) entre os dados de clorofila 'a' nas campanhas, para todas as profundidades (Figura V-14). Na SUP, C5 diferiu significativamente das demais campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$), exceto de C4, C6 e C7, e C4 e C7 diferiram de C13, C14 e C15, e C6 diferiu de C15. Na ACTC, C5 diferiu da maioria das campanhas, exceto de C4, C6, C7, C8 e C10, C4 e C7 diferiram de C13, C14 e C15, e C15 diferiu de C6 e C8 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, C5 diferiu da maioria das campanhas, exceto de C4, C7, C8 e C14, e C15 diferiu de C4, C6, C7, C8, C14 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, C5 diferiu das demais campanhas (*Tukey*, $p < 0,05$), exceto C4, C7, C8 e C13, e C15 diferiu de C4, C7, C8 e C13.

Em decorrência da mudança de laboratórios de análise das amostras ao longo das campanhas de monitoramento, os métodos e os limites de detecção foram diferentes (método de fluorimetria e LD = 0,2 $\mu\text{g/L}$ em C3 e LD = 0,0004 $\mu\text{g/L}$ em C13, C14 e C15, método de espectrofotometria e LD = 0,01 $\mu\text{g/L}$ em C4, método

SMEWW 10200H nas demais campanhas, LD – C5 = 4 µg/L e LD – C6 a C12 = 0,2 µg/L). Essa diversidade de métodos e limites de detecção podem ter contribuído, ao menos em parte, para acentuar as diferenças verificadas nos resultados obtidos entre as campanhas e o subsequente tratamento aplicado aos dados. Nesse contexto, as diferenças verificadas expressam resultados matemáticos, sem que se possa assegurar que correspondam a diferentes condições ambientais entre as campanhas avaliadas. Desta forma, as diferenças encontradas não podem ser consideradas conclusivas devido à grande discrepância entre os limites analíticos das campanhas testadas. Vide as diferenças constatadas entre C8 em relação a C5, cujo limite de detecção foi alto demais para garantir que houvesse concentrações nesta campanha similares as quantificadas em C8. Todas as amostras coletadas na campanha C15 apresentaram concentrações superiores ao limite LQ empregado e essa campanha diferiu de algumas campanhas específicas em todos os estratos. Importante ressaltar que nas três últimas campanhas da fase de operação, ou seja, na atual campanha (C15) e nas C13 e C14, foram empregados os menores limites de detecção para o parâmetro clorofila a.

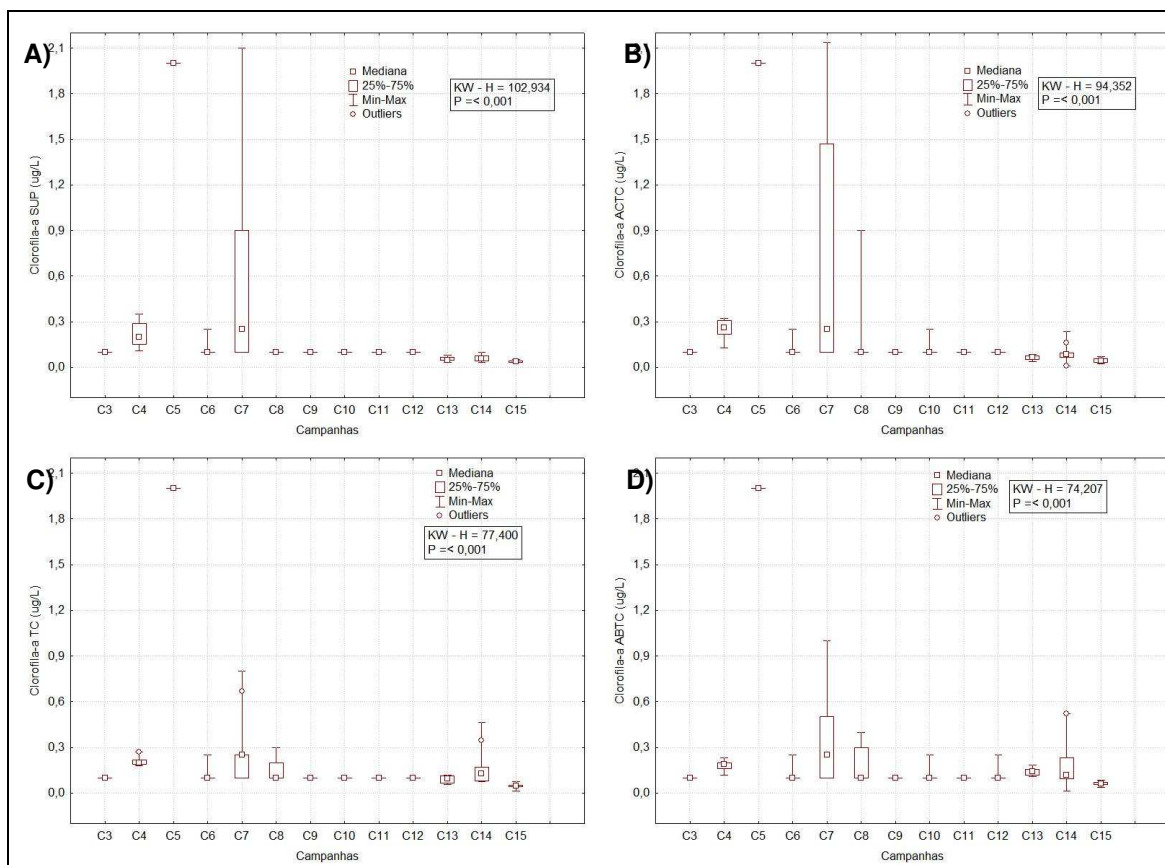


Figura V-14 – Concentrações de clorofila-a observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 e mistura de massas de água), biológicos (fixação e regeneração), climáticos (chuvas e ventos), descarga de efluentes industriais e domésticos e drenagem continental (AIDAR *et al.*, 1993; VIEIRA, 2021).

Os nutrientes (N, P e 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).

De modo geral, as regiões oceânicas tropicais e subtropicais são consideradas oligotróficas por apresentarem baixos teores em elementos nutrientes principais, destacando-se os compostos nitrogenados, o fósforo e o silício, os quais podem atuar como fatores limitantes da produção primária (ESCHRIQUE *et al.*, 2006). Os nutrientes e em especial o nitrogênio, no meio marinho, são fatores que limitam o crescimento da biomassa fitoplanctônica.

Em estudo de caracterização realizado na região da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), concentrações mínimas de silicato, foram típicas de áreas oceânicas dominadas pela AT da Corrente do Brasil, contrastando com as concentrações máximas nas áreas sob a influência da drenagem continental, sendo observado uma variação na zona epipelágica entre 0,03 e 15,3 μM no inverno e entre 0,03 e 10,4 μM nos meses do verão. Esse estudo também indicou uma concentração de fosfato na zona epipelágica variando entre 0,08 e 1,32 μM na região da BS, com mínimos na Água Tropical oligotrófica da Corrente do Brasil ao largo e máximos nas camadas de fundo dominadas pela presença da ACAS, em ambos os períodos sazonais amostrados no período de 2019 a 2022. Esse monitoramento sazonal dos nutrientes indicou uma variação na concentração de nitrato entre níveis abaixo do limite de detecção ($<0,01 \mu\text{M}$) até máximos $>17 \mu\text{M}$ no nível da Água Central do Atlântico Sul, sobretudo na plataforma externa próximo ao talude, uma concentração de nitrito predominantemente inferior a 1 μM , com picos máximo no nível da termoclina, enquanto as concentrações de amônia na zona epipelágica foram sempre $<1 \mu\text{M}$, frequentemente entre 0,1 e 0,2 μM .

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). Segundo Petrobras (2022), em caracterização regional da Bacia de Santos (PCR-BS), 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 nova 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 (LQ = 0,01 mg/L N) em nenhuma das amostras. A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. A maioria das concentrações apresentadas na tabela supracitada, assim como todas as 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.

Tabela V-10 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N), nitrito (mg/L N), nitrato (mg/L N), silicato (mg/L) e fósforo total (mg/L P) encontrados na água em estudos anteriores na Bacia de Santos (nd = não detectado e nq = não quantificado).

Campanha	Nitrogênio 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	0,0080	0,0100	0,0040	0,0050	0,0103	0,0465	0,0200	0,0700	0,0050	0,0100
URG_C3 ²	0,0033	0,0044	nd	nd	nq	0,0490	0,0540	0,2310	nq	0,0179
URG_C4 ³	nd	0,0200	nd	0,3210	nd	12,8500	0,1540	4,0100	nd	0,1900
URG_C5 ⁴	nd	0,3620	nd	nd	nd	nd	nd	1,1000	nd	2,8800
URG_C6 ⁵	nd	0,0890	nd	nd	nd	nd	nd	0,3500	nd	0,0080
URG_C7 ⁶	nd	0,0115	nd	nd	nd	nd	nq	2,5850	nd	0,0080

Campanha	Nitrogênio amoniacoal (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
URG_C8 ⁷	-	-	nd	nq	nq	0,0100	0,0160	0,0290	nq	0,0200
URG_C9 ⁸	nd	0,7370	nd	0,0090	nd	0,1000	nd	0,2300	nd	0,0720
URG_C10 ⁹	nd	0,0610	nd	0,3040	nd	0,2900	nd	0,2000	nd	0,3220
URG_C11 ¹⁰	nd	nd	nd	0,0220	nd	0,2300	nd	0,1800	nd	nd
URG_C12 ¹¹	nd	0,0270	nd	0,0180	nd	nq	nd	nd	nd	nd
URG_C13 ¹²	nq	nq	nq	nq	nq	nq	nq	0,7800	nq	nq
URG_C14 ¹³	nq	nq	nq	nq	nq	nq	nq	0,496	nq	0,011

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

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

Na Figura V-15 são apresentadas as faixas de concentrações de nitrogênio amoniacoal obtidas em cada profundidade durante as campanhas de monitoramento da fase de operação. Não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante C8, uma vez que as análises não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Observa-se que C9 apresentou maior amplitude de valores e maiores concentrações máximas. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram encontradas diferenças significativas para todas os estratos ($p \leq 0,001$). Na superfície, C6 e C9 diferiram de C7 e C11, e C11 diferiu de C4, C12, C13, C14 e C15 (Tukey, $p < 0,05$). Na camada acima da termoclina, C6 diferiu de C5, C7, C10 e C11, e C11 diferiu de C3, C4, C9, C12, C13, C14 e C15 (Tukey, $p < 0,05$). Na termoclina, C6 diferiu de C7 e C11, e C11 diferiu de C3, C4, C9, C12, C13, C14 e C15 (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, C6 e C9 diferiram de C5 e C11 e C11 diferiu de C3, C4, C12, C13 e C14 (Tukey, $p < 0,05$).

Em decorrência da mudança de laboratórios de análise das amostras ao longo das campanhas de monitoramento houve variação dos limites de detecção e dos métodos de ensaio de nitrogênio amoniacoal utilizados nas diferentes campanhas (método azul de indofenol e colorimetria e LD = 0,001 mg/L N para C3 e 0,01 mg/L N para C4, SMEWW 4500 NH₃ F e LD = 0,007 mg/L N para C5, C6 e C7, MAOQ – FURG (1996) e LD = 0,003 mg/L N para C8, EPA 350.1 e LD = 0,003 mg/L N para

C13, C14 e C15, e SMEWW 4500 $\text{NH}_3 \text{H}$, $\text{LD} = 0,003 \text{ mg/L N}$ e congelamento em ultrafreezer a -20°C para C9 a C12). As mudanças de método e de LDs, conforme o laboratório, podem ter contribuído, ao menos em parte, para acentuar as diferenças de concentrações encontradas entre as campanhas.

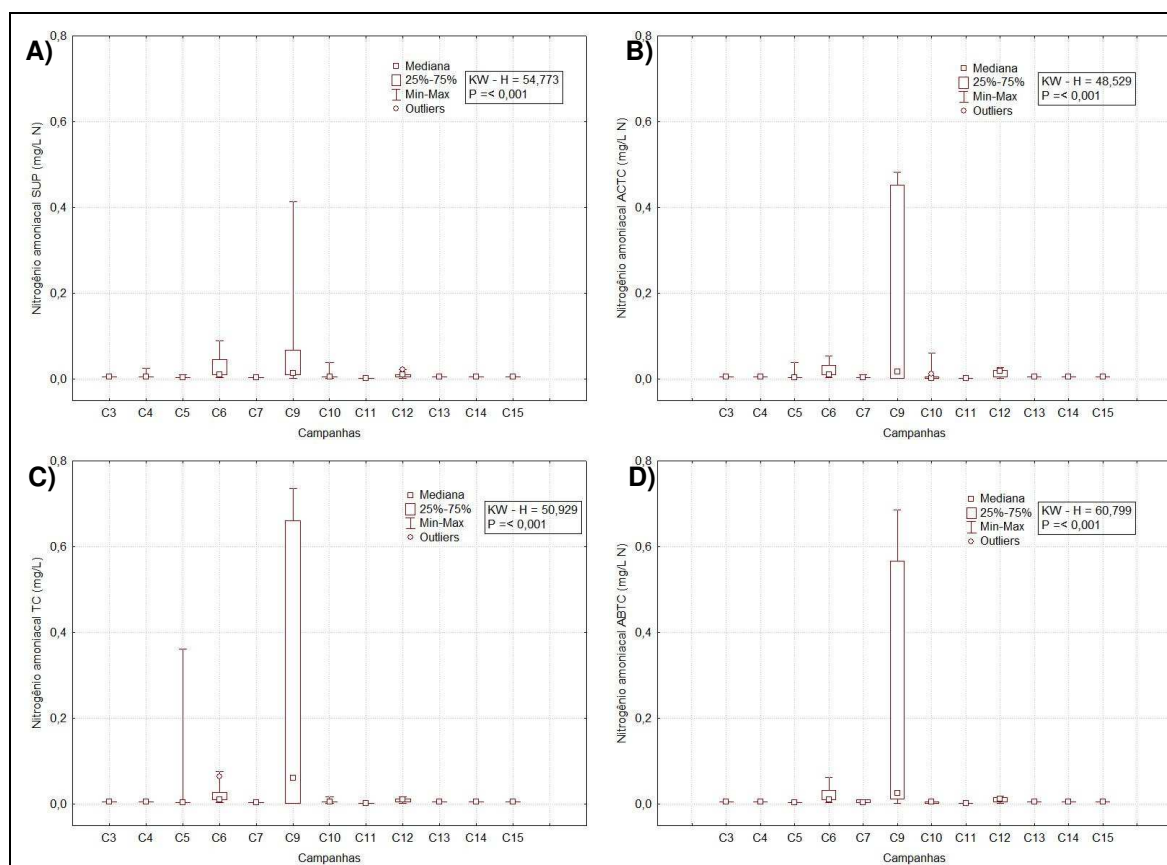
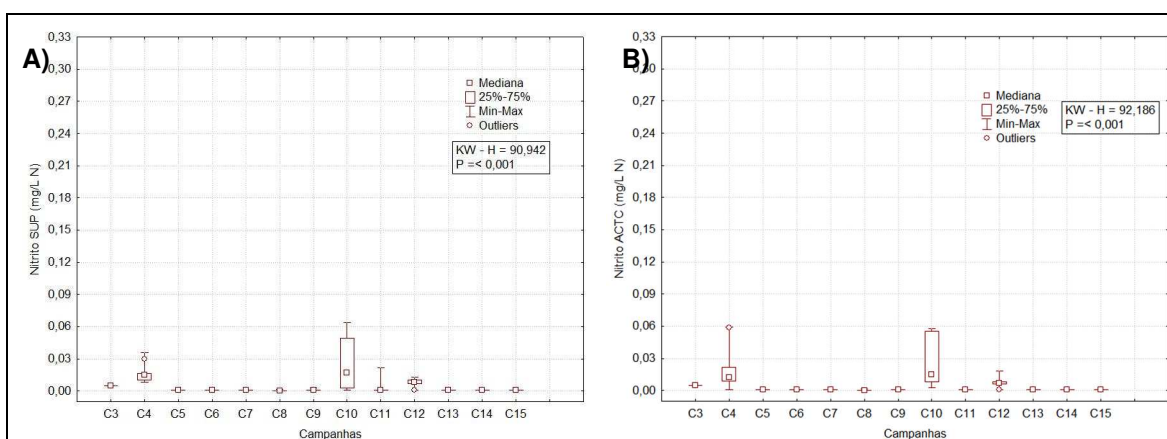


Figura V-15 – Concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas ($\text{LQ} = 0,002 \text{ mg/L N}$) concentrações de nitrito em nenhuma das amostras. Todas as concentrações verificadas na atual campanha estão enquadradas conforme concentração limite definida pela CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1, de $0,07 \text{ mg/L N}$. A Tabela V-10 apresenta resultados obtidos para estes parâmetros em estudos anteriores na região de interesse, onde é possível observar que concentrações inferiores ao limite definido pela CONAMA nº 357/05 são rotineiramente observadas.

Ao longo das campanhas da fase de operação, as concentrações de nitrito só foram quantificadas durante C4, C9, C10, C11 e C12. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para as amostras de nitrito foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,001$) entre os dados das campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-16). Na SUP, C4 diferiu significativamente da maioria das demais campanhas, exceto de C3, C9, C10, C11 e C12, e C8 diferiu de C3, C10 e C12 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, C10 diferiu da maioria das campanhas, exceto de C3, C4 e C12, e C8 diferiu de C3 e C12 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, C4 e C10 diferiram da maioria das campanhas, exceto C3, C9 e C12, mas não diferiram entre si, enquanto a C8 ainda diferiu de C3 e C12 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, C4 e C10 diferiram de C5, C6, C7, C8, C13, C14 e C15, e C8 ainda diferiu de C3 e C12 (*Tukey*, $p < 0,05$).

Em decorrência da mudança de laboratórios de análise das amostras ao longo das campanhas de monitoramento houve variação dos limites de detecção e dos métodos de ensaio de nitrito utilizados nas diferentes campanhas (método da diazotação e colorimetria e LD = 0,0005 mg/L N para C3 e 0,002 mg/L N para C4, SMEWW 4500 B e LD = 0,002 mg/L N para C5, C6, C7, C9, C10, C11 e C12 e LD = 0,001 mg/L N para C13, C14 e C15, e MAOQ – FURG (1996) e LD = 0,0001 mg/L N para C8).. As mudanças de método e de LDs, conforme o laboratório, podem ter contribuído, ao menos em parte, para acentuar as diferenças de concentrações encontradas entre as campanhas.



C)

D)

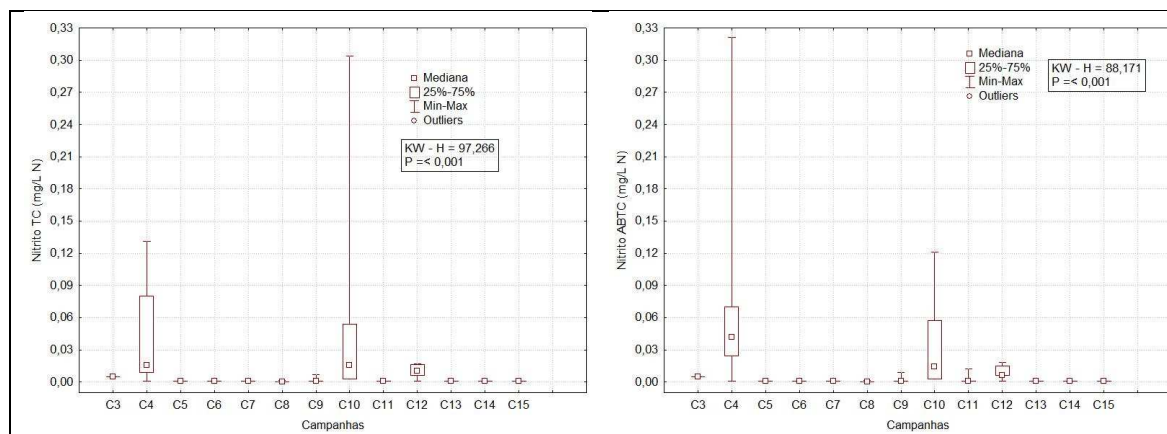


Figura V-16 – Concentrações de nitrito (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Para o nitrato, nenhuma das concentrações foi quantificada (LQ = 0,2 mg/L N). A Tabela V-10 apresenta os resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. Os resultados obtidos para a atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação apresentada pela literatura para o local. Todas as concentrações da atual campanha foram inferiores a 0,4 mg/L N, limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

Não foram detectados nem quantificados valores de nitrato nas amostras da C5, C6, C7, C12, C13, C14 e C15. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis*, para as amostras de nitrato coletadas em todas as profundidades, foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,001$) entre os dados das campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-17). Na SUP, C13, C14 e C15 diferiram de C3, C8, C9 e C11, e C8 diferiu de C4 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC e TC, C4, C13, C14 e C15 diferiram de C3, C8, C9, C11 e C12, e C8 diferiu de C5, C6 e C7, além de diferenças entre C4 e C10 e entre C8 e C10 na TC (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, C4, C13, C14 e C15 diferiram de C3, C8, C9 e C12, a C4 ainda diferiu de C10 e C11, e a C8 diferiu de C5, C6 e C7 (*Tukey*, $p < 0,05$).

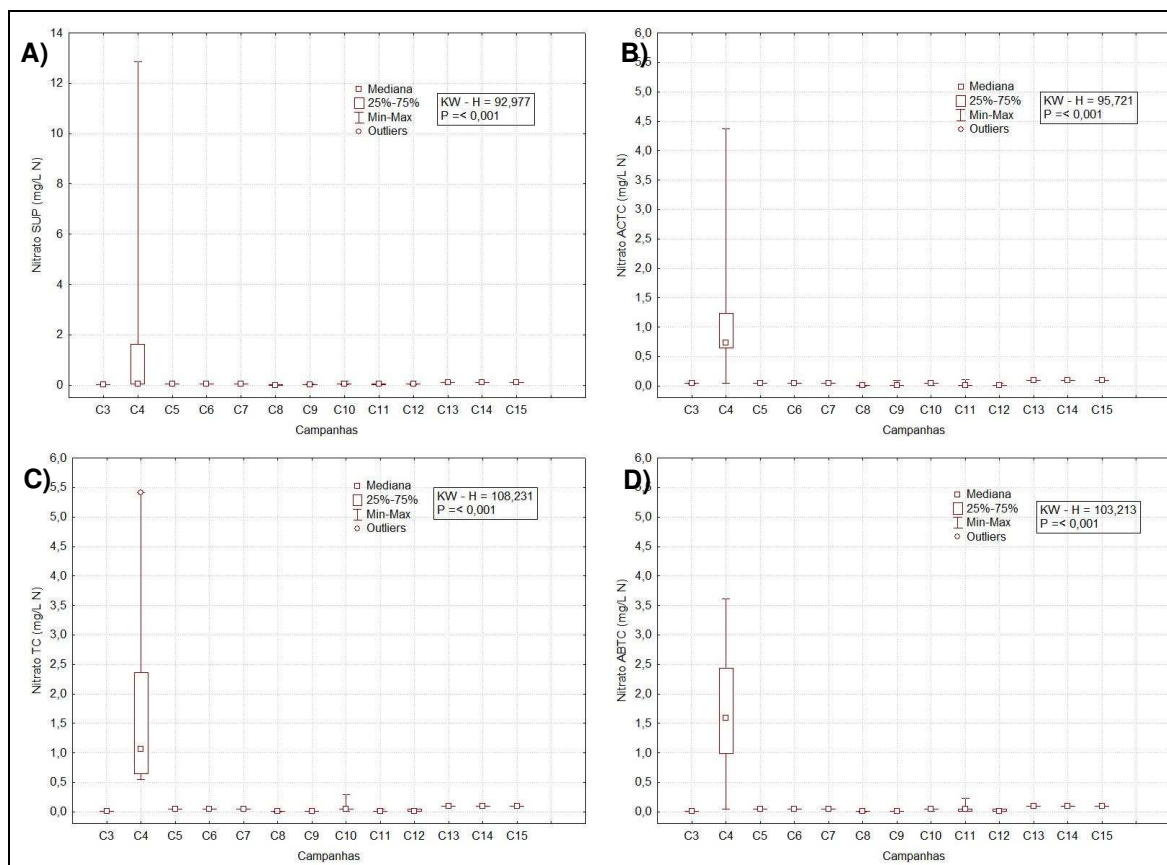


Figura V-17 – Concentrações de nitrato (mg/L N) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina

Em decorrência da mudança de laboratórios de análise das amostras ao longo das campanhas de monitoramento houve variação do limite de detecção e dos métodos analíticos de ensaio de nitrato utilizados nas diferentes campanhas (método da diazotização e colorimetria, com LD = 0,01 mg/L N para C3 e LD = 0,1 mg/L N para C4, SMEWW 4500 e HACH 8192 e LD = 0,1 mg/L N para C5, C6, C7, C9, C10, C11 e C12, MAOQ – FURG (1996) e LD = 0,0001 mg/L N para C8, e SMEWW 4500 E e LD = 0,05 mg/L N para C13, C14 e C15). As mudanças de método e de LDs, conforme o laboratório, podem ter influenciado os resultados encontrados nos testes estatísticos, tendo em conta a grande semelhança das diferenças encontradas entre os diferentes estratos.

Os valores de silicato registrados na presente campanha variaram entre 4,137 mg/L na camada acima da termoclina da estação URG_J503 a 0,085 mg/L, na superfície de URG_M1000 (Tabela V-11). Entre os estratos, a maior concentração

média de silicato esteve associada à camada acima da termoclina ($0,751 \pm 1,280$ mg/L), enquanto as menores concentrações médias estiveram associadas à superfície ($0,345 \pm 0,185$ mg/L).

A Tabela V-11 apresenta os resultados obtidos para este parâmetro em estudos anteriores na região de interesse. As concentrações verificadas na atual campanha encontram-se dentro da faixa de variação para a região, sendo que o maior valor observado nessa campanha, foi o maior registrado para a região nas campanhas anteriores. A Resolução CONAMA nº 357/2005 não apresenta valor máximo de concentração de silicato para águas salinas classe 1.

Os valores da distribuição vertical das concentrações de silicato na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-18.

Observa-se pouca variação da distribuição vertical dos valores de silicato ao longo da coluna d'água, para a maioria das estações. Destaca-se, a estação URG_J503, com maior concentração de silicato de SUP para ACTC (4,137 mg/L) em comparação às demais estações, e posterior redução dos valores de ACTC para ABTC.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	0,085	0,366	0,094	0,208	0,400	0,634	0,515	0,389	0,418	0,35	0,18
ACTC	0,175	0,345	0,247	0,553	0,136	4,137	0,558	0,413	0,192	0,75	1,28
TC	0,666	0,784	1,229	0,843	0,523	0,511	0,199	0,156	0,150	0,56	0,36
ABTC	0,209	1,161	0,567	0,245	0,632	0,207	0,362	0,639	0,349	0,49	0,31
Máx.	0,666	1,161	1,229	0,843	0,632	4,137	0,558	0,639	0,418		
Mín.	0,085	0,345	0,094	0,208	0,136	0,207	0,199	0,156	0,15		
Média	0,28	0,66	0,53	0,46	0,42	1,37	0,41	0,40	0,28		
DP	0,26	0,39	0,50	0,30	0,21	1,85	0,16	0,20	0,13		

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

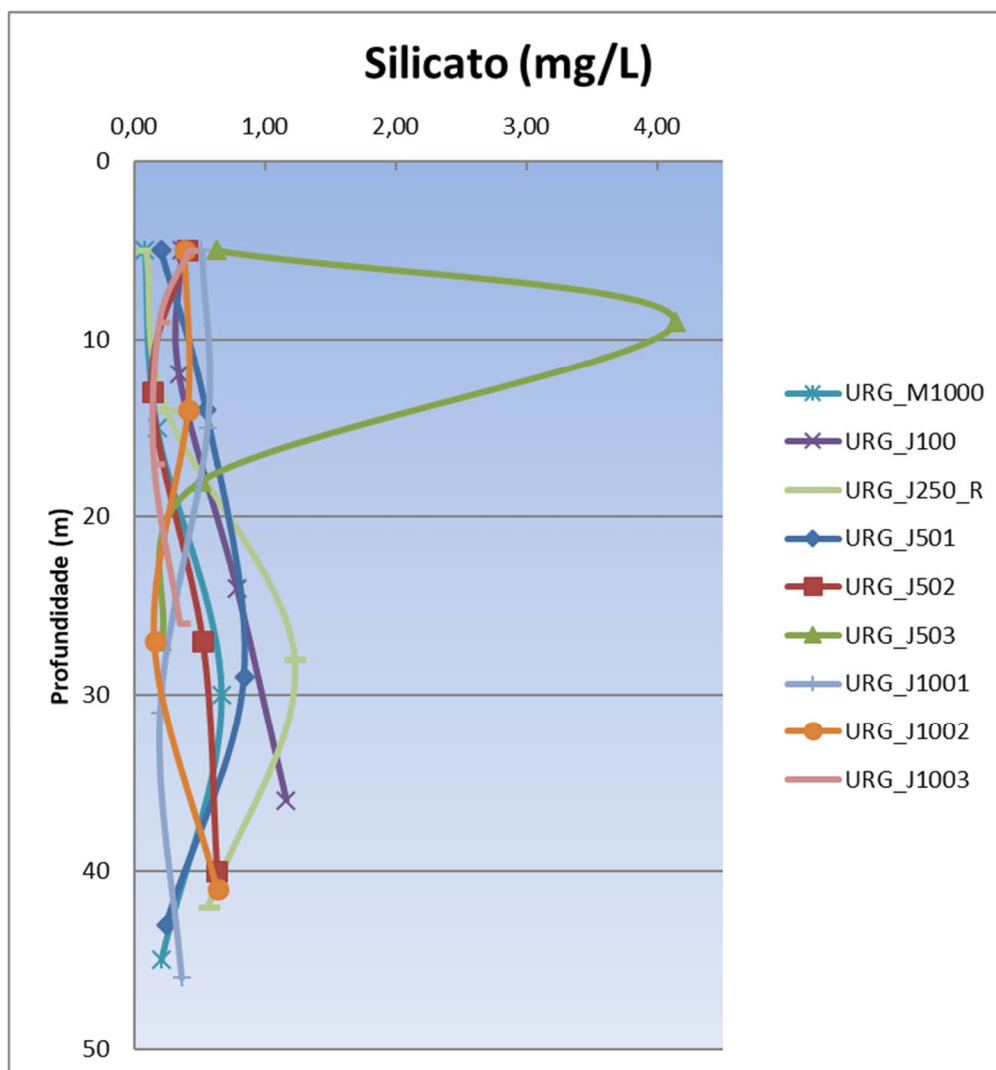


Figura V-18 – Valores das concentrações de silicato (mg/L) obtidos nas profundidades de coleta das diferentes estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento do PMPR_URG.

Os valores de silicato total encontrados nas amostras da atual campanha (C15), considerando cada uma das quatro profundidades, apresentaram grande amplitude de variação, juntamente com a C4 na camada ACTC (Figura V-19). Na SUP, a C4 apresentou maior variação de valores e maior valor máximo. A campanha atual (C15) também teve maior variação na camada TC e maior valor máximo, em comparação às demais campanhas. Na ABTC, a C4, C5, C7 e C15 mostraram variação mais ampla das concentrações, sendo ainda que C7 apresentou maior máximo em relação às demais campanhas.

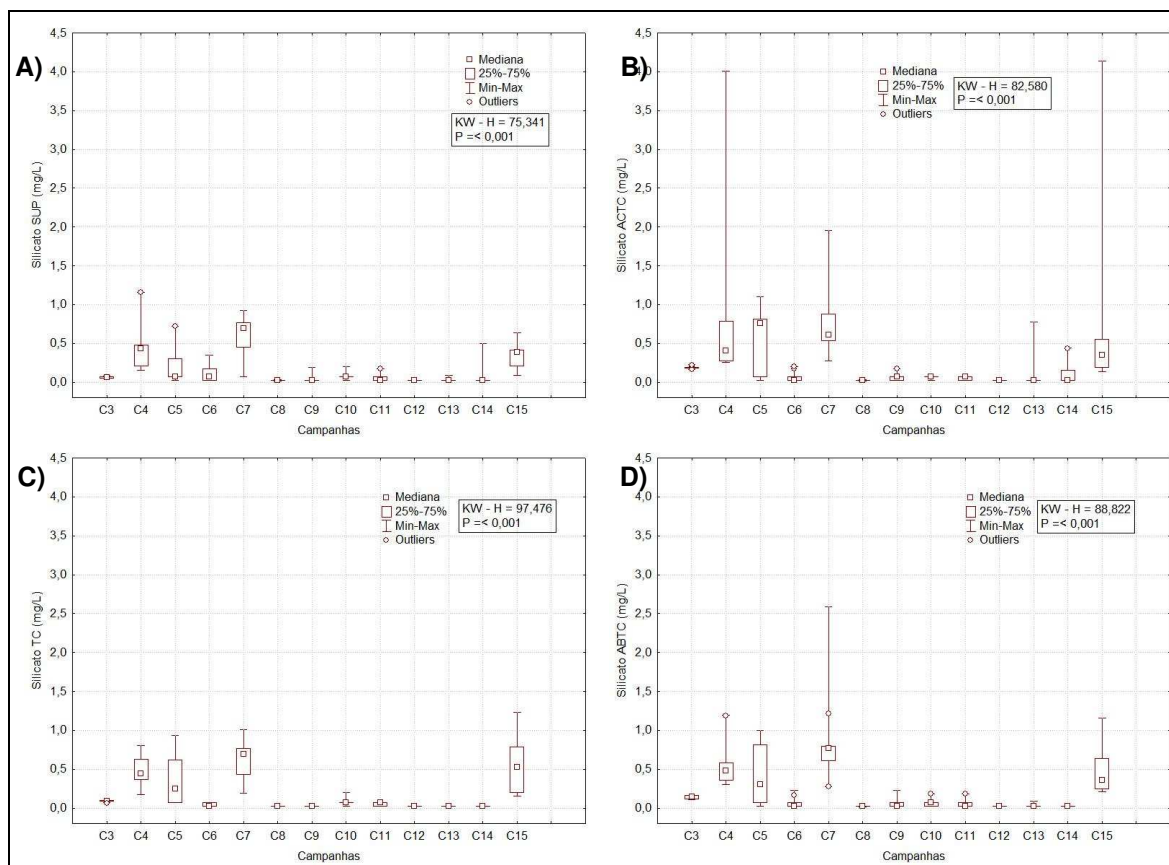


Figura V-19 – Concentrações de silicato total (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,001$) entre os dados de silicato das campanhas, para todas as profundidades consideradas (Figura V-19). Na superfície, C7 diferiu de C8, C9, C11, C12, C13 e C14, e C4 diferiu de C8, C9, C11, C12 e C13, e C15 diferiu de C8, C9, C12 e C13 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada acima da termoclina, C7 diferiu da maioria das campanhas, exceto de C3, C4, C5, C10 e C15, C4 diferiu de C6, C8, C11, C12, C13 e C14, C15 diferiu de C8, C12 e C13, C5 diferiu C8 e C12, e C3 diferiu de C8 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na termoclina, C4, C5 C7 e C15 diferiram de C8, C9, C12, C13 e C14, C7 e C15 ainda diferiu de C6, e C3 diferiu de C8 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada abaixo da termoclina, C4, C7 e C15 diferiram C8, C9, C11, C12, C13 e C14, a C7 ainda diferiu de C6, e C8 diferiu de C3 e C5 (*Tukey*, $p < 0,05$). É importante ressaltar que, com a mudança de laboratório de análise das amostras ao longo das campanhas, os métodos analíticos e os limites de detecção para os ensaios de silicato variaram entre as campanhas (método silicomolibdico e análise

por colorimetria com LD = 0,01 mg/L para C3 e C4, SMEWW 4500 C e LD = 0,05 mg/L para C5, C6, C7, C9, C10, C11 e C12 e LD = 0,020 mg/L para C13, C14 e C15, e MAOQ – FURG (1996) e LD = 0,001 mg/L para C8).

O fósforo total é uma soma de todos os compostos de fósforo presentes em solução na água: ortofosfato/fosfatos, fosfatos condensados e fósforo orgânico. De modo geral, o fósforo no oceano existe nas formas dissolvidas, representada pelo fósforo inorgânico solúvel e compostos de fósforo orgânico e coloidal, e o fósforo particulado, associado ao plâncton vivo e morto, aos compostos minerais, e adsorvido ao material particulado em suspensão. As formas orgânicas e inorgânicas particuladas e dissolvidas do fósforo sofrem uma ciclagem contínua, havendo a transformação na zona fótica, com a assimilação do fósforo inorgânico e a incorporação à biomassa planctônica, a remineralização do fósforo orgânico ao longo da coluna d'água, e o acúmulo de compostos fosfatados nas águas mais profundas, após serem bioquimicamente processados ao longo da termoclina permanente (PAYTAN & MCLAUGHLIN, 2007). Os ortofosfatos biodisponíveis em solução são assimilados pelo fitoplâncton e, a partir daí, podem ser incorporados à biomassa da cadeia trófica local. Após a morte de organismos dessa cadeia, os compostos fosfatados 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 (C15), não foram quantificadas concentrações de fósforo total (LQ = 0,005 mg/L P) em nenhuma das amostras. Conforme a resolução CONAMA nº 357/05, para águas salinas classe 1, o valor máximo para o parâmetro fósforo total é de 0,062 mg/L P, o qual não foi excedido em nenhuma das amostras coletadas. A Tabela V-10 apresenta concentrações de fósforo total obtidas em estudos anteriores na Bacia de Santos. A partir desta, é possível verificar que os dados da atual campanha estão dentro da faixa de concentração já observada para o local.

Devido à não quantificação de fósforo total, não foi possível verificar o padrão de distribuição vertical nem horizontal das concentrações.

Os valores de fósforo total encontrados nas amostras da atual campanha, considerando cada uma das quatro profundidades, estiveram dentro do intervalo de valores das campanhas anteriores (Figura V-20). Destaca-se que as

concentrações na superfície de C10, na camada TC de C5 e na camada ABTC de C4 apresentaram maiores variações em relação ao padrão geral observado ao longo do projeto, em virtude da ocorrência de concentrações *outliers*. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,001$) entre os dados de fósforo obtidos nas campanhas, para todas as profundidades consideradas.

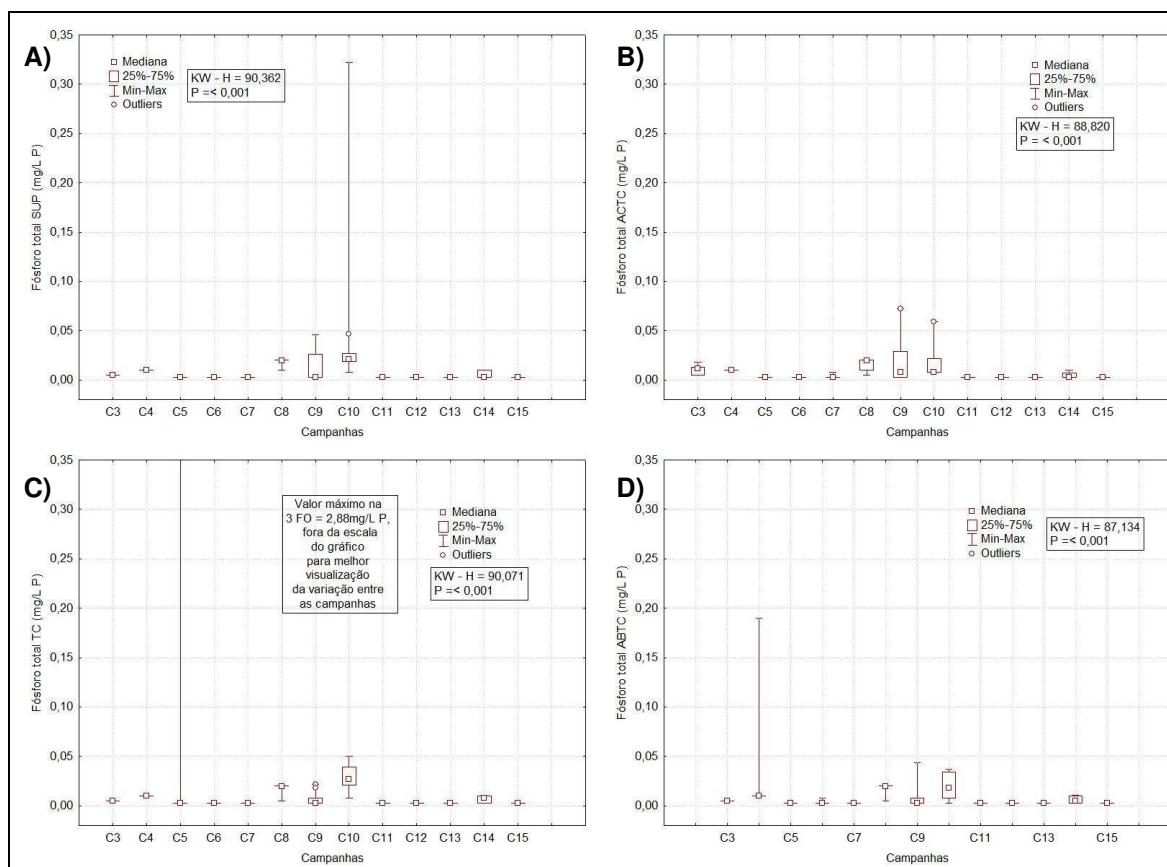


Figura V-20 – Concentrações de fósforo total (mg/L P) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Na SUP, C8 e C10 diferiram de C5, C6, C7, C11, C12, C13 e C15 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ACTC, C8 e C10 diferiram de C5, C6, C7, C11, C12, C13 e C15, e C3 e C4 diferiram de C5, C6, C11, C12, C13 e C15 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, C8 e C10 diferiram de C5, C6, C7, C11, C12, C13 e C15, e C4 diferiu de C6, C7, C11, C12, C13 e C15 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, C4, C8 e C10 diferiram de C5, C7, C11, C12, C13 e C15, e ainda C4 e C8 diferiram de C6 (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, as diferenças concentraram-se entre o grupo formado entre a C4, C8 e C10 e o grupo

formado pelas demais campanhas, exceto C3, C9 e C14. É importante ressaltar que, por conta de mudanças de laboratório de ensaio das amostras, houve variação dos métodos analíticos e limites de detecção empregados no ensaio de fósforo total entre as campanhas (método de digestão em meio ácido e análise pelo método fosfomolibdico com LD = 0,001 mg/L P para C3 e LD = 0,02 mg/L P para C4, SMEWW 4500 PE e LD = 0,005 mg/L P para C5, C6, C7, C9, C10, C11 e C12 e LD = 0,002 mg/L P para C13, C14 e C15, e EPA 365.2 e LD = 0,002 mg/L P para C8).

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 0,68 mg/L, na superfície na estação URG_J250_R, e 13,82 mg/L, na camada acima da termoclina da estação URG_J1003 (As estações URG_J100 e URG_J502, por sua vez, apresentaram as concentrações médias mais baixas, obtidas entre os resultados de MPS medidos ao longo da coluna d'água (SUP, ACTC, TC e ABTC), ao passo que a estação URG_J1003 apresentou a maior concentração média (10,39 ± 4,00mg/L).

Tabela V-12). Entre os estratos, a maior concentração média de MPS esteve associada à superfície ($3,55 \pm 3,34$ mg/L), enquanto a menor concentração média esteve associada à camada abaixo da termoclina ($2,18 \pm 1,38$ mg/L).

As estações URG_J100 e URG_J502, por sua vez, apresentaram as concentrações médias mais baixas, obtidas entre os resultados de MPS medidos ao longo da coluna d'água (SUP, ACTC, TC e ABTC), ao passo que a estação URG_J1003 apresentou a maior concentração média ($10,39 \pm 4,00$ mg/L).

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	4,82	0,76	0,68	1,16	0,78	3,30	3,34	6,58	10,54	3,55	3,34
ACTC	3,68	0,86	1,20	1,40	1,02	3,84	2,44	2,34	13,82	3,40	4,06
TC	3,66	0,80	2,16	0,90	2,05	3,24	3,08	1,08	12,46	3,27	3,60
ABTC	4,02	1,26	1,04	1,70	1,06	2,72	1,06	2,00	4,74	2,18	1,38
Máx.	4,82	1,26	2,16	1,70	2,05	3,84	3,34	6,58	13,82		
Mín.	3,66	0,76	0,68	0,90	0,78	2,72	1,06	1,08	4,74		
Média	4,05	0,92	1,27	1,29	1,23	3,28	2,48	3,00	10,39		
DP	0,54	0,23	0,63	0,34	0,56	0,46	1,02	2,45	4,00		

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

Os perfis verticais de distribuição das concentrações de MPS na coluna d'água das estações da atual campanha são mostrados na Figura V-21. Através deles, foi possível verificar que a maioria das estações apresentaram poucas variações de concentração entre as profundidades, ficando maior destaque à estação URG_J1003 com as maiores concentrações de MPS ao longo de todo o perfil, e maior valor médio ($10,39 \pm 4,00$ mg/L). As estações URG_J100, URG_501 e URG_502, tenderam a apresentar as menores concentrações ao longo do perfil vertical.

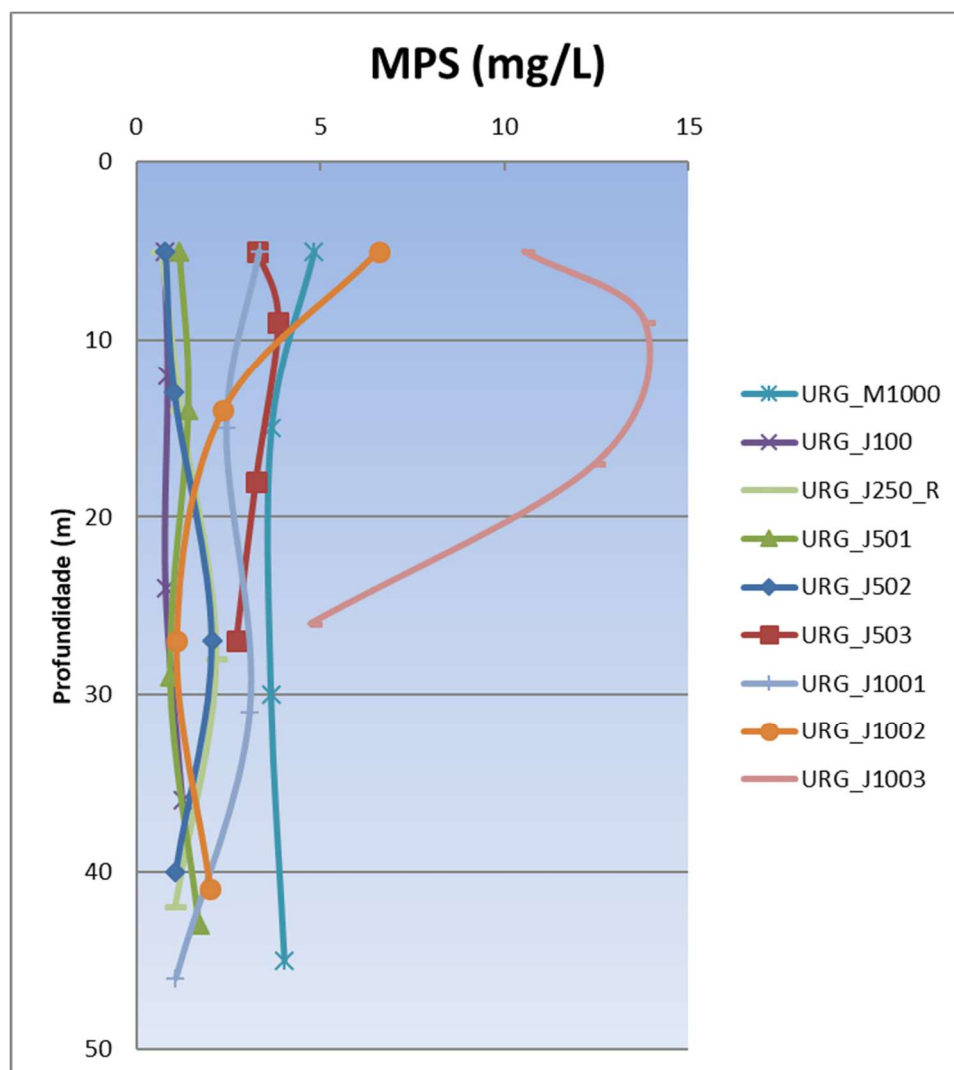


Figura V-21 – Perfis das concentrações de MPS obtidos nas estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento de PMPR_URG.

Na Tabela V-13 são apresentados os valores mínimo e máximo de MPS, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. De maneira geral, as concentrações encontradas na atual campanha estiveram acima da faixa de valores encontrada anteriormente.

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

Campanha	MPS (mg/L)	
	Mín.	Máx.
URG_C3 ¹	n.d. (SUP)	7,13 (TC)
URG_C4 ²	n.d. (ABTC)	9,78 (ACTC)
URG_C5 ³	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)
URG_C6 ⁴	n.d. (SUP, ACTC, TC, ABTC)	6,00 (ABTC)
URG_C7 ⁵	1,20 (ABTC)	5,50 (TC)
URG_C8 ⁶	nq (SUP/ABTC)	10,53 (SUP)
URG_C9 ⁷	nd (SUP/ACTC/TC/ABTC)	6,57 (TC)
URG_C10 ⁸	nd (ACTC/TC/ABTC)	6,43 (SUP)
URG_C11 ⁹	3,65 (TC)	7,28 (SUP, ACTC)
URG_C12 ¹⁰	5,28 (ABTC)	8,95 (ABTC)
URG_C13 ¹¹	0,40 (ABTC)	6,85 (ACTC)
URG_C14 ¹²	2,80 (TC)	20,20 (ACTC)

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

De maneira geral, maiores concentrações de MPS foram encontradas em C14. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,001$) entre os dados das campanhas da fase de operação para todas as profundidades (Figura V-22). Na superfície, C14 diferiu da maioria das demais campanhas, exceto de C4, C11 e C12, C12 diferiu de C3 e C9, e C3 diferiu de C4 e C11 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada ACTC, C14 diferiu da maioria das demais campanhas, exceto de C4, C11 e C12, C4, C11 e C12 diferiram de C3, C9 e C10 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na TC, C14 diferiu da maioria das demais campanhas, exceto de C4, C8, C11, C12 e C13, C4 diferiu de C3, C9, C10 e C15, C12 diferiu de C3 e C10, e C11 diferiu de C10 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na ABTC, C14 diferiu da maioria das demais campanhas, exceto de C4, C6, C8, C11 e C12, C12 diferiu de C3, C9, C10, C13 e C15, e C11 diferiu de C3, C9, C10 e C15 (*Tukey*, $p < 0,05$). Assim, de maneira geral, as diferenças concentraram-se entre C14 e as demais campanhas, e algumas diferenças pontuais entre C3, C11 e C12 e algumas campanhas.

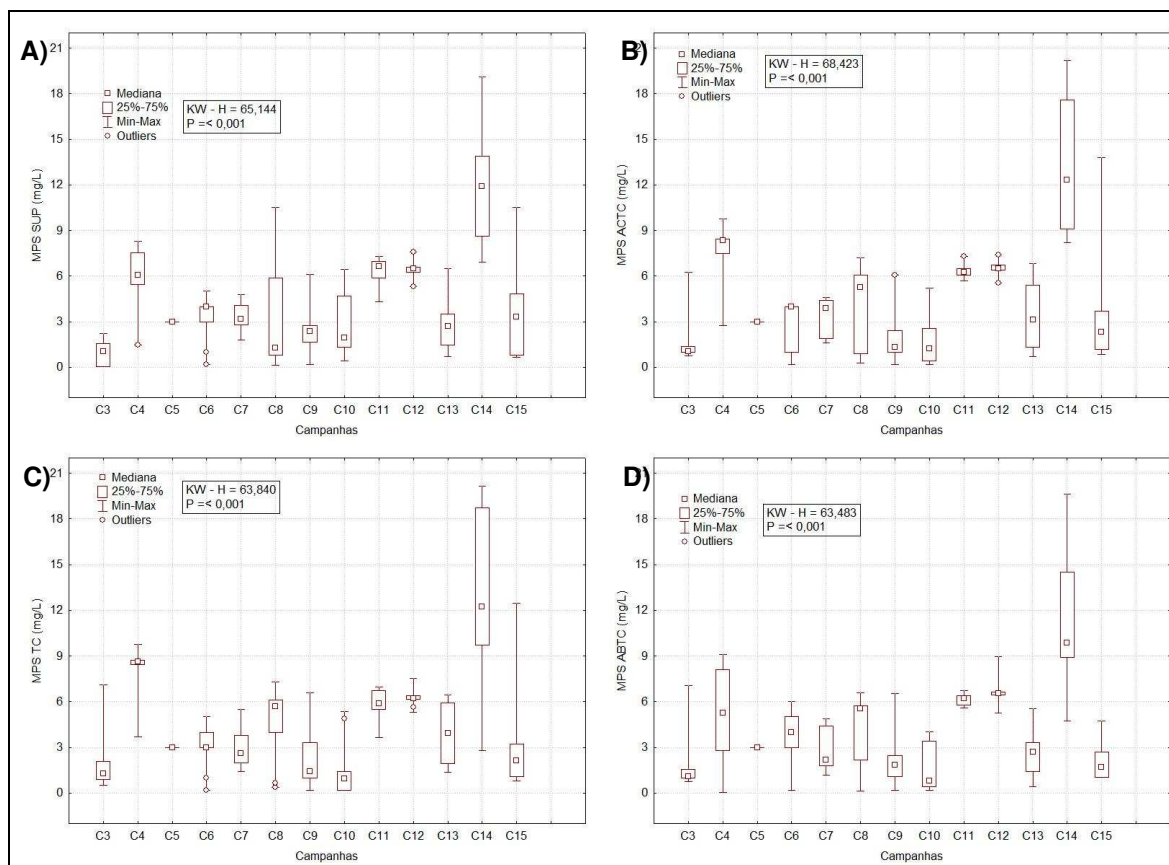


Figura V-22 – Concentrações de MPS (mg/L) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

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 0,59 mg/L C, na camada abaixo da termoclina da estação URG_J502, a 0,89 mg/L C, na superfície da estação URG_J1002 (Tabela V-14).

No período de realização da presente campanha, a concentração de COT na água produzida foi 793,1 mg/L N, na saída do flotor. Apesar da elevada

concentração desse parâmetro na água produzida, foram observados baixos valores de COT nas estações de monitoramento, tanto a montante como a jusante da plataforma. O efeito esperado era que houvesse aumento de COT nas estações imediatamente a jusante da plataforma. Porém, não foram observadas variações positivas desse parâmetro em nenhuma das profundidades da estação URG_J100, e nem em nenhuma das demais amostras, que apresentaram pouca variação nas concentrações de COT entre as amostras (0,59 a 0,89 mg/L C) (Tabela V-14). Assim, e considerando que os valores observados são característicos de águas oceânicas e que o valor máximo foi encontrado URG_J1002, não é possível diferenciar os efeitos do descarte de água produzida das condições de COT naturais do corpo receptor.

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

Estrato	Estações									Média	DP
	URG_M1000	URG_J100	URG_J250_R	URG_J501	URG_J502	URG_J503	URG_J1001	URG_J1002	URG_J1003		
SUP	0,70	0,71	0,67	0,63	0,72	0,69	0,70	0,89	0,72	0,71	0,07
ACTC	0,77	0,71	0,70	0,74	0,67	0,75	0,74	0,71	0,71	0,72	0,03
TC	0,69	0,72	0,83	0,71	0,78	0,69	0,80	0,73	0,75	0,74	0,05
ABTC	0,71	0,70	0,71	0,67	0,59	0,67	0,84	0,65	0,71	0,69	0,07
Máx.	0,77	0,72	0,83	0,74	0,78	0,75	0,84	0,89	0,75		
Mín.	0,69	0,70	0,67	0,63	0,59	0,67	0,70	0,65	0,71		
Média	0,72	0,71	0,73	0,69	0,69	0,70	0,77	0,74	0,72		
DP	0,04	0,01	0,07	0,05	0,08	0,04	0,06	0,10	0,02		

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

Na maioria das estações as concentrações de COT foram relativamente constantes ao longo da coluna, apresentando valores médios em torno de 0,72 mg/L (Tabela V-14). E nesse contexto, não se observou uma oscilação vertical pronunciada nas concentrações obtidas em diferentes profundidades, ficando a maioria em torno da média, exceto na estação URG_J1002 que apresentou o maior valor na de MPS na superfície (Figura V-233). 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.

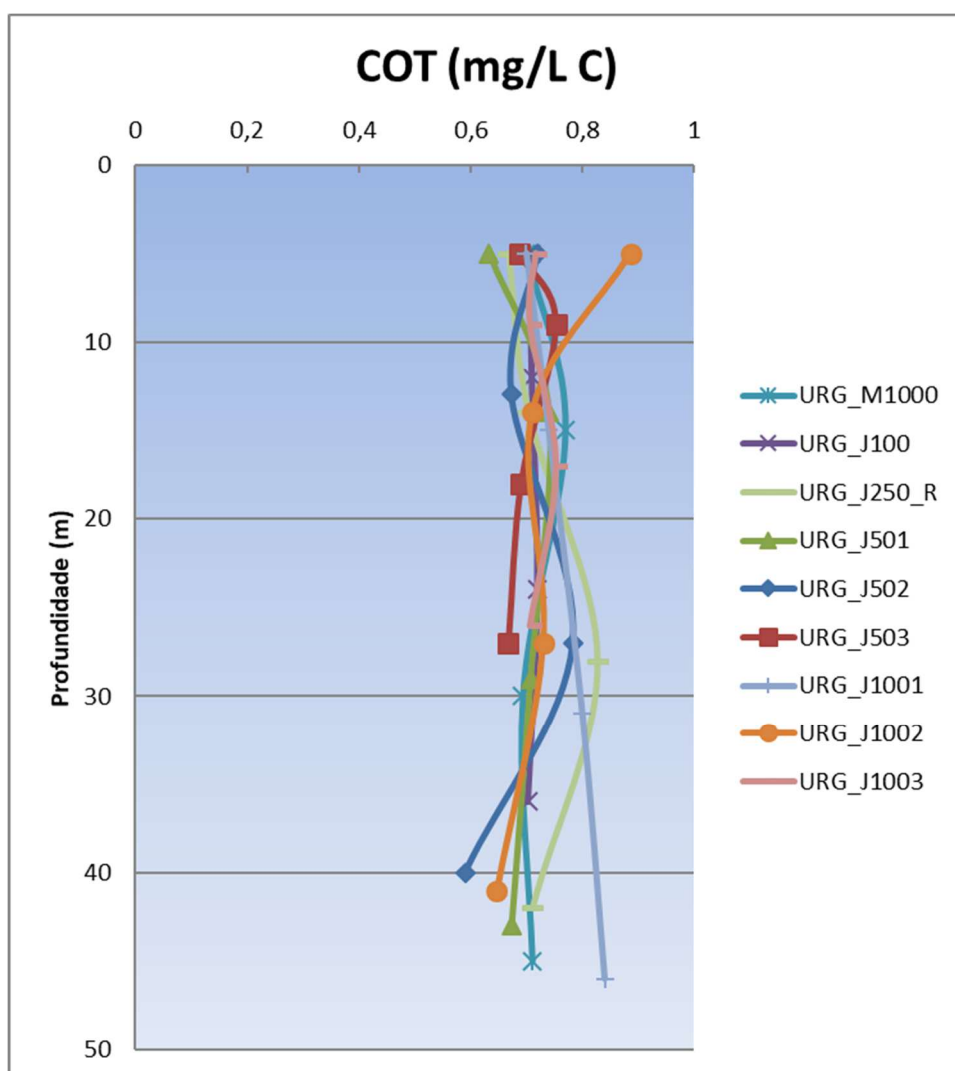


Figura V-23 – Perfis das concentrações de COT obtidos nas estações amostrais da atual campanha (C15) de monitoramento de PMPR_URG.

Na Tabela V-15, são apresentados os valores mínimo e máximo de COT, encontrados nas campanhas anteriormente realizadas na região. As concentrações encontradas na atual campanha variaram na mesma faixa de resultados verificados em campanhas anteriores, sendo, as atuais concentrações máximas, inferiores em relação àquelas encontradas em todas as demais campanhas.

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

Campanha	COT (mg/L C)	
	Min	Máx
URG_C3 ¹	nd (SUP)	4,00 (TC)
URG_C4 ²	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)	142,00 (ACTC)
URG_C5 ³	nd (SUP/TC)	4,10 (SUP)
URG_C6 ⁴	nq (ACTC/TC/ABTC)	1,60 (ABTC)
URG_C7 ⁵	1,04 (TC)	1,61 (TC)
URG_C8 ⁶	-	-
URG_C9 ⁷	1,06 (TC)	2,79 (ABTC)
URG_C10 ⁸	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,74 (SUP)
URG_C11 ⁹	nd (ACTC/TC/ABTC)	2,07 (SUP)
URG_C12 ¹⁰	nq (SUP/ACTC/TC/ABTC)	1,12 (TC)
URG_C13 ¹¹	1,12 (TC/ABTC)	1,49 (TC)
URG_C14 ¹²	0,84 (SUP)	2,23 (ABTC)

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

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

Na Figura V-244 são apresentadas as faixas de concentrações de COT obtidas em cada profundidade durante as campanhas de monitoramento da fase de operação. Cabe ressaltar que não são apresentados os resultados obtidos para esse parâmetro durante C8, uma vez que as análises desta campanha não atenderam às especificações técnicas requeridas para os procedimentos analíticos. Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* para todas as profundidades foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,001$) entre os dados de COT obtidos nas campanhas de monitoramento para todas as profundidades. Na SUP, C7 e C13 diferiram de C10, C12 e C15, e C10 diferiu de C11 (Tukey, $p < 0,05$). Na ACTC, C3 diferiu de C5, C10, C11, C12 e C15, e C7, C9 e C13 diferiram de C10, C12 e C15 (Tukey, $p < 0,05$). Na TC, C3, C13 diferiu de C6, C10, C12 e C15, e C10 diferiu de C7 e C9 (Tukey, $p < 0,05$). Na ABTC, C3 diferiu de C4, C6, C10, C11, C12 e C15, C9 diferiu de C6, C10, C12, C10 diferiu de C7, C13 e C14, e C6 diferiu de C7 (Tukey, $p < 0,05$).

Cabe ressaltar que os métodos foram semelhantes entre as campanhas (métodos SMEWW 5310 A/B/C), mas os limites de detecção e os laboratórios variaram (LD = 0,50 mg/L para C3 a C7, LD = 0,30 mg/L para C9 a C12 e LD =

0,005 mg/L para C13, C14 e C15). As mudanças de LDs, conforme o laboratório, podem ter contribuído, ao menos em parte, para acentuar as diferenças de concentrações encontradas entre as campanhas.

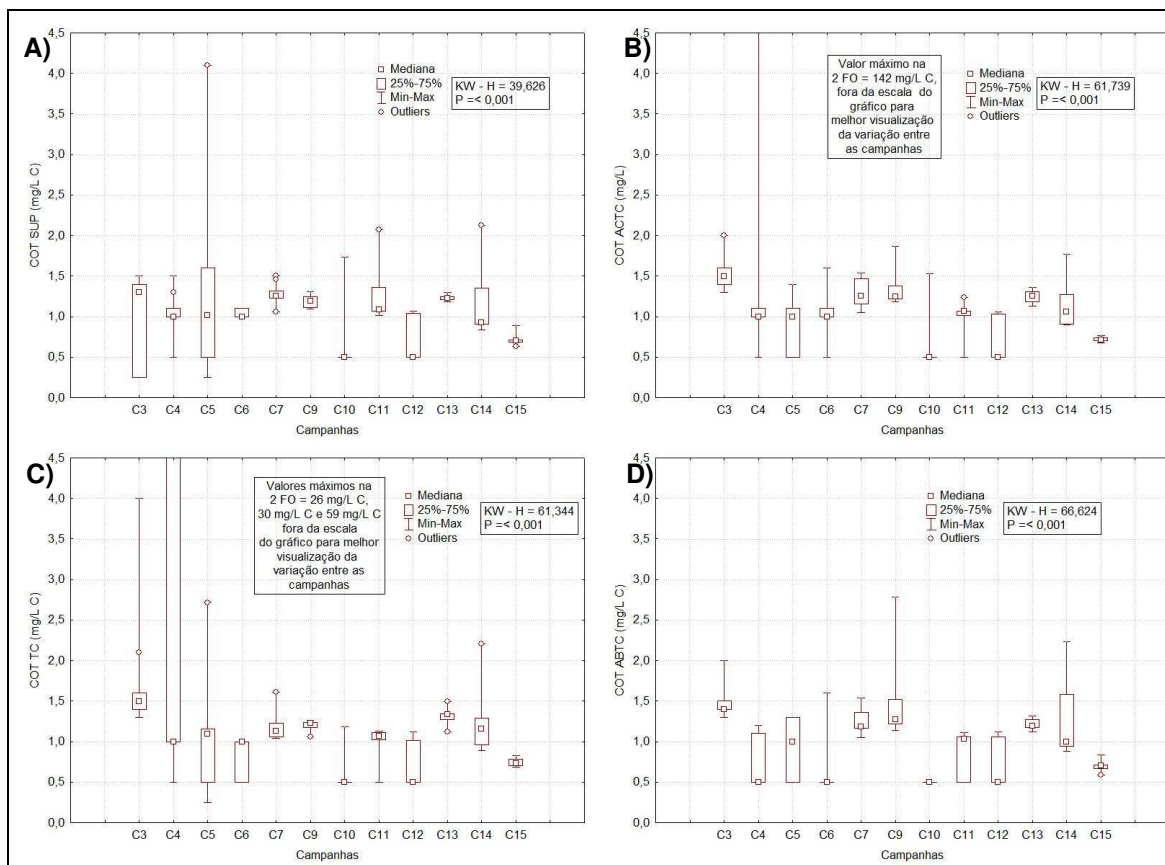


Figura V-24 – Concentrações de COT (mg/L C) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina (em C4 ocorreu um valor máximo de 142 mg/L) e D) Abaixo da Termoclina.

V.1.7 - Sulfetos

Os sulfetos são encontrados amplamente na natureza, provenientes dos campos de petróleo e gás natural, das águas subterrâneas, das zonas pantanosas, das jazidas de sal, de carvão, de minérios sulfetados e da emissão de vulcões, ou seja, são originários de processos geológicos baseados em diversos mecanismos físico-químicos ou microbiológicos. O enxofre é um elemento de extrema importância na biosfera marinha, e os micro-organismos desempenham papéis fundamentais no ciclo biogeoquímico deste elemento (Moran & Durham, 2019).

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 concentrações de sulfetos (LQ = 0,002 mg/L S) em nenhuma das amostras. Todos os resultados da campanha estão enquadrados no limite estabelecido pela CONAMA.

Assim como ocorreu na atual campanha (URG_C15), baixos teores de sulfetos observados são esperados para ambientes pelágicos. O mesmo foi observado nas campanhas anteriores de monitoramento ambiental na fase de operação do sistema de Uruguá. Na campanha URG_C3 foram encontradas concentrações quantificáveis de sulfetos em apenas duas amostras (0,03 mg/L S na ACTC da estação J250 e 0,06 mg/L S na ABTC da estação M1000) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012), em URG_C9 foram identificadas em algumas amostras com concentrações variando entre 0,010 mg/L S (SUP) e 0,025 mg/L S (ACTC) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2018), e na campanha URG_C10 em algumas amostras com concentrações entre 0,015 mg/L S (SUP/TC) e 0,034 mg/L S (ABTC) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2019a).

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p < 0,001$) entre os dados de sulfeto obtidos nas campanhas, em todas as profundidades consideradas (Figura V-255). Nas camadas SUP, ACTC, TC e ABTC, as campanhas C9 e C10 do sistema Uruguá diferiram de C3, C4, C8, C12, C13, C14 e C15, e C8 diferiu de C5, C6 e C7 (*Tukey*, $p < 0,05$). Na camada ACTC, C11 e C9 também diferiram (*Tukey*, $p < 0,05$), enquanto a ABTC, C8 também diferiu de C11 (*Tukey*, $p < 0,05$).

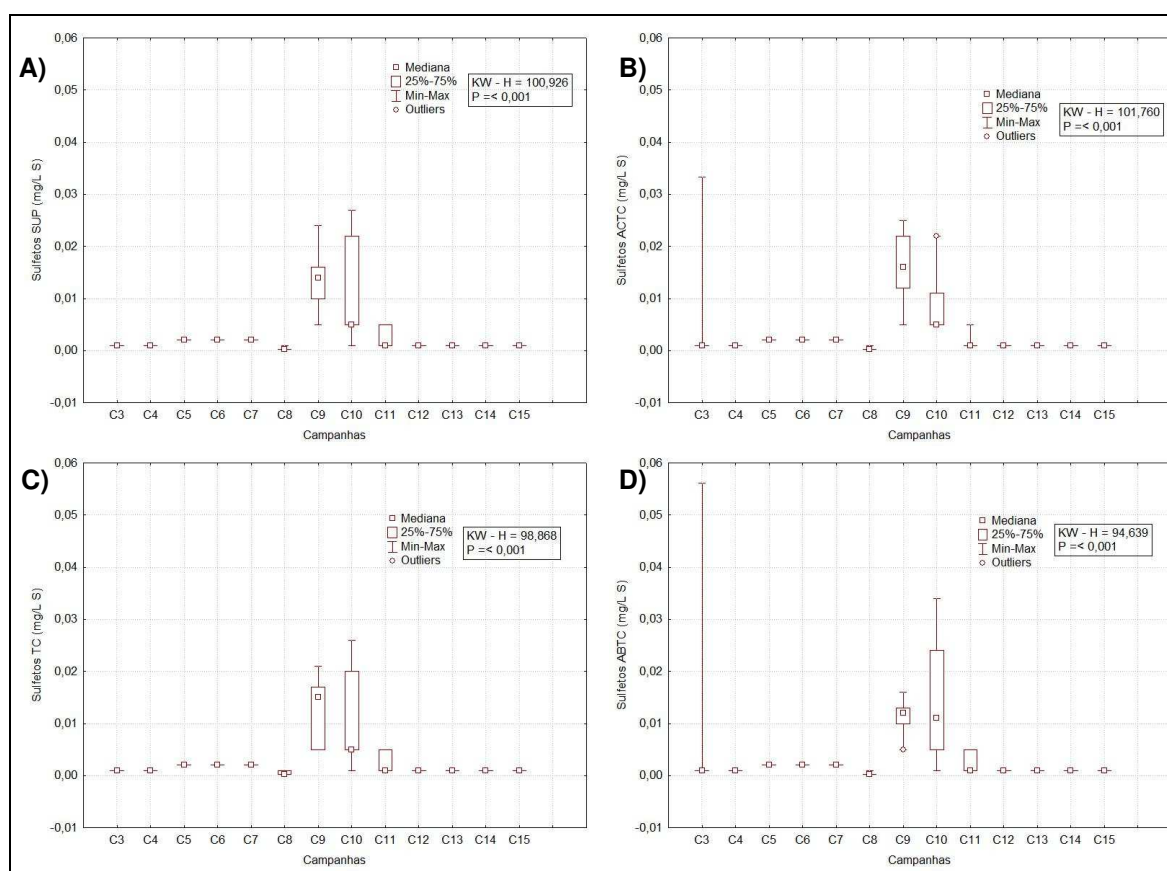


Figura V-25 – Concentrações de sulfetos (mg/L S) observadas ao longo das campanhas do PMPR_URG. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

É importante reforçar que os métodos e os limites de detecção foram diferentes em decorrência de mudanças de laboratório de ensaio das amostras nas diferentes as campanhas do sistema Uruguá (método EPA 376.2 para C3 e C4 e método SMEWW 4500 para as demais campanhas / LQ de 0,002 mg/L S para as duas primeiras campanhas (C3 e C4) e para as campanhas de C9 a C15, 0,004 mg/L S para as campanhas de C5 a C7 e 0,0005 mg/L S para C8). As mudanças de método

e de LDs, conforme o laboratório, podem ter contribuído, ao menos em parte, para acentuar as diferenças de concentrações encontradas entre as campanhas.

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.

Na água produzida pelo FPSO CST, descartada pelo flotor, a concentração de fenóis observada para o 1º semestre de 2023 foi de 331,27 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 CST.

Importante destacar que a ausência de concentrações detectáveis e quantificáveis de fenóis na água é usual para a área de estudo, uma vez que vários estudos realizados na região não encontraram concentrações detectáveis nem quantificáveis de fenóis (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). Assim, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

V.1.9 - Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos presentes no ambiente marinho consistem em misturas complexas de compostos derivados de múltiplas fontes, que incluem não só a contribuição resultante do uso do petróleo como fonte de energia e matéria-prima, mas também a combustão de biomassa, a biossíntese e a transformação diagenética recente de produtos naturais contendo heteroátomos em hidrocarbonetos. Em função de sua solubilidade limitada na água e de sua natureza hidrofóbica, evidenciadas pelos coeficientes de partição octanol-água (K_{ow}) e carbono orgânico-água (K_{oc}), a concentração dos hidrocarbonetos dissolvidos na água é muito baixa (Petrobras, 2022).

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

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

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

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

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

A mistura complexa não resolvida (MCNR) é uma importante feição na fração dos hidrocarbonetos alifáticos. Ela representa uma mistura de centenas de

compostos que não pode ser resolvida cromatograficamente, e é composta por isômeros e homólogos de hidrocarbonetos ramificados e cíclicos (BOULOUBASSI & SALIOT, 1993).

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

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

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

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

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

Os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA's) são uma classe de compostos orgânicos, semi-voláteis, formados por anéis benzênicos ligados de forma linear, angular ou agrupados, contendo na sua estrutura somente carbono e hidrogênio. Dos HPA's, 16 são indicados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos como sendo poluentes prioritários, devida sua toxicidade,

persistência e predominância no meio ambiente. São eles: acenafeno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(k)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno e pireno (CETESB, 2008).

A presença de HPA's no ambiente oceânico é uma característica natural dele. Os hidrocarbonetos podem também ser introduzidos no ambiente a partir de outras fontes como: motores de exaustão a gasolina e a diesel, o alcatrão da fumaça do cigarro, superfície dos alimentos chamuscados ou queimados, fumaça de queima de carvão ou madeira, além de outros processos de combustão parcial em que o carbono ou combustível não são convertidos em CO (óxido de carbono) ou 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 (LD = 0,005 µg/L). Os resultados encontrados são corroborados pela ausência de concentrações detectadas e quantificadas de HPA's nas campanhas anteriores deste projeto de monitoramento (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2002, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). Como todas as concentrações de HPA's de todas as campanhas deste monitoramento não foram detectadas nem quantificadas, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

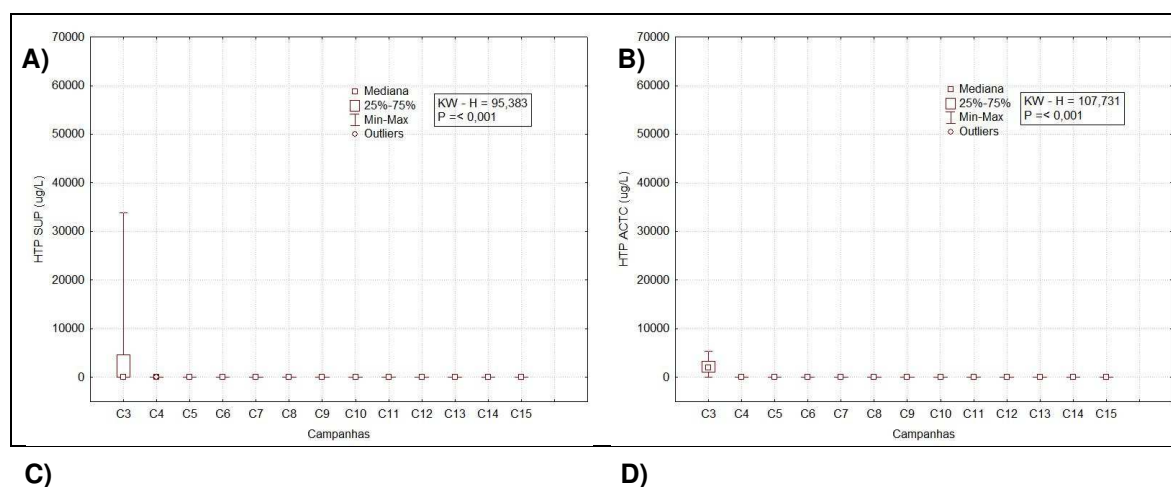
V.1.9.2 - Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (HTP's), N-Alcanos, Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR)

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações para HTP, n-alcanos e MCNR (LQ = 1,0 µg/L).

Nas onze campanhas de monitoramento ambiental do Sistema de Uruguá, foram encontradas concentrações detectadas de HTP nas duas primeiras campanhas (C3 e C4), com valores variando desde 2,22 µg/L (ACTC) até 65.601,44 µg/L (TC) em C3, enquanto C4 apresentou concentrações bem menores, variando desde 2,10 (ABTC) até 6,10 µg/L (SUP) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013). Nas demais campanhas não foram detectadas nem quantificadas concentrações de HTP's (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022).

Através da aplicação do teste estatístico *Kruskal-Wallis* foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,001$) entre os dados de HTP obtidos nas campanhas da fase de operação, para todas as profundidades consideradas (Figura V-266). Nas camadas SUP, ACTC, TC e ABTC a campanha C4 do sistema Uruguá diferiu de C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12 e C13, C3 diferiu de C8, e C14 e C15 diferiram de C8 e C13 (Tukey, $p < 0,05$). Ainda na ACTC, TC e ABTC, C3 diferiu de C13 (Tukey, $p < 0,05$).

Em decorrência da mudança de laboratórios de análise das amostras ao longo das campanhas de monitoramento houve variação dos limites de detecção entre as campanhas (0,1 µg/L nas duas primeiras campanhas (C3 e C4), 0,2 µg/L para C5, C6, C7, C9, C10, C11, C12 e C15, 0,03 µg/L na C8 e 0,05 µg/L para C13 e C14). As mudanças de LDs conforme o laboratório de ensaio, podem ter contribuído, ao menos em parte, para acentuar as diferenças de concentrações encontradas entre as duas primeiras campanhas (C3 e C4), as únicas que apresentaram resultados quantificados.



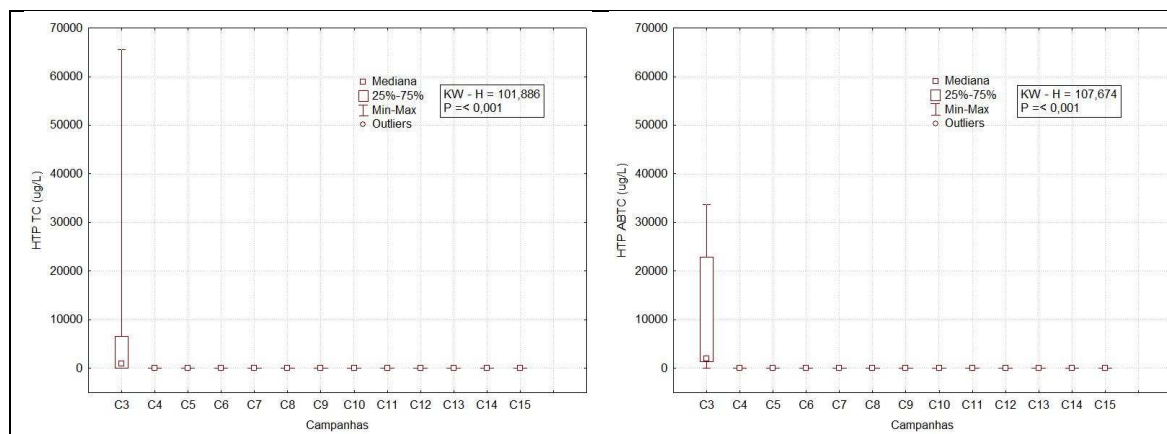


Figura V-26 – Concentrações de HTP ($\mu\text{g/L}$) observadas ao longo das campanhas do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação do Sistema de Produção e Escoamento de Gás atural e Petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. A) Superfície; B) Acima da termoclina; C) Termoclina e D) Abaixo da Termoclina.

Em relação aos n-alcenos, Petrobras/Analytical Solutions (2013), Petrobras/Bourscheid (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020) e Petrobras/Bioconsult (2022) não encontraram valores detectáveis nem quantificáveis de n-alcenos a partir de C5. Apenas em C4, foram observados valores detectáveis de n-alcenos em 25 das 36 amostras, com concentrações variando entre não detectado (SUP, ACTC, TC, ABTC) e $3.644 \mu\text{g/L}$ (ABTC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012).

Já o parâmetro Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR), a qual consiste em misturas de alcanos cíclicos e ramificados, apresentou concentrações variando desde não detectado (SUP, ACTC, TC, ABTC) até o máximo de $54.984 \mu\text{g/L}$ (TC), em C4, mas não foram detectadas nem quantificadas concentrações nas demais campanhas (PETROBRAS/ ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022).

Como não foram detectadas nem quantificadas concentrações de n-alcenos e MCNR na maioria das amostras das 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 (KOLESNIKOVA *et al.*, 2009)

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

Na atual campanha de monitoramento, não foram quantificadas concentrações acima dos limites de quantificação (LQ = 1,0 µg/L) para BTEX. As concentrações também foram inferiores ao limite de detecção e de quantificação do método em todas as amostras analisadas a partir de C5 (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022). Em C4, 5 das 36 amostras apresentaram concentrações quantificáveis, que variaram de 8,87 µg/L (SUP) a 479,31 µg/L (TC) (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012). Como a maioria das concentrações de BTEX das doze campanhas da fase de operação deste monitoramento não foram detectadas nem quantificadas, não foram feitos testes estatísticos e gráficos para a comparação das concentrações entre as campanhas.

Os resultados obtidos na análise de BTEX na água produzida descartada pelo flotor mostraram concentrações acima do limite de detecção para os parâmetros benzeno (188,70 µg/L), tolueno (50,45 µg/L), etilbenzeno (9,70 µg/L), o-xilenos (4,20 µg/L) e m,p-xilenos (13,25 µg/L). Entretanto, devido à ausência de concentrações quantificáveis de BTEX nas estações, pode-se inferir que o descarte deste efluente não resultou em alterações perceptíveis ao meio marinho do entorno no que tange aos parâmetros acima citados.

V.2 - PLÂNCTON

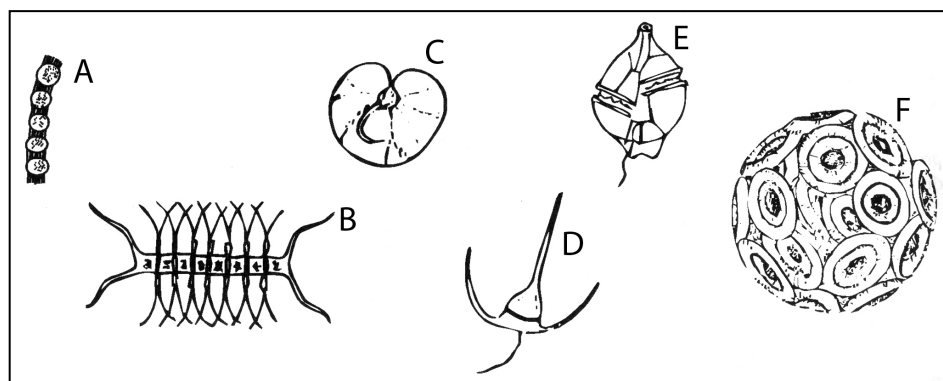
As comunidades planctônicas são formadas por uma grande diversidade de espécies de diminutos organismos uni e multicelulares, autotróficos e heterotróficos, representantes de diversos grupos taxonômicos (NYBAKKEN & BERTNESS, 2005).

A categorização dos organismos planctônicos se baseia em inúmeros critérios como dimensão corpórea, habitat, tempo de residência no domínio planctônico e grupo taxonômico. A classificação do plâncton por grupos taxonômicos insere estes organismos marinhos nas categorias bacterioplâncton (bactérias), viroplâncton (vírus), fitoplâncton (algas microscópicas e os protistas fotossintetizantes formados por uma única célula ou organizados em colônias), zooplâncton (metazoários e protistas heterotróficos) e ictioplâncton (ovos, larvas e pós-larvas de peixes) (BONECKER *et al.*, 2002).

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 (atual Coccolithophyceae) (cocolitoforídeos); Classe Crysiophyceae (silicoflagelados); Cryptophyceae (criptofíceas) (BONECKER *et al.*, 2009; LALLI & PARSONS, 1995) (Figura V-277).

A comunidade fitoplanctônica possui grande importância nos ecossistemas, pois contribui com aproximadamente 90% da produção orgânica anual dos oceanos, formando a base da teia alimentar marinha (BRANDINI *et al.*, 1997). Portanto, oscilações em sua estrutura podem acarretar modificações em todos os níveis tróficos do ecossistema marinho.



Fonte: Bonecker, Bonecker e Bassani (2009).

Figura V-27 - Representação esquemática de alguns gêneros do fitoplâncton. Diatomáceas: (A) *Skeletonema*; (B) *Chaetoceros*; (C) *Pleurosigma*. Dinoflagelados: (D) *Noctiluca*; (E) *Ceratium*. Primnesiófita: (F) *Coccolithus*.

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

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

de tempo relativamente curto, aumentando consideravelmente a sua biomassa e/ou densidade celular, originando as chamadas florações ou *blooms*.

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

V.2.1.1 - Avaliação da Amostragem

Considerando o total de 13 campanhas de monitoramento da fase de operação, foram coletadas 104 amostras para esse grupo. Na atual campanha, foram encontrados 39 taxa, dos quais 11 foram encontrados pela primeira vez.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das campanhas realizadas evidencia um incremento maior de taxa até o final da campanha de URG_C4, que contabilizou, juntamente com URG_C3, 115 taxa (aproximadamente 55% do total de taxa do projeto) (Figura V-288). Nota-se ainda que a curva apresenta um platô de estagnação do número de espécies, a partir da 18ª amostra, obtida na campanha C5, seguindo essa tendência até a 56ª amostra, obtida ao final da campanha C9. A partir do resultado acumulado até o final da campanha C9, onde havia sido contabilizado 130 taxa, foram observados novos incrementos durante C10 e C11, seguido por período de nova estabilização da curva durante a campanha C12. Durante as campanhas C13, C14 e C15 (atual), se observa uma tendência ao incremento gradual nas amostras iniciais e nova estabilização nas demais amostras.

É possível que haja variações no número de taxa entre as campanhas associadas a diferenças na identificação de alguns organismos em decorrência das mudanças do laboratório executor das análises taxonômicas (em C5, C8 e C13) e alteração do método analítico a partir de C10, quando as amostras passaram a ser tratadas com filtração reversa e sedimentação por 72 horas. Ressalta-se que tais

diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados, e considerando também a melhoria contínua dos procedimentos analíticos.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve acima do desvio padrão de taxa esperado durante as campanhas C4, C5 e parte de C6, aproximando-se desta nas amostras finais de C6 e amostras iniciais de C7. Nas amostras finais das campanhas C3 e C7, amostras das campanhas C8, C9, C10, C11 e C12 e amostras iniciais de C13, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada, enquanto as amostras finais de C13 e C14, apresentaram resultados mais próximos do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. E ao em todas as amostras de C15, observa-se uma estabilização dos dados reais sobre a curva Jackknife.

Os resultados encontrados apontam para um adequado esforço amostral, com grande parte dos taxa presentes no local sendo amostrados com a realização de poucas campanhas. A tendência à estagnação da curva demonstra a baixa probabilidade de aumento da riqueza, mesmo com o aumento do esforço de amostragem.

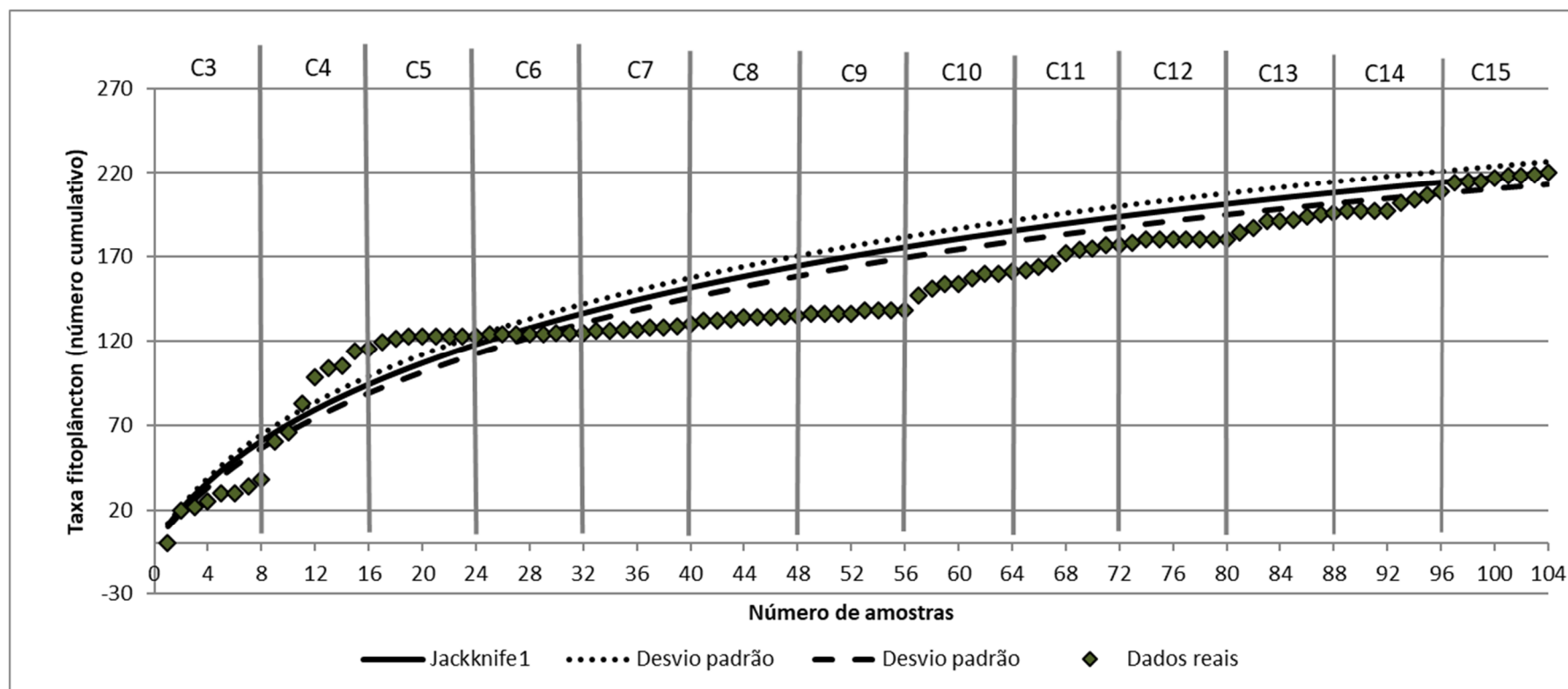


Figura V-28 – Número cumulativo de taxa por amostra de fitoplâncton, encontrados ao longo das campanhas da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.2.1.2 - Análise Qualitativa

Na presente campanha, foram registrados organismos pertencentes a quatro filos: Ochrophyta, Cyanobacteria, Haptophyta e Myzozoa. Myzozoa apresentou a maior riqueza, com contribuição de 18 taxa; Ochrophyta registrou 11 taxa, enquanto Haptophyta registrou uma riqueza de 8, e Cyanobacteria registrou 2 taxa. A listagem das espécies fitoplanctônicas coletadas na presente campanha está contida no Anexo X-4

Segundo dados obtidos nas campanhas anteriores da fase de operação, os filos Ochrophyta e Pyrrophytyta/Myzozoa alternaram períodos de maior riqueza. O filo Ochrophyta foi destacadamente o mais rico nas duas campanhas iniciais da fase de operação (C3 e C4), enquanto a Pyrrophytyta ficou marcada pelo incremento e predomínio de riqueza entre as campanhas C5 e C12, período em que foi classificado como uma divisão de dinoflagelados, segundo o Código Internacional de Nomenclatura Botânica. Historicamente, o Sistema Integrado de Informação Taxonômica (ITIS) coloca os dinoflagelados dentro do Reino Plantae como Divisão Pyrrophytyta, enquanto a taxonomia do Systema Naturae 2000 os coloca dentro do Reino Protozoa como Filo Dinoflagellata (CBE/CSE, 2020). Essa mesma divisão de dinoflagelado se destacou nas três últimas campanhas (C13, C14 e C15) como grupo com maior riqueza de taxa, sendo nessa etapa classificados como integrante do Filo Myzozoa. (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b).

Vale ressaltar que o nível taxonômico das identificações foi variável, e que podem existir mais espécies dentro dos *taxa* identificados em níveis superiores, como ordem e gênero (Figura V-29).

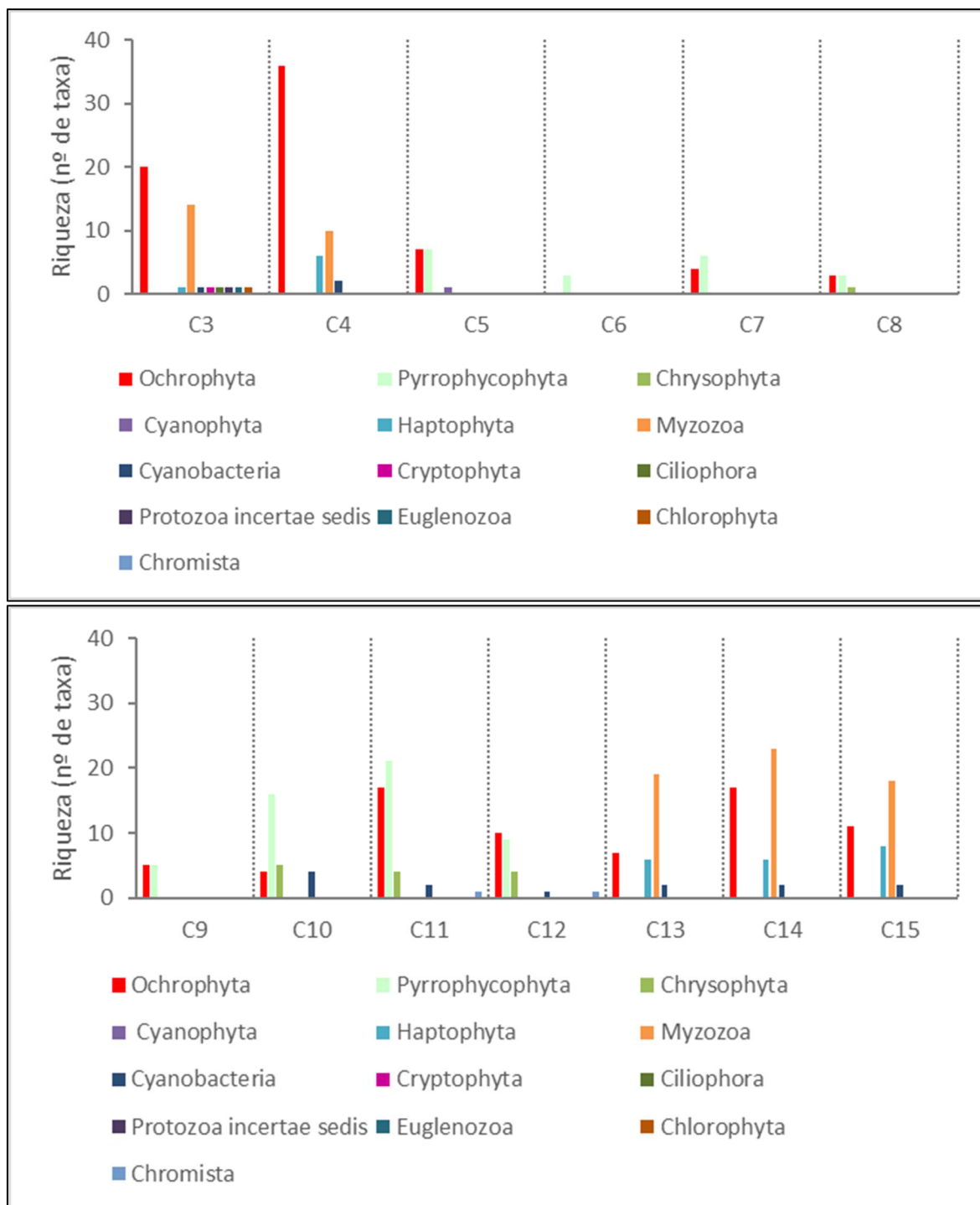


Figura V-29 – Riqueza de taxa das divisões fitoplânctônicas ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A divisão *Pyrrophycomphyta* corresponde ao filo *Myxozoa*, identificado nas campanhas C13, C14 e C15.

Ao longo da plataforma continental brasileira, a comunidade fitoplânctônica é composta principalmente por diatomáceas e células flageladas do nanoplâncton e

do microplâncton pertencentes às classes Dinophyceae, Coccolithophorales, Cryptophyceae, Prasinophyceae e Chlorophyceae (BRANDINI *et al.*, 1997). Em estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), executado no período de 2019 a 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 na Bacia de Santos 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 coccolitoforídeos 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.

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

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

O grupo das diatomáceas necessita de maiores concentrações de nutrientes para sobreviver, e conseqüentemente é mais escasso em águas oligotróficas

afetadas pela Água Tropical (AT) (BRANDINI *et al.*, 1997). Ochrophyta é uma classe cosmopolita que habita ambientes aquático, terrestre ou subaéreo (fixada em macroalgas e fanerógamas) e no sedimento (BOLD & WYNNE, 1985).

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

O filo Haptophyta é formado por organismos unicelulares e coloniais, flagelados ou não. São seres fotossintetizantes, mas também capazes de ingerir partículas (YAMAGISHI-COSTA *et al.*, 2022). São conhecidos também como algas marrons e compostos por ordens chamadas de cocolitóforos (INA, 2022). Alguns gêneros desse filo também são responsáveis por florações em grande densidade, gerando blooms tóxicos (BIODIVERSITY4ALL, 2022).

As cianobactérias (filo Cyanobacteria) são bactérias fotossintetizantes encontradas em diversos tipos de ambientes como ambientes terrestres, de água doce, salobra ou marinha, além de habitats extremos como fontes termais, neve ou deserto. Cianofíceas podem ocorrer como organismos planctônicos ou bentônicos. Apesar de sua ampla distribuição, o maior número de espécies desse grupo é registrado em ambientes dulcícolas, sendo um grupo menos rico nos sistemas marinhos (BONECKER *et al.*, 2009; BRANCO *et al.*, 2003). As cianofíceas vêm sendo retiradas do grupo das algas, por serem microrganismos. No entanto, as cianobactérias possuem um sistema fotossintetizante semelhante ao das algas e de vegetais eucariontes sendo, portanto, bactérias fotossintetizantes (BRANDINI *et al.*, 1997; ESTEVES & SUZUKI, 2011; LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009). Em função das características fisiológicas, morfológicas e ecológicas, as cianobactérias apresentam grande capacidade adaptativa às condições luminosas, à turbulência e à quantidade de nutrientes (MISCHKE, 2003)

Algumas espécies de algas são capazes ainda de produzir toxinas, nocivas ao homem e ao meio ambiente. No entanto, as mesmas são consideradas nocivas quando ocorrem em altas concentrações, acima de 10^6 ind/L (BRANDINI *et al.*, 1997; VILLAC, 1990).

V.2.1.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-16 são apresentados os valores de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade para a comunidade fitoplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-16 - Valores de riqueza de taxa (número de taxa), densidade (ind/L), diversidade (bits/ind), e equitabilidade encontrados para a comunidade fitoplanctônica do PMPR_URG_C15.

Estação	Estratos	Riqueza (número de taxa)	Densidade (ind./L)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
URG_M1000	SUP	19,00	219,32	2,37	0,81
	ACTC	20,00	229,51	2,54	0,85
	TC	15,00	215,78	2,29	0,84
	ABTC	18,00	225,47	2,44	0,84
URG_J1002	SUP	19,00	217,63	2,47	0,84
	ACTC	18,00	219,78	2,50	0,87
	TC	22,00	213,33	2,49	0,81
	ABTC	17,00	223,92	2,29	0,81
mínimo		15,00	213,33	2,29	0,81
máximo		22,00	229,51	2,54	0,87
média		18,50	220,59	2,42	0,83
desvio padrão		2,07	5,36	0,10	0,02

A análise da comunidade fitoplanctônica registrou um total de 39 taxa na atual campanha, dentre os quais dois foram identificados a nível de ordem, seis a nível de gênero e 31 a nível de espécie. O número de taxa variou entre 15 e 22 por estrato, dentre o total de oito (8) amostras coletadas na campanha (média $18,50 \pm 2,07$ taxa).

Já na Tabela V-17, são apresentados os resultados mínimo e máximo dos índices ecológicos obtidos para a comunidade fitoplanctônica em campanhas de monitoramento ambiental anteriores realizadas no sistema de Uruguá.

Os dados mínimos e máximos de riqueza total da atual campanha estão dentro da faixa de variação da região, registrados nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá (Tabela V-17).

Tabela V-17 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o fitoplâncton nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.

Empreendimento	Riqueza (número de taxa)		Densidade (ind/L)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
URG_C3 ¹	12,00	37,00	189.483,70	325.455,30	0,50	0,82	0,41	0,68
URG_C4 ²	14,00	37,00	1.081.403,00	1.336.833,50	0,03	0,23	0,01	0,07
URG_C5 ³	2,00	8,00	9.000,00	28.000,00	1,35	2,47	0,62	0,85
URG_C6 ⁴	2,00	2,00	0,00	1.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
URG_C7 ⁵	1,00	4,00	100,00	1.000,00	0,00	1,19	0,00	1,00
URG_C8 ⁶	1,00	2,00	20,00	240,00	0,00	0,69	0,00	1,00
URG_C9 ⁷	0,00	5,00	0,00	360,00	0,00	1,34	0,00	0,97
URG_C10 ⁸	6,00	16,00	28,92	135,18	1,62	2,26	0,68	0,95
URG_C11 ⁹	9,00	19,00	57,64	211,99	1,80	2,75	0,74	0,94
URG_C12 ¹⁰	4,00	11,00	9,76	169,28	1,39	2,16	0,64	1,00
URG_C13 ¹¹	13,00	20,00	393,44	527,57	1,71	2,07	0,66	0,72
URG_C14 ¹²	9,00	27,00	299,48	682,72	1,27	2,52	0,58	0,77

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

Foram encontradas diferenças significativas entre os valores de riqueza de taxa obtidas nas campanhas de monitoramento da fase de operação (*Kruskal-Wallis*, $p \leq 0,001$). As campanhas C4 e C14 apresentaram os maiores valores de riqueza de taxa (Figura V-3030). A campanha URG_C4 diferiu das campanhas C5, C6, C7, C9 e C10, enquanto as campanhas C13, C14 e C15 diferiram de C6, C7, C8 e C9, e URG_C3 diferiu das campanhas C6, C8 e C9, e C11 diferiu de C6 e C8 (*Tukey*, $p < 0,05$).

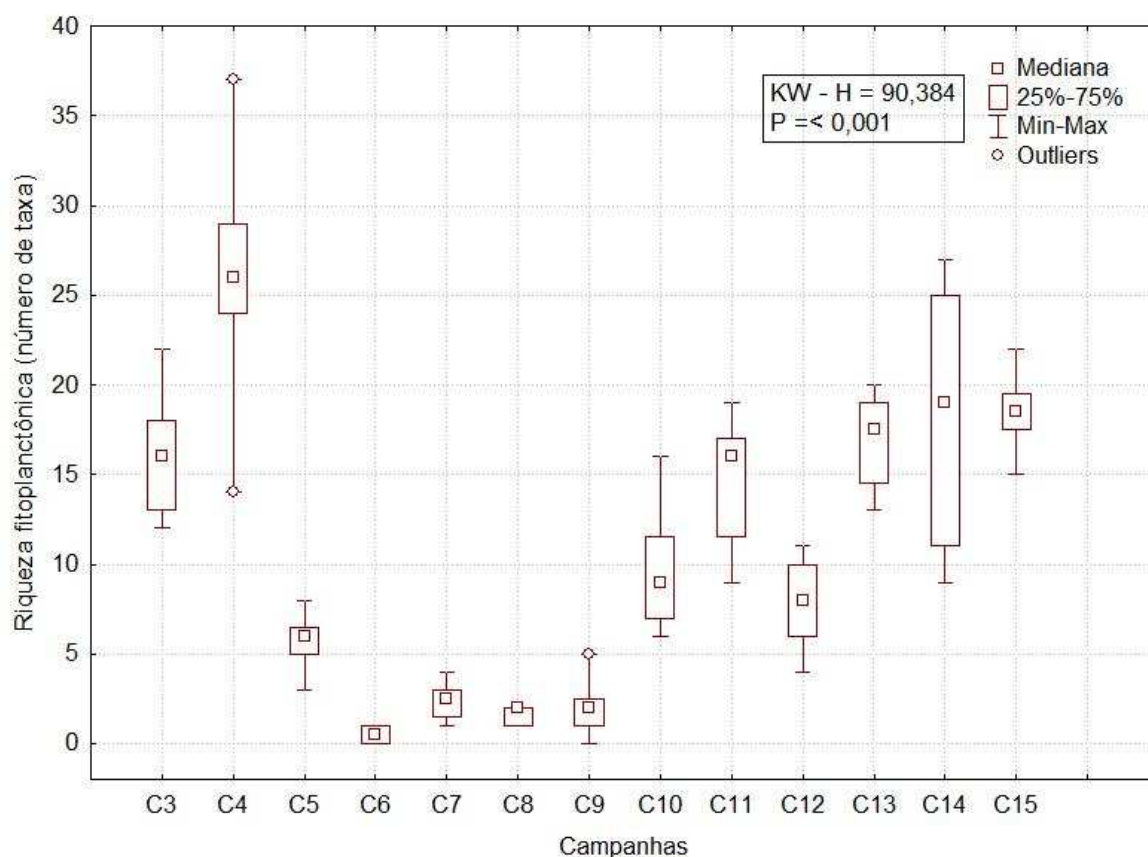


Figura V-30 – Box plots representativos dos valores de riqueza (nº de taxa) das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.

A densidade média dos organismos fitoplanctônicos da atual campanha foi de $220,59 \pm 5,36$ ind/L, variando de 213,33, em URG_J1002_TC, a 229,51 ind/L em URG_M1000_ACTC (Tabela V-16). Os dados de densidade máximos verificados nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema Uruguá (Tabela V-17), variaram bastante em comparação a campanha atual (C15). Os resultados obtidos na atual campanha (C15) são inferiores em relação as sete

primeiras campanhas (C3 a C9) e em relação à C13 e à C14, e superiores em relação as demais campanhas. A lista completa com os valores quantitativos dos taxa é apresentada no Anexo X-4.

Foram encontradas diferenças significativas entre a densidade fitoplanctônica das campanhas de monitoramento da fase de operação (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$): a campanha C4 diferiu das campanhas C6, C9, C10, C11, C12 e C13, C3 diferiu de C9, C10, C11 e C13, e C5 diferiu de C9, C10, C11, C12 e C13 (*Tukey*, $p < 0,05$). A densidade de organismos foi maior em C4 (Figura V-31).

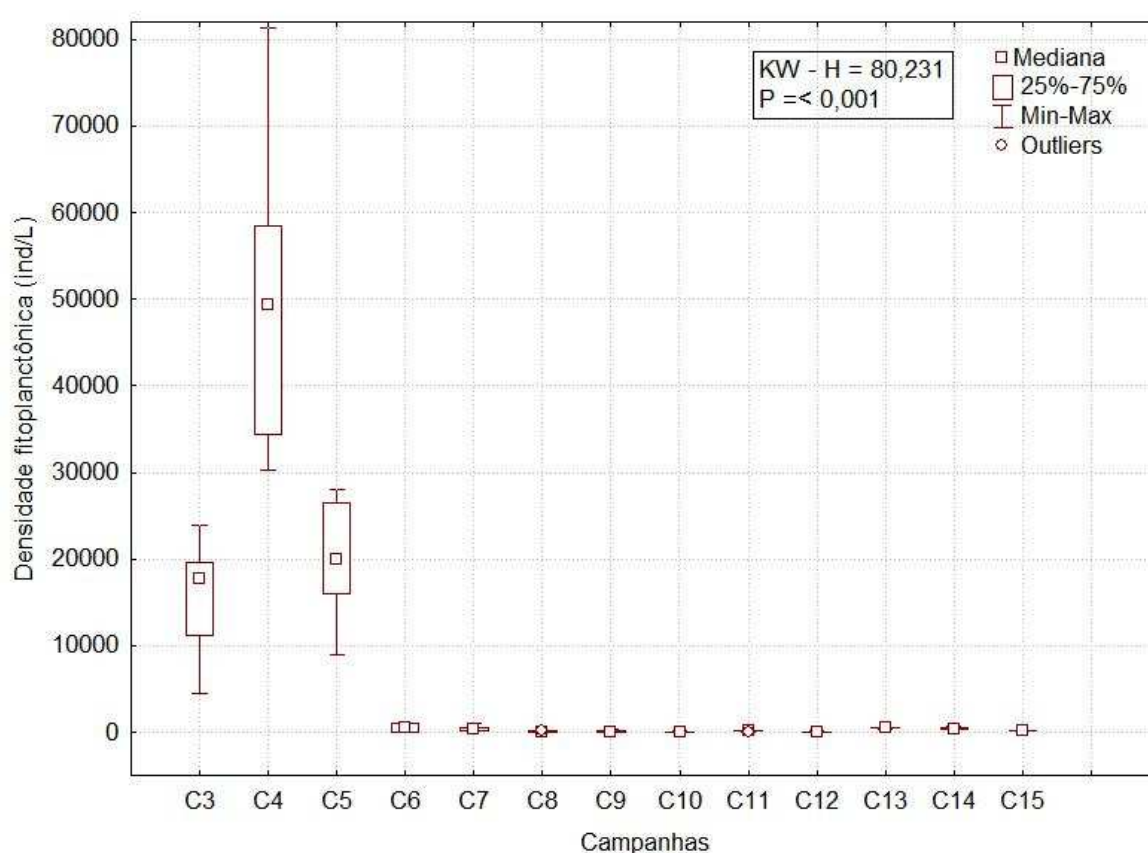


Figura V-31 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/L) das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.

Estudos históricos nas áreas oceânicas do Brasil, sugerem que a densidade fitoplanctônica pode variar de 50×10^3 a 200×10^3 ind/L (KOENING & MACEDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 1999). No entanto, altas densidades podem ser encontradas devido a florações de espécies de algas oportunistas a condições adversas no ambiente ou fenômenos de ressurgência (CASTRO & MOSER, 2012).

Na Bacia de Campos as densidades celulares médias obtidas entre todas as estações oceanográficas monitoradas no projeto do PCR-BS (Petrobras, 2022) variaram significativamente entre cada classe de tamanho considerada. O microplâncton ($>20\ \mu\text{m}$) presente na camada de superfície alcançou uma contribuição relativa de carbono em torno de 46% de carbono, tendo um valor máximo de $1.026 \times 10^3\ \text{cels.L}^{-1}$. O nanoplâncton ($1,8\text{-}5\ \mu\text{m}$), 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 $52,4 \times 10^5\ \text{cels.L}^{-1}$.

Myzozoa e Ochrophyta apresentaram os maiores valores de densidade, com média $88,08 \pm 23,22\ \text{ind/L}$ e $72,10 \pm 20,65\ \text{ind/L}$, respectivamente, enquanto Haptophyta registrou densidade média de $45,76 \pm 26,63\ \text{ind/L}$ e Cyanobacteria de $14,16 \pm 13,90\ \text{ind/L}$ (Figura V-322). Na maioria dos casos, verificou-se grande dispersão em torno da densidade média (entre 2,43% e 94,89%).

Nas duas primeiras campanhas da fase de operação (C3 e C4), os fitoflagelados foram o grupo mais representativo quanto ao parâmetro densidade (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013), enquanto em C5, as diatomáceas foram o grupo mais representativo (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014). Em C6, a divisão Dinophyta foi a única com ocorrência registrada (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2015) e em C7, C8, C9 e C11 ocorreu o predomínio da divisão Ochrophyta (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2016, 2017, 2018, 2019b), enquanto em C10 campanha ocorreu o predomínio dos dinoflagelados (Filo Myzozoa) (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2019a). Em C12, Ochrophyta e Myzozoa predominaram (PETROBRAS/BOURSCHEID, 2020) e em C13, Cyanobacteria e Myzozoa foram predominantes (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a). Em C14, Cyanobacteria e Ochrophyta foram predominantes (PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022b). Além disso, algumas dessas campanhas registraram outros filos, tais como primnesiofíceas e cianofíceas, todos com baixo número de organismos. Analisando a campanha atual (C15) e as campanhas históricas, observa-se a recorrência do predomínio do filo Myzozoa (antiga divisão Pyrrophytophyta) na comunidade fitoplanctônica na região do Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de Uruguá

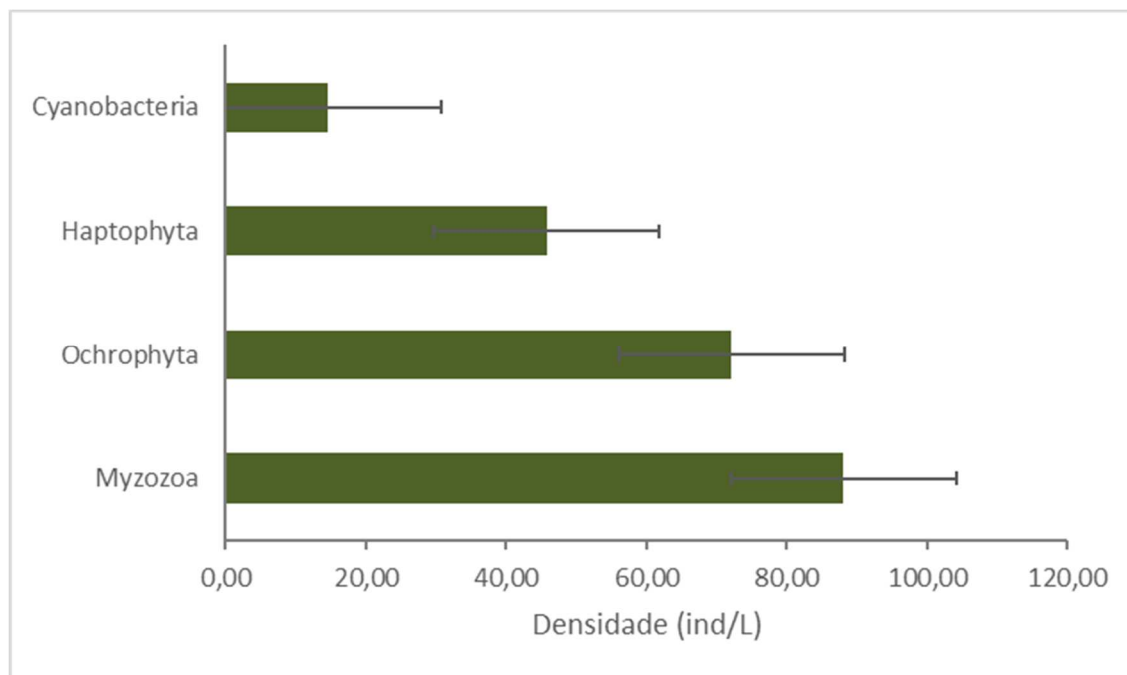


Figura V-32 – Densidade de organismos (ind/L) das divisões fitoplanctônicas na atual campanha (C15) de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média do grupo $\pm$ desvio-padrão.

A diversidade dos organismos fitoplanctônicos na atual campanha (C15) foi intermediária e apresentou média de $2,42 \pm 0,10$ bits/ind, variando entre 2,29 bits/ind, em URG_J1002_ABTC, e 2,54 bits/ind, em URG_M1000_ACTC (Tabela V-16). Conforme apresentado na Tabela V-17, pode-se observar que os resultados de diversidade encontrados nas campanhas anteriores são inferiores ao obtido em C15, com exceção de C11, que apresentou valor de diversidade máximo superior ao registrado na atual campanha.

Na Figura V-3333 são apresentados os valores de diversidade de fitoplâncton obtidos nas campanhas de monitoramento da fase de operação do sistema de Uruguá. A campanha C11 apresentou o maior valor máximo de diversidade. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p \leq 0,001$): C11 e C15 diferiram de C3, C4, C6, C7, C8 e C9, C6 diferiu de C5, C10, C12, C13 e C14, e C4 diferiu de C14 (*Tukey*, $p < 0,05$).

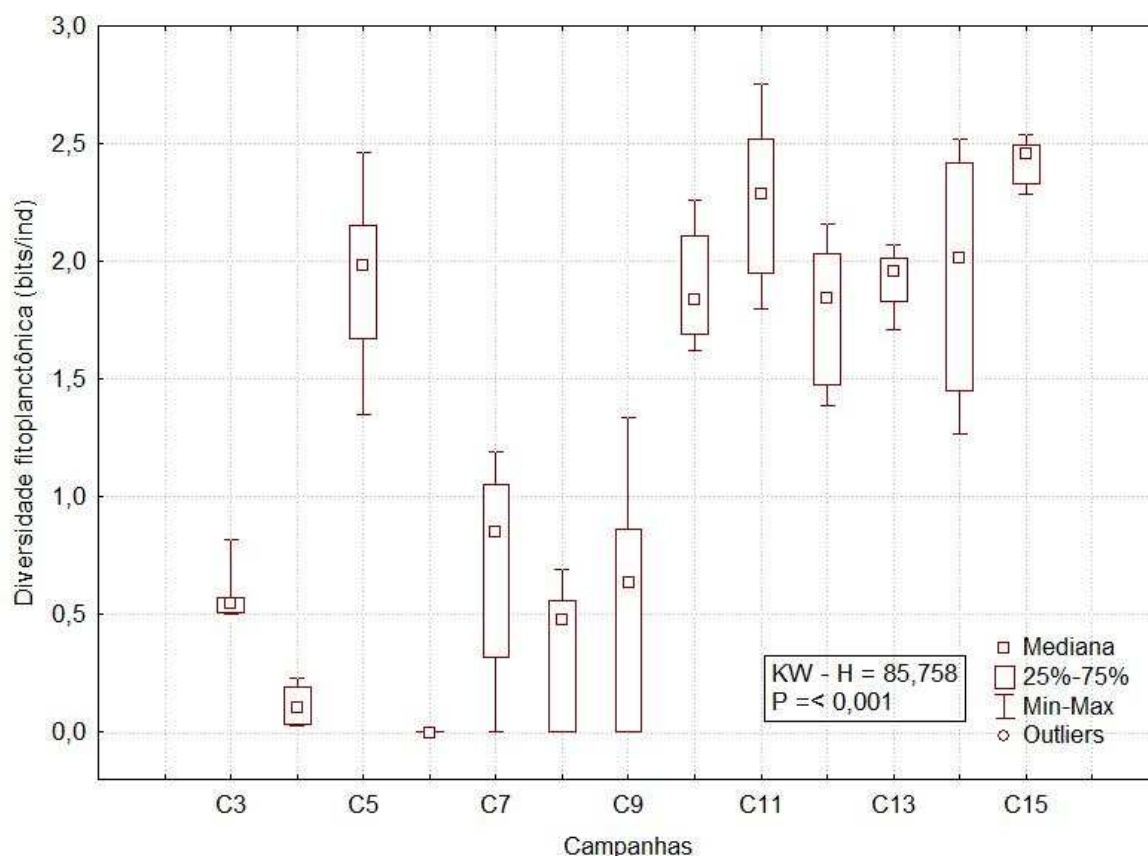


Figura V-33 - Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.

A equitabilidade média dos organismos fitoplanctônicos na atual campanha foi de $0,83 \pm 0,02$, variando de 0,81, em URG_M1000_SUP e na TC e ABTC da estação URG_J1002, a 0,87, em URG_J1002_ACTC (Tabela V-16). Na Tabela V-17 é possível observar que os menores valores de equitabilidade mínima ocorreram em C6, C7, C8 e C9, que apresentaram valores nulos. A atual campanha apresentou o maior valor mínimo em comparação às campanhas anteriores, e em apresentou o maior valor máximo em relação à C3, C5, C6 C13 e C14.

Na Figura V-3434, são apresentados os valores de equitabilidade de fitoplâncton obtidos nas campanhas de monitoramento da fase de operação do sistema de Uruguá. Foram encontradas diferenças significativas entre campanhas (Kruskal-Wallis, $p = < 0,001$). C10 e C11 diferiram de C4 e C6, C12 diferiu de C3, C4 e C6, e C6 diferiu de C7 e C15 (Tukey, $p < 0,05$).

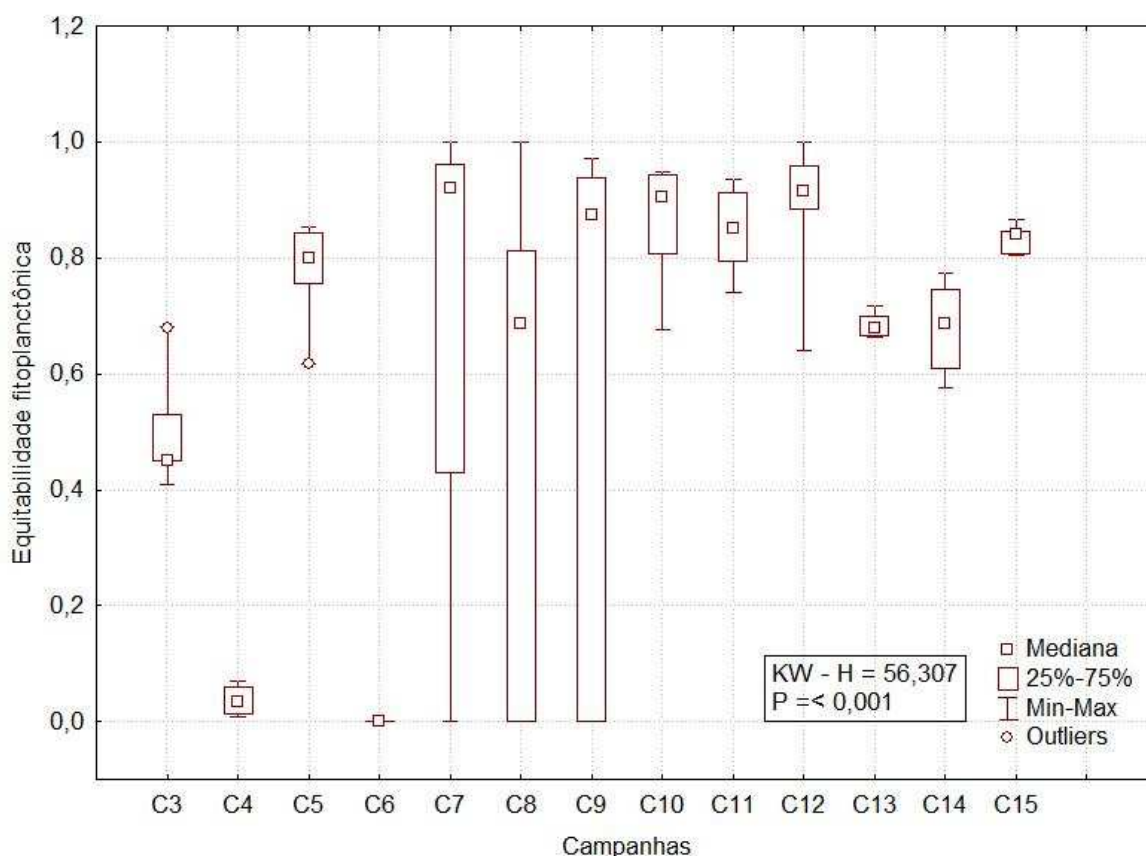


Figura V-34 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades fitoplanctônicas encontradas nas campanhas do PMPR_URG.

Por fim, é importante salientar que, embora todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, é possível que diferenças oriundas das: subjetividades inerentes do método analítico, ocorram devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações; das trocas de laboratório ocorridas entre a C4 e C5, entre C7 e C8, e entre C12 e C13 e, por fim, das alterações analíticas adotadas a partir de C10, com o emprego de filtração reversa e tempo de sedimentação mínima de 72 horas. Assim, não é possível ser conclusivo acerca das diferenças estatísticas verificadas, podendo tais diferenças estar associadas não apenas às alterações na ocorrência do fitoplâncton no meio, mas também à otimização da metodologia analítica. A influência do método poderá

ser melhor avaliada posteriormente, com a continuidade das campanhas e obtenção de novos dados conforme metodologia otimizada.

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

A riqueza total acumulada na atual campanha nas duas estações amostradas foi de 29 taxa na estação URG_M1000 e 30 taxa na estação URG_J1002 (Figura V-3535).

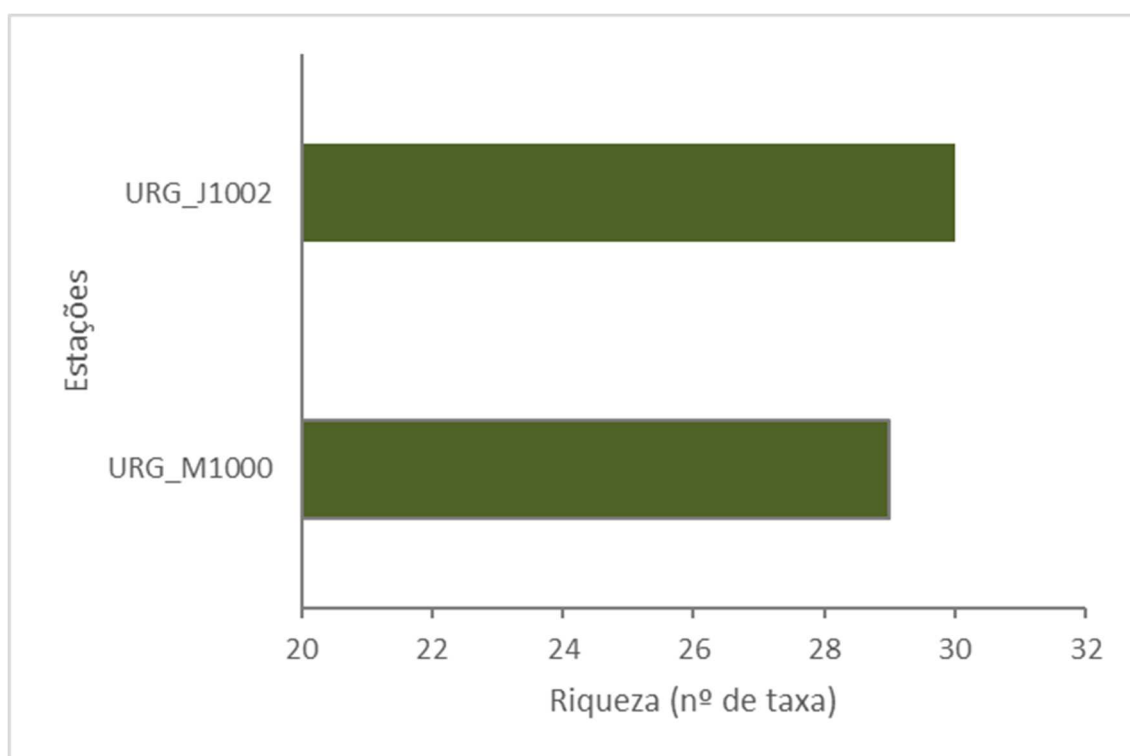
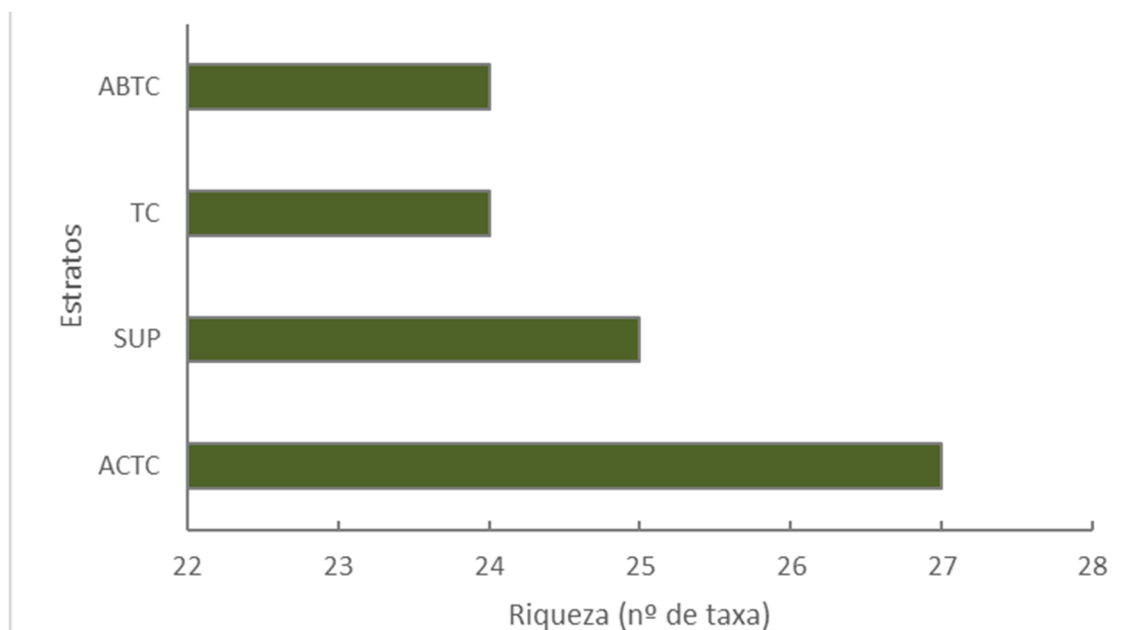


Figura V-35 – Número de taxa fitoplanctônicos nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as profundidades).

A riqueza total nas diferentes profundidades amostradas na atual campanha variou de 24 (TC e ABTC) a 27 taxa (ACTC). Na SUP foram registrados 25 taxa (Figura V-3636).



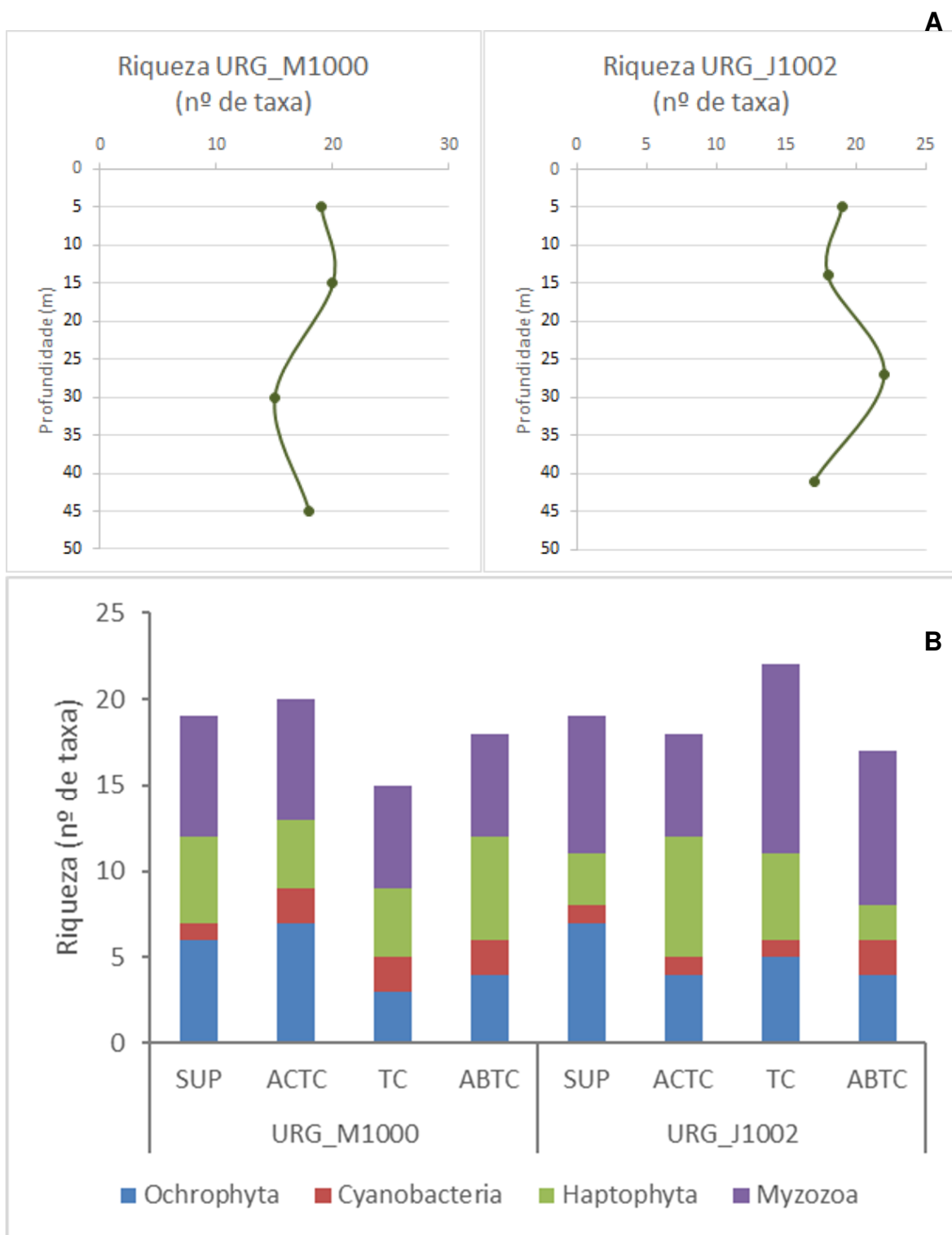
Legenda: SUP: amostragem na superfície; ACTC: amostragem acima da termoclina; TC: amostragem na termoclina; ABTC: amostragem abaixo da termoclina.

Figura V-36 – Número de taxa fitoplanctônicas nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a riqueza total (acumulando as estações).

Avaliando todas as amostras com relação à riqueza de taxa, a estação URG_M1000 apresentou maior riqueza na SUP e ACTC (19 e 20 taxa, respectivamente), enquanto URG_J1002 apresentou maior riqueza nas profundidades SUP (19) e TC (22) (Figura V-3737). Apesar de maiores valores de riqueza serem esperados nas camadas mais superficiais, visto que esses organismos são diretamente influenciados pela incidência luminosa na coluna d'água (LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009; REBELLO *et al.*, 1988), o início da termoclina em ambas as estações foi encontrada em profundidades relativamente rasas (30 e 27 m), o que pode ajudar a explicar o semelhantes valores de riqueza entre todas as profundidades, ou seja, os estratos são muito próximos entre si e dentro da zona fótica, com uma variação pequena de riqueza entre as camadas.

A partir da análise da riqueza de taxa de ambas as estações e profundidades de coleta, foi possível observar que todos os filos encontrados ocorreram em todas as amostras de ambas as estações. Myzozoa preponderou em riqueza na maioria das amostras, exceto na ACTC e ABTC da estação URG_M1000, em que os

valores de riqueza foram iguais a Ochrophyta e Haptophyta, respectivamente, e na ACTC da estação URG_J1002, em que Haptophyta dominou (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 – Número de taxa fitoplanctônicas nas estações M1000 e J1002 e nas profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase

de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A) Perfis de variação da riqueza na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras, número de taxa das divisões e filos fitoplanctônicos; a linha cinza representa a média de todas as amostras.

Com relação ao parâmetro densidade, a estação URG_M1000 apresentou maior densidade média, com $222,52 \pm 6,14$ ind/L, enquanto a estação URG_J1002 apresentou densidade média de $218,67 \pm 4,41$ ind/L (Figura V-3838). Observou-se um baixo desvio-padrão nas estações, reflexo da pouca variação de densidade verificada ao longo da coluna d'água.

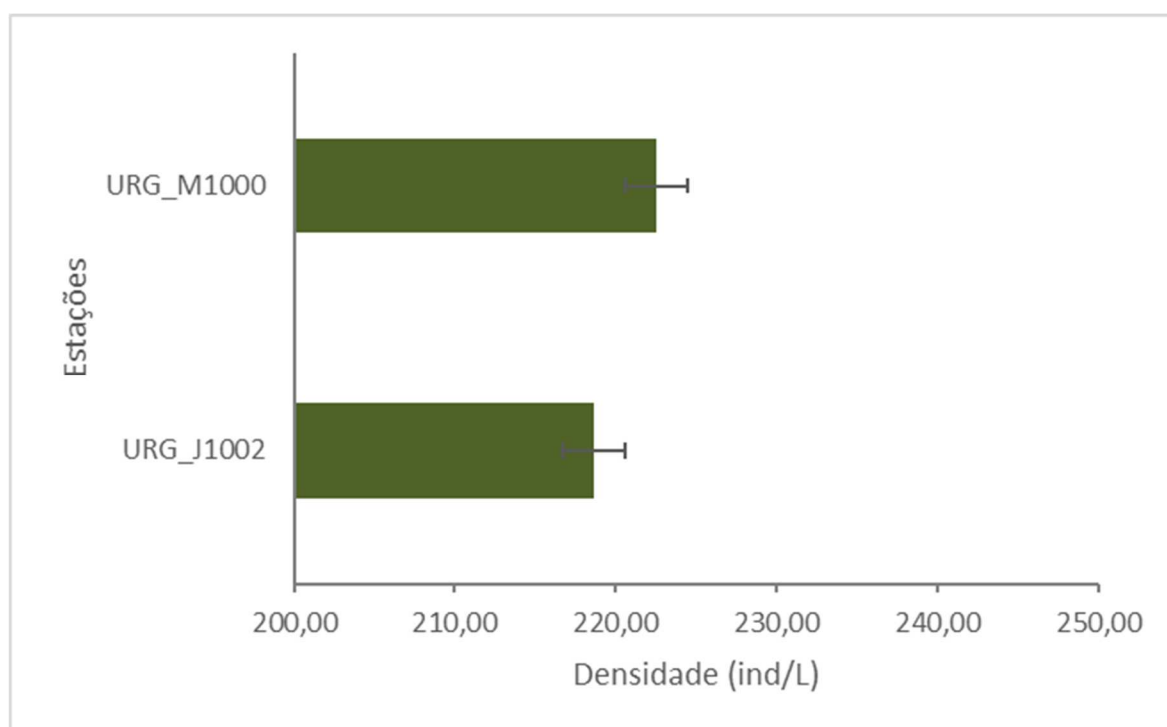
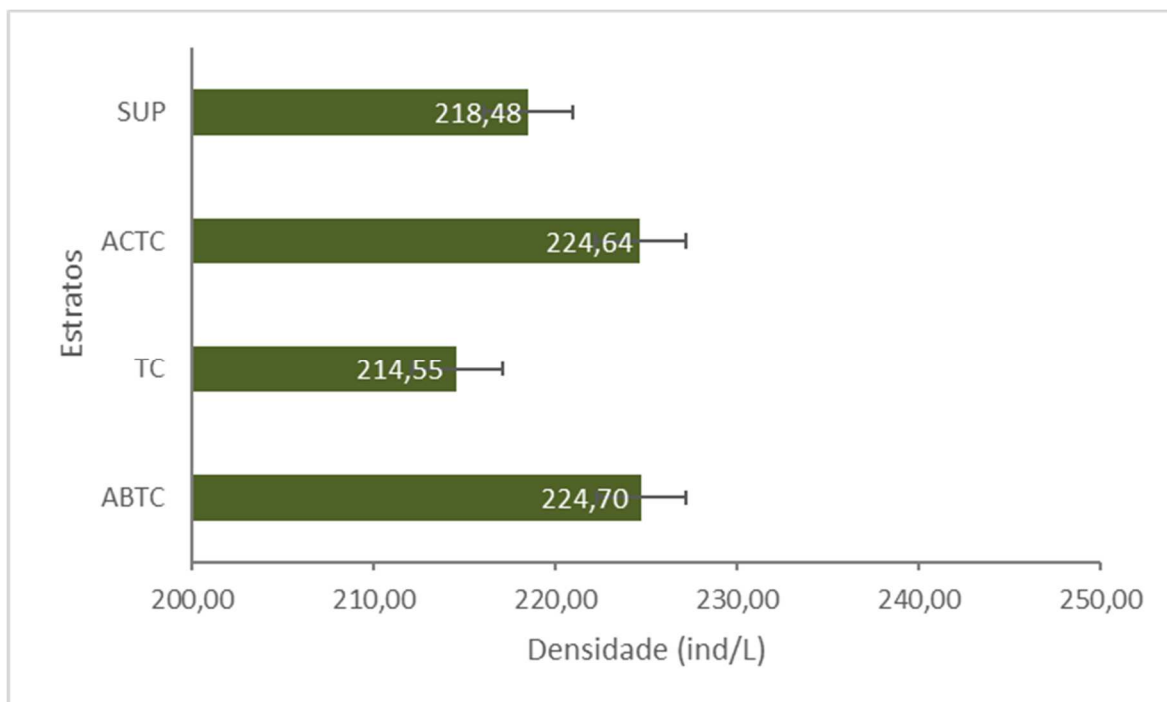


Figura V-38 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média das profundidades $\pm$ desvio-padrão.

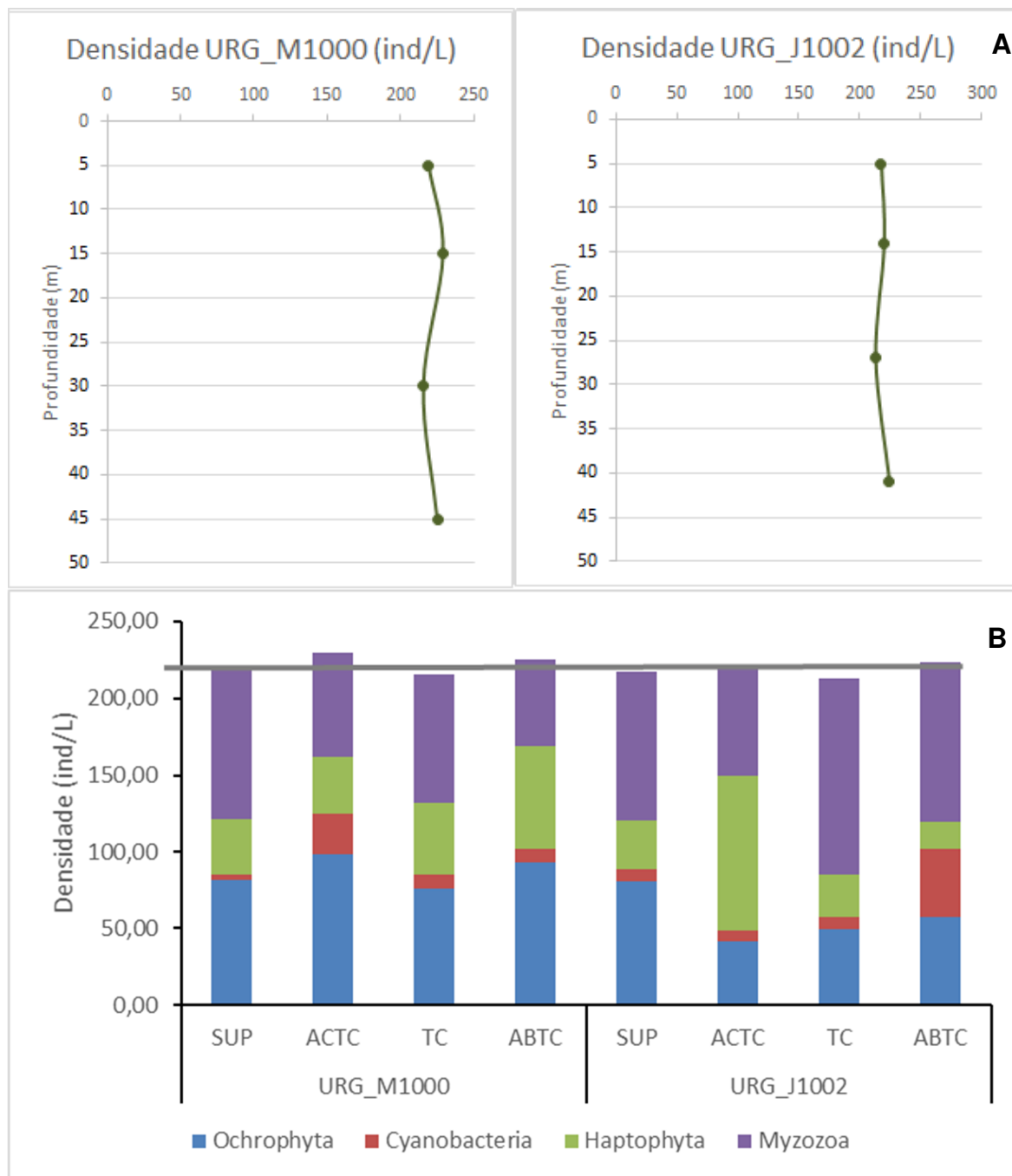
A densidade média foi não variou muito entre as profundidades, apresentando valores máximo na camada abaixo da termoclina ($224,70 \pm 1,10$ ind/L) e mínimo na termoclina ($214,55 \pm 1,73$ ind/L), respectivamente (Figura V-3939).



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

Figura V-39 – Densidade de organismos fitoplanctônicos (ind/L) nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média $\pm$ desvio-padrão.

Em ambas as estações URG_M1000 e URG_J1002, os maiores valores de densidade foram encontrados nos estratos ACTC e ABTC (Figura V-4040). Myzozoa preponderou em densidade em todas as amostras de URG_J1002, exceto URG_J1002_ACTC, também preponderou nas amostras SUP e TC de URG_M1000. Nas amostras das camadas ACTC e ABTC de URG_M1000, por sua vez, observou-se a maior densidade por Ochrophyta. Cyanobacteria contribuiu com menor densidade em todas as amostras (de 4,18 a 26,23 ind/L).



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

Figura V-40 – Densidade de organismos fitoplancetônicos (ind/L) nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) das estações M1000 e J1002 da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A) Perfis de variação da densidade na coluna d'água nas duas estações. B) Gráfico de barras com densidade dos filos fitoplancetônicos; linha cinza representa a média de todas as amostras.

A diversidade de Shannon teve padrão de resposta similar ao perfil de densidade da estação URG_M1000, com maiores valores de diversidade nas profundidades ACTC e ABTC. Na estação URG_J1002, houve uma certa homogeneidade de valores de diversidade nas camadas de SUP até TC (Figura V-411), sendo discretamente mais baixa na ABTC.

Para a equitabilidade, foi verificada alta homogeneidade dos resultados em ambas as estações. Em URG_M1000 os valores variaram entre 0,81 na SUP a 0,85 na ACTC, sendo que TC e ABTC apresentaram iguais valores (0,84). Em URG_J1002, os valores variram em 0,81 na TC e ABTC a 0,87 na ACTC.

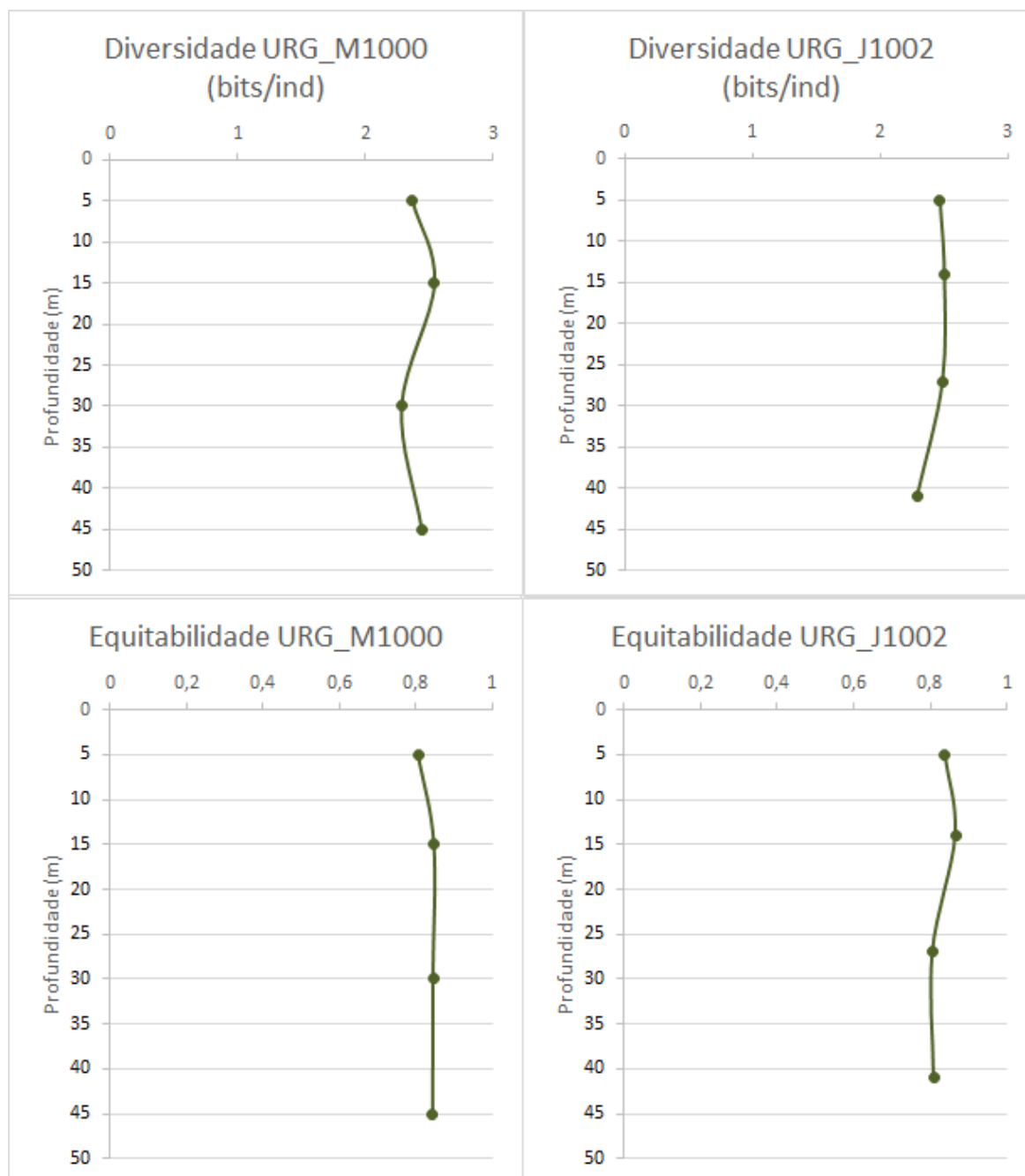


Figura V-41 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica nas duas estações (M1000 e J1002) e nas quatro profundidades (SUP, ACTC, TC e ABTC) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

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

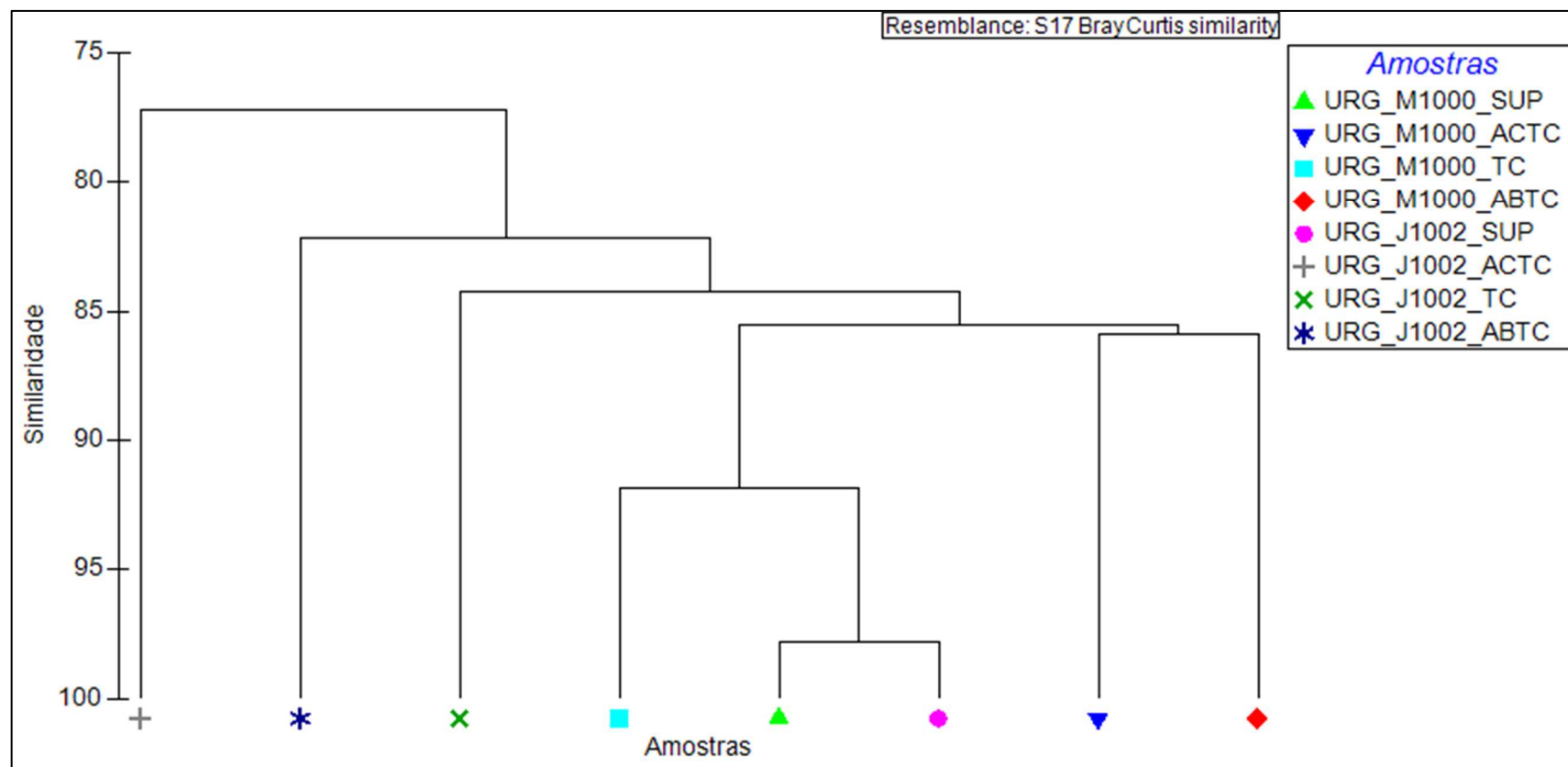
profundas ricas em nutrientes alcancem a camada superficial, onde há maior disponibilidade de luz (MANN & LAZIER, 2006). Assim, variações nas densidades fitoplanctônicas podem ocorrer naturalmente nas regiões oceânicas em função da variação dos diferentes parâmetros limitadores da produção primária (MANN & LAZIER, 2006), tanto ao longo do eixo costa-oceano, como ao longo da coluna d'água, 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). Em estudo realizado na região oceânica da Bacia de Santos, no período de 2019 a 2022, (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).

Embora espere-se maior riqueza e densidade nas camadas mais superficiais por esses organismos serem diretamente influenciados pela incidência luminosa na coluna d'água (LOURENÇO & MARQUES-JR, 2009; REBELLO *et al.*, 1988), na presente campanha não foi observada uma clara zonação vertical da comunidade para nenhum dos indicadores ecológicos avaliados. Conforme identificado com a perfilagem feita com CTD na campanha atual (C15) não houve registro da ocorrência de AT/ACAS e AIA nas camadas abaixo da termoclina, ou mesmo nas camadas SUP, ACTC e TC das estações de monitoramento.

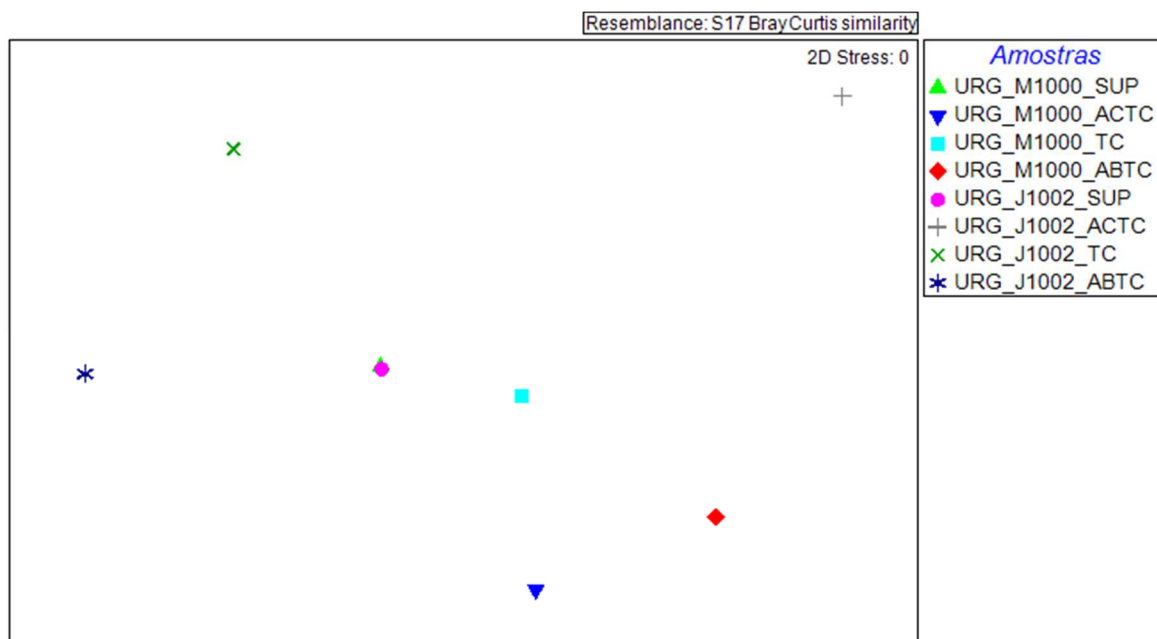
V.2.1.5 - *Análise de Cluster e MDS*

A análise de *Cluster* (Figura V-4242) mostrou similaridades variando entre aproximadamente 83 e 98%, demonstrando grande similaridade entre as amostras. Com 83% de similaridade, ocorreu a separação da amostra URG_J1002_ACTC do restante das amostras, provavelmente devido aos maiores valores de densidade de Haptophyta (101,10 ind/L) nessa amostra, em relação às demais, quando esse filo variou de 18,32 a 67,21 ind/L). A amostras da superfície de ambas as estações (URG_M1000 e URG_J1002) apresentaram aproximadamente 98% de similaridade entre si e se agruparam com a amostra URG_M1000_TC, com aproximadamente 93% de similaridade. Uma organização das amostras bastante semelhante foi observada na análise de MDS (Figura V-4343), que apresentou stress de 0, representando 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-42 –Cluster da comunidade fitoplanctônica nas amostras da atual campanha (C15) de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.



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

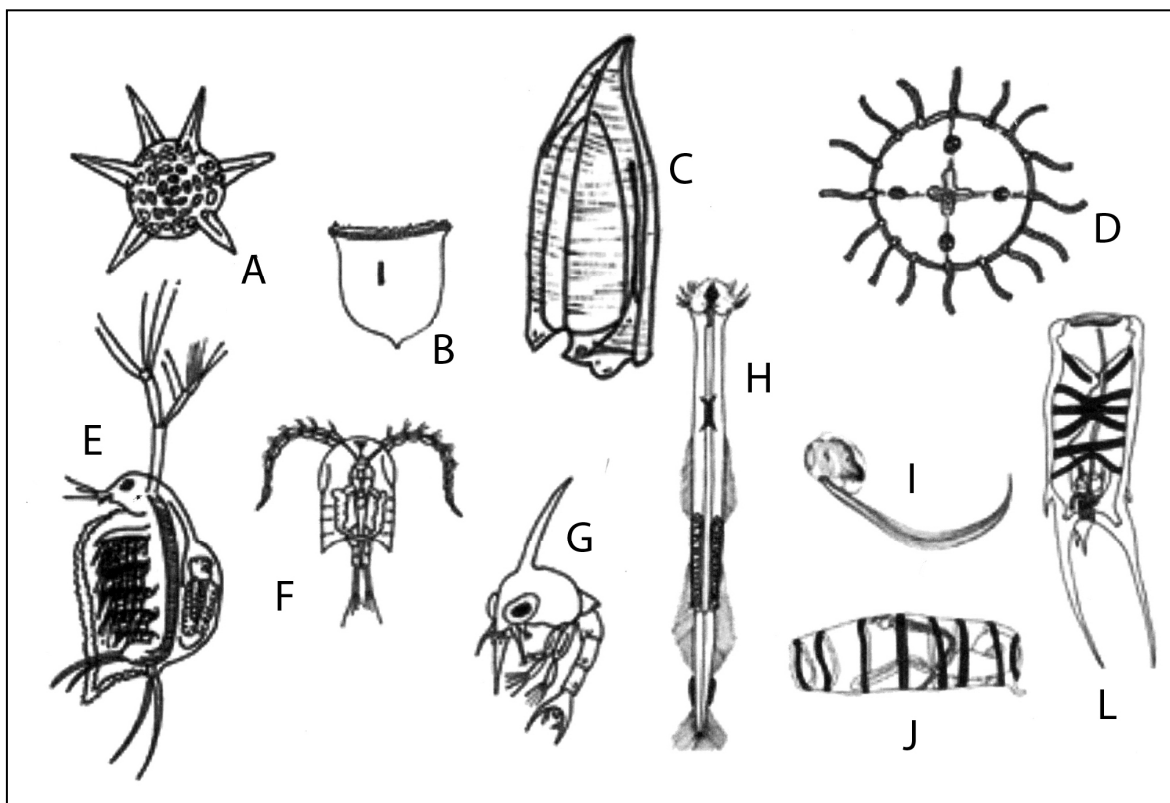
Figura V-43 – MDS da comunidade fitoplânctônica das amostras das estações M1000 e J1002 da atual campanha (C15) de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

V.2.2 - Zooplâncton

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

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-444 mostra diversos exemplos dos principais componentes do zooplâncton no ambiente marinho.



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

Figura V-44 – Esquema demonstrando alguns dos principais componentes da comunidade zooplancônica no ambiente marinho: Radiolaria (A) Tintinnina (B) Siphonophora (C) Hydromedusae (D) Cladocera (E) Copepoda (F) Larva de Crustacea (G) Chaetognatha (H) Appendicularia (I) Doliolida (J) Salpida (L).

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

Diversos fatores físicos e químicos são responsáveis por determinar a estrutura das comunidades 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). O processo de dispersão planctônica das larvas é afetado por vários fatores tanto biológicos, como a taxa de emissão, migração vertical, mortalidade natural, predação e comportamento das larvas, quanto abióticos (como transporte por correntes, marés e ventos, estratificação vertical, temperatura, salinidade, etc)

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).

Em estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), executado entre 2019 e 2022, foi identificado que a distribuição dos organismos zooplanctônicos, e em especial das espécies de Copepoda, estão diretamente relacionadas às variáveis ambientais. 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

A avaliação histórica da amostragem do zooplâncton considerou somente as campanhas que realizaram arrastos oblíquos e horizontais (a partir de C7),

contemplando, assim, 36 amostras para esse período de nove campanhas. Na atual campanha, quando houve identificação de 42 taxa em quatro amostras, sete são novas taxa encontrados para a localidade.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo do total de nove campanhas evidencia um incremento maior de taxa principalmente entre a 1ª e 5ª amostra, que contabilizaram, ao todo, 74 taxa. Ou seja, aproximadamente 52% do total (142) de taxa obtidos foi coletado até a primeira amostra de C8 (Figura V-455). O maior incremento verificado entre C13, C14 e C15 pode estar associado a uma mudança na composição dos taxa da comunidade local, e/ou ainda a mudanças nos laboratórios executores das análises taxonômicas, o que pode ter ocasionado diferenças na identificação de alguns organismos. Ressalta-se que tais diferenças são aceitáveis, tendo em conta a subjetividade inerente destas análises, que dependem da experiência e conhecimento dos especialistas, bem como da integridade dos organismos coletados.

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada a partir da 3ª amostra de C7 até a 1ª amostra de C13. A primeira amostra de C7 (M1000 OBL) esteve acima da distribuição esperada, enquanto a segunda foi semelhante à distribuição esperada, o que pode ter relação com a mudança de laboratório nas duas últimas campanhas. As diferenças pontuais entre as massas d'água encontradas nas diferentes campanhas, conforme informado no Quadro V-1 também podem influenciar na composição do fitoplâncton e, conseqüentemente, do zooplâncton. A maioria das amostras coletadas em C13 tiveram valores de distribuição real semelhantes à distribuição esperada, conforme pode ser observado com os pontos plotados dentro do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. A estabilização da curva durante C13, C14 e C15 mostra ainda que, mesmo com o aumento do esforço, a tendência é de um baixo incremento no número de espécies. Esse resultado evidencia que o projeto tem apresentado um esforço amostral adequado para a caracterização da comunidade local.

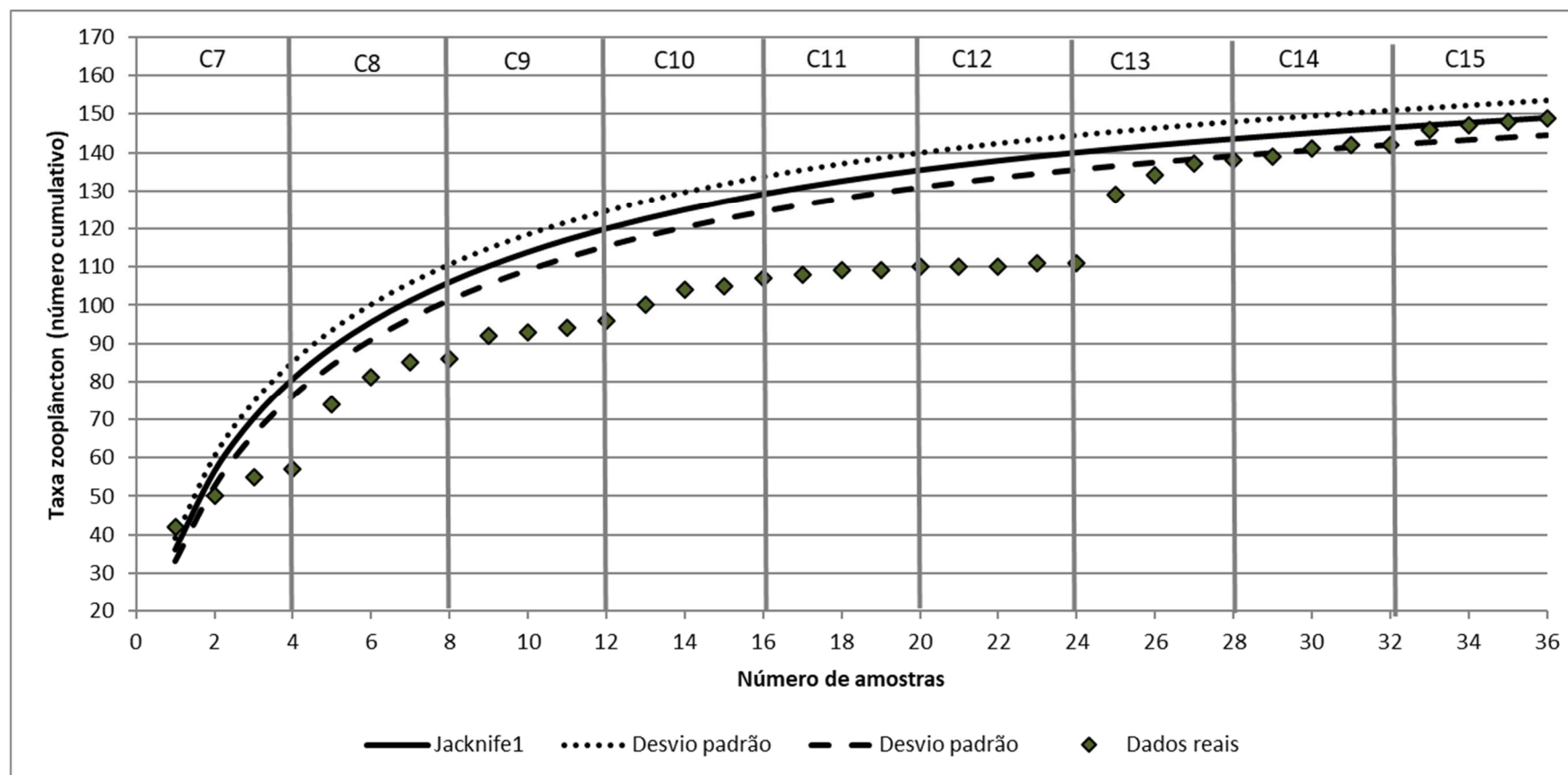


Figura V-45 – Número cumulativo de taxa por amostra de zooplâncton obtidas por arrastos oblíquos e horizontais, encontrados ao longo das últimas oito campanhas da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas e pontilhadas representam os desvios padrões da curva.

V.2.2.2 - Análise Qualitativa

Foram identificados organismos pertencentes a onze filos (Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chaetognatha, Chordata, Cnidaria, Ctenophora, Echinodermata, Mollusca, Foraminifera e Platyhelminthes). A maioria desses filos foi registrada nas campanhas de monitoramento realizadas anteriormente (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). O filo com maior riqueza identificado na atual campanha (C15) foi Arthropoda, que contabilizou 26 taxa. Esse grupo se destacou em relação aos demais que tiveram riqueza de 5 (Mollusca), 3 (Chordata), 2 (Cnidaria) e 1 taxón (Annelida, Bryozoa, Chaetognatha, Ctenophora, Echinodermata, Foraminifera e Platyhelminthes) (Figura V-46). A lista completa com os taxa encontrados na atual campanha é apresentada no Anexo X-3.

Os artrópodes são comumente dominantes nas comunidades zooplancônicas (BRANDINI *et al.*, 1997), e a dominância de Arthropoda verificada na atual campanha corrobora os dados das campanhas anteriores de monitoramento do local, onde também se encontrou os artrópodes como o grupo mais rico, representando de 60 a 84% da riqueza observada (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2010a, 2010b, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). No presente trabalho, cerca de 60% dos taxa encontrados pertencia ao filo Arthropoda.

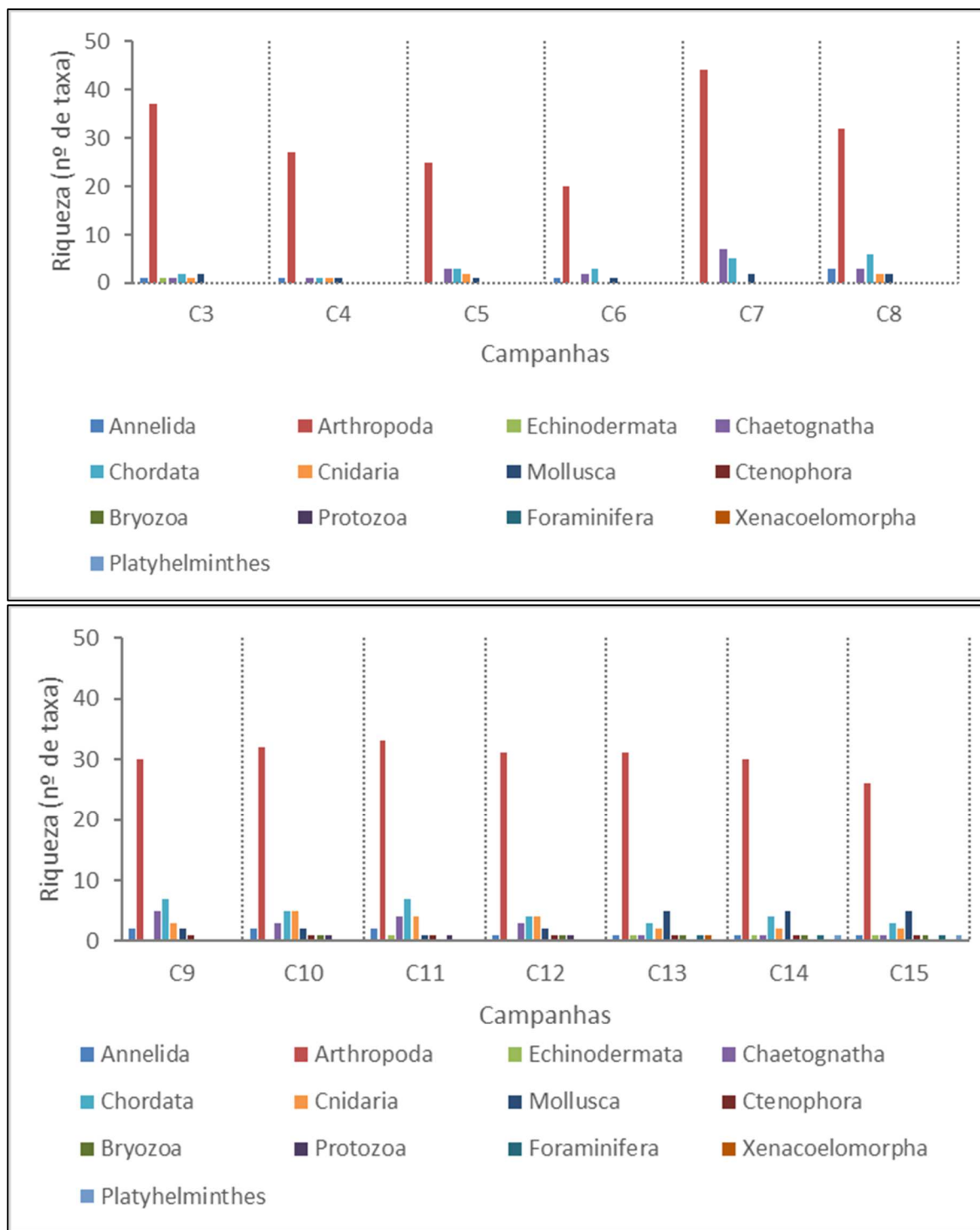


Figura V-46 – Riqueza (nº de taxa) dos filos zooplânctônicos encontrados ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

A forte dominância, em número de taxa, dos artrópodes foi devido à 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, 2022), bem como na plataforma continental brasileira de maneira geral (BRANDINI *et al.*, 1997; NOGUEIRA *et al.*, 1999). Na área do talude, mais especificamente em amostras coletadas nas regiões marinhas dos blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21, esse também foi o grupo de organismos zooplanctônicos dominante (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Em estudo de caracterização regional da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), realizado de 2019 a 2022, os copépodes também representaram o grupo zooplanctônico predominante, tanto na campanha de inverno como de verão. Nesse estudo, comunidade zooplanctônica da zona oceânica da BS, registrada na campanha de verão e de inverno, ficou representada pela presença de Copepoda e também de Salpida.

A composição e estrutura da comunidade zooplanctônica podem trazer importantes informações sobre as características ambientais, como por exemplo, a presença de espécies indicadoras de massas d'água. *Temora turbinata*, registrada na atual campanha, é um Copepoda introduzido na costa leste brasileira que divide espaço com a espécie nativa *Temora stylifera* (ARAÚJO & MONTÚ, 1993). Segundo Petrobras (2022), essa espécie é indicadora de água costeira (AC), e esteve associada a estações costeiras e plataforma interna, com maior concentração de clorofila. O zooplâncton da Bacia de Santos (Petrobras, 2022) mostrou características semelhantes às comunidades zooplanctônicas de outras bacias sedimentares da costa brasileira com maiores concentrações nas camadas superficiais, sobretudo de copépodos que dominaram a comunidade da plataforma

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

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

As classes Thaliacea (Salpida) e Appendicularia, pertencentes ao filo Chordata, são componentes frequentes do zooplâncton, apesar de normalmente não serem abundantes em biomassa (VEGA-PÉREZ *et al.*, 2011). No entanto, o crescimento populacional de salpas, quando em condições favoráveis, pode resultar em blooms repentinos e pontuais, consumindo todo o alimento disponível rapidamente (ESNAL & DAPONTE, 1999; BONECKER & QUINTAS, 2006; MIGLIETTA *et al.*, 2008). Também foram registrados indivíduos do Filo Ctenophora. Neste último, 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 carcinofauna 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 comunidade zooplanctônica foram registrados 42 taxa, dentre os quais, seis foram identificados a nível de filo, sete a nível de classe, um a nível de infraclasse,

nove a nível de ordem, um a nível de família, quatro a nível de gênero e 14 foram identificados a nível de espécie. As comunidades foram descritas qualitativamente pelo número de taxa e não pelo número de espécies. A lista completa com os taxa encontrados é apresentada no Anexo X-3.

Na Tabela V-18 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-18 - Valores de riqueza (número de taxa) de taxa, densidade (ind/m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade zooplânctônica da campanha atual de monitoramento de PMPR_URG_C15.

Estação	Arrasto	Riqueza (nº de taxa)	Densidade (ind/m ³)	Diversidad e (bits/ind)	Equitabilidade
URG_M1000	Horizontal	33,00	66,81	3,66	0,73
	Oblíquo	28,00	132,43	3,59	0,75
URG_J1002	Horizontal	34,00	166,72	3,55	0,70
	Oblíquo	32,00	108,40	2,81	0,56
	Mínimo	28,00	66,81	2,81	0,56
	máximo	34,00	166,72	3,66	0,75
	Média	31,75	118,59	3,40	0,68
	desvio padrão	2,63	42,00	0,40	0,08

Os valores de riqueza total nas diferentes amostras variaram de 28 (no arrasto oblíquo da estação URG_M1000) a 34 taxa (no arrasto horizontal de URG_J1002), apresentando média de $31,75 \pm 2,63$ taxa, portanto, com baixa variação em torno da média (8,28%).

Na Tabela V-19 são apresentados os valores mínimo e máximo dos resultados dos índices ecológicos nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.

O resultado de riqueza máximo observado na presente campanha (Tabela V-18) encontra-se na faixa de variação dos resultados encontrados ao longo das campanhas anteriores, apresentando valores inferiores em relação à quatro campanhas (C7, C8, C10 e C13), e superiores em relação às demais campanhas. É importante lembrar que nas quatro primeiras campanhas (C3 a C6) foi realizado apenas um arrasto vertical em cada estação e essa diferença pode ter contribuído para os menores valores de riqueza encontrados nessas campanhas.

Tabela V-19 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o zooplâncton nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.

Empreendimento	Riqueza (nº de taxa)		Densidade (ind/m³)		Diversidade (bits/ind)		Equitabilidade	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
URG_C3 ¹	25,00	29,00	442,40	1.078,74	1,16	1,18	0,81	0,83
URG_C4 ²	24,00	25,00	517,04	734,86	2,41	2,74	0,76	0,85
URG_C5 ³	26,00	26,00	72.017,00	140.664,00	2,32	2,56	0,49	0,54
URG_C6 ⁴	16,00	26,00	89,00	10.990,00	2,43	2,44	0,74	0,88
URG_C7 ⁵	40,00	46,00	314,00	800,00	2,40	2,80	0,66	0,75
URG_C8 ⁶	36,00	38,00	629,56	1032,91	2,51	2,83	0,69	0,78
URG_C9 ⁷	31,00	42,00	1593,57	2342,80	2,56	3,20	0,74	0,88
URG_C10 ⁸	35,00	40,00	612,07	1537,46	2,91	3,31	0,82	0,90
URG_C11 ⁹	28,00	40,00	337,66	1751,65	2,59	3,20	0,73	0,89
URG_C12 ¹⁰	27,00	34,00	185,66	2.254,62	2,47	3,17	0,75	0,90
URG_C13 ¹¹	35,00	40,00	246,60	336,86	3,80	4,29	0,71	0,82
URG_C14 ¹²	34,00	43,00	650,15	1611,25	3,10	3,27	0,57	0,64

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

Assim, em função das diferenças de amostragens (arrasto único por estação) entre as campanhas, e visando tornar possível a comparação estatística dos índices ecológicos as análises de riqueza, densidade, diversidade e equitabilidade, optou-se por considerar somente os resultados obtidos durante as últimas oito campanhas da fase de operação (C7 em diante), nas quais foram realizados tanto arrastos horizontais como oblíquos.

A campanha C7 apresentou a maior riqueza, enquanto C9 e C11 apresentaram as maiores amplitudes (≥ 10) entre os valores máximos e mínimos riqueza (Figura V-47). A riqueza média obtida na campanha C14 foi praticamente idêntica as observadas em C9 e C11, mas com menor amplitude de variação entre valores máximo e mínimo. Foram observadas diferenças significativas na riqueza de taxa (ANOVA, $p < 0,0015$). A campanha C7 diferiu de C11, C12 e C15, e C12 diferiu também de C8, C10 e C13 (Tukey, $p < 0,05$).

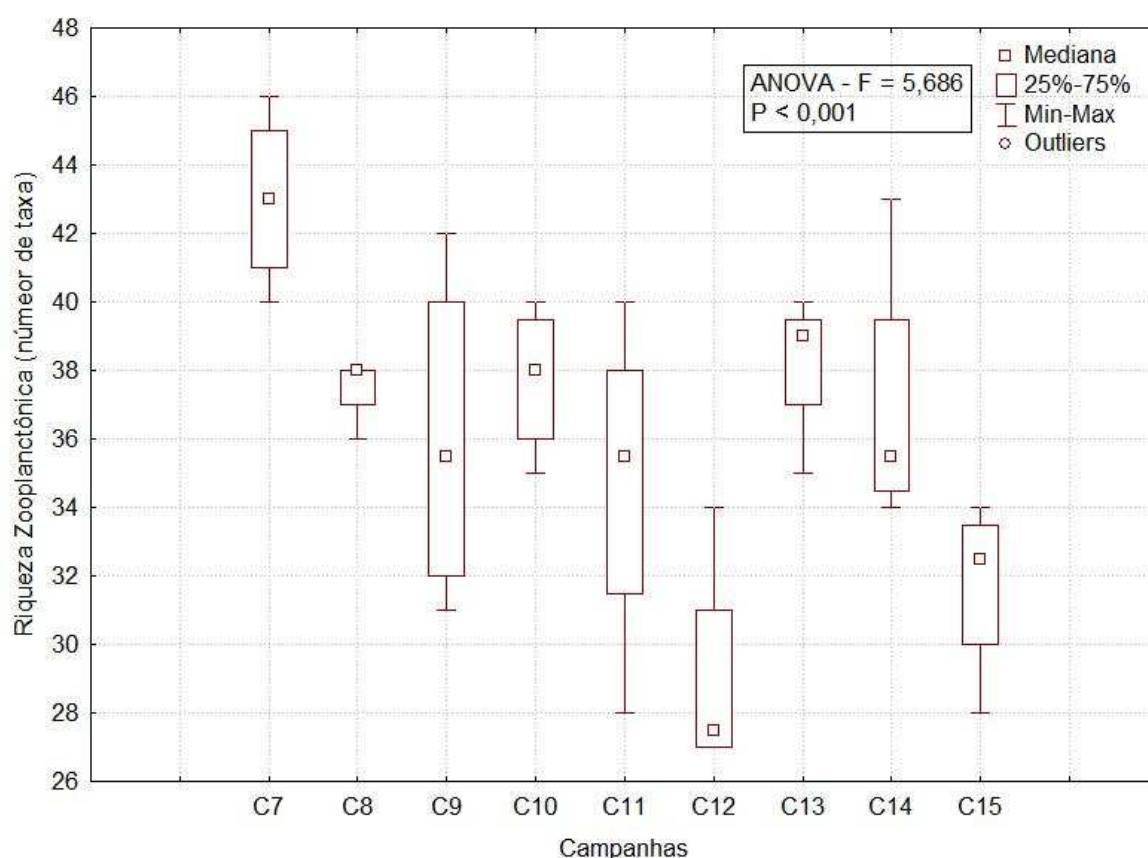


Figura V-47 – Box plots representativos dos valores de riqueza de taxa (número de taxa) das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 (arrasto oblíquo e horizontal) do PMPR_URG.

A densidade média de organismos zooplanctônicos na atual campanha foi de $118,59 \pm 42,00$ ind/m³, variando entre 66,81 ind/m³ (no arrasto horizontal da estação URG_M1000) e 166,72 ind/m³ (no arrasto horizontal da estação URG_J1002) (Tabela V-17). Os valores de densidade registrados anteriormente variaram bastante e os resultados obtidos na atual campanha (Tabela V-18) apresentam os menores valores máximos e mínimos em comparação aos resultados obtidos nas campanhas anteriores (Tabela V-19).

A variação na densidade da comunidade zooplanctônica é frequente na plataforma continental e as elevadas concentrações podem ser associadas à entrada de massas d'água ricas em nutrientes (LOPES *et al.*, 2006). De fato, os resultados do monitoramento de temperatura e salinidade obtidos em C15 indicaram a ocorrência predominantemente de misturas de Águas Costeiras e Águas Tropicais (AC/AT), até a profundidade da termoclina em todas as estações, sendo marcadas pela presença e/ou influência (mistura) de Água Costeira e Água Central do Atlântico Sul (AC/ACAS), bem como somente ACAS na profundidade da ABTC de de URG_M1000 e URG_J1002.

Bassani *et al.* (1999) realizou levantamento de trabalhos que estudaram a densidade de zooplâncton na plataforma continental do sudeste do Brasil, no qual a autora descreve uma densidade anual média desses organismos de 3×10^4 ind/m³. Segundo esse levantamento, cerca de 46% dos valores médios identificados na literatura situam-se entre 1 e 2×10^4 ind/m³, sendo frequente a ocorrência de variação sazonal, com os valores frequentemente flutuando entre 1 e 5×10^4 ind/m³. A abundância do zooplâncton na zona oceânica da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), próximo ao sistema de Uruguá, variou entre verão e inverno, tanto na camada mais superficial (0-25 m) (verão = 500 e 100.000 ind/m³; inverno = 100 e 500 ind/m³), quanto na camada mais profunda (25-50 m), (inverno = 100 e 500 ind/m³; verão = 10.000 e 100.000 ind/m³).

Na campanha C9 foram obtidos os maiores valores de densidade em relação as demais, que também realizaram arrastos horizontais e oblíquos, assim como apresentou a maior densidade média dentre as nove campanhas avaliadas nesse RTAA. A C12 ficou caracterizada por ser a segunda campanha com densidade média mais elevada e por apresentar a maior amplitude de variação de valores de densidade. A campanha C14 apresentou valores semelhantes de densidade em

relação às campanhas anteriores, exceto em relação à C9, que apresentou valores superiores, e C13 e C15, que apresentaram valores inferiores. Foram observadas diferenças significativas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,001$), com C9 diferindo de C13 e C15 (*Tukey*, $p < 0,05$) (Figura V-48).

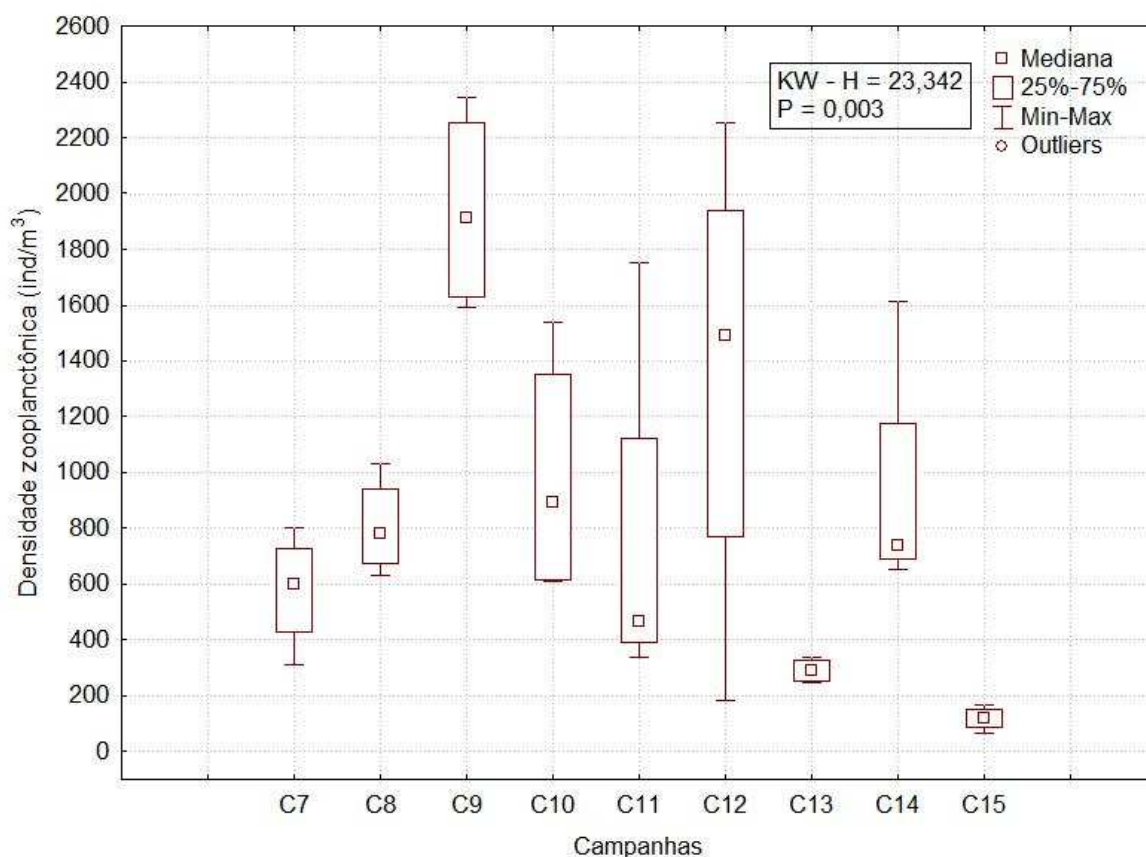


Figura V-48 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/m³) das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 (arrasto oblíquo e horizontal) do PMPR_URG.

Assim como o filo Arthropoda se destacou por apresentar a maior riqueza na campanha C15 (Figura V-46), esse filo também se destacou por apresentar a maior densidade média de organismos na comunidade do local, registrando média de $74,20 \pm 39,32$ ind/m³, equivalente a cerca de 63% do total de organismos, seguido pelo filo Chaetognatha, com média de $17,99 \pm 6,51$ ind/m³. O terceiro filo com maior densidade foi Chordata ($10,65 \pm 6,44$ ind/m³), seguido de Mollusca ($6,63 \pm 6,61$ ind/m³), Foraminifera ($5,25 \pm 3,13$ ind/m³), Cnidaria ($2,96 \pm 2,19$ ind/m³), Echinodermata ($0,49 \pm 0,37$ ind/m³), Annelida ($0,41 \pm 0,24$ ind/m³),

Bryozoa e Ctenophora com $0,01 \pm 0,01$, e Platyhelminthes com $0,003 \pm 0,01$ ind/m³) (Figura V-49).

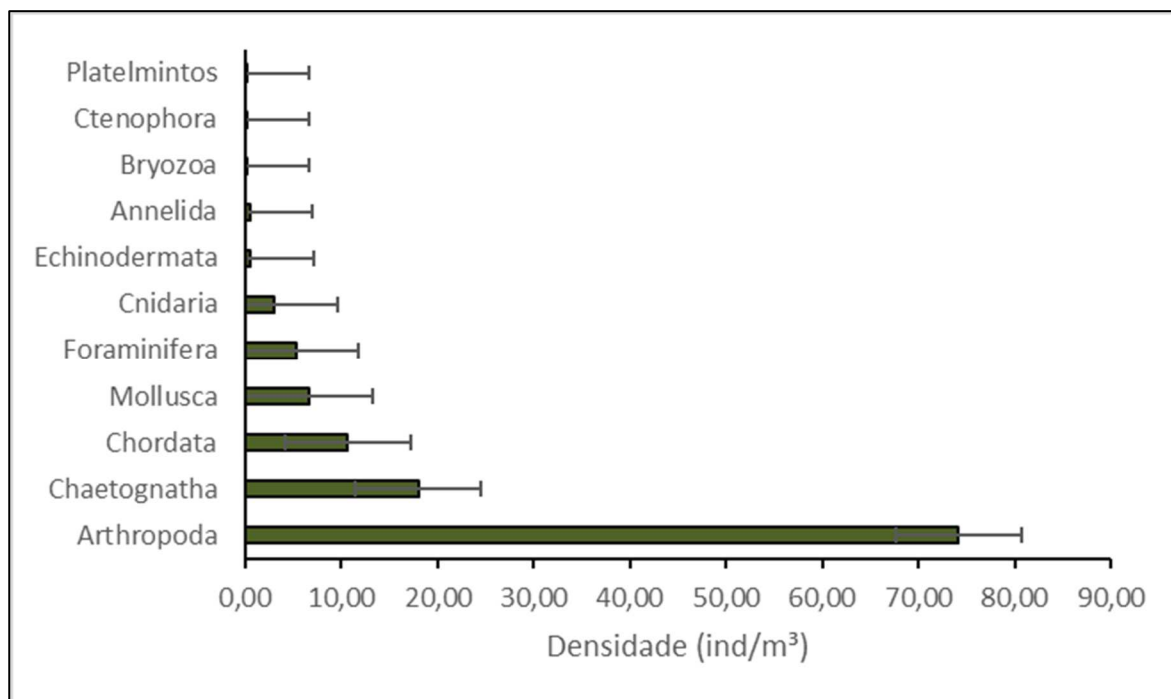


Figura V-49 – Densidade de organismos (ind/m³) dos filos zooplancctônicos na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média das amostras $\pm$ desvio-padrão.

A elevada densidade de Arthropoda observada na C15 se repetiu no restante das 12 campanhas de monitoramento executadas anteriormente na fase de operação do FPSO Cidade de Santos. Nos monitoramentos realizados por Petrobras/Analytical Solutions (2012, 2013), Petrobras/Bourscheid (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020) e Petrobras/Bioconsult (2022) os artrópodes foram os organismos com maior densidade, representando aproximadamente 90% da densidade média, não corroborando os dados obtidos na atual campanha. De toda forma, a elevada densidade do filo Arthropoda, tanto na atual campanha (63%) quanto nas anteriores (em torno de 60%), está atribuído às altas densidades de copépodes, um grupo frequentemente reconhecido como o mais abundante nas comunidades da plataforma continental brasileira (BRANDINI *et al.*, 1997).

A diversidade média da presente campanha foi relativamente alta, com média de $3,40 \pm 0,40$ bits/ind, variando entre 2,81 e 3,66 bits/ind no arrasto oblíquo da

estação URG_J1002 e no arrasto horizontal da estação URG_M1000, respectivamente (Tabela V-18). Esses resultados são superiores aos encontrados nas campanhas anteriores, exceto em relação à C10 e C13, que apresentaram resultados ainda maiores (Tabela V-19). Graficamente, C13 apresentou valores mais elevados, C7 e C8 apresentaram valores mais baixos e C9 a C12, C14 e C15 apresentaram valores intermediários. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (ANOVA, $p < 0,001$), com C13 diferindo das demais campanhas e C15 diferindo de C7 e C8 (Tukey, $p < 0,05$) (Figura V-50).

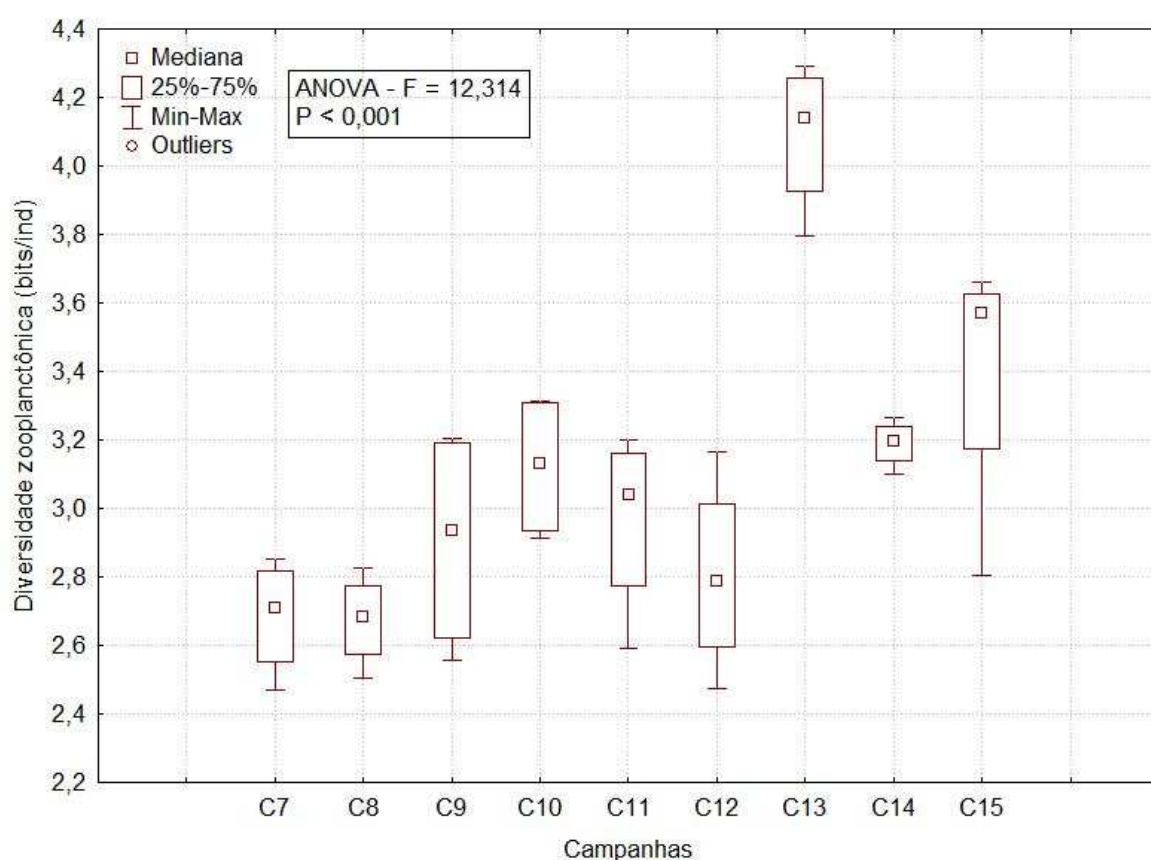


Figura V-50 - Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 do PMPR_URG.

A equitabilidade média da atual campanha foi de $0,68 \pm 0,08$, variando entre 0,56, no arrasto oblíquo de URG_J1002, e 0,75, no arrasto oblíquo de URG_M1000 (Tabela V-18). Os resultados obtidos na atual campanha (0,56 a 0,75) encontram-se na faixa de valores observados nas campanhas anteriores (0,49 a 0,90), mas são inferiores em relação aos valores máximos da maioria das campanhas, exceto

em relação à C5 e à C14, que apresentaram valores máximos inferiores (Tabela V-19).

Os valores de equitabilidade obtidos nas amostras das últimas nove campanhas da fase de operação do sistema de Uruguá são apresentados na Figura V-51. A maior equitabilidade média foi observada em C11, a maior amplitude de valores em C15, que também apresentou a menor valor mínimo e a menor amplitude de valores em C14. Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal Wallis*, $p=0,002$), sendo que C14 diferiu de C10 e C12 (*Tukey*, $p < 0,05$).

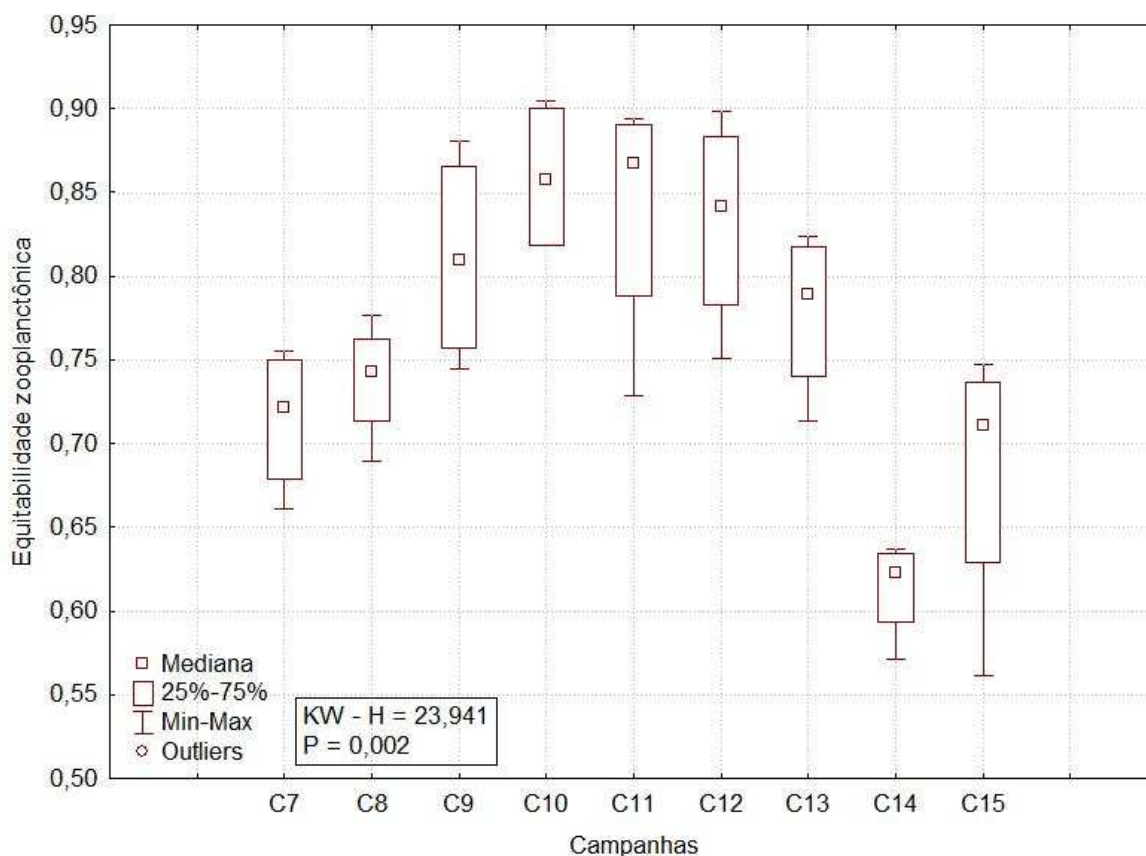


Figura V-51 - Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades zooplancônicas encontradas a partir de C7 do PMPR_URG.

Finalmente, é importante ressaltar que todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório. Apesar

dessa padronização, é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que a troca de laboratório ocorrida entre C7 e C8 e entre C12 e C13 tenha influenciado nos resultados gerados, principalmente na diversidade de C13.

V.2.2.4 - Análise da Distribuição Espacial do Zooplâncton

Os valores de riqueza acumulada entre as estações variaram de 28 a 32 taxa nos arrastos oblíquos e de 33 a 34 taxa nos arrastos horizontais.

A contribuição relativa dos filos nas amostras foi semelhante entre as estações. A maioria dos filos ocorreu nos dois tipos de arrasto e nas duas estações, exceto Bryozoa, que não ocorreu no arrasto oblíquo da estação URG_M1000, Ctenophora que somente ocorreu no arrasto horizontal de URG_M1000 e Platyhelminthes, que ocorreu somente no arrasto horizontal da estação URG_J1002. Arthropoda dominou em todas as amostras, com riqueza mínima de 16 taxa no arrasto oblíquo de URG_M1000 (Figura V-52). De uma maneira geral, foram observadas maiores riquezas nos arrastos horizontais, mas que não representaram distinção marcante, provavelmente relacionadas a uma variação natural da distribuição espacial dessas comunidades.

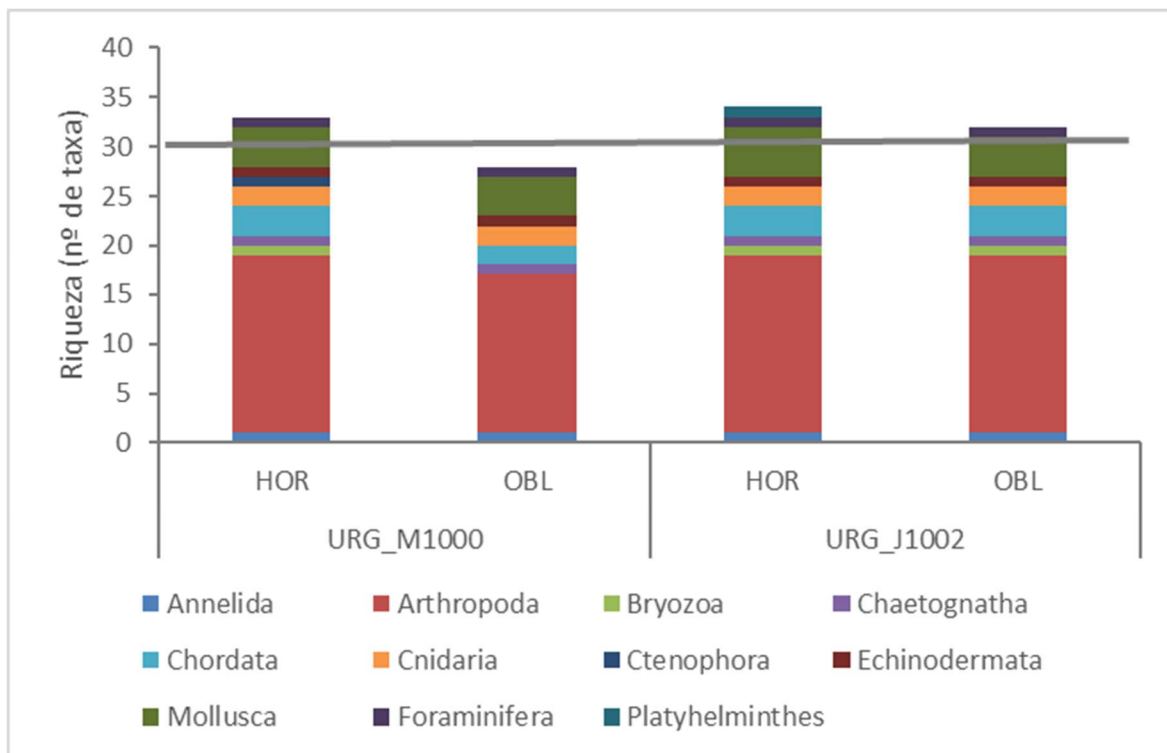


Figura V-52 – Riqueza (Número de taxa) dos filos zooplancctônicos nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha cinza representa a média de todas as amostras da campanha C15.

Com relação à densidade de organismos, a composição proporcional da comunidade foi similar entre as amostras, com dominância de Arthropoda, seguido por Chaetognatha na maioria das amostras, exceto no arrasto horizontal de URG_M1000, em que o segundo filo dominante em densidade foi Chordata. A densidade variou entre os tipos de arrastos, não destacando-se um padrão de maior ou menor densidade entre os tipos de arrastos (Figura V-53).

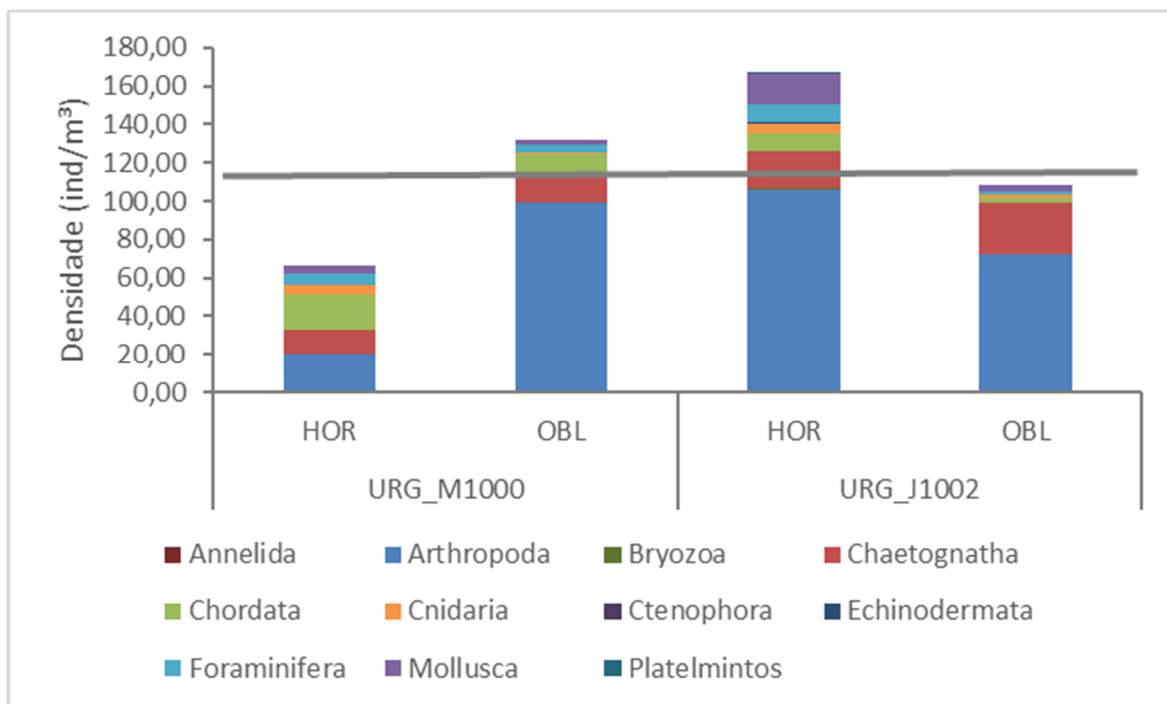


Figura V-53 - Densidade de organismos dos filos zooplancctônicos (ind/m³) nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação PMPR_URG. A linha cinza representa a média de todas as amostras da campanha C15.

Os índices de diversidade e equitabilidade registraram resultados semelhantes entre as amostras, contudo as amostras da URG_M1000 apresentaram maior diversidade para ambos os arrastos. Os resultados obtidos apontam para uma composição específica local com alta diversidade e alta equitabilidade (Figura V-54).

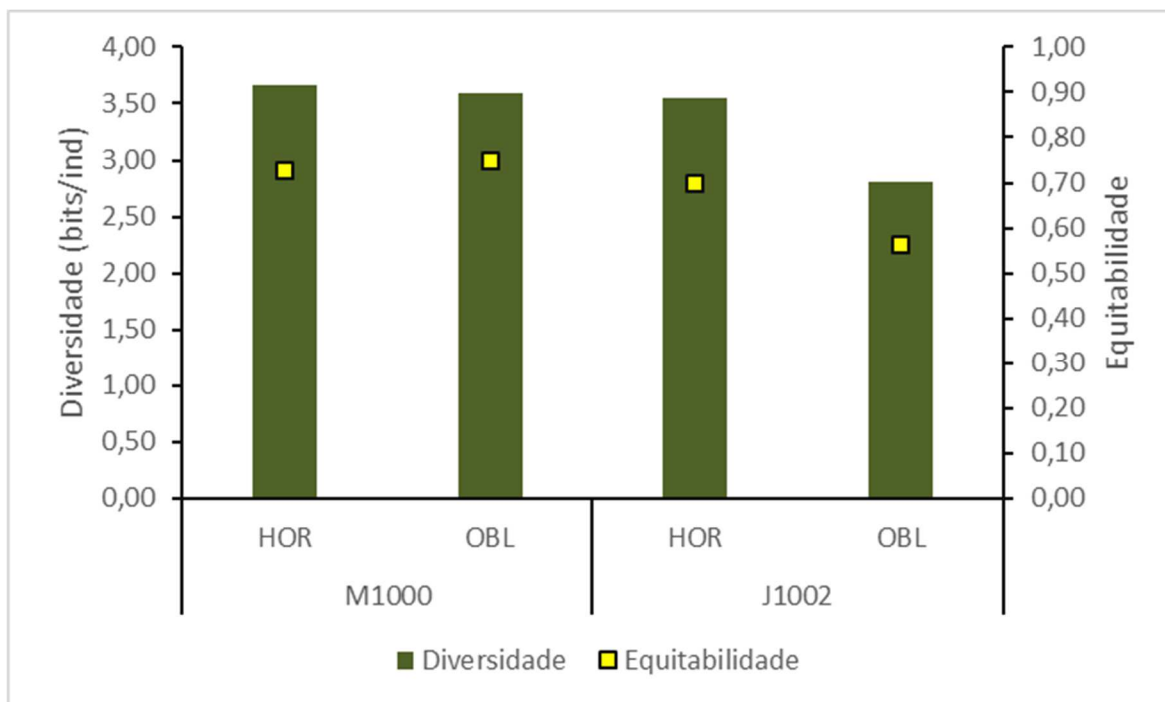
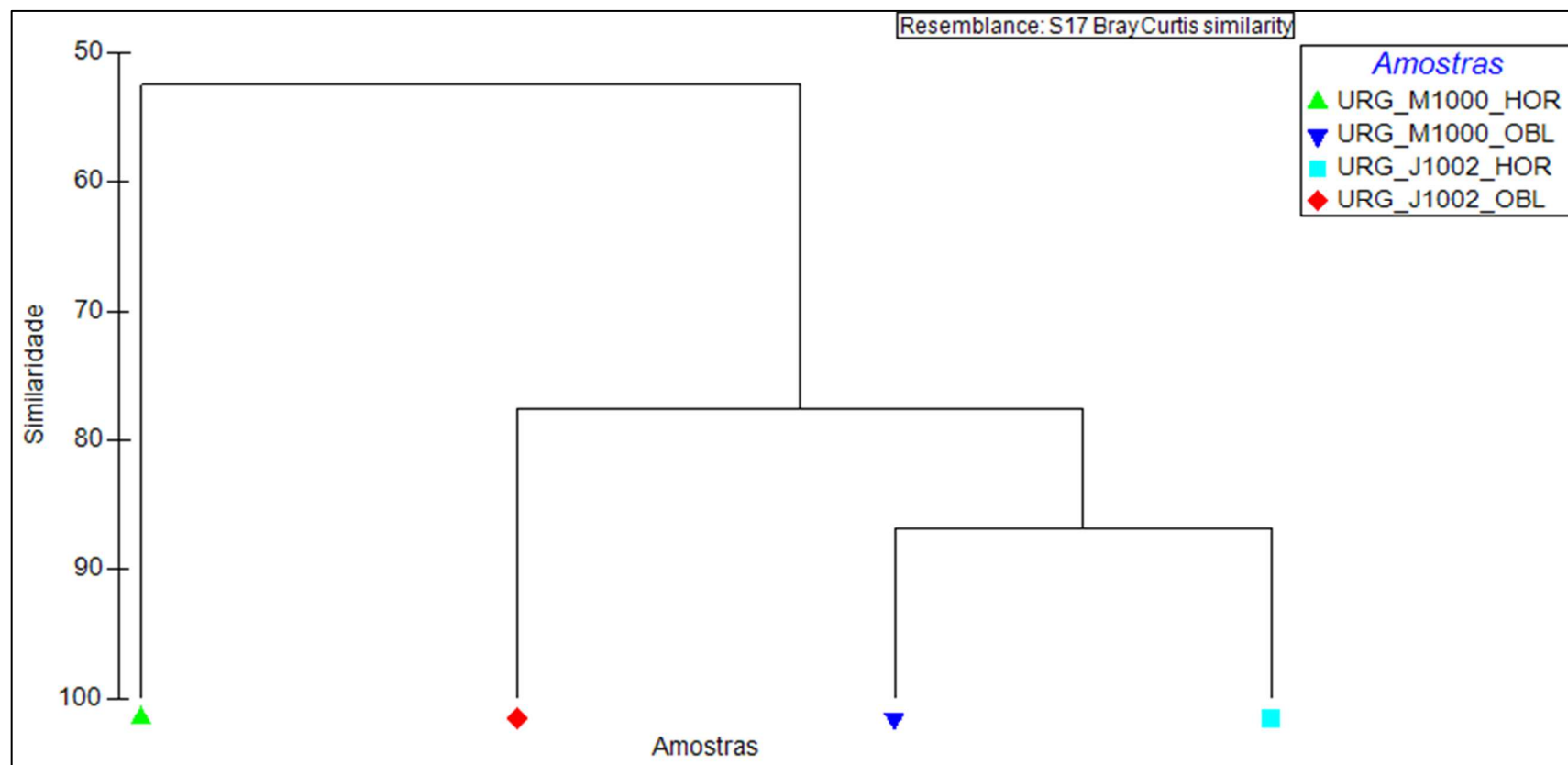


Figura V-54 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade zooplancônica nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas estações da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

V.2.2.5 - Análise de Cluster e MDS

A análise *Cluster* mostrou similaridade alta de 88% entre o arrasto horizontal de URG_J1002 e o arrasto oblíquo de URG_M1000, como reflexo da menor diferença de densidade observado entre ambas as amostras. A amostra obtida com o arrasto oblíquo de URG_J1002 apresentou uma similaridade boa (78%) com essas amostras.

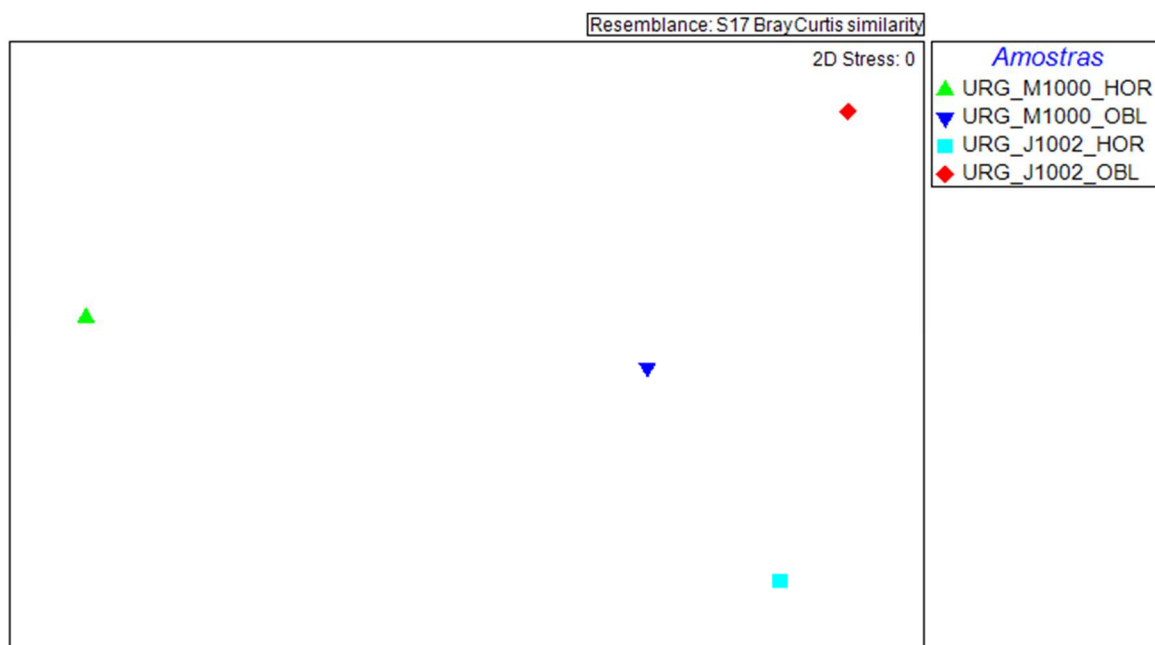
A amostra obtida com arrasto horizontal da estação URG_M1000 apresentou, por sua vez, uma baixa similaridade (52%) em comparação as demais amostras (Figura V-55). A menor abundância de zooplâncton do grupo dos Arthropoda nessa amostra, resultou numa baixa densidade, com valor bem menor ao obtido com o arrasto horizontal em URG_J1002.



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

Figura V-55 – Cluster da comunidade zooplancônica nas duas estações e nos dois arrastos (OBL e HOR) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

A condição observada no *Cluster* também foi observada na análise de MDS (Figura V-56). O MDS apresentou *stress* nulo, apresentando uma boa ordenação entre a matriz de dados reproduzidos e a matriz de dados observados (CLARKE & WARWICK, 2001).



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

Figura V-56 – MDS da comunidade zooplancônica nas duas estações e nos dois arrastos (OBL e HOR) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

A dinâmica da população de Zooplâncton, organismos com mobilidade restrita ao deslocamento vertical na coluna da água, estão sob a influência direta dos ciclos diários e sazonais de produtividade primária (KENNISH, 1990; SUMICH, 1996). Nas estações monitoradas, tipicamente caracterizadas como ambientes oceânicos oligotróficos, a oscilação da produtividade primária poderia ser afetada positivamente por um *input* pontual de nutrientes, e regionalmente pelo ciclo sazonal de mistura de massas d'água. De fato, conforme disposto por alguns autores (VALENTIN, 1988 e BASSANI et al, 1999), oscilações na estrutura das comunidades de Zooplâncton podem ser 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, modificando-se conforme a

origem e as condições de mistura entre as massas de água predominantes em uma determinada região.

V.2.3 - Ictioplâncton

O meroplâncton, por outro lado, é dominado por ovos e larvas de peixes (=ictioplâncton), moluscos, crustáceos e outros invertebrados bentônicos (LOPES et. al., 2006). As larvas dos invertebrados marinhos podem permanecer no estágio planctônico desde horas a menos de dois meses (ex. algumas espécies de ascídias, briozoários, esponjas e corais), entre quatro e seis semanas (ex. algumas espécies de cirripédios e bivalves), e entre vários meses e anos (ex. algumas espécies de poliquetos, bivalves, gastrópodes e decápodes) (LEVIN & BRIDGES, 1995 apud. LÓPEZ & COUTINHO, 2008).

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-57 demonstra um exemplo esquemático do aspecto de ovos e larvas dessa comunidade. A maioria dos Osteichthyes (peixes ósseos) marinhos possui ovos planctônicos de tamanho reduzidos, com cerca de 1 mm. Os mesmos, geralmente, são transparentes com forma esférica. Alguns organismos em estados

larvares mais avançados desenvolvem características transitórias, também utilizadas na sua identificação, como por exemplo, padrões pigmentares, espinhos e cristas. Já as larvas possuem uma grande variedade de formas (BONECKER *et al.*, 2009; MOSER, 1984).

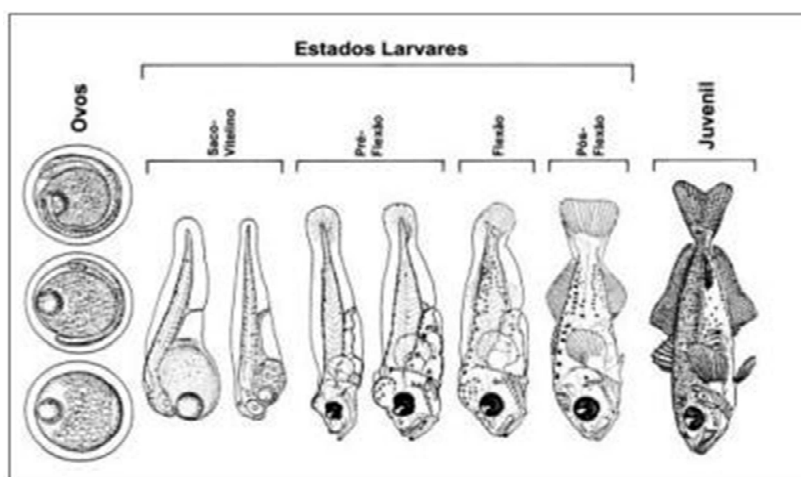


Figura V-57 – Esquema dos primeiros estados de desenvolvimento de *Trachurus symmetricus*. Adaptado de Moser (1984).

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

V.2.3.1 - Avaliação da Amostragem

Para o cálculo da suficiência amostral ao longo das campanhas, foram utilizados separadamente os dados obtidos através do arrasto oblíquo, para todas as campanhas, e os dados obtidos através do arrasto horizontal, de C7 em diante. Assim, ao todo, foram coletadas 52 e 36 amostras para esse grupo através dos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente. Considerando os arrastos oblíquos, houve incremento de oito novos taxa na atual campanha, enquanto para os arrastos horizontais, houve incremento de três novos taxas.

A curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados ao longo das 13 campanhas através de arrastos oblíquos evidencia um incremento quase que contínuo ao longo das amostras coletadas, excetuando-se o incremento maior observado entre C4 e C6 (ao final da qual já havia sido coletado 55% do total de taxa observado até o momento, ou seja 66 taxa em relação ao total de 119 taxa), além de incrementos menores em C8 e C13, que podem estar relacionados as trocas de laboratório (Figura V-58).

Em comparação com a curva de Jackknife 1, que representa o número cumulativo de taxa esperado, é possível observar que a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada ao longo de praticamente todas as amostras até a primeira amostra de C13. Na 1ª amostra (C3) e a partir da 42ª amostra (C13), a distribuição real está fora do intervalo do desvio padrão da curva de Jackknife. Essa variação da curva também pode estar associada com as trocas de laboratório, principalmente em C13. A partir da primeira amostra de C13 e com os novos incrementos de C14 e C15 a distribuição tende à estabilização ficando dentro do intervalo do desvio padrão e sobre a curva Jackknife na amostra C15.

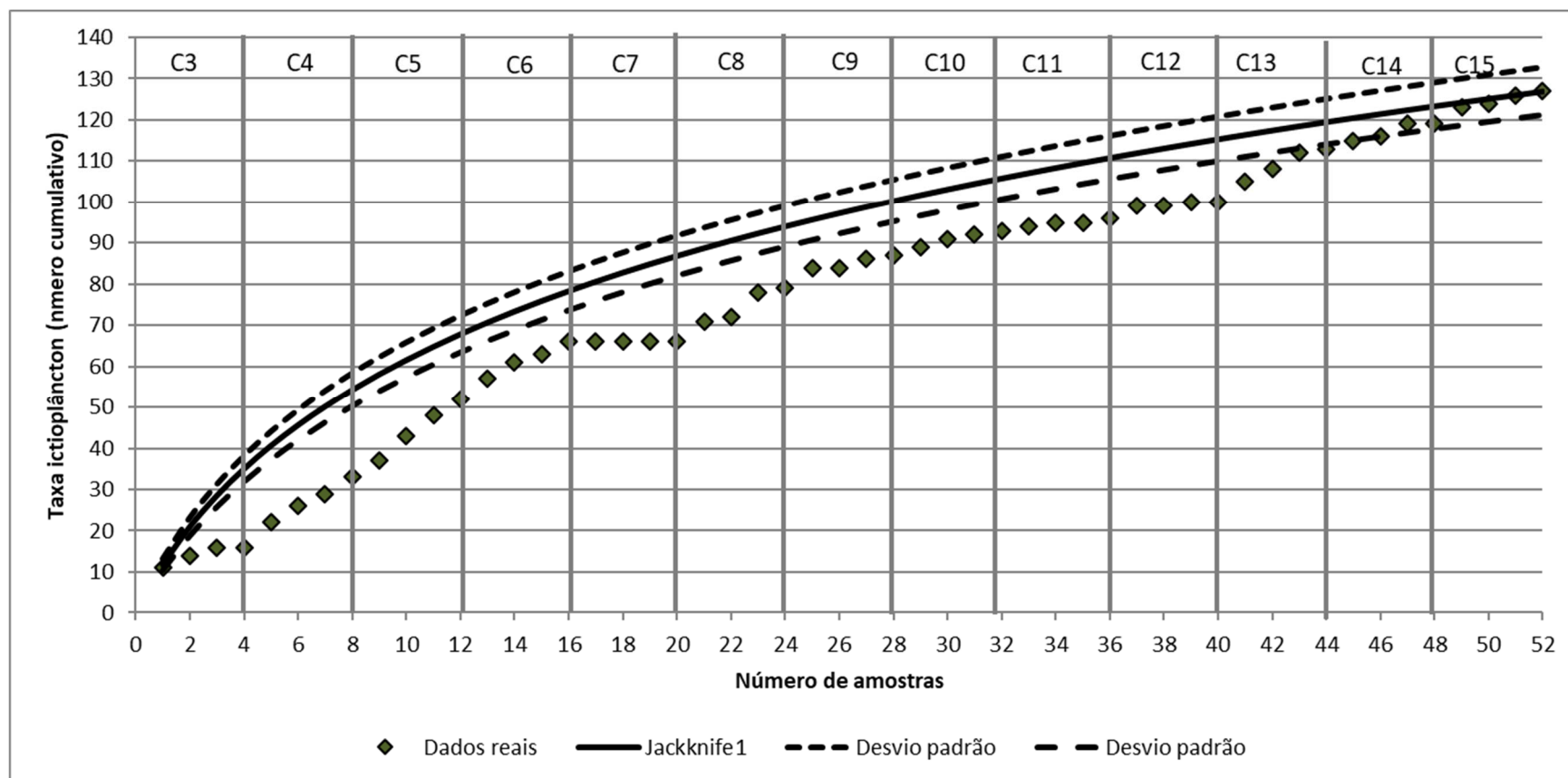


Figura V-58 – Número cumulativo de taxa de ictioplâncton das amostras de arrastos oblíquos encontrados ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

Já a curva formada pelo número cumulativo de taxa coletados através de arrastos horizontais, que contabilizou, ao todo, 79 taxa, evidencia uma significativa queda nas taxas de incremento a partir de C10, com novos incrementos em C13 (Figura V-59).

Em comparação com a curva de Jackknife 1, é possível observar que a distribuição real esteve abaixo da distribuição esperada ao longo das 6 primeiras campanhas avaliadas (C7 a C12), enquanto a partir da 25ª amostra (primeiras amostras de C13), a distribuição real se aproxima da distribuição esperada que se mantém até o final, ficando sobre a curva Jackknife em C15.

Além da mudança na composição dos taxa da comunidade local, alterações do laboratório executor das análises taxonômicas também podem influenciar na identificação dos organismos, e isso pode ajudar a explicar os altos incrementos verificados entre as campanhas C7 e C8 e entre C12 e C13. 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 ambos os casos, existe uma tendência a estabilização das curvas de riqueza, evidenciando a baixa probabilidade de grandes incrementos no número de taxa diante do aumento do esforço amostral e, conseqüentemente, o adequado esforço de amostragem do projeto ao longo de suas sucessivas campanhas.

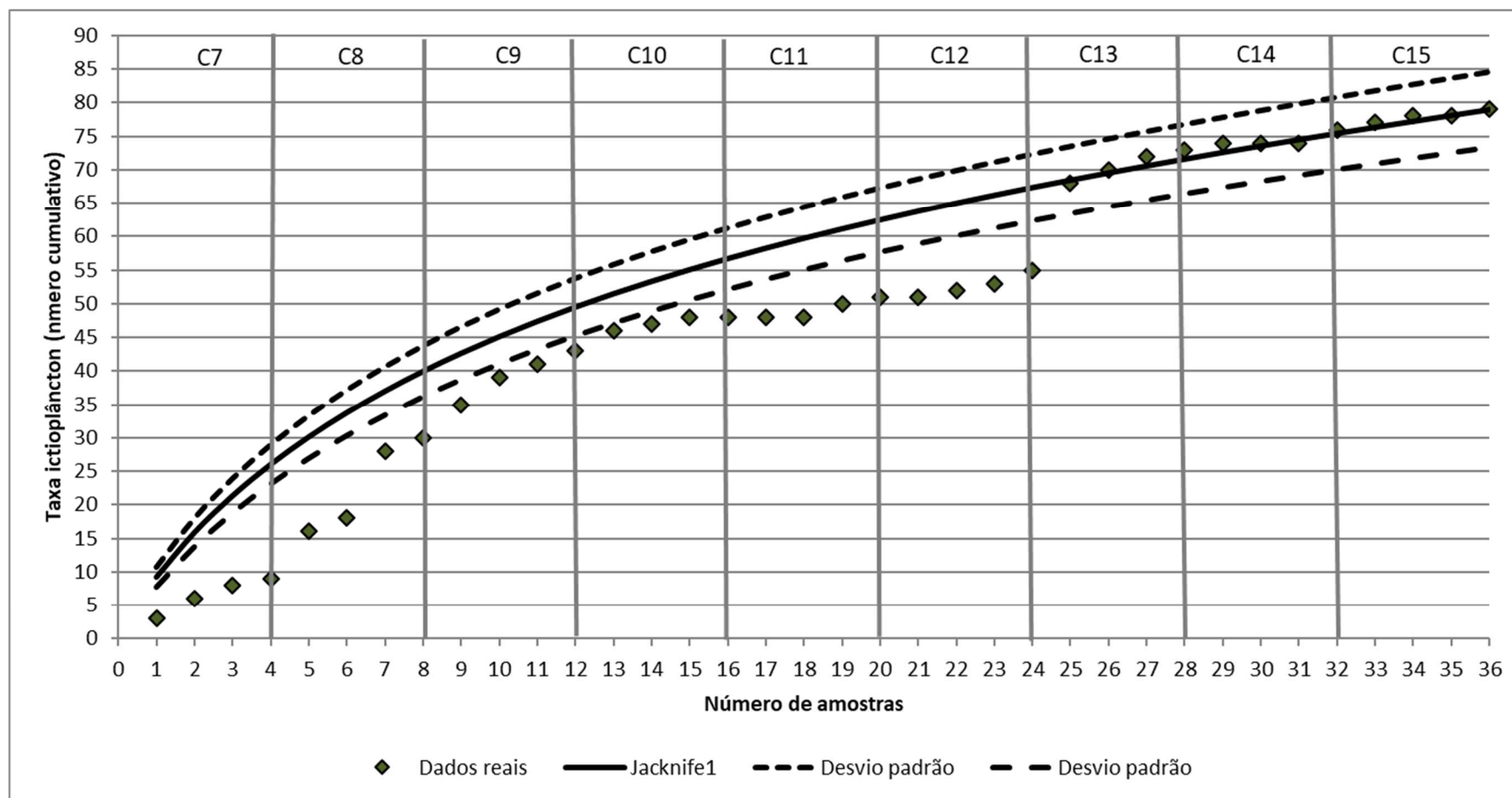


Figura V-59 – Número cumulativo de taxa de ictioplâncton das amostras de arrastos horizontais encontrados ao longo das últimas oito campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha preta representa a curva de Jackknife1, ou seja, o número cumulativo de taxa esperados e as linhas tracejadas representam o desvio padrão da curva.

V.2.3.2 - Análise Qualitativa

As larvas e ovos encontrados pertenciam a oito ordens de peixe: Acanthuriformes (famílias Caproidae e Pomacanthidae), Carangiformes (famílias Carangidae e Coryphaenidae), Dactylopteriformes (família Dactylopteridae), Myctophiformes (família Myctophidae), Perciformes (família Serranidae), Scombriformes (famílias Gempylidae e Scombridae) e Stomiiformes (famílias Gonostomatidae, Phosichthyidae e Stomiidae). No presente estudo, as ordens Myctophiformes e Scombriformes foram dominantes, com 8 e 7 taxa, respectivamente (Figura V-60). A maioria das campanhas anteriores do sistema de Uruguá destacam a ordem Perciformes como dominante (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). As larvas coletadas na presente campanha foram identificadas ao menor nível taxonômico possível, resultando na listagem de taxa apresentada no Anexo X-3.

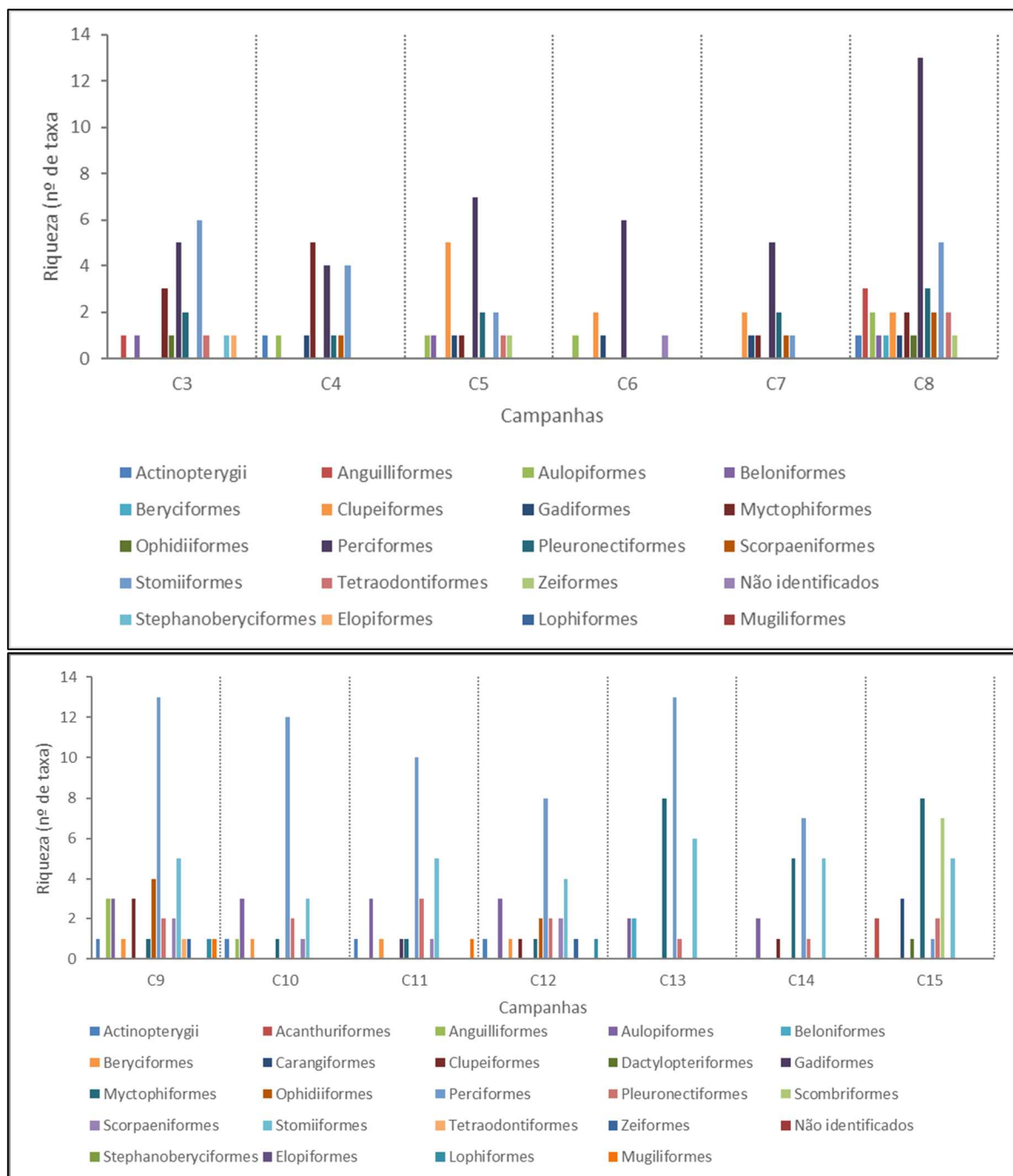


Figura V-60 – Riqueza (nº de taxa) das classes e ordens ictioplanctônicas ao longo das campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

A família Scombridae é marinha, ocorre em áreas tropicais e subtropicais e possui importância econômica e pertence à ordem Scombriformes. As larvas são identificadas pelo formato do corpo, número de miômeros e a pigmentação do

corpo. No Brasil foram encontradas 19 espécies dessa família (BONECKER *et al.*, 2014).

A ordem Stomiiformes é composta por espécies marinhas e a maioria das espécies ocorre em grandes profundidades. A presença de fotóforos é a principal característica das larvas em transformação e dos adultos. Na atual campanha, a ordem foi representada pelo gênero *Cyclothone* (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. As larvas, com a cabeça proeminente e espinhos nas nadadeiras, assemelham-se as larvas da ordem Beryciformes (BONECKER *et al.*, 2014). A família Scombridae é marinha, ocorre em áreas tropicais e subtropicais e possui importância econômica. As larvas são identificadas pelo formato do corpo, número de miômeros e a pigmentação do corpo. No Brasil foram encontradas 19 espécies dessa família (BONECKER *et al.*, 2014).

A ordem Pleuronectiformes é marinha, mas pode 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.

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

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

V.2.3.3 - Análise Quantitativa

Na Tabela V-20 são apresentados os valores de riqueza (número de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade para a comunidade ictioplânctônica encontrada na atual campanha.

Tabela V-20 - Valores de riqueza (nº de taxa), densidade (ind/100m³), diversidade (bits/ind) e equitabilidade encontrados para a comunidade ictioplanctônica da atual campanha de monitoramento do PMPR_URG.

Estação	Arrasto	Malha	Riqueza (nº de taxa)	Densidade (ind/100m³)	Diversidade (bits/ind)	Equitabilidade
URG_M1000	HOR	300 µm	6,00	32,36	1,04	0,95
		500 µm	7,00	18,50	1,49	0,93
	OBL	300 µm	11,00	99,64	1,75	0,98
		500 µm	13,00	62,64	1,99	0,90
URG_J1002	HOR	300 µm	5,00	11,79	0,64	0,92
		500 µm	5,00	10,01	0,69	1,00
	OBL	300 µm	14,00	53,73	2,11	0,96
		500 µm	7,00	14,17	1,39	1,00
mínimo			5,00	10,01	0,64	0,90
máximo			14,00	99,64	2,11	1,00
média			8,50	37,86	1,39	0,95
desvio padrão			3,63	31,86	0,56	0,04

Já na Tabela V-21 são apresentados os resultados mínimo e máximo dos dados ecológicos obtidos para a comunidade ictioplanctônica nas campanhas de monitoramento ambiental anteriores do sistema de Uruguá.

Ao todo, 29 taxa de larvas de peixes foram coletados. Entre eles, seis foram identificados a nível de família, nove a nível de gênero e 14 a nível de espécie. A riqueza variou de cinco taxa, registrados em URG_J1002_HOR_300 e 500, a 14 taxa, registrados em URG_J1002_OBL_300. A riqueza média foi de $8,50 \pm 3,63$ taxa (Tabela V-20).

Pode-se observar, de acordo com os dados da Tabela V-21, que o valor mínimo de riqueza, obtido com o arrasto horizontal e oblíquo da atual campanha (C15) foram mais altos em relação à C7. Em relação ao valor máximo, obtido com o arrasto oblíquo em URG_J1002, o resultado foi inferior a maioria dos resultados históricos (C4, C8, C9, C11e C13) e semelhante à C10 e C14.

Tabela V-21 – Resultados (mínimo e máximo) dos índices ecológicos calculados para o ictioplâncton nas campanhas anteriores da fase de operação do monitoramento do sistema de Uruguá.

Empreendimento	Riqueza (nº de taxa)				Densidade (ind/100m³)				Diversidade (bits/ind)				Equitabilidade			
	Oblíquo		Horizontal		Oblíquo		Horizontal		Oblíquo		Horizontal		Oblíquo		Horizontal	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
URG_C3 ¹	6,00	8,00	-	-	5,39	18,93	-	-	0,42	0,60	-	-	0,50	0,69	-	-
URG_C4 ²	13,00	15,00	-	-	6,45	10,35	-	-	0,83	0,99	-	-	0,73	0,89	-	-
URG_C5 ³	6,00	9,00	-	-	15,00	215,00	-	-	0,42	2,50	-	-	0,14	0,87	-	-
URG_C6 ⁴	9,00	12,00	-	-	23,00	49,00	-	-	2,03	2,40	-	-	0,88	0,97	-	-
URG_C7 ⁵	3,00	7,00	2,00	5,00	5,00	52,00	3,00	76,00	0,84	1,67	0,33	1,10	0,43	0,93	0,47	1,00
URG_C8 ⁶	15,00	19,00	11,00	21,00	27,02	317,98	46,77	526,39	1,25	2,42	0,84	1,59	0,46	0,55	0,28	0,66
URG_C9 ⁷	20,00	27,00	16,00	20,00	62,00	283,52	137,87	336,45	1,60	1,93	0,92	1,70	0,50	0,64	0,32	0,59
URG_C10 ⁸	9,00	14,00	8,00	12,00	41,48	234,96	32,34	82,23	0,59	1,83	1,22	1,77	0,27	0,69	0,56	0,76
URG_C11 ⁹	12,00	12,00	4,00	12,00	34,40	111,29	63,86	133,80	1,63	2,02	1,12	1,71	0,66	0,81	0,69	0,89
URG_C12 ¹⁰	7,00	17,00	5,00	6,00	88,47	195,13	36,87	85,39	0,70	1,03	0,73	1,18	0,29	0,39	0,41	0,73
URG_C13 ¹¹	7,00	13,00	12,00	17,00	16,47	67,72	28,06	101,83	0,59	1,71	1,24	1,56	0,65	0,71	0,86	0,90
URG_C14 ¹²	5,00	14,00	4,00	11,00	19,00	76,76	9,36	45,16	0,34	0,94	0,24	0,84	0,72	0,87	0,79	1,00

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

Cabe ressaltar que, para tornar possível a comparação dos índices ecológicos entre as campanhas da fase de operação, foram utilizados separadamente os dados dos arrastos oblíquos, para todas as campanhas, e os dados dos arrastos horizontais, para as últimas sete campanhas da fase de operação (C7 a C13), pois nas demais esse arrasto não foi realizado.

Na Figura V-61 e na Figura V-62 são apresentados os valores de riqueza encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental da fase de operação do sistema de Uruguá, nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente. Para os arrastos oblíquos, as maiores riquezas foram observadas em C8 e C9 e os menores em C7 (Figura V-61). Ao analisar estatisticamente as campanhas, observou-se que houve diferença significativa entre as 13 campanhas (ANOVA, $p < 0,001$). Por meio de um teste aplicado posteriormente (Teste de Tukey) verificou-se que C9 diferiu de todas as demais campanhas e C8 diferiu de C3, C5, C7, C13 e C14.

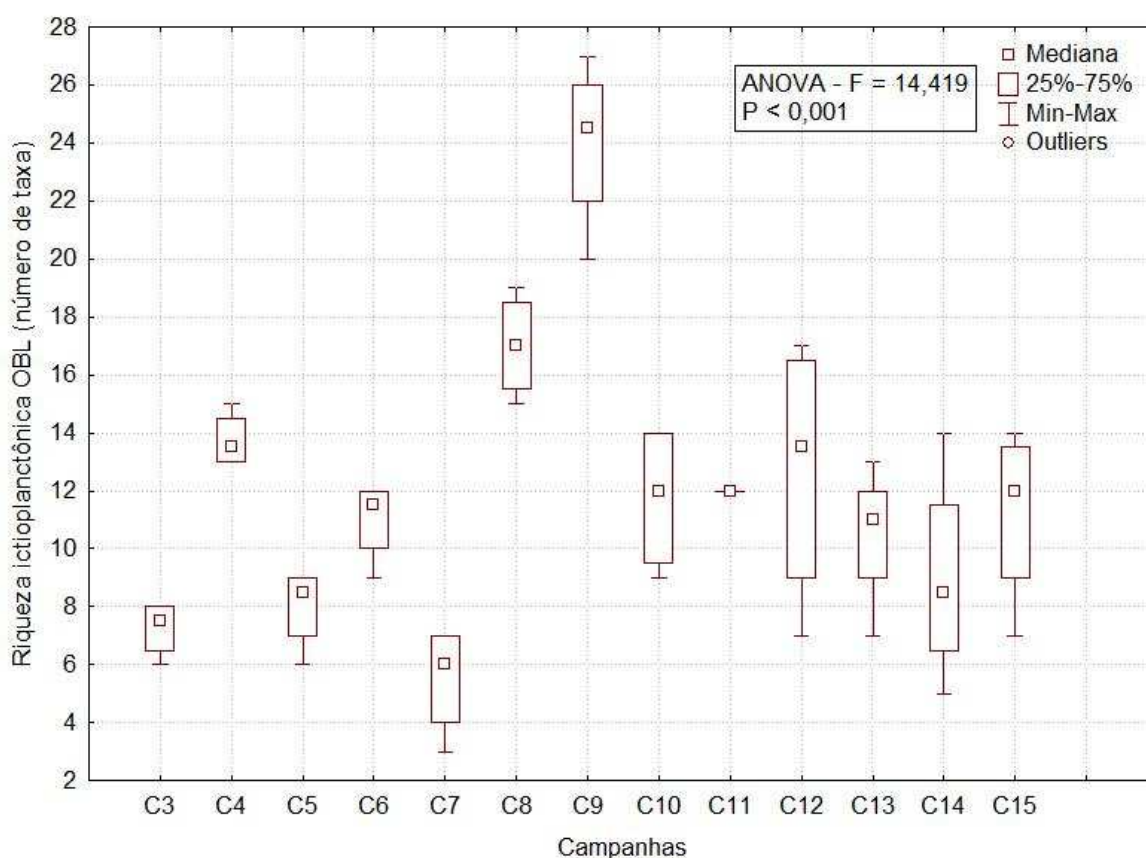


Figura V-61 – Box plots representativos de riqueza (número de taxa) das comunidades ictioplânctônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas do PMPR_URG.

Para os arrastos horizontais, a maior riqueza foi observada na campanha C8, que também apresentou maior amplitude de valores. A campanha C9 também apresentou elevados valores de riqueza (Figura V-62). Através da aplicação do

teste estatístico *Kruskal-Wallis*, foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,001$) de C7, com a menor riqueza de taxa, em relação à C8, C9 e C13, que apresentaram maiores valores de riqueza (Tukey, $p < 0,05$).

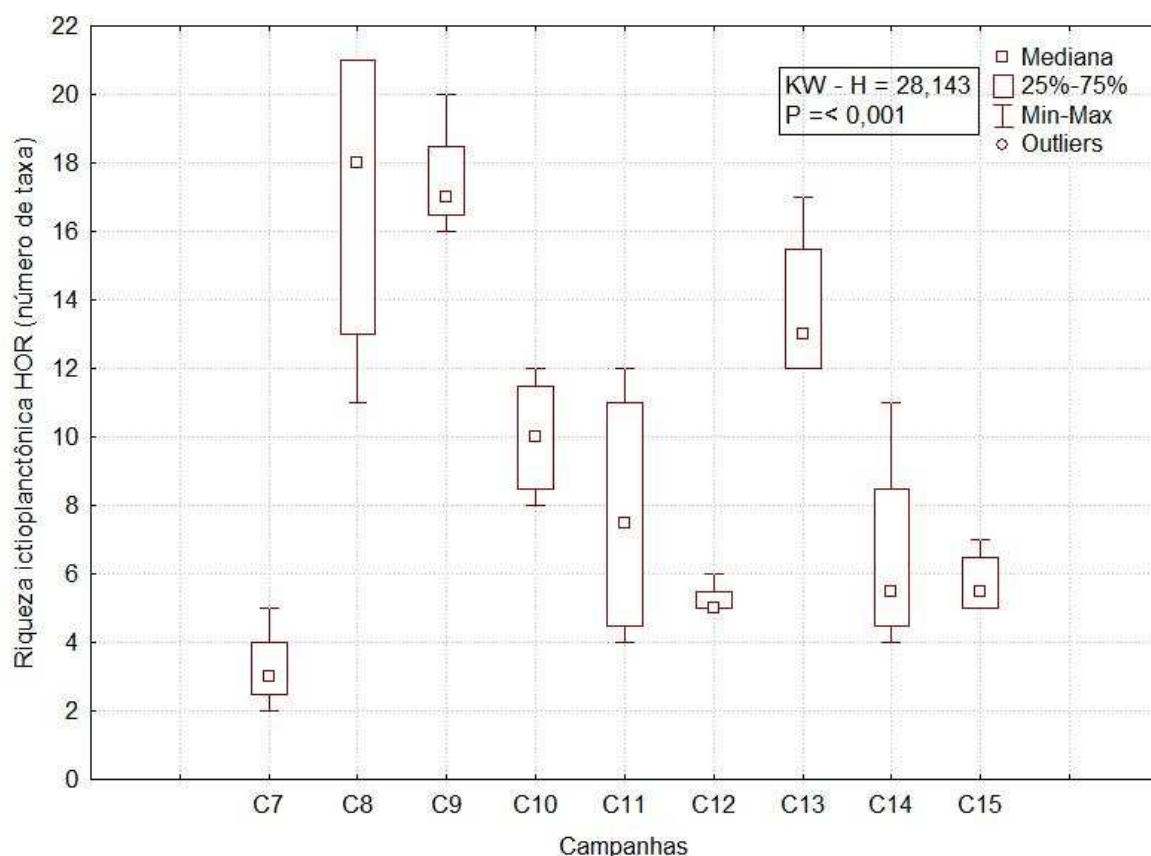


Figura V-62 – Box plots representativos de riqueza (número de taxa) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas últimas oito campanhas do PMPR_URG.

A densidade média de larvas e ovos da presente campanha foi de $37,86 \pm 31,86$ ind/100 m³, com valores variando de 10,01, no arrasto horizontal com malha de 500 µm da estação URG_J1002, a 99,64 ind/100 m³, no arrasto oblíquo com malha de 300 µm da estação URG_M1000 (Tabela V-20). PIR2/TRANSPETRO (2009) realizaram levantamento do ictioplâncton na plataforma continental do sudeste do Brasil e obtiveram densidades de larvas que variaram entre 6 e 29 larvas/100m³. Na região do talude, mais especificamente nos blocos BM-S-08, 09, 10, 11 e 21, os valores de densidade variaram entre 76 e 267 ind/m³ (PETROBRAS/HABTEC, 2003). Baixos valores de densidade são comumente

registrados nessas comunidades (BRANDINI *et al.*, 1997; MAFALDA JR. *et al.*, 2004). Na caracterização da região oceânica da Bacia de Santos, entre 2019 e 2022 (Petrobras, 2022), observou-se variação nas abundâncias de larvas de peixes entre inverno (2019) e verão (2022). Observou-se maior abundância de larvas no verão, ao sul e norte da região nerítica, densidade até cerca de 400ind/m². No inverno, a maior abundância foi ao norte da região nerítica, atingindo densidade acima de 1000ind/m². Na região oceânica, as densidades máximas, entre verão e inverno atingiram ocorreram entre cerca de 300ind/m² e 150 ind/m².

Pode-se observar, de acordo com os dados da Tabela V-21, que os dados da atual campanha se encontram na faixa de variação dos valores registrados nas campanhas anteriores.

Na Figura V-63 e na Figura V-64 são apresentados os valores de densidade encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do sistema de Uruguá, obtidas nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente.

Para os arrastos oblíquos, as campanhas C8, C9 e C10 se destacaram em relação as demais por apresentarem maiores densidades ictioplanctônica e maior variação dos resultados, enquanto as campanhas C3 e C4 apresentaram as menores densidades e C12 apresentou a maior densidade média (Figura V-63).

Foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas de monitoramento (*Kruskal-Wallis*, $p = < 0,001$), com C4 diferindo de C9 e C12 e C3 diferindo de C12 (*Tukey*, $p < 0,05$).

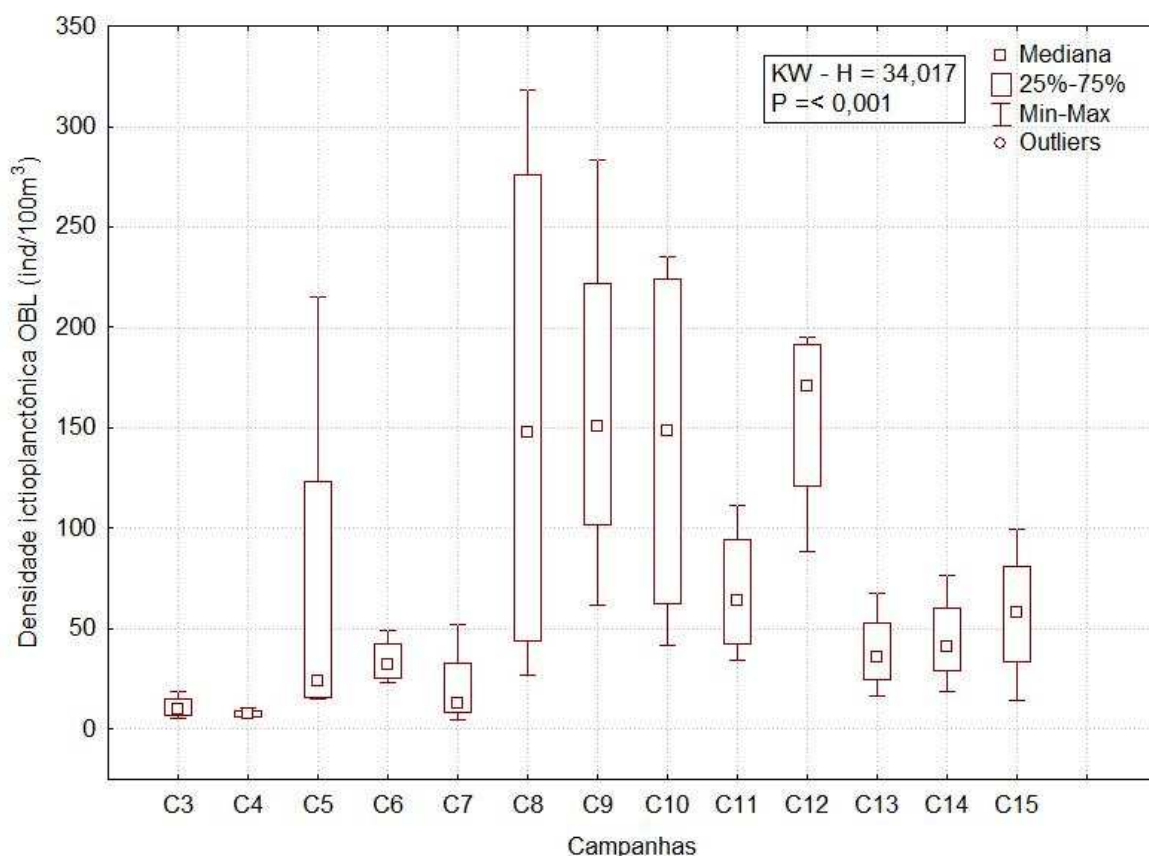


Figura V-63 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/100m³) das comunidades ictioplancônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas consideradas do PMPR_URG.

Entre os arrastos horizontais, a campanha C8 apresentou os maiores valores e a maior amplitude de resultados em relação às demais (Figura V-64), tendo sido encontradas diferenças significativas entre as campanhas consideradas (*Kruskal-Wallis*, $p < 0,05$), com C9 diferindo de C7, C14 e C15 (*Tukey*, $p < 0,05$).

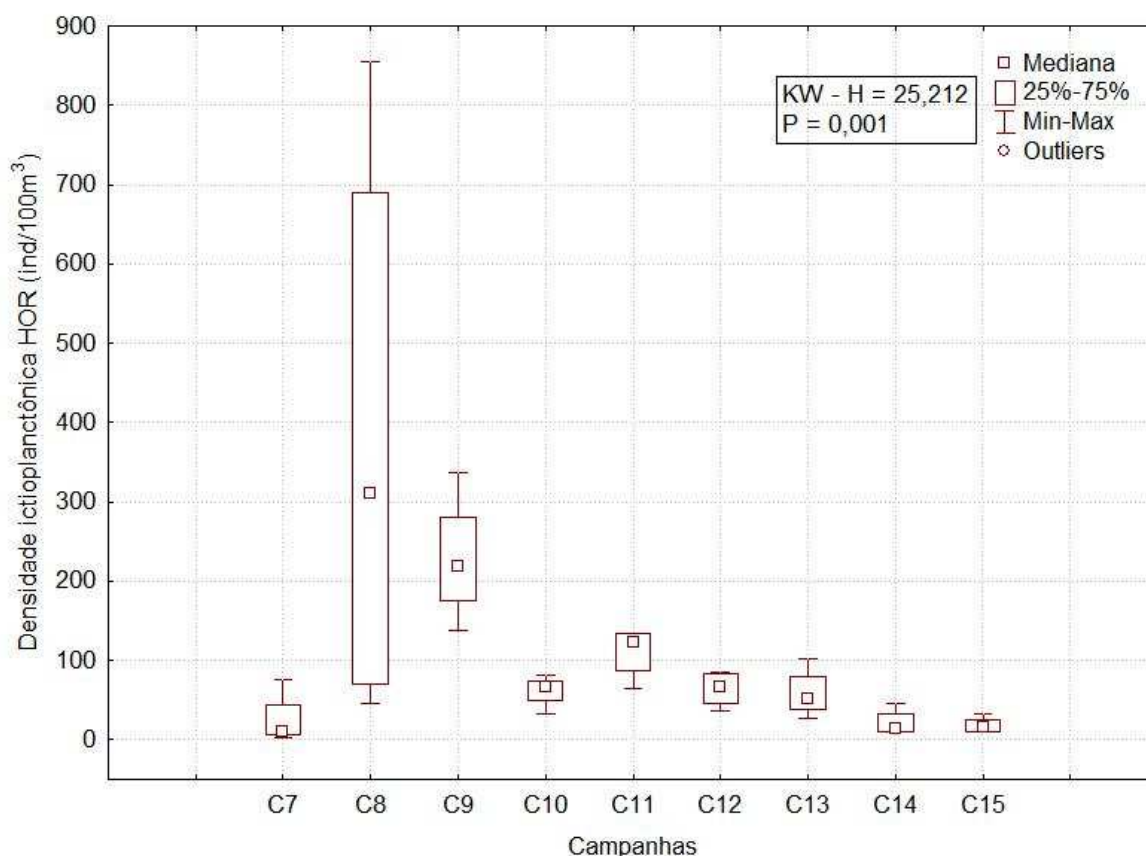


Figura V-64 – Box plots representativos dos valores de densidade (ind/100m³) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas oito campanhas consideradas do PMPR_URG.

A ordem Myctophiformes apresentou a maior riqueza de taxa assim como a maior densidade média de organismos ($29,61 \pm 27,27$ ind/100m³) (Figura V-65), seguido de Scombriformes ($3,55 \pm 3,45$ ind/100m³) e Stomiiformes ($1,36 \pm 2,04$ ind/100m³). As demais ordens obtiveram médias variando entre $0,74 \pm 1,31$ (Carangiformes) e $0,15 \pm 0,42$ ind/100m³ (Dactylopteriformes). De maneira geral, os valores encontrados nessa campanha são baixos, com grande dispersão dos dados em torno das médias, com desvios em torno de 92 a 283%. Esse resultado fica, portanto, muito sujeito a fenômenos estocásticos (do acaso) e existe grande probabilidade de não refletirem um padrão do local.

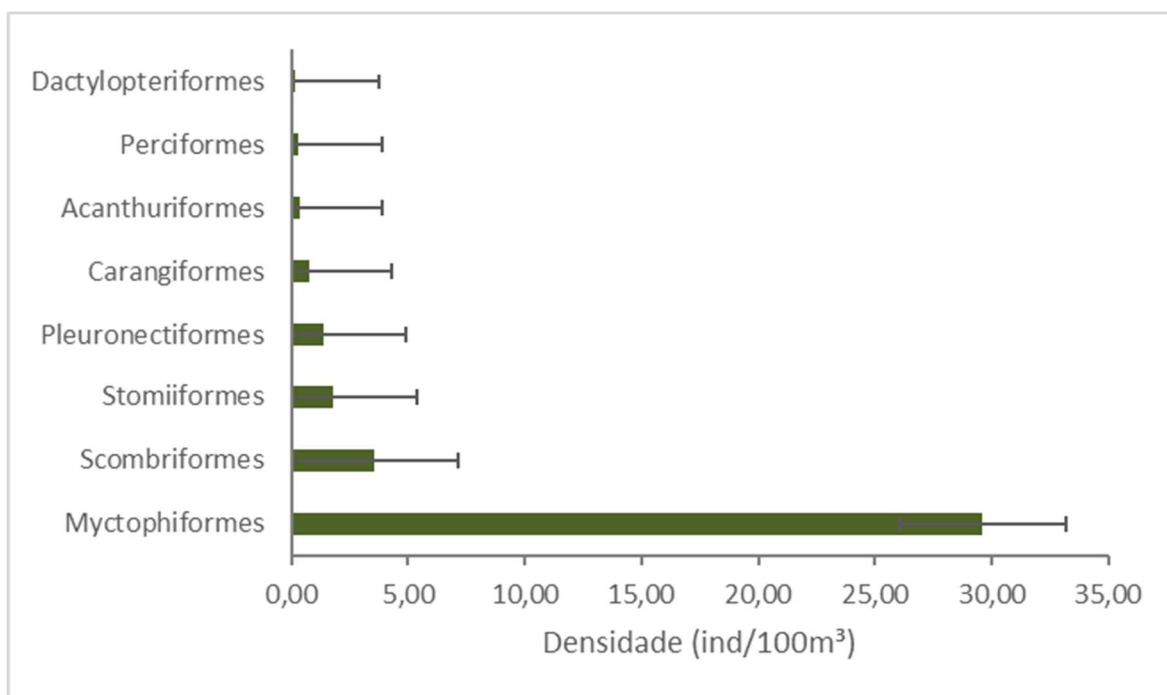


Figura V-65 – Densidade de organismos (ind/100m³) das ordens ictioplanctônicas na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A barra verde representa a densidade média das amostras $\pm$ desvio-padrão.

A presente campanha (C15) apresentou uma diversidade média baixa de 1,39 $\pm$ 0,56 bits/ind, tendo valores variando entre 1,39 a 2,11 bits/ind para arrastos oblíquos e entre 0,64 a 1,49 bits/ind para arrastos horizontais (Tabela V-20). Pode-se verificar que os valores de diversidade registrados na atual campanha, embora baixos, encontram-se na faixa de variação dos resultados já obtidos nas campanhas anteriores (Tabela V-21).

Na Figura V-66 e na Figura V-67 são apresentados os valores de diversidade encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do sistema de Uruguá, obtidas nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente.

Para os arrastos oblíquos, o ictioplâncton apresentou maior diversidade média em C6 (Figura V-66), sendo que C5 apresentou a maior amplitude para esse índice e maior valor máximo. Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas (*Kruskal-Wallis*, $p = < 0,001$) e C6, que apresentou maior valor médio, diferiu de C3 e C14, que apresentaram os menores valores médios (*Tukey*, $p < 0,05$).

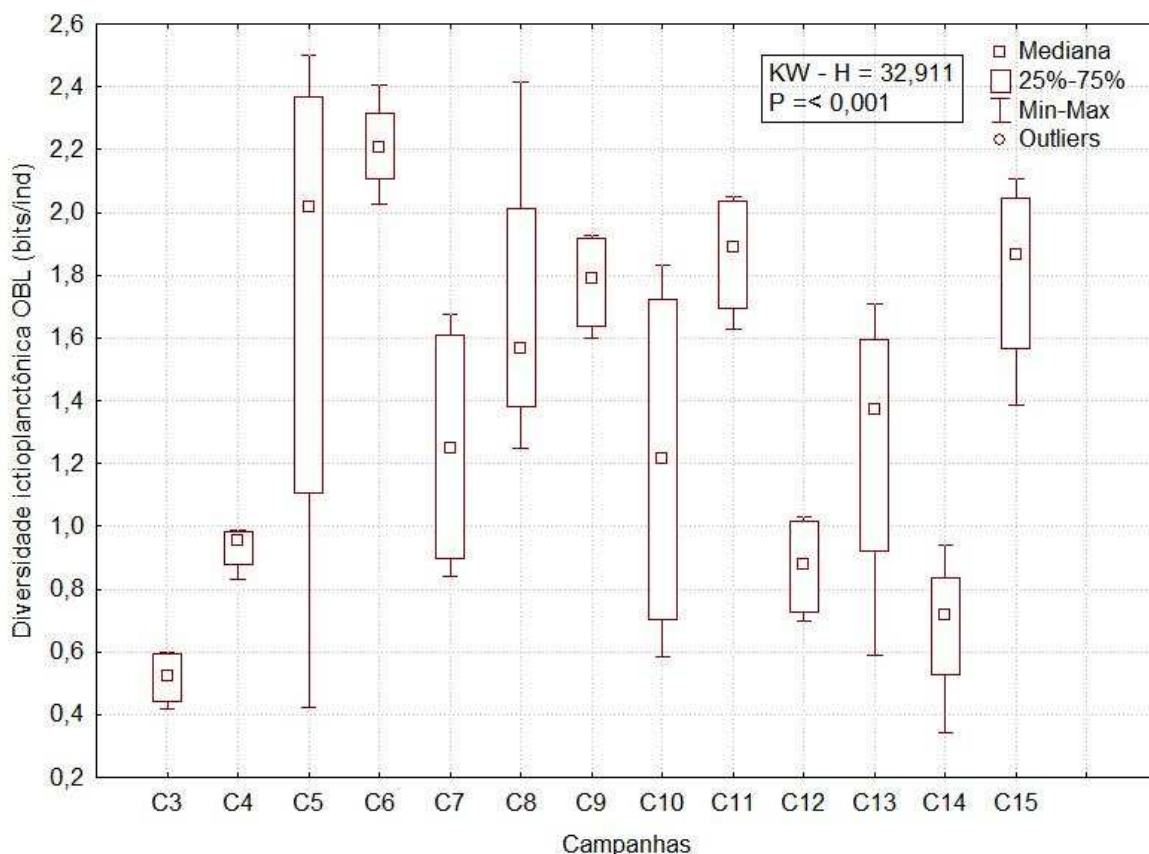


Figura V-66 – Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas do programa de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

Já para os arrastos horizontais, o ictioplâncton apresentou maior valor máximo de diversidade na campanha C10 e maior amplitude de valores em C9 e C15. Da campanha C7 para C10, observou-se o aumento da diversidade, com estabilização entre C10 e C11 (Figura V-67). Nas campanhas de C12 a C15 observou-se uma oscilação nos valores e de amplitude dos resultados, não sendo identificado um padrão de variação de diversidade. Foram observadas diferenças significativas (ANOVA, $p < 0,001$), em que C10 e C11 diferiram de C7 e C14, C11 diferiu de C7 e C14, e C14 diferiu de C9 e C13 (Tukey, $p < 0,05$).

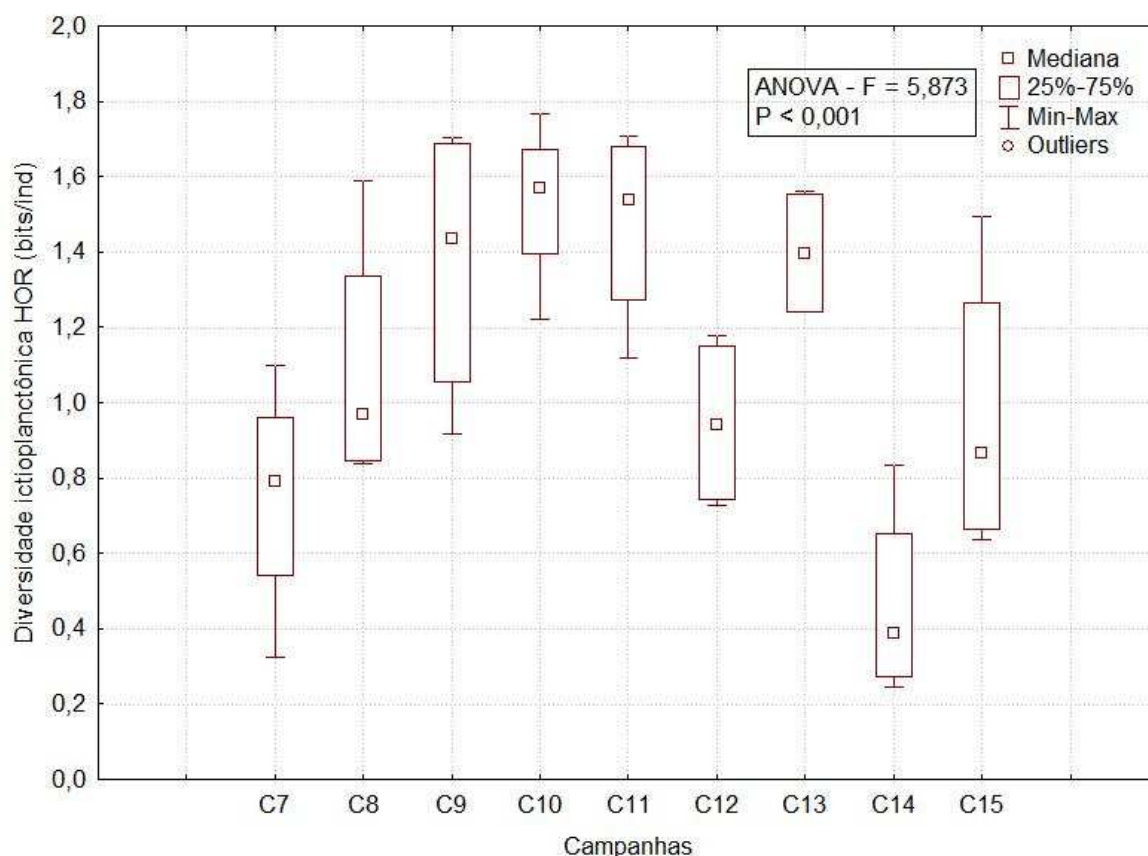


Figura V-67 – Box plots representativos dos valores de diversidade (bits/ind) das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas oito últimas campanhas do programa de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

A equitabilidade média da presente campanha foi de $0,95 \pm 0,04$, com valores variando entre 0,90 e 1,00 para os arrastos oblíquos e entre 0,92 e 1,00 para os arrastos horizontais (Tabela V-20). De maneira geral, os valores de equitabilidade da atual campanha são semelhantes aos encontrados na maioria das campanhas anteriores (Tabela V-21).

Na Figura V-66 e na Figura V-67 são apresentados os valores de equitabilidade encontrados nas amostras de ictioplâncton das diferentes campanhas de monitoramento ambiental do sistema de Uruguá, obtidas nos arrastos oblíquos e horizontais, respectivamente.

Para os arrastos oblíquos, o ictioplâncton apresentou maior equitabilidade média na campanha C15, porém a maior amplitude de valores foi observada em C5 (Figura V-68). Foram observadas diferenças significativas entre as campanhas

(Kruskal-Wallis, $p = 0,001$) e C6 diferiu de C12, e C15 diferiu de C10 e C12 (Tukey, $p < 0,05$).

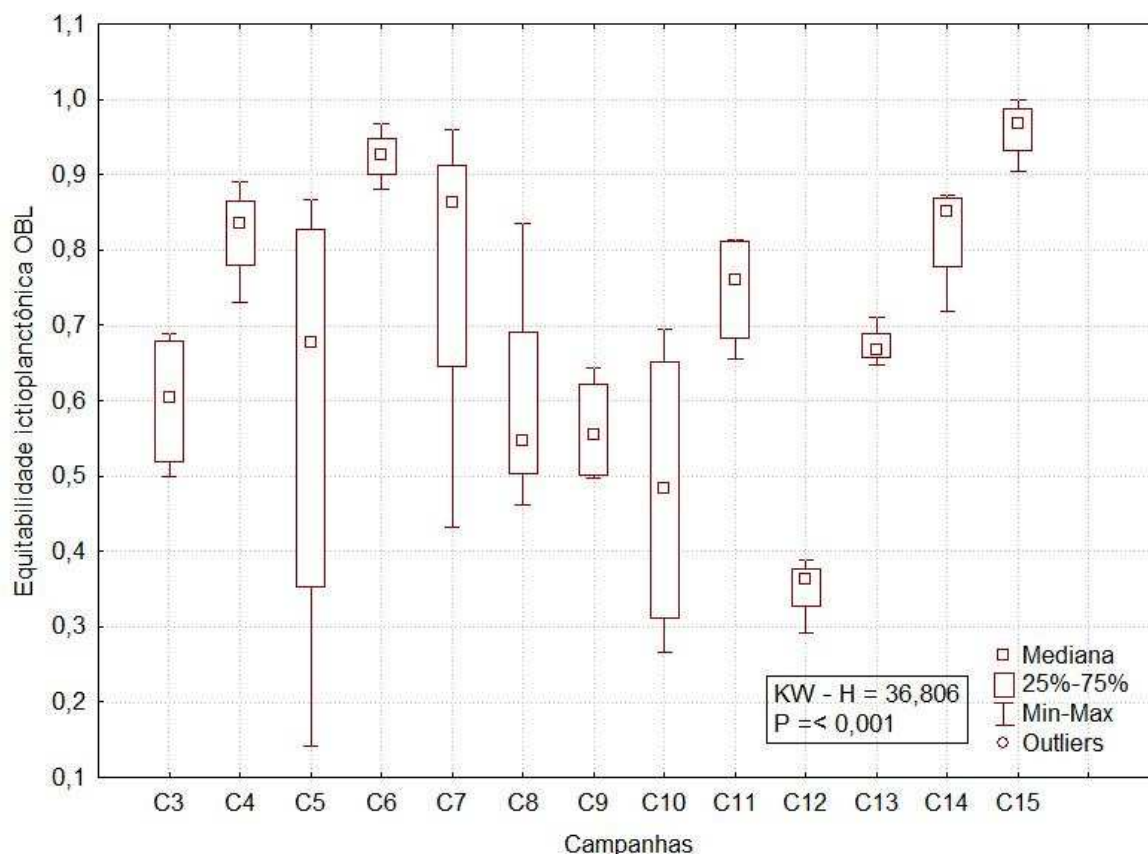


Figura V-68 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades ictiofiteológicas encontradas nos arrastos oblíquos nas campanhas do programa de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

Para os arrastos horizontais, o ictiofiteon apresentou maior amplitude de valores de equitabilidade na campanha C7, sendo que C7, C14 e C15 apresentaram maiores valores máximos. C15 também apresentou a maior equitabilidade média (Figura V-69). As diferenças observadas nos testes estatísticos (ANOVA, $p < 0,001$) ocorreram entre C15 em relação à C8, C9 e C12, entre C8 em relação à C11, C13 e C14, e entre C9 em relação à C13 e C14 (Tukey, $p < 0,05$).

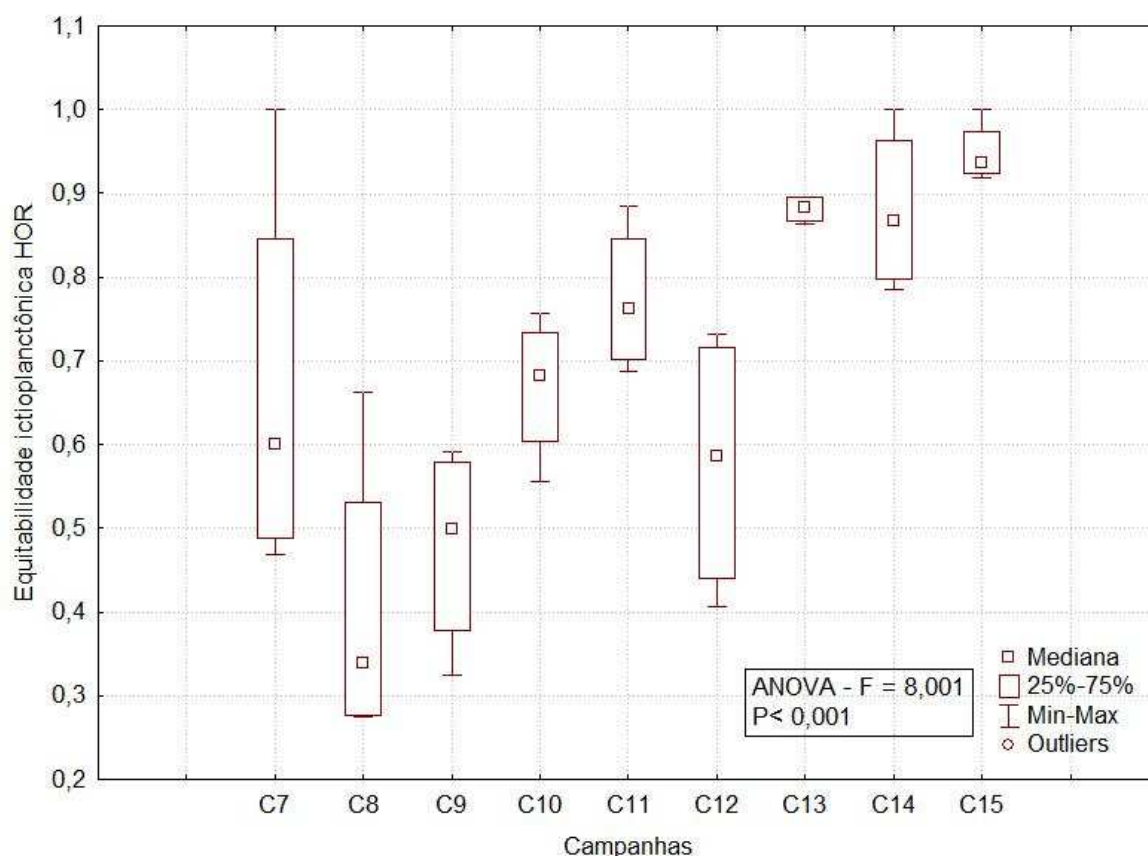


Figura V-69 – Box plots representativos dos valores de equitabilidade das comunidades ictioplanctônicas encontradas nos arrastos horizontais nas oito últimas campanhas do PMPR_URG.

Por fim, é importante ressaltar que todas as campanhas utilizaram os mesmos critérios de identificação (até o menor nível taxonômico possível) e contabilização dos organismos, bem como as mesmas fórmulas de cálculo para os índices ecológicos, conforme explicado na metodologia deste relatório, mas é possível que existam diferenças oriundas das subjetividades inerentes do método analítico, isto é, do menor nível taxonômico encontrado em cada uma das campanhas, devido às diferentes condições de integridade dos organismos e aos diversos graus de experiência dos analistas envolvidos nas identificações. Neste sentido, também é possível que as trocas de laboratório ocorridas entre C4 e C5, entre C7 e C8, e entre C12 e C13 tenham influenciado nos resultados gerados e, conseqüentemente, nas diferenças encontradas para todos os parâmetros analisados.

V.2.3.4 - Análise da Distribuição Espacial do Ictioplâncton

Os maiores valores de riqueza foram identificados nas amostras com arrastos oblíquos, registrando amostras com riqueza de taxa entre 7 (URG_J1002) e 14 (URG_J1002). Já nos arrastos horizontais, a riqueza variou entre 5 (URG_J1002) e 7 taxa (URG_M1000).

As ordens Myctophiformes e Scombriformes ocorreram em todas as amostras (Figura V-70). Acanthuriformes ocorreu somente em URG_M1000_OBL_300 e URG_M1000_OBL_500, enquanto Dactylopteriformes ocorreu somente em URG_M1000_HOR_300. Pleuronectiformes ocorreu em URG_M1000_OBL_300, URG_M1000_OBL_500, URG_J1002_OBL_500 e URG_J1002_HOR_300.

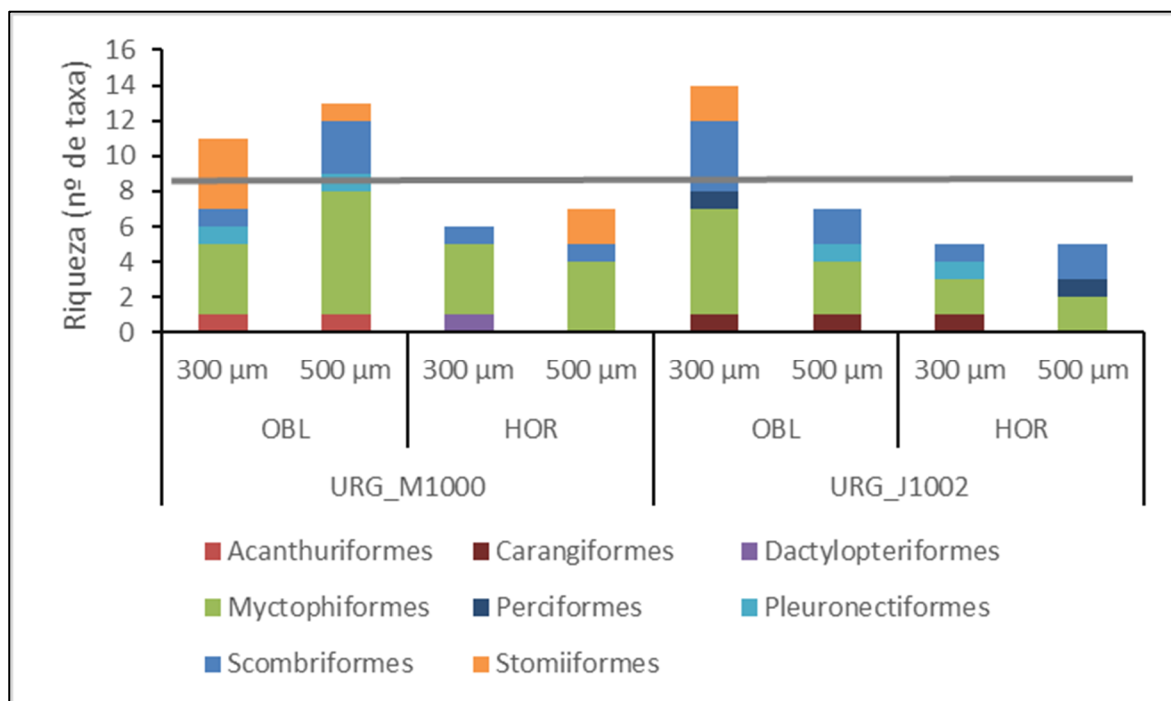


Figura V-70 – Número de taxa das ordens ictioplanctônicas nas duas estações, nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas malhas de redes (Rede 300 e 500 µm) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG. A linha cinza representa a média de todas as amostras.

Stomiiformes ocorreu somente em URG_M1000_OBL_300, URG_M1000_OBL_500, URG_M1000_HOR_500 e URG_J1002_OBL_300. Perciformes, apenas em URG_J1002_OBL_300 e URG_J1002_HOR_500, e

Carangiformes apenas em URG_J1002_OBL_300, URG_J1002_OBL_500 e URG_J1002_HOR_300. Em todas as amostras, verificaram-se maiores contribuições na riqueza de taxa da ordem Myctophiformes.

As maiores densidades foram observadas nos arrastos oblíquos da estação URG_M1000 ambas as malhas e em URG_J1002_OBL_300 (Figura V-71).

Em todas as amostras foram observadas maiores contribuições da Ordem Myctophiformes. A Ordem Scombriformes também registrou uma maior contribuição em termos de densidade na maioria das amostras, exceto em URG_M1000_OBL_300 e URG_M1000_HOR_500, em que Stomiiformes foi a segunda ordem dominante em densidade. As demais ordens contribuíram em menor proporção para os valores de densidade (Figura V-71).

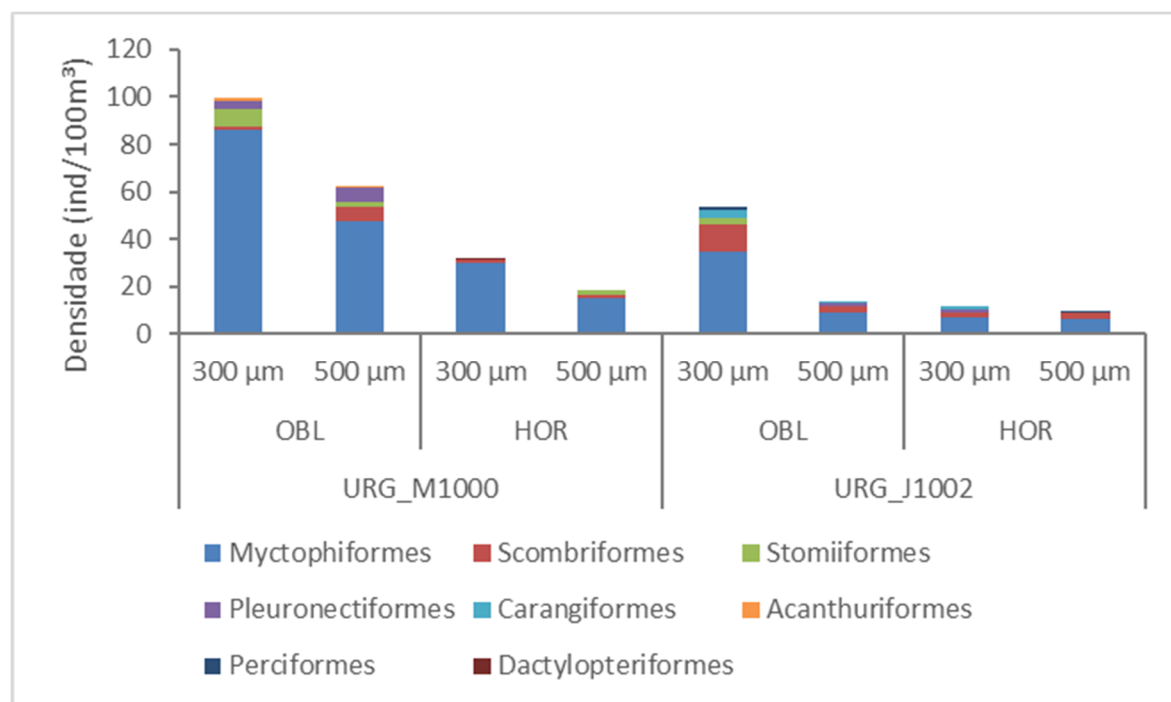


Figura V-71 – Composição da densidade de organismos das ordens ictioplânctônicas (ind/100m³) nas duas estações, nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas malhas de redes (Rede 300 e 500 µm) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

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; RÉ, 1986).

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

O índice de diversidade foi maior nos arrastos oblíquos com as malhas de 500µm em URG_M1000 e de 300 µm em URG_J1002. Já o índice de equitabilidade foi maior nas malhas de 500 µm em ambos os arrastos de URG_J1002. Os resultados indicaram valores baixos de diversidade em todas as amostras e valores elevados de equitabilidade, com valores de diversidade entre 0,64 até 2,11 bits/ind e de equitabilidade entre 0,90 a 1,00. Esses resultados apontam para uma composição específica relativamente bem distribuída e com baixa diversidade nas amostras (Figura V-72).

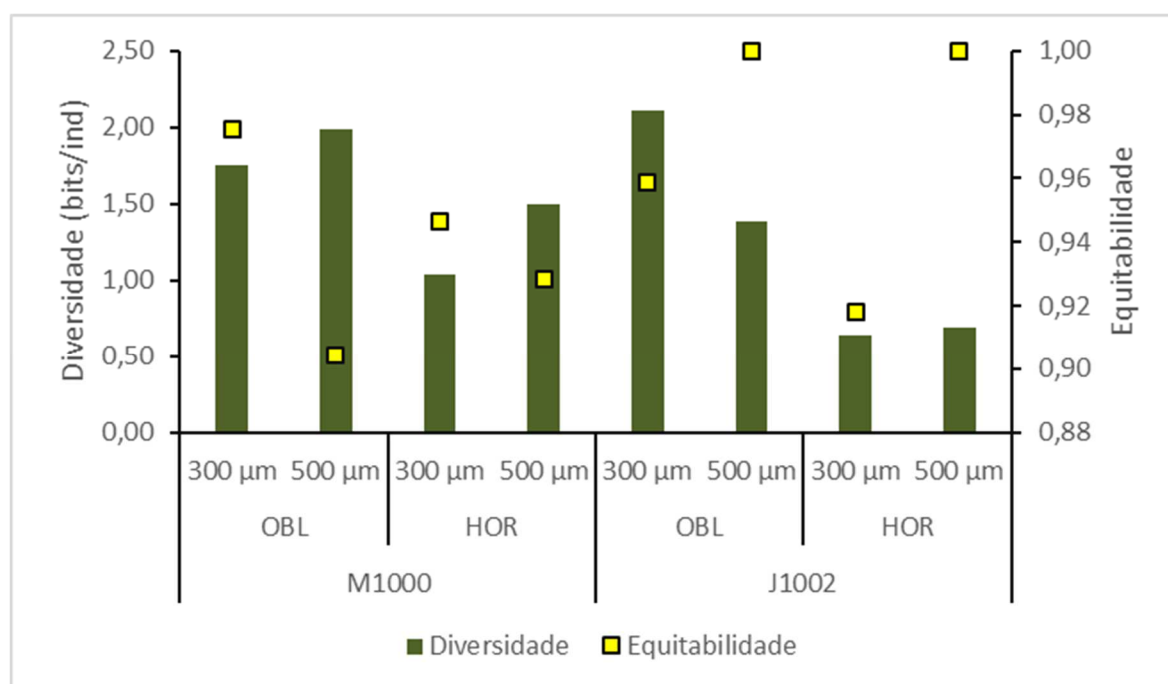


Figura V-72 – Diversidade (bits/ind) e equitabilidade da comunidade ictioplanctônica nas duas estações, nos dois tipos de arrasto (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas malhas de redes (Rede 300 e 500 µm) da atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

V.2.3.5 - Análise de Cluster e MDS

A análise *Cluster* mostrou similaridades variando entre 20 e 50%, demonstrando de baixa a média similaridade entre as amostras. Com a menor similaridade observada (20%), a amostra URG_J1002-HOR_500 se separou das demais, provavelmente devido à menor média de densidade de taxa em relação às demais amostras. A maior porcentagem de similaridade (50%) indicou semelhanças entre as amostras URG_M1000_OBL_500 e URG_M1000_HOR_500, que compartilharam densidade de Stomiiformes muito semelhantes (2,28 e 2,18 ind/100m³, respectivamente), embora para os demais taxa não tenham apresentado tantas semelhanças de contribuições. Também compartilharam a ausência de Carangiformes, Perciformes e Dactylopteriformes na composição específica dessas amostras (Figura V-73). Na análise de MDS, esta condição também foi observada, indicando muita dispersão dos dados, com poucas semelhanças entre as amostras (Figura V-74). O MDS apresentou *stress* 0,04, representando bom ordenamento dos dados.

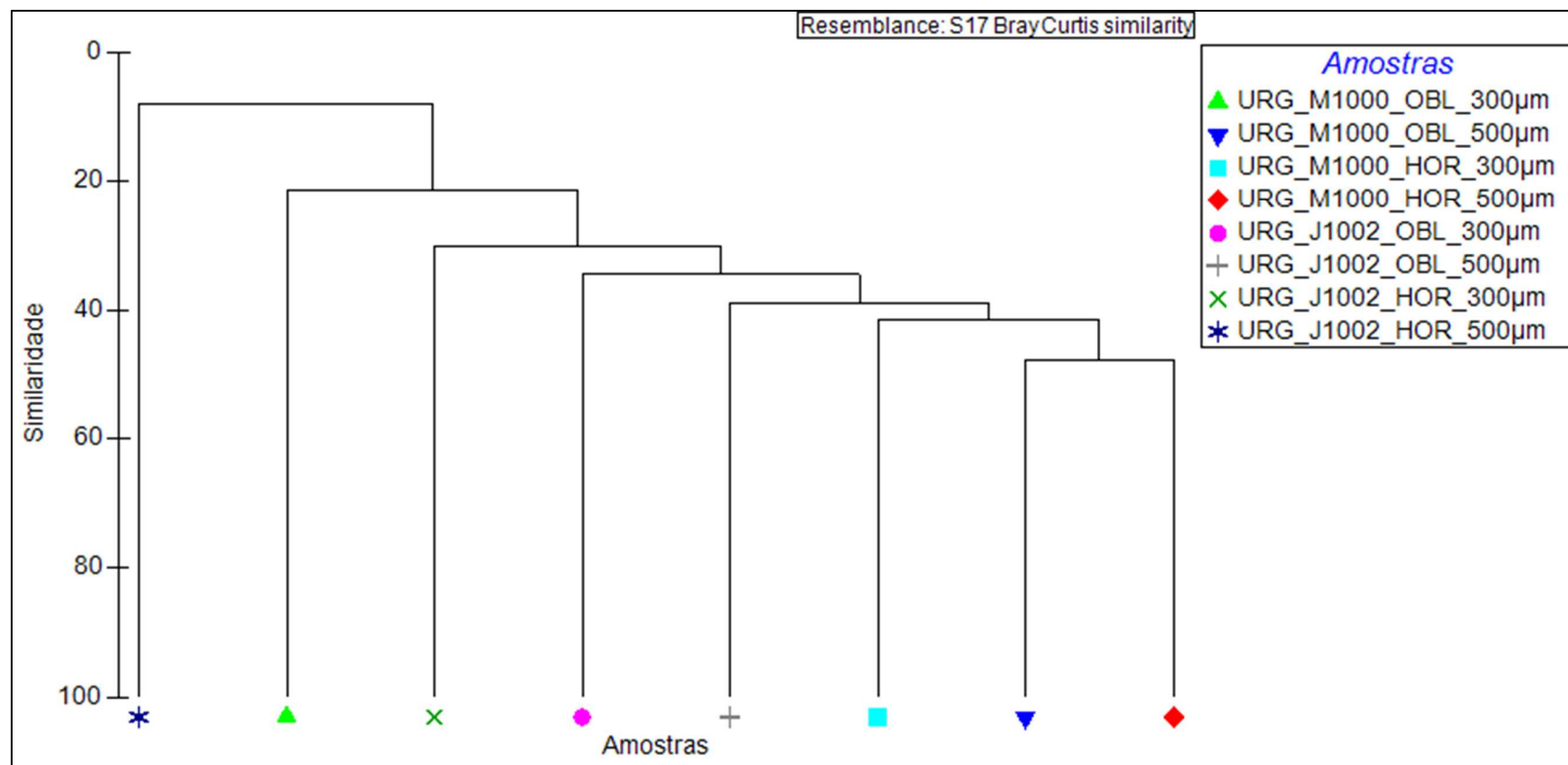


Figura V-73 – Cluster da comunidade ictioplanctônica nas duas estações, nos dois arrastos (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas redes (300 µm e 500 µm) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

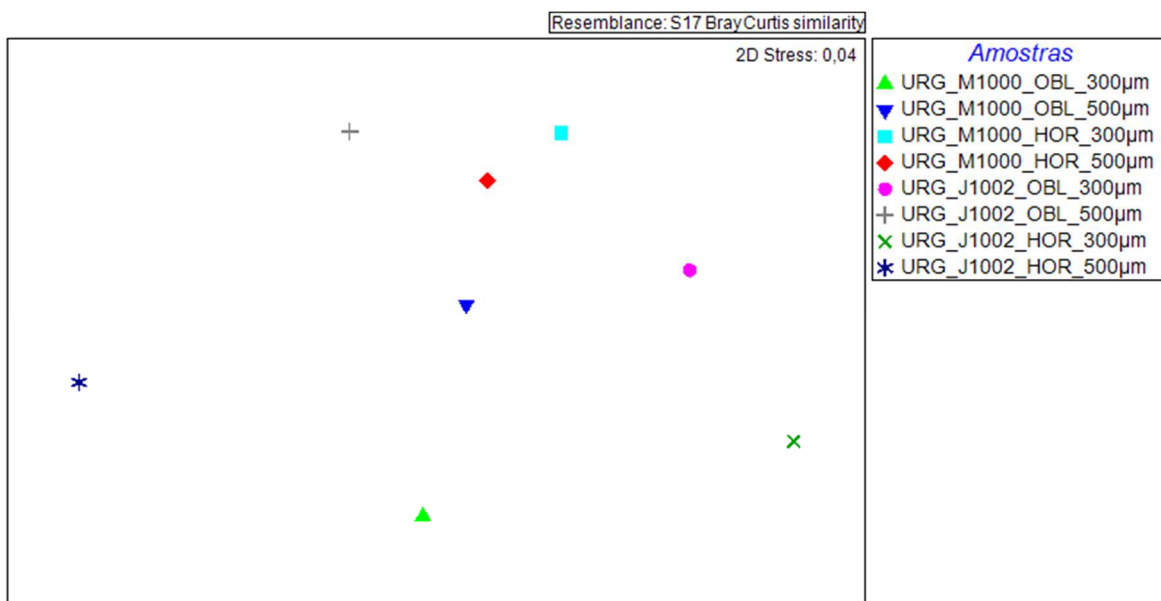


Figura V-74 – MDS da comunidade ictioplanctônica nas duas estações, nos dois arrastos (HOR = horizontal e OBL = oblíquo) e nas duas redes (300 µm e 500 µm) na atual campanha (C15) da fase de operação de monitoramento ambiental da fase de operação do PMPR_URG.

VI - ANÁLISE INTEGRADA

A seguir é apresentada a análise integrada do ambiente pelágico de PMPR_URG_C15. Neste capítulo, os dados biológicos e ambientais do ambiente pelágico amostrados foram integrados e analisados estatisticamente para investigar as respostas biológicas às variações ambientais.

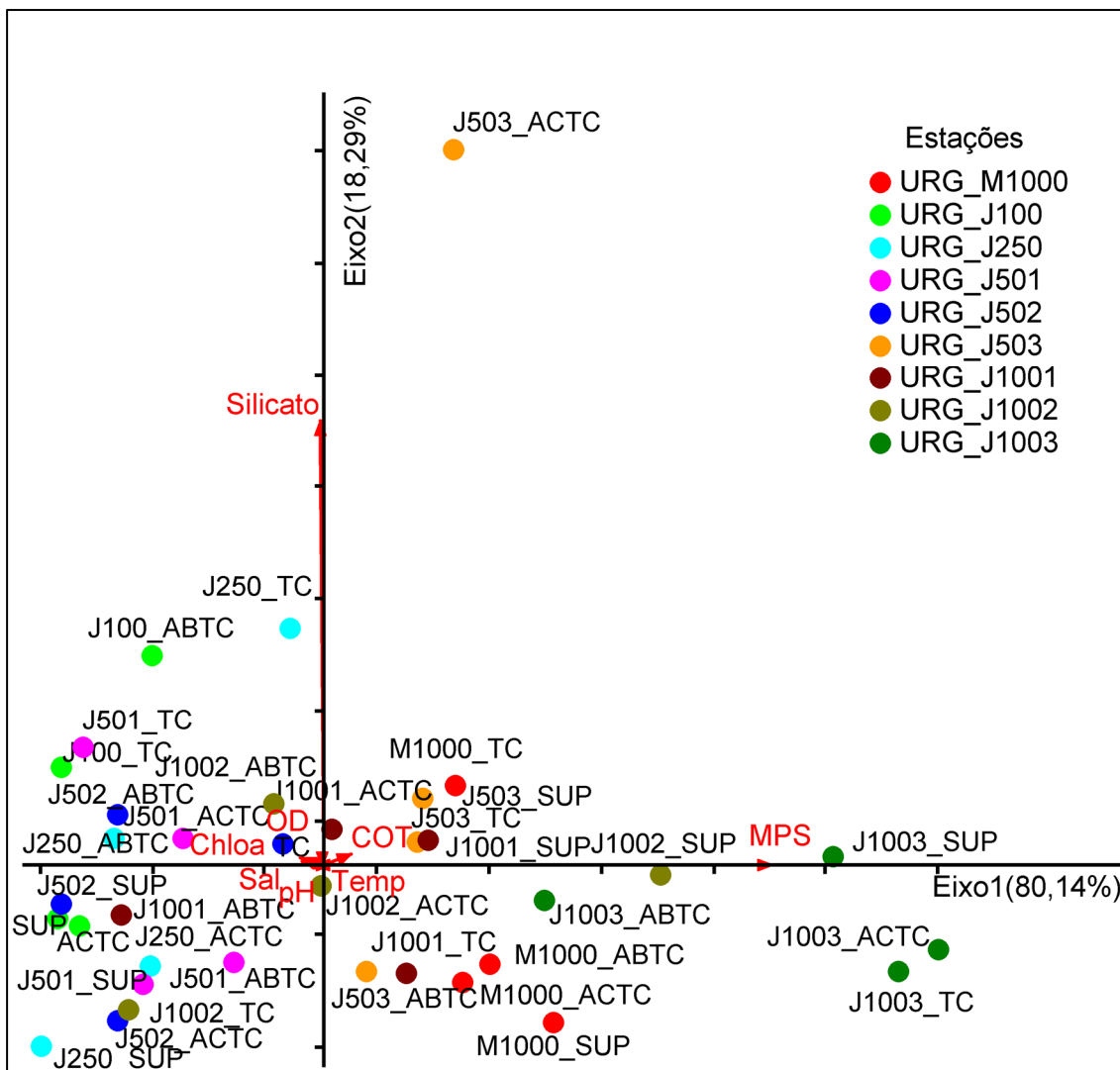
VI.1 - AMBIENTE PELÁGICO

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

Na análise de componentes principais (ACP), realizada para avaliar a distribuição, no espaço bidimensional, de todas as unidades amostrais em relação às suas características oceanográficas (Figura VI-1), observa-se uma explicação de 98,43% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 80,14% de explicação e o segundo com 18,29%.

A distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos ($P > 0,05$). Dessa forma, foram considerados os autovalores observados e calculados (“*brocken-stick*”), conforme sugerido por Jackson (1993). Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,064 e 0,015 respectivamente, e o calculado de 0,027 e 0,017, respectivamente. Portanto, apenas o eixo 1, com o autovalor observado maior que o calculado, foi significativo para interpretações.

As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011), que deve ser maior ou igual a $(2/m)^{0,5}$, onde m = número de variáveis. Nesse caso, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50. Isso permite uma interpretação mais confiável sobre a contribuição de determinada variável para todas as dimensões do espaço da ACP.



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

Figura VI-1 - Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico de todas as nove estações amostrais de PMPR_URG_C15.

O MPS foi a variável que significativamente contribuiu para a distribuição das amostras ao longo do eixo 1 da ACP, correlacionando-se fortemente ($r=1,00$) na porção positiva do eixo. Assim as amostras apresentaram um gradiente de distribuição influenciado, principalmente, pela maior concentração de MPS nas amostras dispostas na porção positiva do eixo 1, apresentando entre 2,44mg/L em URG_J1002_ACTC a 13,82mg/L em URG_J1003_ACTC, e menor concentração de MPS, nas amostras distribuídas na porção negativa do eixo,

com valor mínimo de 0,68mg/L em URG_250_SUP e máximo de 2,16 mg/L em URG_J250_TC.

A variação ao longo do eixo 2, embora não significativa, apresentou tendência de separação das amostras dispostas na porção positiva com maiores concentrações de silicato, das amostras dispostas na porção negativa do eixo 2, com menores concentrações desse parâmetro.

As demais variáveis não foram significativamente correlacionadas ao eixo, pois não apresentaram distância 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 duas correlações positivas significativas e uma correlação negativa significativa, são elas, respectivamente: entre riqueza fitoplanctônica e COT, entre diversidade fitoplanctônica e COT e entre riqueza e silicato (Tabela VI.1-1).

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 15ª campanha de monitoramento ambiental do Sistema de Uruguá. Correlações destacadas em vermelho são significativas ($p < 0,05$).

	Densidade	Riqueza	Diversidade	Equitabilidade
Temperatura	-0,19	0,54	0,40	-0,10
Salinidade	-0,05	-0,55	-0,54	-0,07
OD	0,38	-0,42	-0,14	0,55
pH	-0,22	-0,13	-0,51	-0,49
Silicato	-0,02	-0,84	-0,43	0,50
MPS	0,19	0,07	-0,05	-0,05
Clorofila	-0,19	0,38	0,00	-0,31
COT	0,00	0,75	0,78	0,18

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

Ressalta-se que sulfetos, nitrato, nitrito, n-amoniaco, fósforo total, fenóis, HPA, HTP, n-alcanos, MCNR e BTEX, apresentaram concentrações abaixo do

limite de detecção e/ou quantificação, não apresentando variação entre as amostras e, portanto, não foram incluídos nem na análise de correlação, tampouco nas análises de ordenação a seguir.

A análise de componentes principais (ACP) (Figura VI.1), realizada entre as estações URG_M1000 e URG_J1002, em que houve coleta de plâncton concomitantemente à coleta ambiental, explicou 96,86% da variação dos dados nos dois primeiros eixos, sendo o primeiro eixo com 83,62% de explicação e o segundo com 13,24%.

A distribuição das amostras não foi significativa para ambos os eixos ($P > 0,05$). Dessa forma, foram considerados os autovalores observados e calculados (“*broken-stick*”), conforme sugerido por Jackson (1993). Neste caso, os eixos 1 e 2 apresentaram autovalor observado de 0,032 e 0,005 respectivamente, e o calculado de 0,013 e 0,008, respectivamente. Portanto, apenas o eixo 1, com o autovalor observado maior que o calculado, foi significativo para interpretações.

As variáveis significativamente relacionadas aos eixos gerados na ACP foram determinadas através da distância d ao centro do plano (BOCARD *et al.*, 2011). Nesse caso, foram consideradas como variáveis significativamente correlacionadas aos eixos, todas aquelas com distâncias ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50. Isso permite uma interpretação mais confiável sobre a contribuição de determinada variável para todas as dimensões do espaço da ACP.

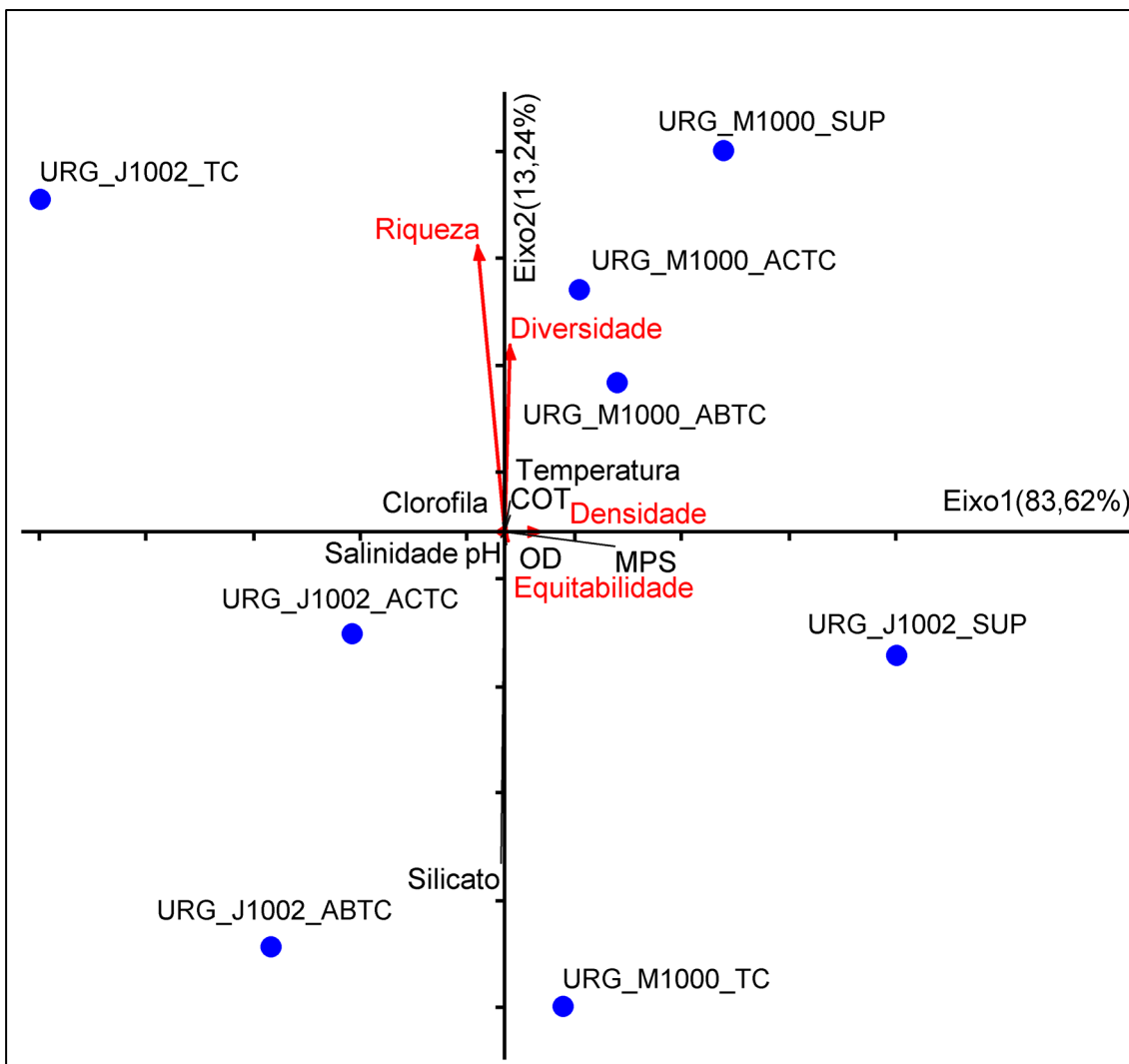


Figura VI.1-2 – Análise de componentes principais das variáveis físico-químicas do ambiente pelágico das estações URG_M1000 e URG_J1002, sobreposta com os indicadores ambientais do fitoplâncton e as estações amostrais.

O MPS foi a variável que significativamente influenciou a distribuição das amostras ao longo do eixo 1, correlacionando-se positivamente com o eixo ($r=1,00$). Nesse contexto, todas as amostras da estação URG_M1000 e URG_J1002_SUP, distribuídas na porção positiva do eixo, apresentaram as maiores concentrações de MPS, variando de 3,66mg/L, em URG_M1000_TC a 6,58mg/L, em URG_J1002_SUP. As demais amostras, distribuídas na porção

positiva do eixo 1, apresentaram as menores concentrações de MPS (variando de 1,08 mg/L em URG_J1002_TC, a 2,34 mg/L em URG_J1002_ACTC).

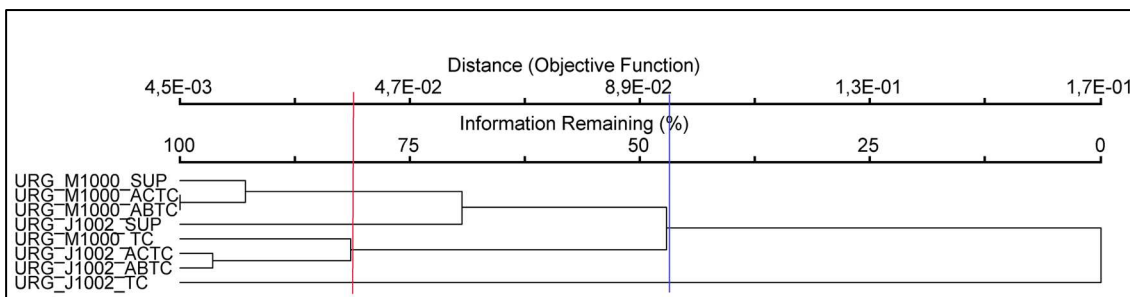
A variação ao longo do eixo 2, embora não significativa, apresentou tendência de separação das amostras dispostas na porção positiva com menores concentrações de silicato e tendência de maiores valores de riqueza e diversidade, das amostras dispostas na porção negativa do eixo 2, com maiores concentrações desse parâmetro e menores valores de riqueza e diversidade.

Não foi verificada nessa análise, relações significativas das demais variáveis ambientais, nem biológicas com os eixos, pois não apresentaram distância ao centro do plano iguais ou superiores a 0,50.

Outras duas análises foram realizadas, visando complementar a análise dos dados e objetivando 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.

No agrupamento realizado (Figura VI.1-3) destaca-se a formação de dois grupos principais, com 47,2% de similaridade (linha azul), separando a amostra URG_J1002_TC, das demais. Essa separação ocorre, provavelmente devido à menor concentração de MPS, maior de clorofila, menor densidade e maior riqueza fitoplanctônica.

Considerando-se uma maior similaridade de agrupamento (81,5%, linha vermelha), observou-se a formação de quatro grupos. Nessa condição, as amostras URG_M1000_TC, URG_J1002_ACTC e URG_J1002_ABTC formaram um grupo, compartilhando características de maiores concentrações de silicato e semelhantes concentrações de COT, que foram as mais baixas. Na sequência, houve o agrupamento de todas as amostras da estação URG_M1000, exceto a URG_M1000_TC, que apresentaram 92,90% de similaridade. A URG_J1002_SUP, assim como URG_J1002_TC não formou grupo com nenhuma amostra, destacando-se pela maior temperatura, e pela maior concentração de MPS e COT.



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

Figura VI.1-3 – Análise de agrupamento dos diferentes estratos de profundidade das duas estações de amostragem de variáveis ambientais e fitoplâncton de PMPR_URG_C15.

A MDS é uma técnica de ordenação adequada a dados não normais, ou em escalas arbitrárias, descontínuas, ou de outra forma questionável (McCUNE & MEFFORD, 2011). Nessa análise (Figura VI.1-4), obteve-se valor de stress igual a 0,01 sendo que quanto menor o valor de stress e mais próximo de zero, melhor a representação dos dados na MDS (KRUSKAL, 1978; CLARKE, 1993).

Verificou-se um padrão semelhante ao do *cluster*, em que a MDS destaca a maior separação de URG_J1002_TC das demais, assim como uma maior similaridade entre URG_M1000_ACTC e URG_M1000_ABTC.

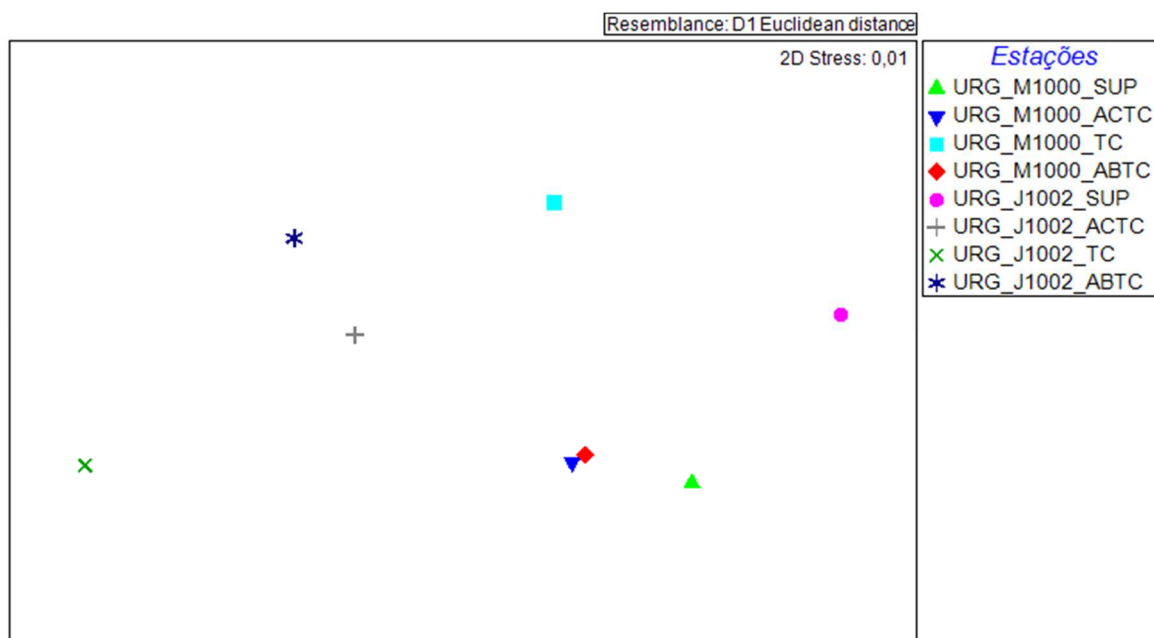


Figura VI.1-4 - Análise de escalonamento multidimensional entre as variáveis ambientais de qualidade da água e os indicadores biológicos da comunidade fitoplanctônica de PMPR_URG_C15.

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 taxa identificados nas amostras são representantes dos filos Ochrophyta (diatomáceas) e Myzozoa (dinoflagelados), mas também outros filos como, por exemplo, Haptophyta e Cyanobacteria, esta última com contribuições bem mais discretas.

O fitoplanctônico encontra-se à deriva na coluna d'água, distribuindo-se vertical e horizontalmente (ESTEVES, 2011). Sua variabilidade é fortemente influenciada por fatores abióticos, tais como temperatura da água, intensidade luminosa, correntes, vento, salinidade, concentração de nutrientes, de matéria orgânica e de materiais particulados em suspensão, assim como fatores biológicos, como interações tróficas. Todos esses são fatores fundamentais na dinâmica dos organismos planctônicos (FRANCO *et al.*, 2005; ESTEVES, 2011, RICHA *et al.*, 2014). Parâmetros físico-químicos do ambiente atuam sobre os organismos do fitoplâncton em diferentes escalas de variação que vão desde o nível molecular até o global (WILLIAN *et al.*, 1993).

No contexto do atual monitoramento foram verificadas algumas correlações de *Spearman* significativas, de riqueza fitoplanctônica com COT (correlação positiva) e com silicato (correlação negativa) e da diversidade correlacionando-se positivamente com COT.

Ainda, observou-se que as amostras URG_M1000_(SUP, ACTC, TC e ABTC) e URG_J1002_SUP apresentaram maiores concentrações de MPS, contudo não apresentaram tendência de correlação com os indicadores

biológicos da comunidade fitoplanctônica. As demais amostras tenderam a apresentar menores concentrações de MPS (Figura VI.1).

O MPS tem a propriedade de reduzir a transparência da água, podendo afetar e reduzir a produtividade primária fotossintética. A comunidade fitoplanctônica compõe organismos fotoautotróficos que vivem a maior parte do seu ciclo de vida nas zonas pelágicas de oceanos, lagos, tanques e reservatórios, e que são fortemente influenciados pela quantidade e qualidade da intensidade luminosa (REYNOLDS, 2006; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008; JIANG *et al.*, 2021). Dessa forma, a concentração de MPS na coluna d'água prejudica a penetração de luz e, conseqüentemente o crescimento fitoplanctônico. Em regiões costeiras a concentração de partículas em suspensão frequentemente está associada a presença do séston (biomassa viva e detritos planctônicos), de partículas inorgânicas em suspensão e de matéria orgânica dissolvida, enquanto em regiões oceânicas, com águas mais oligotróficas, o séston tende a ser o principal componente (KIRK, 1994). Portanto, a associação negativa do fitoplâncton com o MPS, e a positiva com o COT, pode ser reflexo, respectivamente, de flutuações entre o declínio da biomassa viva de organismos planctônicos e o ambiente com as melhores condições para o desenvolvimento do fitoplâncton.

O carbono orgânico total (COT) é outro parâmetro importante na relação com a comunidade fitoplanctônica. O COT contempla as formas dissolvidas (COD) e particuladas (COP), sendo o COP constituído pela biota (fitoplâncton, zooplâncton e bactérias) e pela porção detrital (material orgânico em suspensão, detrito orgânico particulado etc.), e o COD, sendo formado da excreção de organismos planctônicos e da decomposição do POC (BAINES & PACE, 1991). Com relação ao silicato, é um nutriente que assim como outros tem importante papel na produtividade fitoplanctônica, e no caso o silicato é tido como o principal nutriente controlador da produtividade de diatomáceas (ESTEVES & SUZUKI, 2011). No caso desse estudo, diatomáceas foram um dos principais taxa identificados no monitoramento.

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) e cujas relações com as características ambientais serão exploradas a seguir.

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

Na Tabela V-2 são apresentados os dados biológicos de densidade, riqueza, diversidade e equitabilidade das comunidades zooplanctônica e ictioplanctônica e os dados ambientais obtidos através das diferentes formas de coleta realizadas na estação URG_M1000 e na estação URG_J1002.

As variações na comunidade zooplanctônica e ictioplanctônica, juntamente com as variações dos parâmetros físico-químicos da água são observadas na Tabela VI-2 e da Figura VI-5 a Figura VI-24.

Tabela VI.1-2 – Indicadores biológicos das comunidade zooplânctônicas e ictioplânctônicas coletados através de arrastos horizontais (HOR) e oblíquos (OBL) nas estações amostrais URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.

	Zooplâncton				Ictioplâncton							
	M1000 (HOR)	J1002 (HOR)	M1000 (OBL)	J1002 (OBL)	300µm- M1000 (HOR)	500µm- M1000 (HOR)	300µm- J1002 (HOR)	500µm- J1002 (HOR)	300µm- M1000 (OBL)	500µm- M1000 (OBL)	300µm- J1002 (OBL)	500µm- J1002 (OBL)
Densidade Zoo: ind/m ³ Ictio: ind/100m ³	66,81	166,72	132,43	108,40	32,36	18,50	11,79	10,01	99,64	62,64	53,73	14,17
Riqueza	33,00	34,00	28,00	32,00	6,00	7,00	5,00	5,00	11,00	13,00	14,00	7,00
Diversidade (bits/ind)	3,66	3,55	3,59	2,81	1,04	1,49	0,64	0,69	1,75	1,99	2,11	1,39
Equitabilidade	0,73	0,70	0,75	0,56	0,95	0,93	0,92	1,00	0,98	0,90	0,96	1,00
Temperatura °C	27,90	28,45	27,32	27,62	27,90	27,90	28,45	28,45	27,32	27,32	27,62	27,62
Salinidade	36,19	36,25	36,28	36,28	36,19	36,19	36,25	36,25	36,28	36,28	36,28	36,28
OD (mg/L)	6,44	6,66	6,61	6,59	6,44	6,44	6,66	6,66	6,61	6,61	6,59	6,59
pH	8,01	8,00	8,01	8,01	8,01	8,01	8,00	8,00	8,01	8,01	8,01	8,01
Silicato (mg/L)	0,09	0,39	0,31	0,32	0,09	0,09	0,39	0,39	0,31	0,31	0,32	0,32
MPS (mg/L)	4,82	6,58	4,05	3,33	4,82	4,82	6,58	6,58	4,05	4,05	3,33	3,33
Clorofila (mg/L)	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
COT (mg/L)	0,70	0,89	0,72	0,78	0,70	0,70	0,89	0,89	0,72	0,72	0,78	0,78

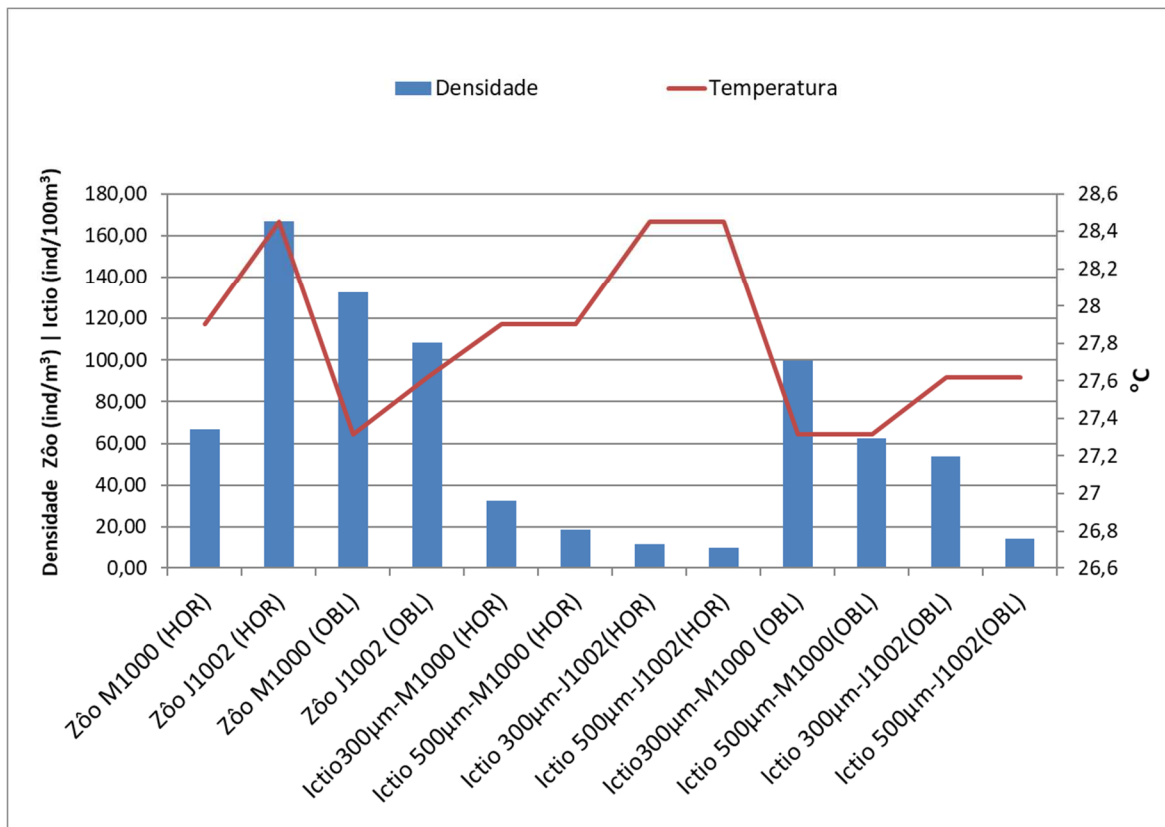
Com relação à comunidade zooplanctônica, a maior densidade e riqueza ocorreu juntamente com a maior temperatura, e as maiores concentrações de OD, silicato, MPS e COT, no arrasto horizontal de URG_J1002. Já a menor densidade e a maior diversidade ocorreram em URG_M1000_HOR, concomitante com as menores concentrações de silicato e COT. A menor riqueza e maior equitabilidade ocorreram em URG_M1000_OBL. Os menores valores de diversidade e equitabilidade foram registrados em URG_J1002_OBL, quando observou-se a menor concentração de MPS.

Com relação à comunidade ictioplanctônica, os menores valores de densidade, riqueza e diversidade ocorreram nos arrastos horizontais de URG_J1002, em ambas as malhas, juntamente com a maior temperatura, OD, silicato, MPS e COT. A maior densidade ocorreu em URG_M1000_OBL_300, enquanto as maiores riqueza e diversidade ocorreram em URG_J1002_OBL_300. A equitabilidade máxima foi identificada em URG_J1002_OBL_500 e em URG_J1002_HOR_500, sendo o arrasto horizontal marcado pela ocorrência dos menores valores de densidade e, em ambas as malhas, menores de riqueza e diversidade, coincidente aos valores mais elevados de temperatura, OD, silicato, MPS e COT.

Todas os arrastos e malhas, seja para zooplâncton ou para ictioplâncton, foram realizados na mesma massa de água, ou seja, temperatura $\geq 20^{\circ}\text{C}$ e salinidade na faixa de $36 \leq S \leq 36,4$, classificada como Mistura das Água Costeira e Água Tropical (AC/AT). Os teores de clorofila, por sua vez, foram bem similares entre as estações e os respectivos arrastos e malhas para ambas as comunidades.

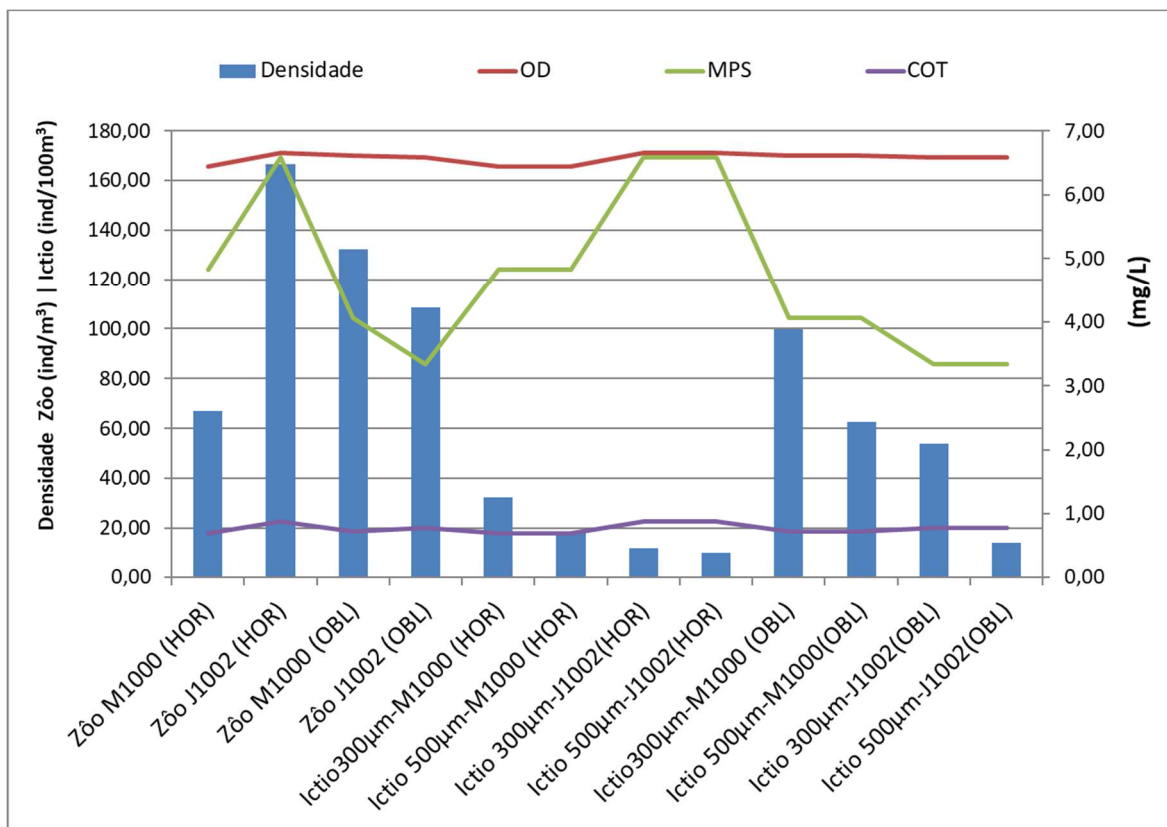
Ressalta-se que as relações observadas entre os dados ambientais e zooplâncton e ictioplâncton não permitem afirmar relações causais e/ou variações significativas entre as estações, pelas análises realizadas.

Nas figuras V-5 até VI-24 estão apresentados gráficos com as variações observadas, nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15, para os parâmetros físico-químicos (temperatura, OD, MPS, COT, clorofila a, salinidade e silicato) concomitante aos resultados dos indicadores biológicos (densidade, riqueza e os índices de diversidade de Shannon-Winner e de equitabilidade de Pielou) obtidos com a coleta de amostras das comunidade zooplanctônica e ictioplanctônica.



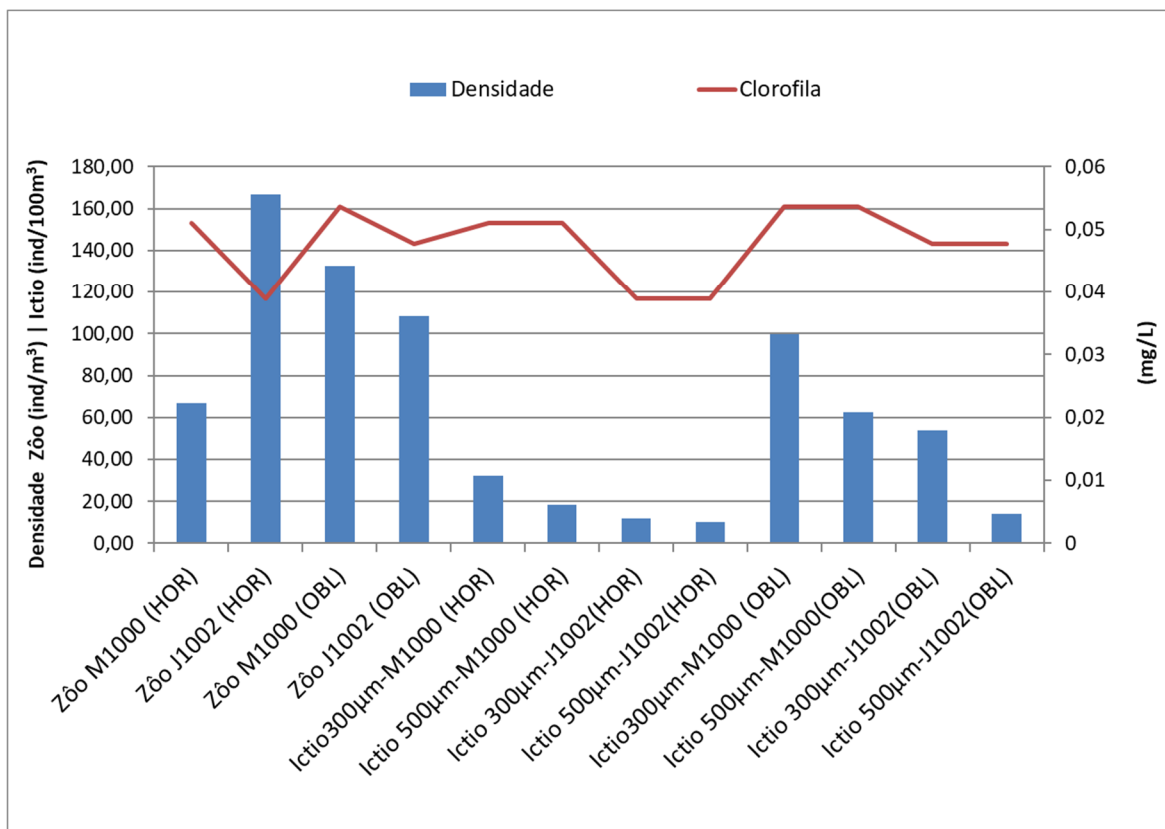
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-5 – Relação temperatura com a densidade total zooplânctônica e ictioplânctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



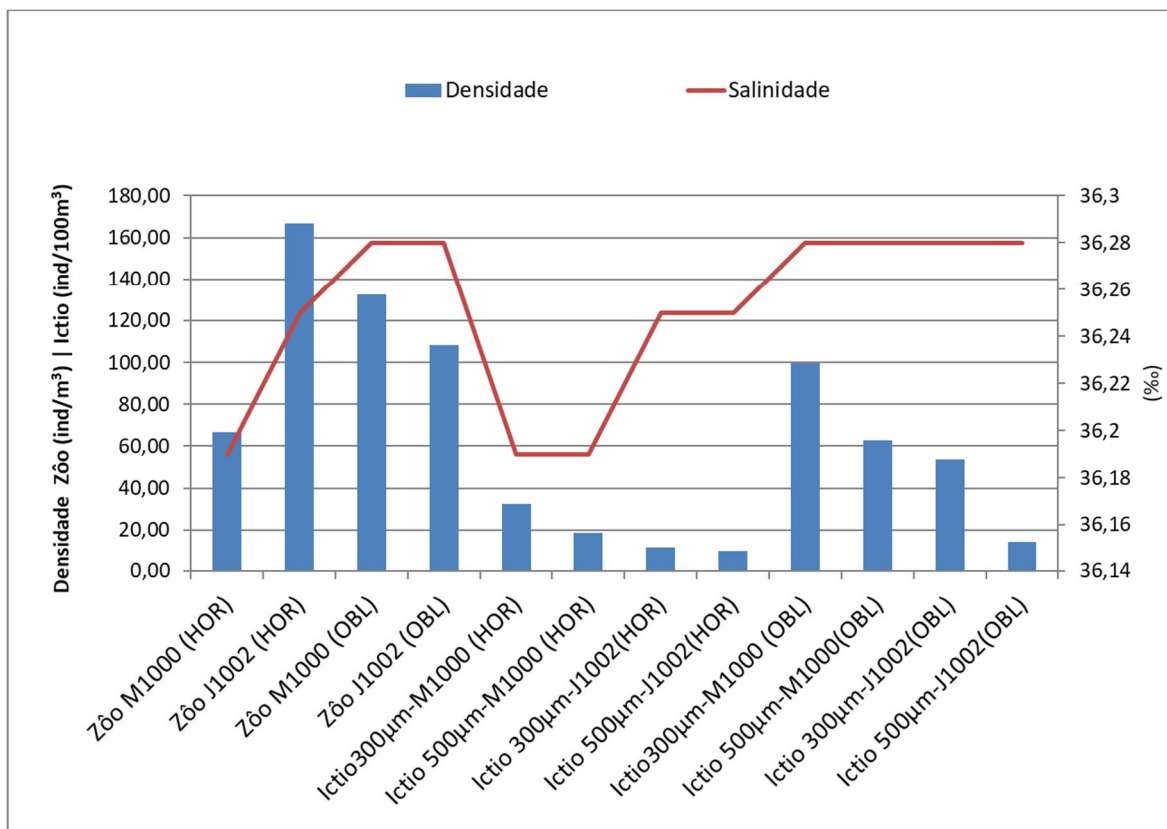
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-6 – Relação do OD, MPS e COT com a densidade total zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15



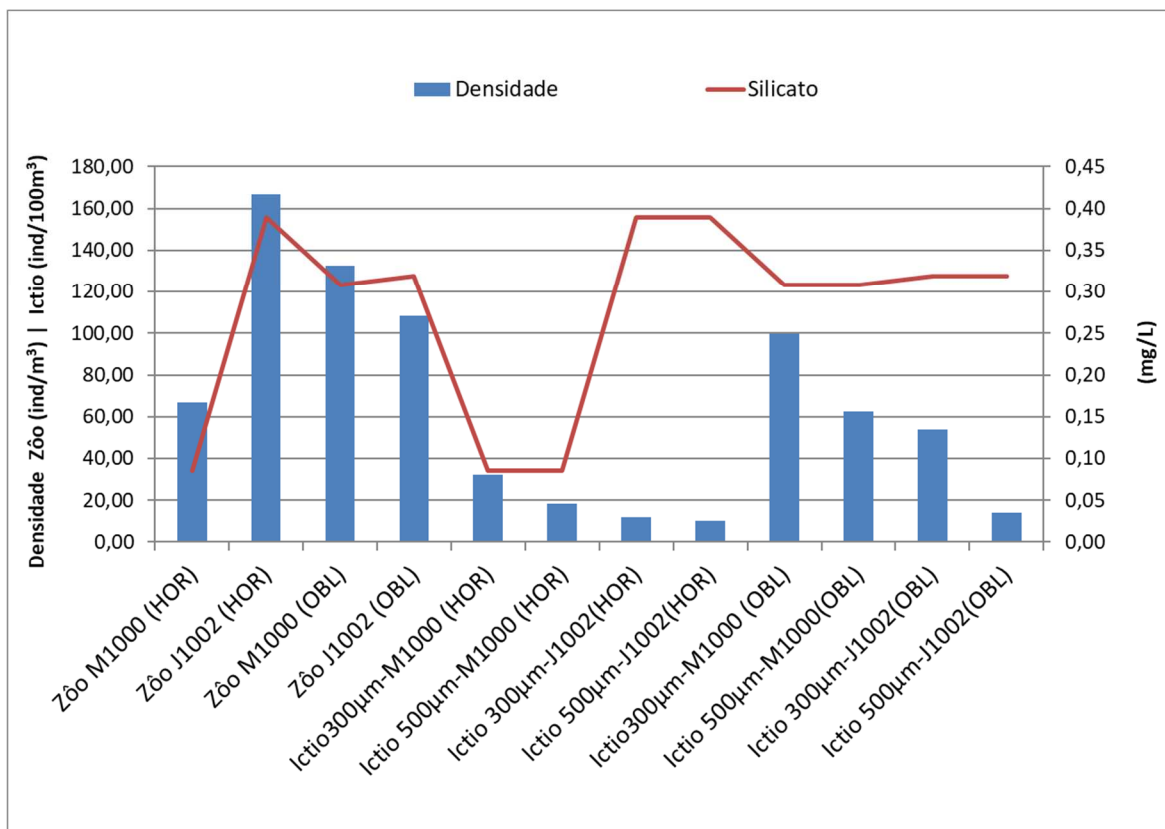
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1I-7 – Relação da clorofila a com a densidade total zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



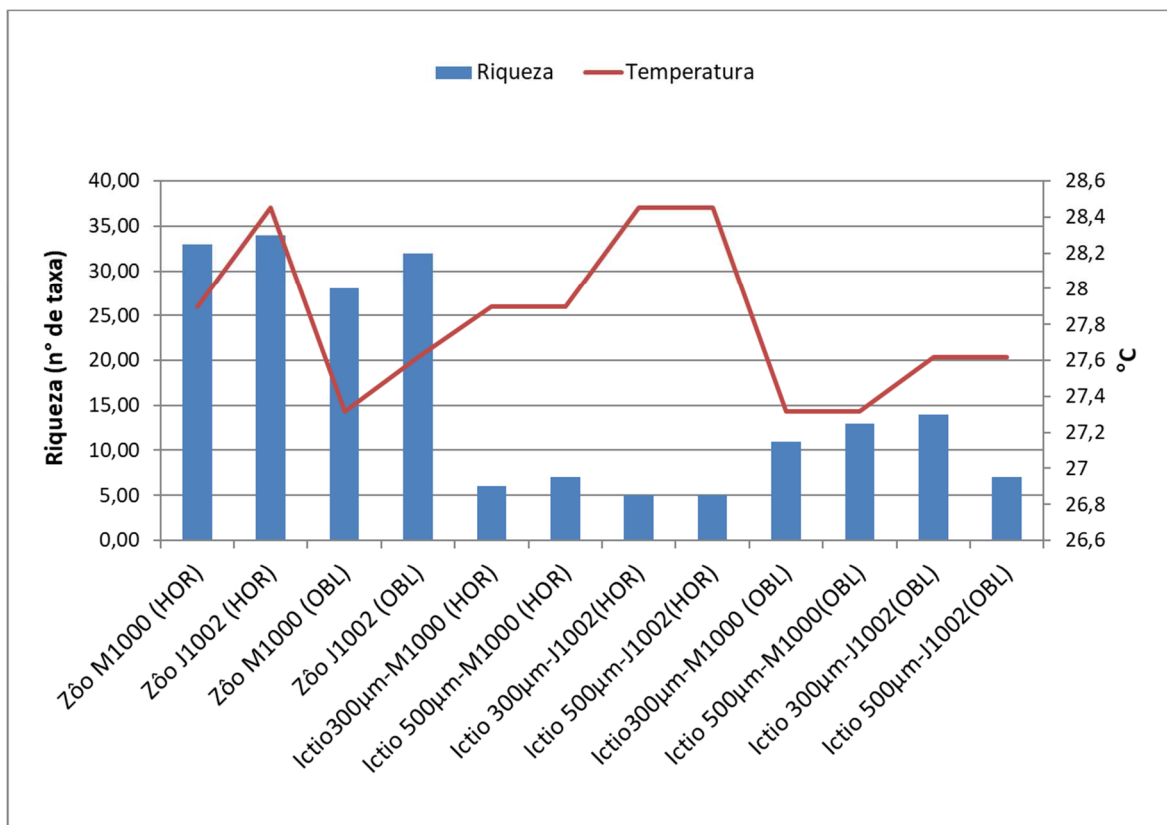
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-8 – Relação da salinidade com a densidade total zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



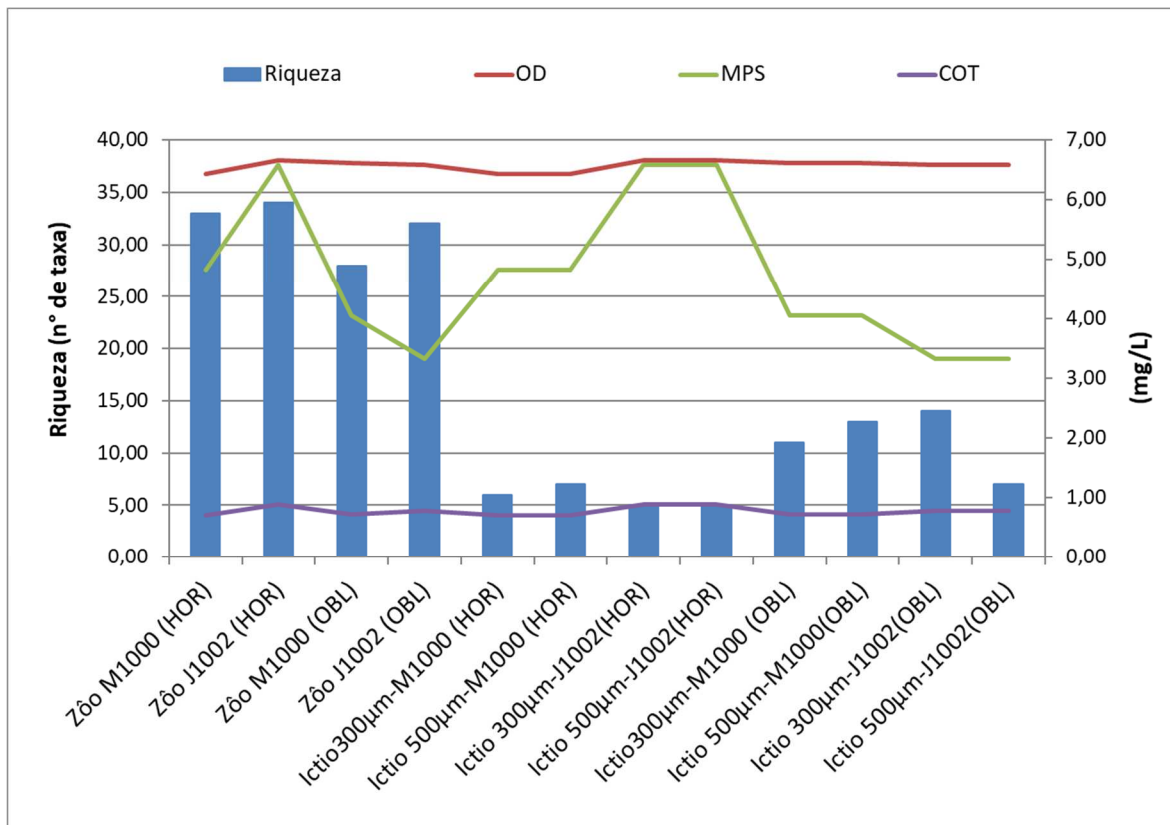
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-9 – Relação do silicato com a densidade total zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



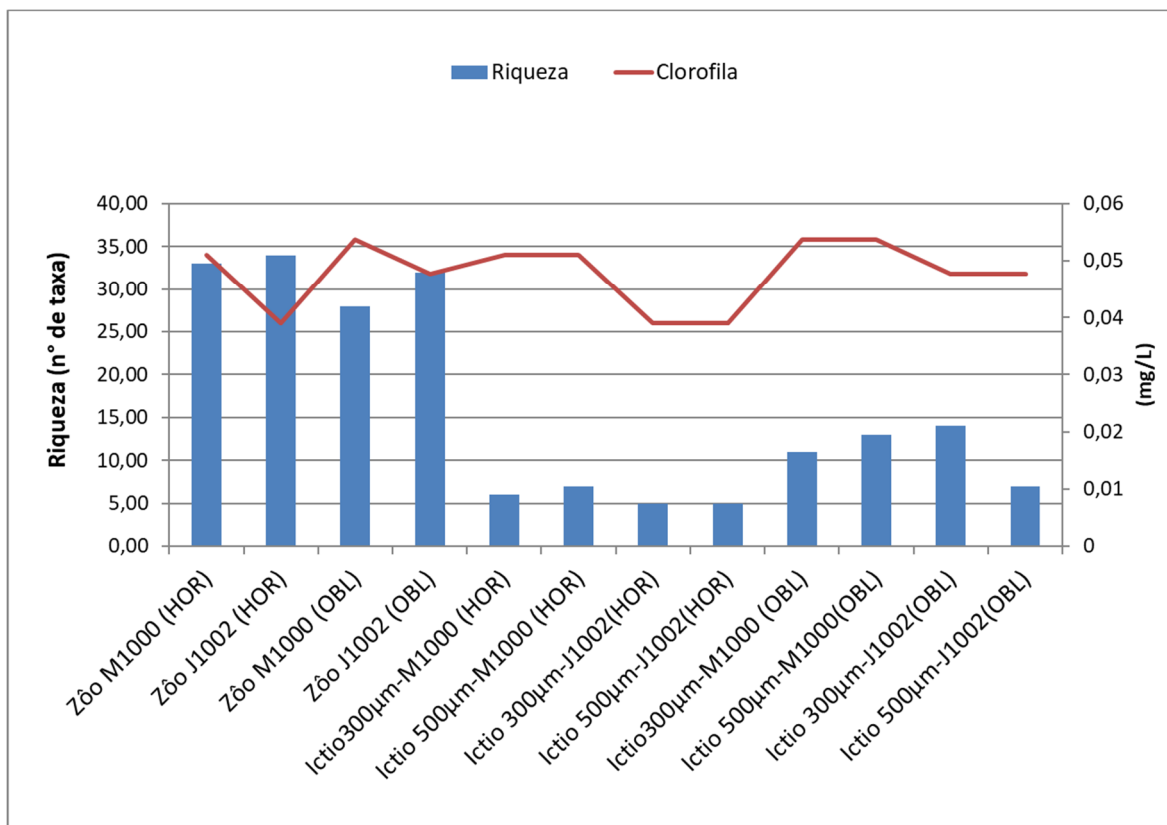
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-10 – Relação da temperatura com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



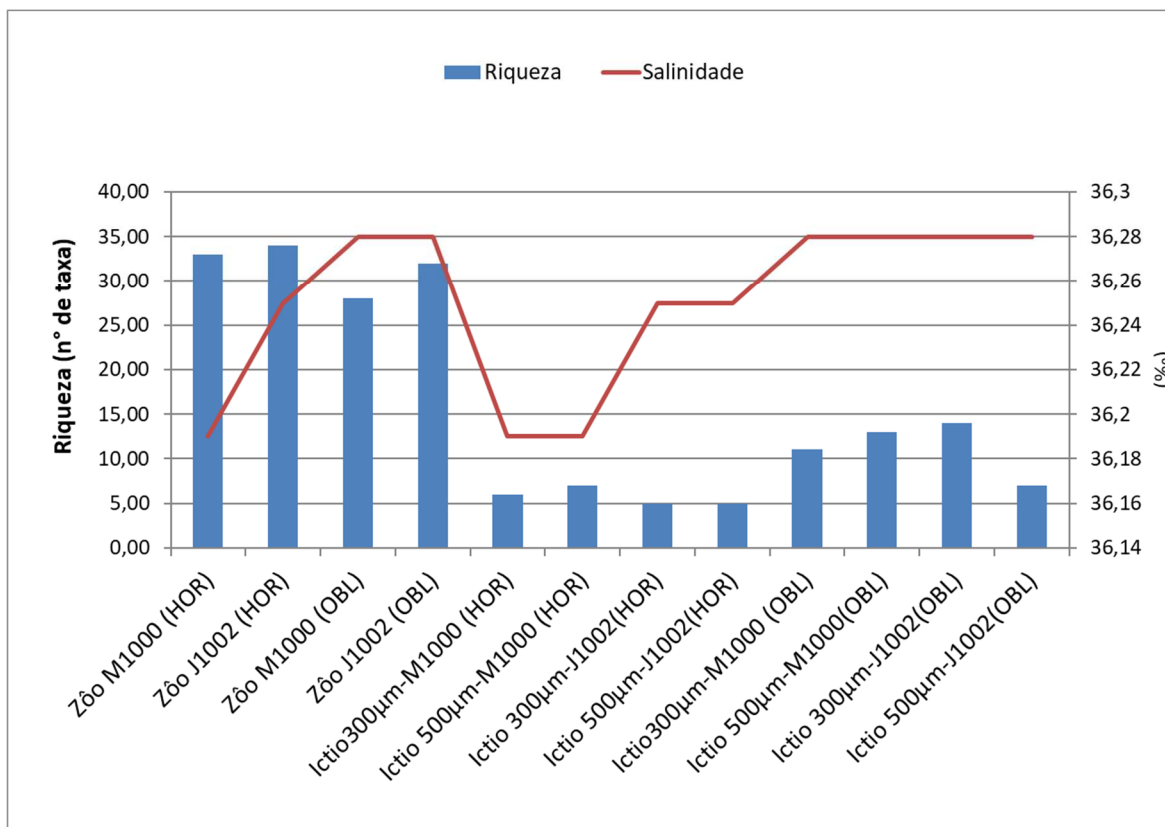
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-11 – Relação do OD, MPS e COT com a riqueza zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



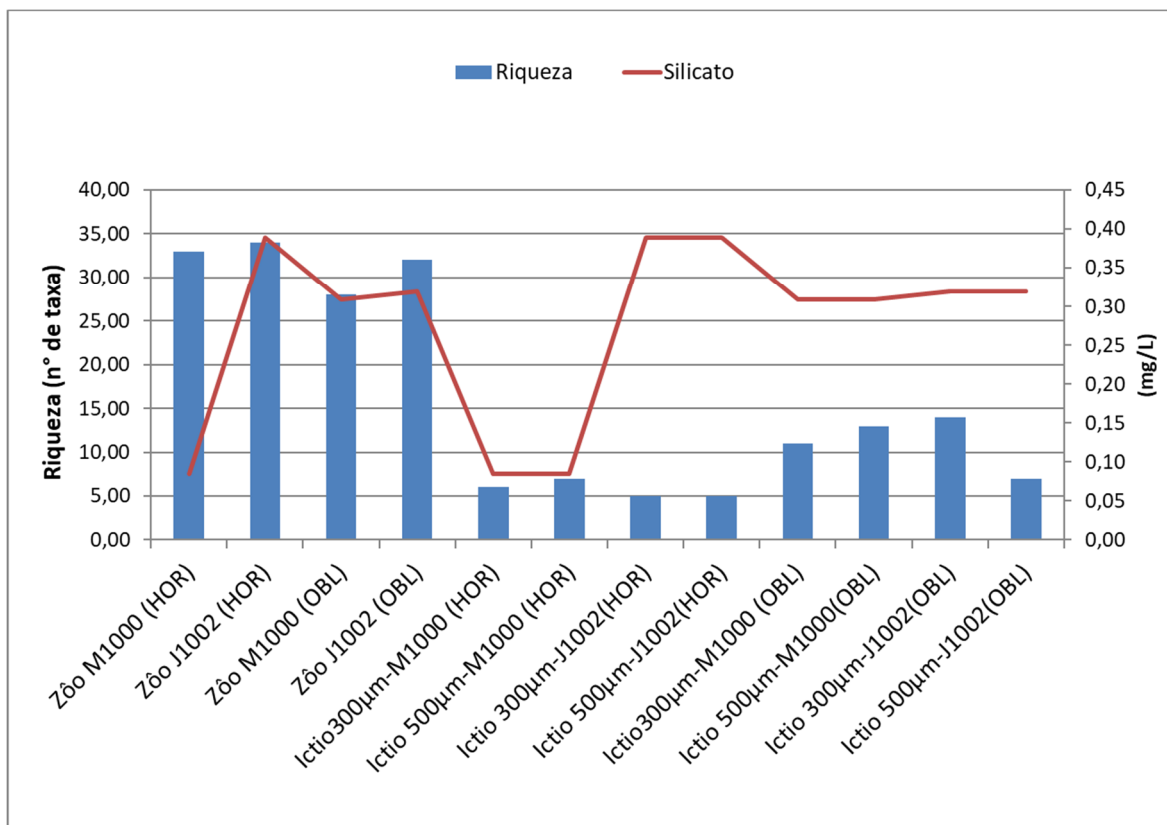
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-12 – Relação da clorofila a com a riqueza zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



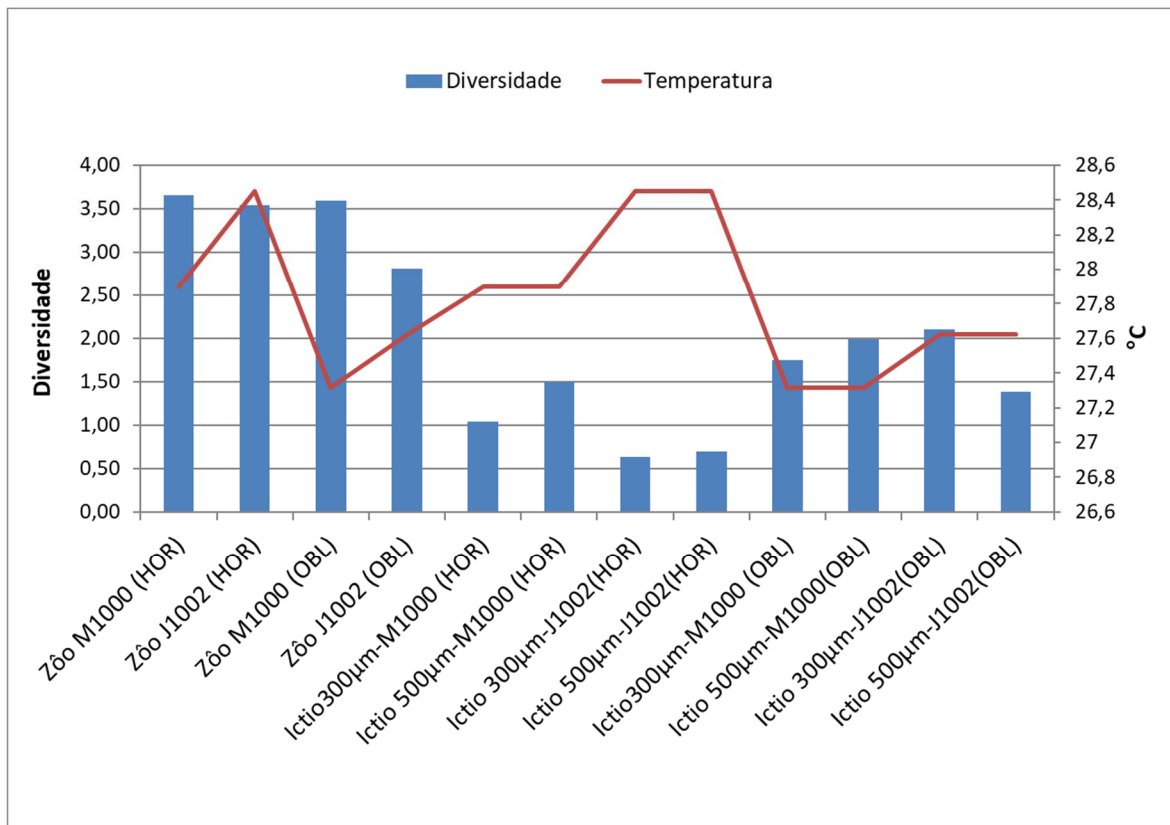
Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-13 – Relação da salinidade com a riqueza zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



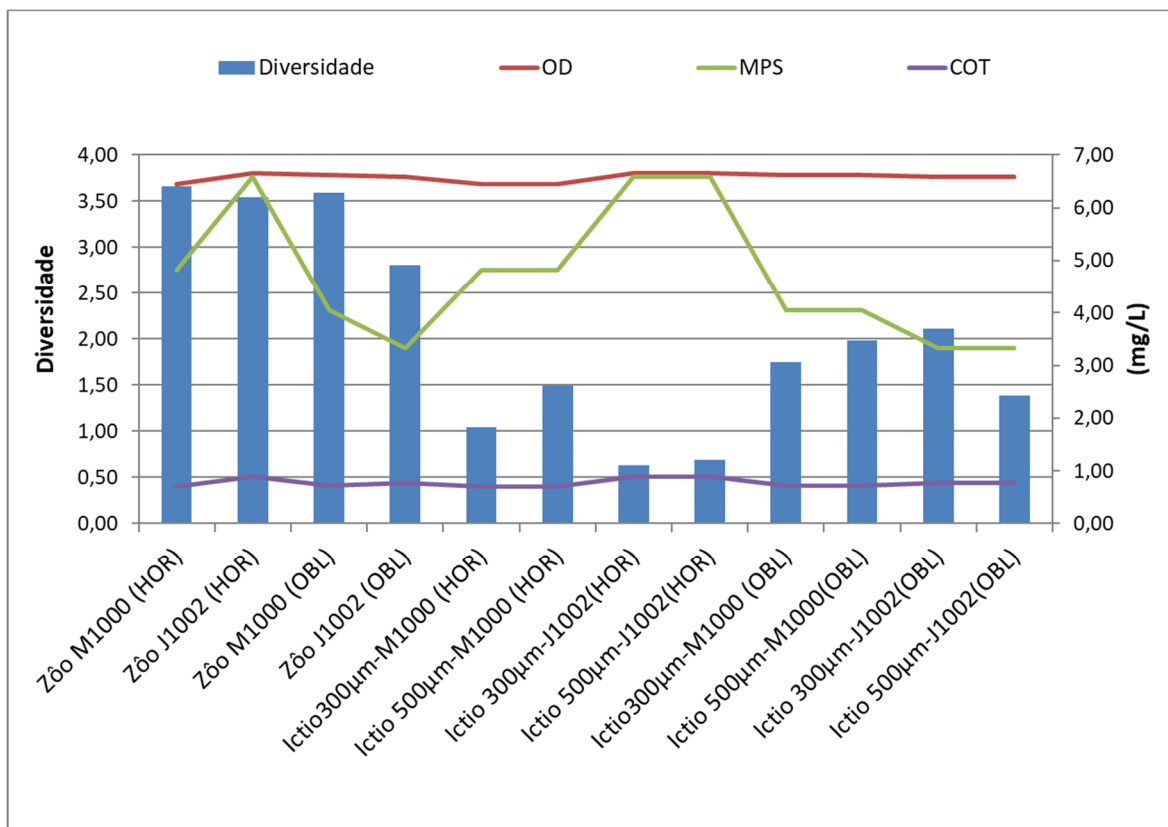
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-14 – Relação do silicato com a riqueza zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



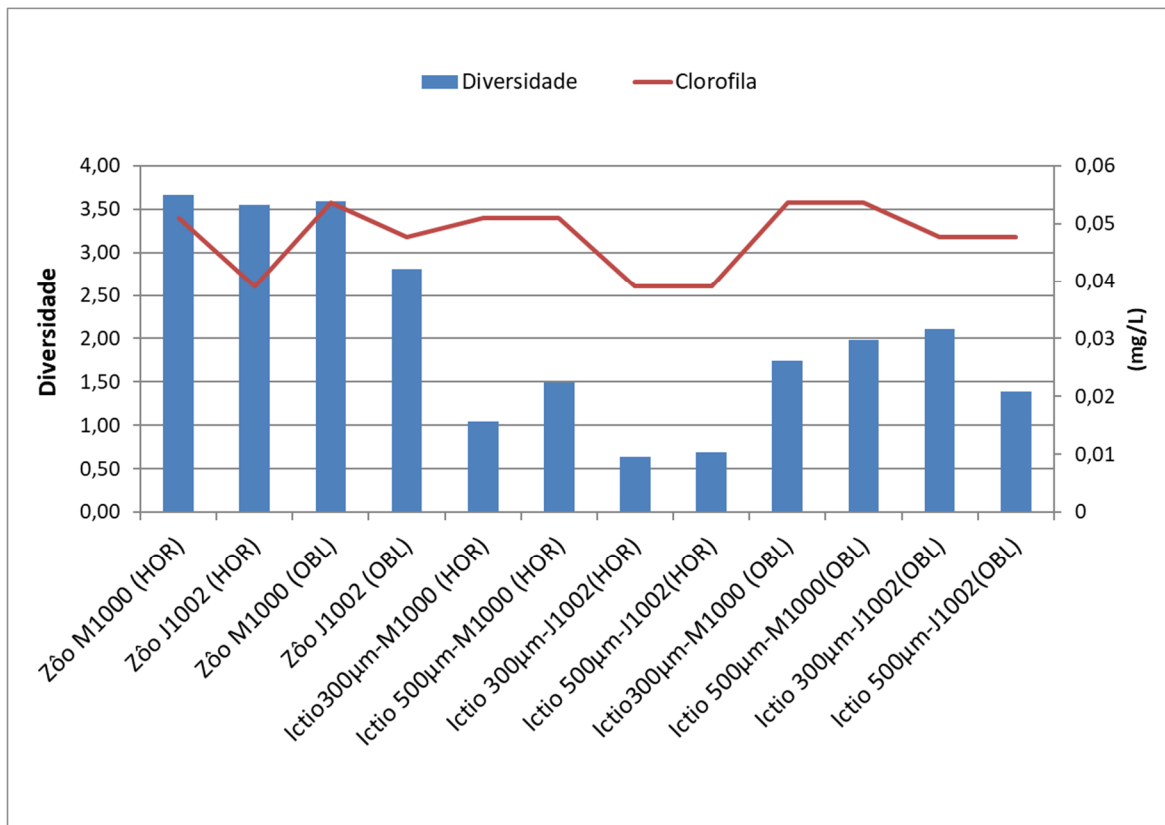
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-15 – Relação da temperatura e diversidade (bits/ind) zooplânctônica e ictioplânctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



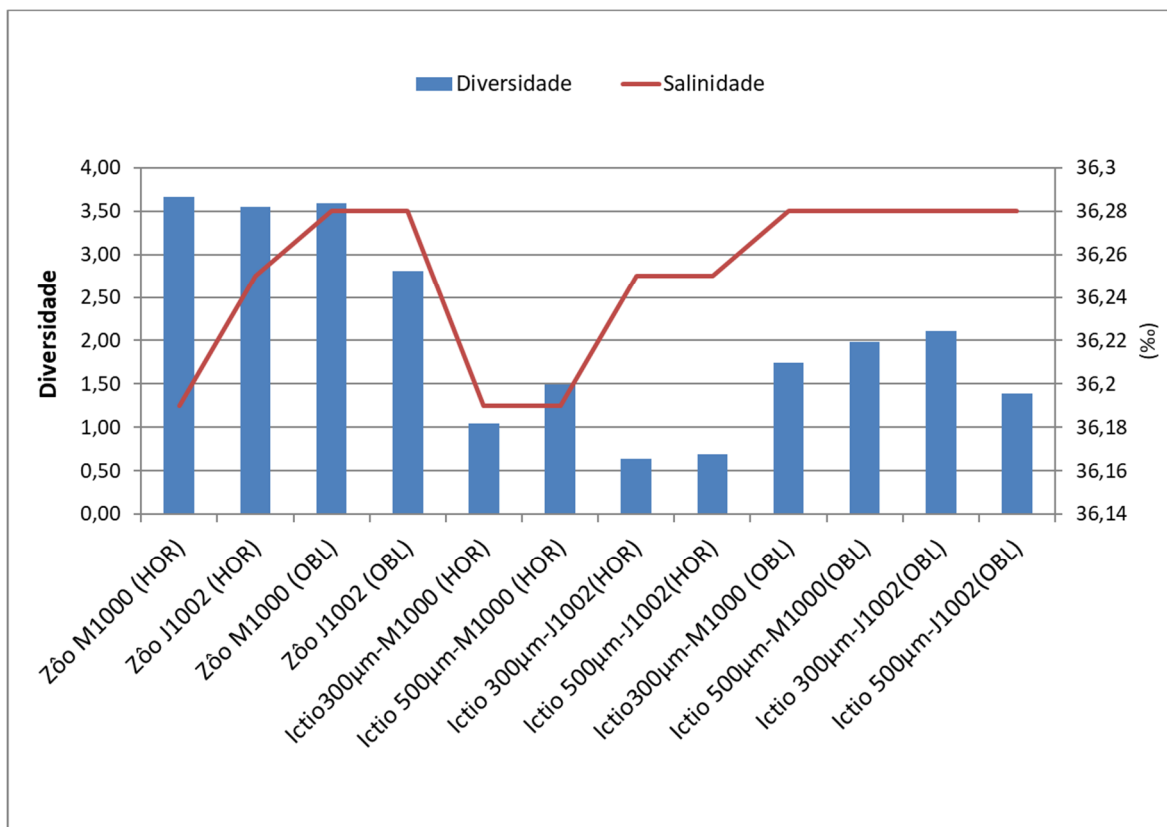
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica

Figura VI.1-16 – Relação do OD, MPS e COT com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



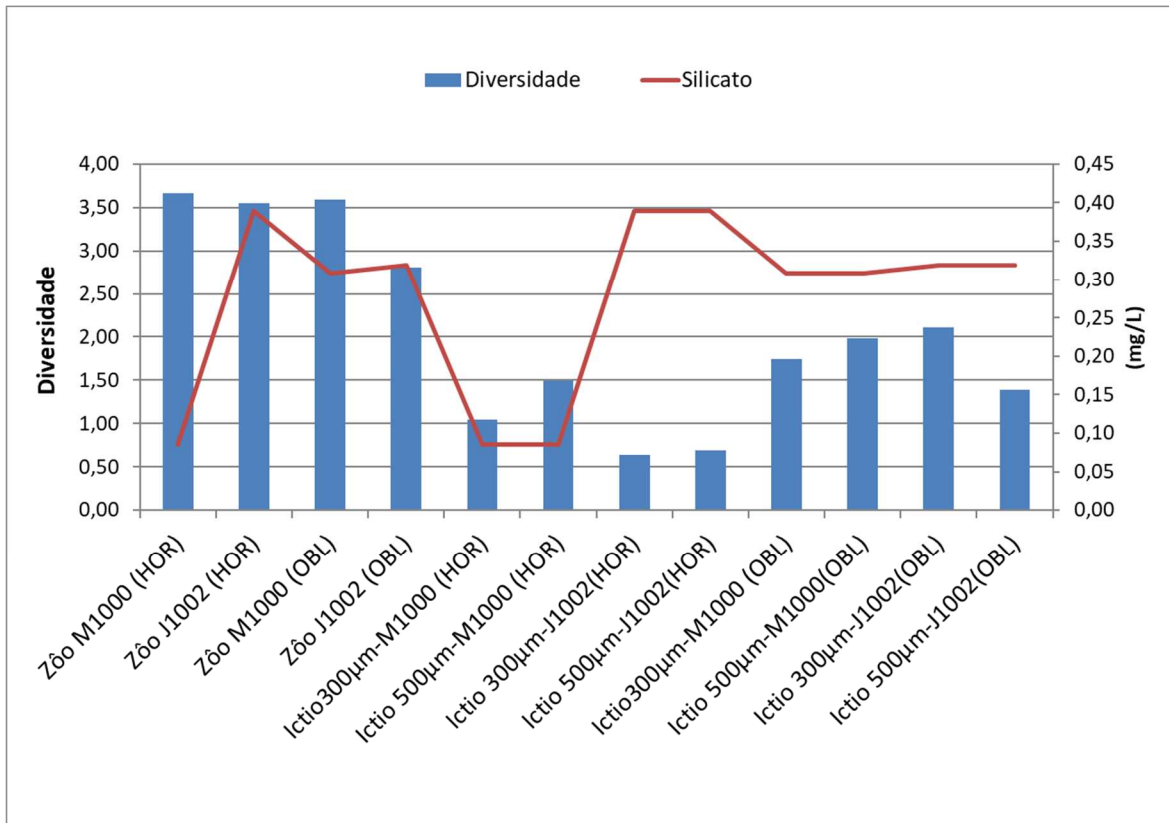
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-17 – Relação da clorofila a com a diversidade (bits/ind) zooplânctônica e ictioplânctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



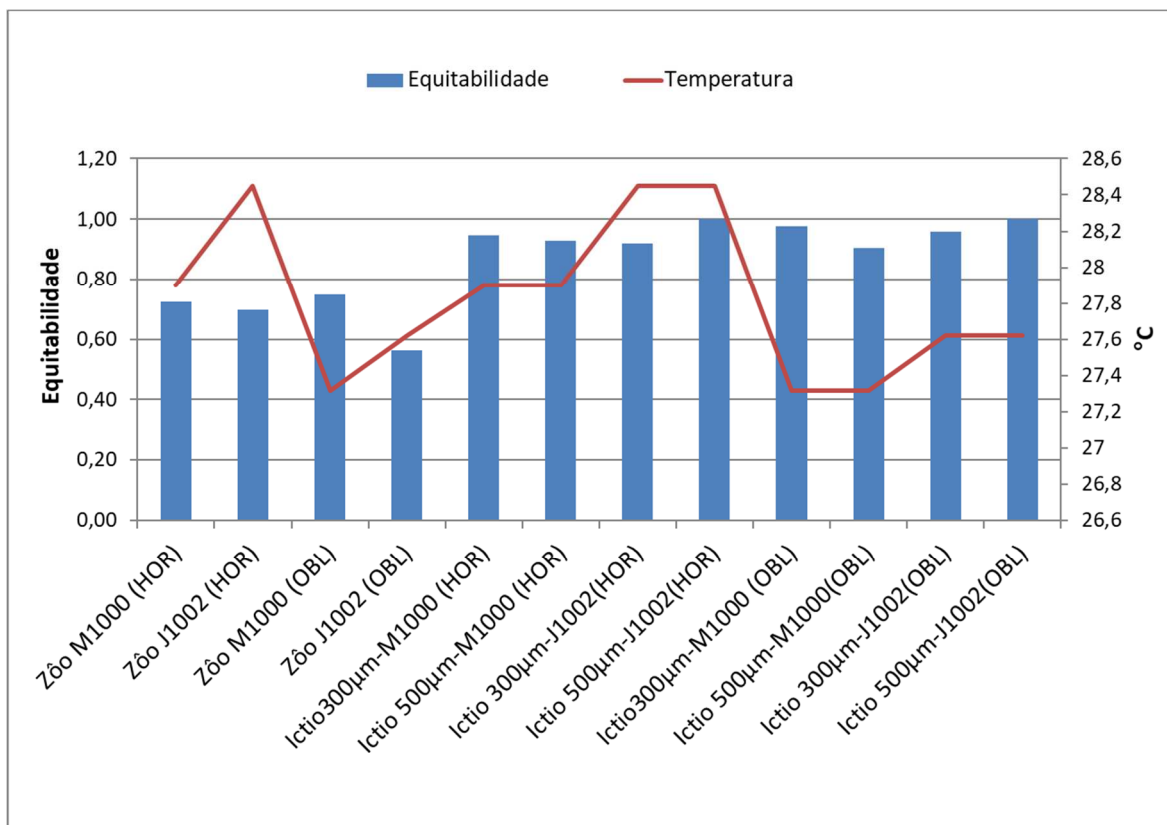
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-18 – Relação da salinidade com a diversidade (bits/ind) zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



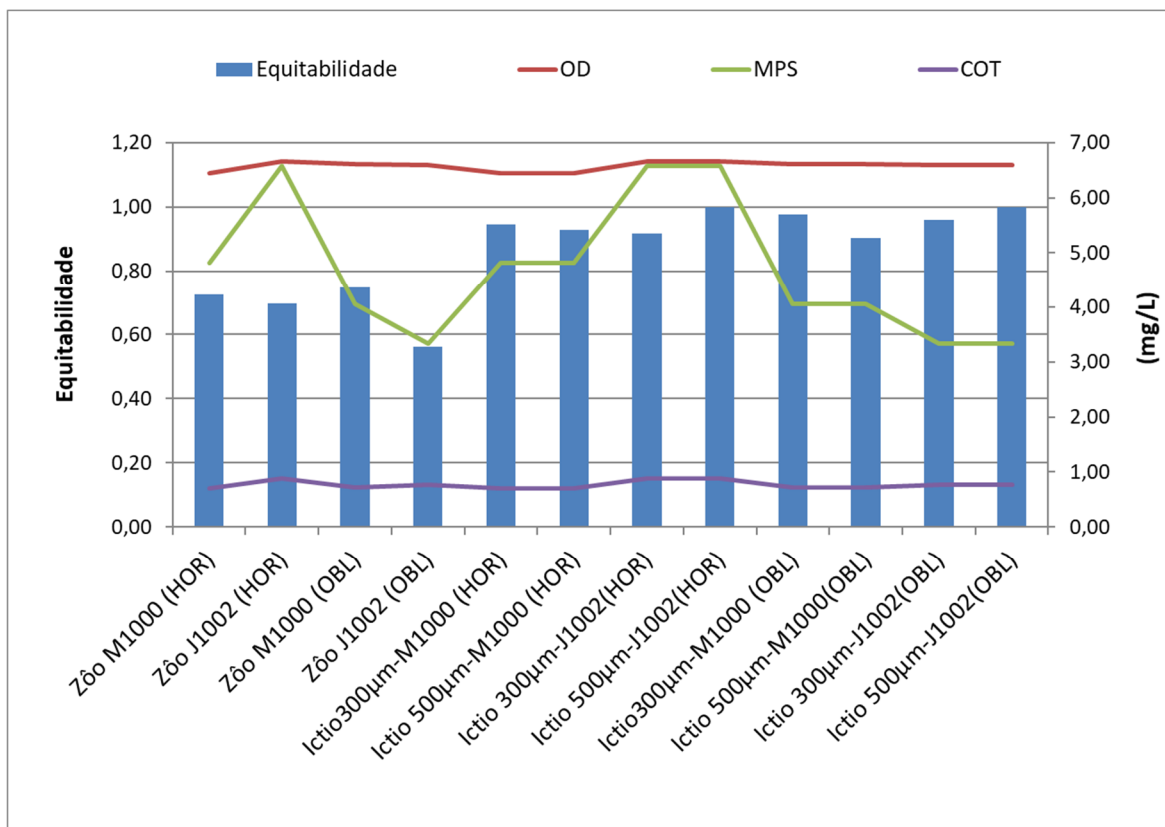
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-19 – Relação do silicato com a diversidade (bits/ind) zooplânctônica e ictioplânctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL) e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



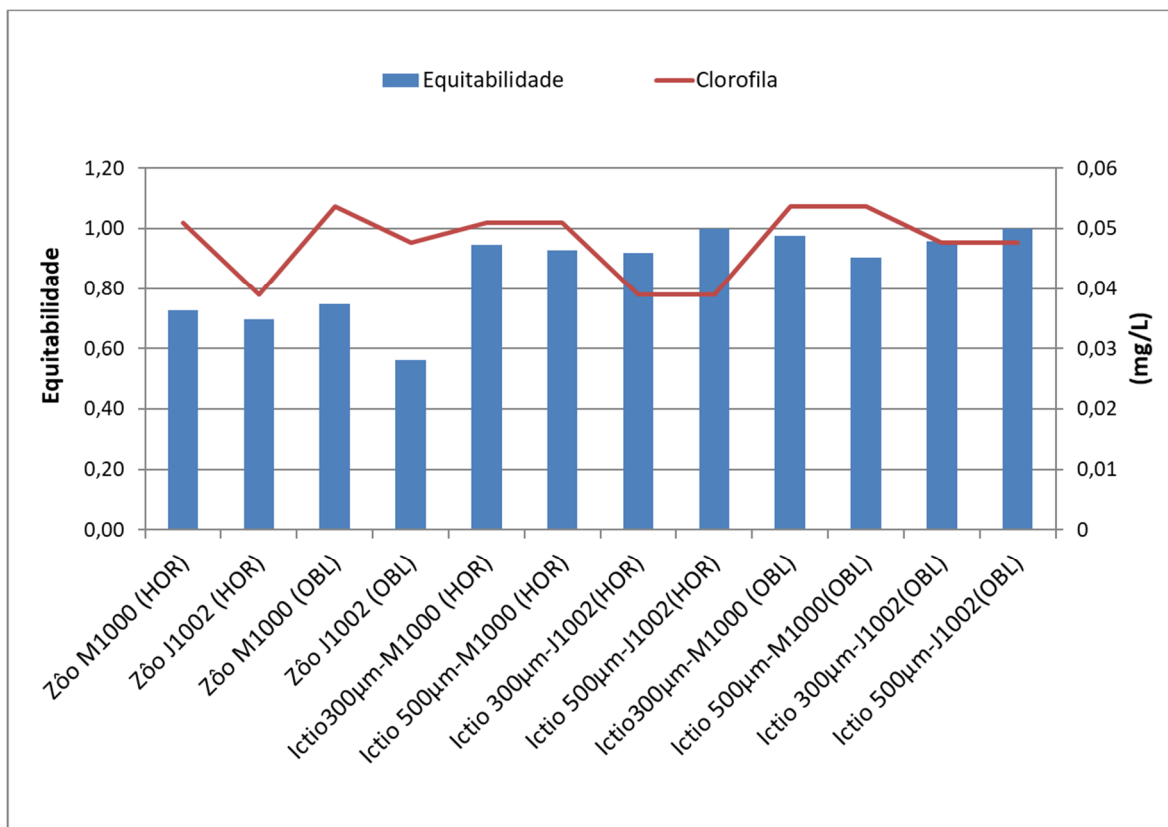
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-20 – Relação da temperatura a Equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



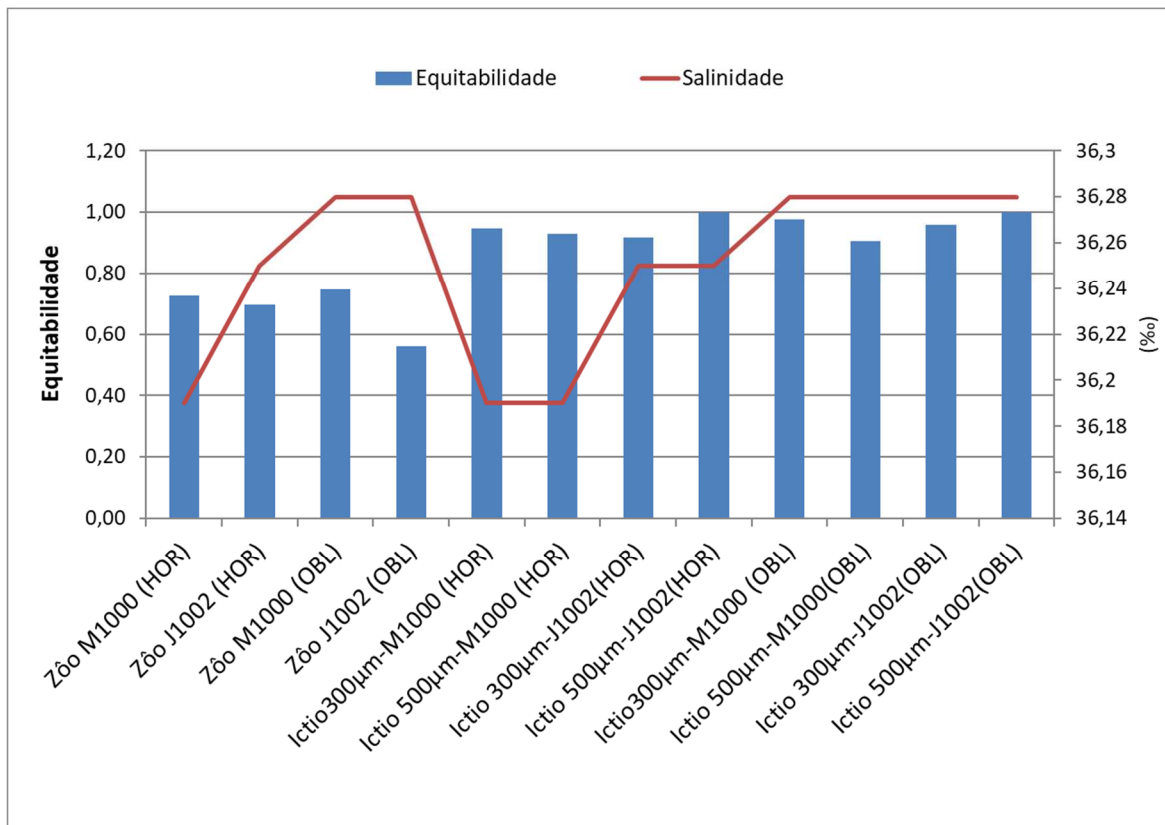
Legenda: Zôo – comunidade zooplânctônica; Ictio – comunidade ictioplânctônica.

Figura VI.1-21 – Relação do OD, MPS e COT com a Equitabilidade zooplânctônica e ictioplânctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



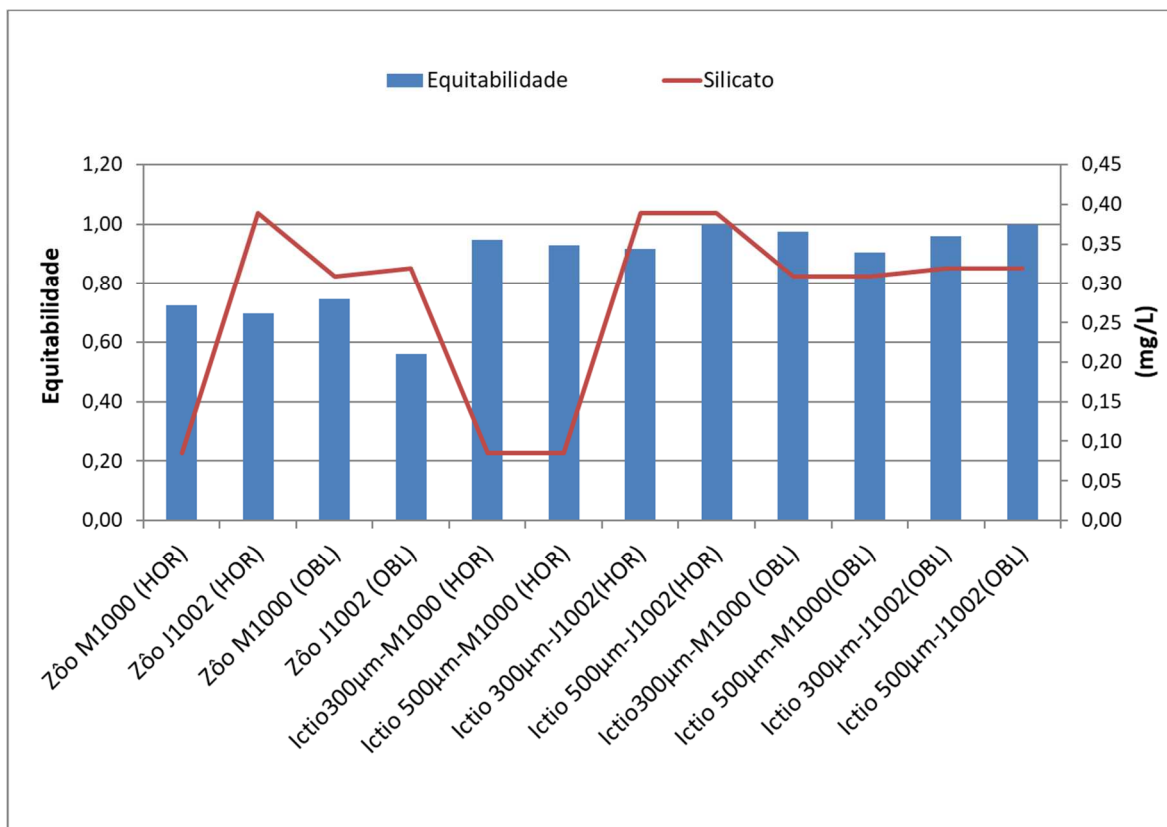
Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-22 – Relação da clorofila *a* com a Equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



Legenda: Zôo – comunidade zooplancônica; Ictio – comunidade ictioplancônica.

Figura VI.1-23 – Relação da salinidade com a Equitabilidade zooplancônica e ictioplancônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.



Legenda: Zôo – comunidade zooplanctônica; Ictio – comunidade ictioplanctônica.

Figura VI.1-24 – Relação do silicato com a equitabilidade zooplanctônica e ictioplanctônica (malha 300 µm e 500 µm) em arrastos oblíquos (OBL), e horizontais (HOR) nas estações URG_M1000 e URG_J1002 de PMPR_URG_C15.

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).

Neste contexto a variedade de zooplâncton nos oceanos é surpreendente e essa comunidade representa os consumidores primários mais numerosos do oceano (GARRISON, 2011). Representam importantes consumidores de cianobactérias, diatomáceas, dinoflagelados entre tantos constituintes do fitoplâncton. Essa comunidade, juntamente com a comunidade ictioplanctônica, compõem importantes componentes do sistema, constituindo elos estruturadores das cadeias alimentares, atuando principalmente na ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia (ESTEVES, 2011; STEINBERG & LANDRY, 2017) entre os produtores e os consumidores de níveis tróficos superiores (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008). 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).

Essas comunidades sofrem influência dos fatores ambientais, que promovem importantes ajustes bióticos, promovendo variações nos seus números, que ocorrem direta ou indiretamente em resposta às variações ambientais em ecossistemas tropicais (PINTO-COELHO *et al.*, 1999; TAYLOR *et al.*, 2002; HAYS *et al.*, 2005). Fatores ambientais tais como a temperatura (CHEN *et al.*, 2011; SHI *et al.*, 2018), salinidade (NEUMANN-LEITÃO *et al.*, 2018), correntes marinhas (SMETI *et al.*, 2015; SHI *et al.*, 2018) são importantes parâmetros influenciando a estrutura, a dinâmica e a distribuição espacial das comunidades de zooplâncton e, conseqüentemente, suas relações com outros elos das cadeias alimentares, como a comunidade fitoplanctônica, ictioplanctônica e a ictiofauna, representando para essa última importante recurso alimentar.

Contudo, embora tenham sido observadas variabilidades tanto nas características biológicas dessas comunidades, como nas características ambientais, e se saiba que os fatores ambientais desempenham importantes funções na dinâmica dessas comunidades (PEREIRA & SOARES-GOMES, 2009), é importante ressaltar que, para esse estudo, interpretações acerca de relações entre os parâmetros ambientais e biológicos dessas comunidades não indicam, necessariamente, relações de causa e efeito.

Destaca-se, ainda, que a diversidade zooplanctônica variou entre 2,81 bits/ind e 3,66 bits/ind e, portanto, dentro da faixa em que a comunidade pode ser considerada em equilíbrio e com boa diversidade. De fato, segundo Magurran (1988), comunidades com valores de índice de Shannon-Weiner abaixo de 1,5 ou 2 apresentam baixa diversidade e tendem ao desequilíbrio, ao passo que com valores acima de 5 representam comunidades com grande diversidade. A equitabilidade zooplanctônica, por sua vez, variou entre 0,56 e 0,75 e, embora não esteja tão alta, a faixa de equitabilidade observada, concomitante a boa diversidade, pode estar indicando uma fase de transição em relação à uniformidade na distribuição das abundâncias de espécies na comunidade de zooplâncton da região em estudo.

A diversidade de larvas de peixes obtida com o monitoramento realizado na região oceânica (Petrobras, 2022), próxima a área amostral do sistema de Uruguá, apresentaram valores entre 2,68 e 3,43 durante o período de inverno, e entre 2,15 e 2,67 no verão, indicando uma tendência a queda da uniformidade da comunidade ictioplânica na estação do ano com temperaturas mais elevadas. A diversidade obtida na comunidade ictioplanctônica do PMPR_URG_C15, portanto, pode ser considerada baixa, variando de 0,64 a 2,11 bits/ind, mas consistem com a ocorrência de menores valores no verão. A equitabilidade dessa comunidade, por sua vez, indicou uniformidade na distribuição das abundâncias de espécies, permanecendo na faixa entre 0,90 e 1,00.

Para finalizar a análise integrada dos dados bióticos e abióticos é necessário, além dos padrões de distribuição espacial dos principais grupos de zooplâncton e de ictioplâncton, levar em conta às relações com as variáveis físico-químicas. Conforme resultado do estudo de caracterização da Bacia de Santos (Petrobras, 2022), apenas as espécies de copépodes apresentaram uma resposta

estatisticamente significativa em relação às variáveis ambientais, sendo que cerca de 80% da variação na distribuição das espécies de Copepoda foram explicadas pelas variáveis salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e Clorofila a.

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.

VII - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório apresentou os resultados referentes à 15ª campanha (13ª campanha da fase de operação) do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. Os resultados referem-se à qualidade da água e comunidade planctônica, sendo que os dados adquiridos subsidiaram a avaliação da qualidade ambiental no local em decorrência da operação do sistema de Uruguá.

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 águas oligotróficas.

De modo geral, os resultados dos parâmetros indicadores de qualidade de água foram condizentes com os valores descritos para a região do empreendimento nas campanhas de monitoramento realizadas anteriormente (PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS, 2012, 2013; PETROBRAS/BOURSCHEID, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019a, 2019b, 2020; PETROBRAS/BIOCONSULT, 2022a, 2022b). Para Clorofila-a foram quantificadas concentrações na atual campanha, sendo que na maioria das campanhas anteriores não havia quantificação, exceto nas campanhas C4, C7, C8, C13 e C14. Para MPS, as concentrações foram superiores em relação à faixa de variação encontrada anteriormente. Para o COT, a concentração máxima da atual campanha foi inferior às concentrações máximas encontradas nas demais campanhas. Os demais parâmetros apresentaram valores semelhantes às campanhas anteriores.

Os dados de temperatura e salinidade obtidos evidenciaram que a maioria das amostras foram coletadas na mistura de Águas Costeiras e Águas Tropicais (AC/AT). A temperatura e salinidade medidas com a perfilagem T-S nas estações de monitoramento indicou uma mistura de massas d'água AC/ACAS e ACAS em todas as estações, exceto em URG_100. A mistura AC/ACAS ocorreu a partir da profundidade de 95 m, em URG_J503 e URG_J1002, e ACAS ocorreu a partir da profundidade de 117 m em URG_J503. A ausência de AC/ACAS e ACAS em URG_J100 decorre da menor profundidade de perfilagem, que foi até 100m nessa

estação. Também reflete a maior influência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e da mistura AC/ACAS nos estratos mais profundos da região monitorada.

Todos os parâmetros avaliados na atual campanha estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/05 para águas salinas de classe 1.

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

De maneira geral, os dados observados na atual campanha corroboram os dados históricos do monitoramento ambiental do Sistema de Uruguá quanto aos parâmetros biológicos analisados para o fitoplâncton, o zooplâncton e o ictioplâncton. Para o fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas da fase de operação para todos os índices ecológicos analisados, nas análises estatísticas de variância (ANOVA e *Kruskal-Wallis* e testes a posteriori).

Com relação ao fitoplâncton, as amostras da atual campanha apresentaram maior riqueza de taxa na superfície e na camada acima da termoclina de URG_M1000, e na superfície e na termoclina de URG_J1002, os demais parâmetros, densidade, diversidade, e equitabilidade, também apresentaram variação, mas não apresentaram um padrão claro de distribuição, apresentando uma distribuição mais homogênea ao longo dos perfis de profundidade. Houve predomínio de Myzozoa e Ochrophyta em termos de riqueza e densidade em todas as amostras de ambas as estações. Na análise de *Cluster* destaca-se a alta similaridade (98%) entre as amostras da superfície de URG_M1000 e URG_J1002, que apresentaram igual densidade média de taxa e semelhante contribuição dos taxa entre essas duas amostras.

Com relação ao zooplâncton, a atual campanha (C15) apresentou significativamente menor riqueza em relação à C7, igualmente a atual campanha apresentou significativamente menor densidade, em relação à C9, embora ainda assim tenha sido observada a maior contribuição do filo Arthropoda para a densidade em todas as campanhas. A atual campanha apresentou significativamente maior diversidade que as campanhas C7 e C8. Para os dados

de ictioplâncton, também foram encontradas diferenças significativas para todos os indicadores ecológicos analisados, tanto nos arrastos oblíquos quanto nos horizontais, comparando todas as campanhas de monitoramento. C15 diferiu de C9 em relação à densidade em arrastos horizontais, diferiu de C10 e C12 para equitabilidade em arrastos oblíquos, e diferiu de C8, C9 e C12 para equitabilidade em arrastos horizontais.

As análises multivariadas estimadas a partir dos dados de zooplâncton obtidos na campanha atual (C15) indicaram alta similaridade (entre 78 e 88%) entre as amostras. Com 78%, arrasto horizontal da estação URG_M1000 se separou das demais amostras, refletindo a menor média de densidade de taxa e a menor contribuição de densidade do filo Arthropoda. Com 88%, arrasto oblíquo de URG_M1000 e o horizontal de URG_J1002 se agruparam devido às maiores médias de densidade de taxa.

Para o ictioplâncton observou-se similaridade entre as amostras, variando de baixa (20%) a média (50%), sendo a maior similaridade observada entre as amostras URG_M1000_OBL_500 e URG_M1000_HOR_500, que compartilharam densidade de Stomiiformes semelhantes.

A análise integrada realizada para os dados coletados durante a campanha atual (C15) registrou, em termos ambientais, a principal contribuição de MPS na variação espacial entre as amostras. Comparando-se as características ambientais e biológicas das estações URG_M1000 e URG_J1002, foram observadas correlações de *Spearman* significativas entre as características ambientais e os indicadores ecológicos da comunidade fitoplanctônica. Nesse contexto, destacam-se as correlações positivas da riqueza e diversidade fitoplanctônica com o COT e correlação negativa da riqueza fitoplanctônica com silicato.

Considerando-se a variabilidade espacial das amostras, em relação às características ambientais e biológicas, o MPS foi o principal parâmetro associado às variações observadas entre as estações URG_M1000 e URG_J1002. Nesse contexto, as amostras que apresentaram as maiores concentrações de MPS foram todas as amostras da estação URG_M1000 e a amostra URG_J1002_SUP, contudo, embora se observe tendência da densidade fitoplanctônica correlacionar-se positivamente e da riqueza fitoplanctônica correlacionar-se negativamente com

essas amostras, a correlação desses parâmetros foi muito fraca com o eixo 1 ($r=0,30$ e $r=-0,25$, respectivamente).

As flutuações dos indicadores ecológicos da comunidade zooplanctônica não estabeleceu um padrão de variação, diferenciando as estações montante e jusante ou os tipos de arrasto. Destaca-se, a tendência de maior riqueza e densidade, em condições de maior temperatura, e maior concentração de OD, silicato, MPS e COT. Em ambiente com condições de menor salinidade e menores concentrações de silicato e COT, a comunidade zooplanctônica tende a apresentar menor densidade, porém maior diversidade. Para a comunidade ictioplanctônica observa-se tendência de maiores valores dos índices ecológicos entre a maioria das amostras de arrasto oblíquo, e os menores valores ocorrendo entre os arrastos horizontais, podendo indicar que o oblíquo é um arrasto mais enriquecedor para a amostragem. Em geral, as menores densidades, riquezas de taxa e diversidades tenderam a ocorrer em ambientes com maior temperatura, maior concentração de OD, silicato, MPS, e COT. Por outro lado, os maiores valores desses índices estiveram associados principalmente a um ambiente de maior salinidade.

A partir dos resultados obtidos nesta 15ª campanha (13ª campanha da fase de operação) do Projeto de Monitoramento Ambiental da fase de operação do Sistema de Produção e Escoamento de Gás Natural e Petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos, foi possível concluir que, atualmente, a região no entorno do empreendimento não apresenta alterações ambientais no que tange aos parâmetros físico-químicos da qualidade da água. 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 - BIBLIOGRAFIA

AIDAR, E. et al. **Ecosistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba SP.** Publicação esp. Inst. Oceanogr., São Paulo, v. 10, p. 9-13, 1993.

AMINOT, A.; CHAUSSEPIED, M. **Manuel dès analyses chimiques em milieu Marin.** 1 ère Ed. Brest Cedex, Centre Nationalpourl'Exploitation dès Océans (CNEXO), 1983, 395p.

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

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., v.36, p.753-762.

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

BALECH, E. Los dinoflagelados del Atlântico sudocidental. Madrid: Ministerio de Agricultura pesca y alimentación. 1988.

BARBOSA, J. E. L. Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos na escala de tempo (nictimeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido nordestino. 2002. Universidade Federal de São Carlos, 2002.

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

LAVRADO H.P. (Eds), Ecologia dos Ambientes Costeiros do Estado do Rio de Janeiro. Vol.2. Série Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, 1999.

BEAUGRAND, G.; BRANDER, K.M.; LINDLEY, J.A.; SOUISSI, S.; REID, P.C. 2003. **Plankton effect on cod recruitment in the North Sea**. Nature 426, 661–664.

BIODIVERSITY4ALL, 2022. Filo Haptophyta. Disponível em: <https://www.biodiversity4all.org/taxa/51845-Haptophyta>. Acesso em: 27 de março de 2022.

BJÖRNBERG, T. K. S. Copepoda. In: BOLTOVSKOY, D. (Org.). Atlas del Zooplankton del Atlántico Sudoccidental y Métodos de Trabajo con el Zooplankton Marino. [S.l.]: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata, 1981. p. 587-679.

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

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

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

BONECKER, A. C. T.; BONECKER, S. L. C. ; BASSANI, C. Plâncton Marinho. In: Renato Crespo Pereira, Abilio Soares Gomes. (Org.). Biologia Marinha. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência Ltda, 2002, v. 6, p. 103-125.

BONECKER, S.L.C.; QUINTAS, M.C.C., 2006. Salpidae. In: BONECKER, S.L.C. (Ed.). Atlas da Região Central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Museu Nacional. Rio de Janeiro. Série Livros/Documentos REVIZEE Score Central n. 21, p 185-203.

BONECKER, A. C. T.; BONECKER, S. L.; BASSANI, C. Plâncton marinho. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Org.). *Biologia Marinha*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009. V.9, p. 104-125.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

BRASIL. Resolução CONAMA nº 393, de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União** nº 153, de 09 de agosto de 2007. Seção 1, p. 72-73.

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

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

CASTRO FILHO, B. M. DE; MIRANDA, L. B. DE. **Physical oceanography of the Western atlantic continental shelf located between 4º N and 34º S**. Coastal segment (4,W) In: ROBINSON, A. R. & BRINK, K.H. (Eds). The Sea: The global coastal ocean – Regional studies and syntheses. Vol. 11. John Wiley& Sons. p. 209-251, 1998.

CASTRO, B. M. et al. **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., 2006.

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

CBE/CSE. “Dinoflagellate,” New World Encyclopedia. 2020 New World Encyclopedia contributors, <https://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Dinoflagellate&oldid=1041325>, [acesso 21 de novembro de 2022]

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

CETESB. **Variáveis de Qualidade de Águas**, 2008. 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. **Marine Geochemistry**. 2nd Ed. Liverpool: Blackwell Publishing Company. 2003.

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

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

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

COSTA et al. 2004. **Composição e distribuição espacial do microfitoplâncton da plataforma continental norte: costa do estado do Pará** (PROSPECXXII, Revisão-2001). Congresso Brasileiro de Oceanografia e XIV Semana Nacional de Oceanografia.

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

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

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

EKAU, W.; KNOPPERS, B. **An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf**. In: *Archive of Fishery and Marine Research*, 47 (2/3): 113-125, 1999.

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

ESNAL, G.B., DAPONTE, M.C. 1999. Salpida. In: Boltovskoy, D. (Ed.) *South Atlantic Zooplankton*, Backhuys Publishers, Leiden, p. 1423-1444.

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

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

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

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

ESCHRIQUE, S.A; SANTOS, M.L.S.; SARAIVA, A.L.L; DELFINO, I.B. e BOTELHO, V.F. Estudo dos Nutrientes no Ambiente Pelágico Adjacente à Costa do Estado do Pará. Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, 2006, 39:120-130.

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

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

FIALA, M. et al. **Phytoplankton biomass in the Indian sector of the Ocean during spring**. A comparsion with the summer situation. Deep-Sea Research II, v. 19, pp. 144-158, 2002.

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

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

GAETA, S. A.; BRANDINI F. P. **Produção primária de fitoplâncton entre o Cabro de São Tomé (RJ) e o Chuí**. In: Ambiente oceanográfico da plataforma continental

e do talude na região sudeste-sul do Brasil, Rossi-Wongtshowski, C. L. B. & Madureira, L. S. P. (Eds), São Paulo, EDUSP, 2006, pp. 265,358.

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

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

GARRISON, T.S. 2011. Essentials of Oceanography. 6ed. Brooks/Cole, USA 466pp. HALLEGRAEFF, G. M.; ANDERSON, D. M.; CEMBELLA, A. D. **Manual on harmful marine microalgae UNESCO, 1995**. In: Proença L. A., O. & Fernandes, L. F. Introdução de Microalgas no Ambiente Marinho: Impactos Negativos e Fatores Controladores. In: Julieta Silva, J. S.V. e Souza R. C. C. (Orgs.). Água de Lastro e Bioinvasão. Rio de Janeiro: Interciências. Cap. 7, p.77-97.

HARDY, E. et al. About the relationship between the zooplankton and fluctuating water levels of lago Camaleão, Central Amazonian várzea Lake. Amazoniana, v. 9, p. 43-52, 1984.

HAYS, G.C.; RICHARDSON, A.J.; ROBINSON, C. 2005. **Climate change and marine plankton**. Trends Ecol. Evol. 20, 337–344.

HELTSHE, J. F.; FORRESTER, N. E. Estimating specie richness using the Jakknife procedure. Biometrics 39(1):1-11. 1983.

Hidaka, K. 2008. Species composition and horizontal distribution of the appendicularian community in waters adjacent to the Kuroshio in winter-early spring. Plankton and Benthos Research, 3: 152-164.

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

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

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.

INA, 2022. Terminology: General Terms of Haptophyta. The International Nanno plankton Association. Disponível em: <http://ina.tmsoc.org/terminology/1general.htm>. Acesso em: 27 de março de 2022.

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

JEFFREY, S. W. et al. **Phytoplankton pigments in oceanography**. SCOR, UNESCO Publishing Paris, 1997.

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

KENNISH, M. J. 1990. Ecology of estuaries: anthropogenic effects. Boca Raton, CRC Press. 494p.

KIRK, J.T.O. 1994. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. Cambridge Univ. Press, New York, 509p.

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

KOLESNIKOVAS, C. et al. **Águas Subterrâneas**, v. 23, n. 0,1, p. 31-44, 2009.

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

KRUSKAL, J.B. and M. Wish 1978. **Multidimensional Scaling**. Sage.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. **Biological Oceanography**: Na Introductions. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Ltd., 1995, pp. 220-233.

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

LOPES, M. R. et al. O zooplankton marinho na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chui (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, E. C. L.; MADUREIRA, L. S. P. (Org.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. [S.l.: s.n.], 2006. p. 265-358.

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

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

MAFALDA JR., P. O. et al. Distribuição e abundância do ictioplâncton na costa norte da Bahia, Brasil. Tropical Oceanography, v. 32, n. 1, p. 69-88, 2004.

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

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

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

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

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

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

MCEWEN, G. F. et al. **A statistical analysis of the performance of the folsom plankton sample splitter, based upon test observations**. Meteorology and Atmospheric Physics, 7, 502-527, 1954.

MEDEIROS, C. et al. **Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of North-East Brazilian waters**. Arch. Fish. Mar. Res., 47 (2/3): 133-151, 1999.

MIGLIETTA, M.P., ROSSI, M., COLLIN, R. 2008. Hydromedusa blooms and upwelling events in the Bay of Panama, Tropical East Pacific. Journal of Plankton Research, 30(7): 783-793.

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

MISCHKE, U. Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. Acta Oecologica, v.24, p.511-523. 2003.

MITRA, A.; CASTELLANI, C.; GENTLEMAN, W.C.; JÓNASDÓTTIR, S.H.; FLYNN, K.J.; BODE, A.; HALSBAND, C.; KUHN, P.; LICANDRO, P.; AGERSTED, M.D.; CALBET, A.; LINDEQUE, P.K.; KOPPELMANN, R.; MØLLER, E.F.; GISLASON, A.; NIELSEN, T.G.; ST. JOHN, M. 2014. **Bridging the gap between marine**

biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link.
Prog. Oceanogr. 129, 176–199.

MOITA, M. T. C. J. Estrutura, variabilidade e dinâmica do fitoplâncton na costa de Portugal continental. Faculdade de ciências da Universidade de Lisboa, 2001.

MORAN, M.A., DURHAM, B.P. 2019. Sulfur metabolites in the pelagic ocean.
Nature reviews. Microbiology, 17: 665–678.

MOSER, G.; GALVÃO, G. S. Biological and oceanographic upwelling indicators at Cabo Frio (RJ). **Revista Brasileira de Oceanografia**, 45 (1/2):11-23, 1997.

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

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

NASCIMENTO, K. B.; OLIVEIRA, O. M. P. 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, 2010.

NEUMANN-LEITÃO, S.; MELO, P.A.M.C.; SCHWAMBORN, R.; DIAZ, X.F.G.; FIGUEIREDO, L.G.P.; SILVA, A.P.; CAMPELO, R.P.S.; DE MELO JÚNIOR, M., MELO, N.F.A.C.; COSTA, A.E.S.F.; ARAÚJO, M.; VELEDA, D.R.A.; MOURA, R.L.; THOMPSON, F. 2018. **Zooplankton from a reef system under the influence of the Amazon River plume.** Front. Microbiol. 9, 35.

NEVEUX, J. et al. Green photosynthetic bacteria associated with the deep chlorophyll maximum of the Sargasso Sea, Cr. Acad. Sci. Paris Sér III, 308: 09-14, 1989.

NIENCHESKI, L. F. H. et al. **Nutrients and suspended matter behaviour in the Patos Lagoon Estuary (Brazil)**. In: PERILLO, G.M.E., PICCOLO, M.C., PINO-QUIVIRA, M. Estuaries of South America. Heidelberg: Springer-Verlag, 1999, p. 67-81.

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

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

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

OLIVEIRA, O. M. P. et al. **Chave de identificação dos Ctenophora da costa brasileira**. Biota Neotrop. Sep/Dez 2007 vol. 7, no. 3
<http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?identifi> cation-
key+bn03507032007. ISSN 1676-0603.

PAYTAN, ADINA; McLAUGHLIN, KAREN (fevereiro de 2007). **The Oceanic Phosphorus Cycle**. Chemical Reviews. 107 (2): 563–576.

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

PEDROSA, P.; PARANHOS, R.; SUZUKI, M. S.; ANDRADE, L.; SILVEIRA, I. C. A. SCHMIDT, A. C. K. FALCÃO, A. P. Hidroquímica de massas d'água oceânicas em regiões da margem continental brasileira, Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Geochemica Brasiliensis*, 20(1)101-119, 2006

PETROBRAS. 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. **Relatório técnico.** Relatório de análise de dados meteo-oceanográficos para o fpso cidade de santos no período de 28 de fevereiro a primeiro de março de 2023. RL -3010.84-5521-93A-PEA-025. 2023

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Setembro/2009). 1ª Campanha – Fase de pré-instalação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2010a.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Janeiro/2010). 2ª Campanha – Fase de Instalação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2010b.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Dezembro/2010 e Janeiro/2011). 3ª Campanha – 1ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2012.

PETROBRAS/ANALYTICAL SOLUTIONS. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Novembro/2011). 4ª Campanha – 2ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2013.

PETROBRAS/BIOCONSULT. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Fevereiro/2021). 13ª Campanha – 11ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Sistema Uurguá, Bacia de Santos. 2022b.

PETROBRAS/BIOCONSULT. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Fevereiro/2021). 14ª Campanha – 12ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Sistema Uruguá, Bacia de Santos. 2022b.

PETROBRAS/BIOCONSULT. **RTA - Relatório Técnico de Análise** 14ª Campanha – Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental Específico da Atividade de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Polo Uruguá (Bloco BS-500), Bacia de Santos. 2023

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Dezembro/2012). 5ª Campanha – 3ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2014.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Janeiro/2014). 6ª Campanha – 4ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2015.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Fevereiro/2015). 7ª Campanha – 5ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2016.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Novembro/2015). 8ª Campanha – 6ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2017.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Dezembro/2016). 9ª Campanha – 7ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de

Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2018.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Janeiro/2018). 10ª Campanha – 8ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2019a.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Agosto/2019). 11ª Campanha – 9ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2019b.

PETROBRAS/BOURSCHEID. **Relatório Técnico de Avaliação Ambiental.** (Outubro/2020). 12ª Campanha – 10ª Campanha da Fase de Operação. Projeto de Monitoramento Ambiental do Sistema de produção e escoamento de gás natural e petróleo no Bloco BS-500, Bacia de Santos. 2020.

PETROBRAS/ENSR-AECOM. **Estudo de Impacto Ambiental.** Sistema de Produção e Escoamento do Pólo BS-500 (antigo Bloco BS-500), localizado na Bacia de Santos. 2007.

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

PETROBRAS/OCEANPACT. **Relatório técnico de Bordo Oceanpact.** 15ª Campanha de Monitoramento Ambiental de Plataformas Representativas da Bacia de Santos (PMPR-BS) – PMPR_URG_C15 (FPSO Cidade de Santos). Monitoramento Ambiental Costeiro Oceânico, Bacia de Santos – RL-3A00.00-5521-996-OC8-002. 2023.

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

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

PINTO-COELHO, R. M.; COELHO, M. M.; ESPÍRITO-SANTO, M. M.; CORNELISSEN, T. G. 1999. **Efeitos da eutrofização na estrutura da comunidade planctônica na lagoa da Pampulha**. In: Henry, R. ed. Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu, FUNDBIO/FAPESP. p. 553-572.

PIR2/TRANSPETRO. Relatório de Impacto Ambiental Linha de Transferência de Água de Formação e Emissário para Escoamento de Efluentes Industriais Tratados do Terminal da Baía de Ilha Grande (TEBIG), Angra dos Reis, RJ. [S.l: s.n.], 2009.

PORTILHO-RAMOS, R. C. et al. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. **Rev. Bras. Paleont.**, 9(3):349-354, 2006.

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

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

RAVEN, P. H. et al. Biologia Vegetal. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. p. 906.

RÉ, P. Ecologia da postura e da fase planctônica de *Sardinapilchardus* (Walbaum, 1792) na região central da costa portuguesa. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais**, v. 23, p. 5-81, 1986.

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

REBELLO, A. L. et al. **Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara.** 1988, [S.l: s.n.], 1988. p. 419-430.

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

RUPPERT, E. E. et al. **Zoologia dos invertebrados.** 7 ed. São Paulo: Roca, 2005. P.1145.

RYTHER, J. H.; DUNSTAN, W. M. **Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine enviroment.** Science, 171, p.1008-1013, 1971.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal, v. 27, p. 44, 1948.

SHELL/ANALYTICAL SOLUTIONS. **On analytical solutions for liquid-filled non-shallow conical shell assemblies.** Journal of the South African Institution of Civil Engineering, 46(3) 2004, Pages 10–15, Paper 575.

SHI, Y.-Q.; ZUO, T. YUAN, W.; SUN, J.-Q.; WANG, J. 2018. **Spatial variation in zooplankton communities in relation to key environmental factors in the Yellow Sea and East China Sea during winter.** Continental Shelf Research. doi:10.1016/j.csr.2018.10.004.

SILVEIRA, I. C. A. DA et al. Corrente do Brasil ao largo da Costa leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, v. 48, n. 2. p. 171-183, 2000.

SIMONEIT, B. R. T.; MAZURIK, M. A. **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, 1982.

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. Measurement of diversity. Nature, v. 163, p. 688, 1949.

SMETI, H.; PAGANO, M.; MENKES, C.; LEBOURGES-DHAUSSY, A.; HUNT, B.P.V.; ALLAIN, V.; RODIER, M.; DE BOISSIEU, F.; KESTENARE, E.; SAMMARI, C. 2015. **Spatial and temporal variability of zooplankton off New Caledonia (Southwestern Pacific) from acoustics and net measurements.** J. Geophys. Res.: Oceans 120, 2676–2700

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER - SMEWW. **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.

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

SOUZA, B. D. **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. 2008, 141p.

SOUZA, M. C. A. **A corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas.** Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2000, 178 p.

SUMICH, JAMES L. An Introduction to the Biology of Marine Life. Wm. C. Brown Publishers, 1996, 461 p.

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

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

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

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

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

_____ **Method 350.1**. Determination of Ammonia Nitrogen by Semi-Automated Colorimetry.

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

_____ **Method 5030C (SW-846)**. Purge-and-Trap for Aqueous Samples.

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

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

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

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

VALE, P. Biotoxinas Marinhas. Revista Portuguesa de Ciências Veterinária, p. 3-18, 2004.

VALENTIN, J. L. et al. Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two-dimensional structure and variability during a wind cycle. Continental Shelf Research, v. 7, n. 1, p. 77-88, 1987.

VALENTIN, J. L. 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, 1988.

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

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

VEGA-PÉREZ, L. M.; CAMPOS, M. A. G.; SCHINKE, K. P. Checklist of class appendicularia (Chordata: Tunicata) from São Paulo State, Brazil. Biota Neotrop., 11(1a):<http://www.biotaneotropica.org.br/v11n1a/en/abstract?inventory+bn0401101a2011.2011>.

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

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

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

VIEIRA, R. L. E. Propriedades Biogeoquímicas das Massas d'Água no Oceano Atlântico Tropical Oeste. 2021. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em <https://www.bdtu.uerj.br:8443/handle/1/17127>.

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

VILLATE, F.; MORAL, M.; VALENCIA, V. Mesozooplankton community indicates climate change in a shelf area of the inner bay of Biscay throughout 1988 to 1990. J. Plank. Res., v. 19, p. 1617-1636, 1997.

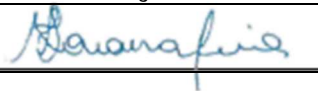
WILLIAN, K.W.; MAESTRINI, L.; MAESTRINI, S. 1993. **Measurement of Primary Production from the Molecular to the Global Scale.** ICES. Mar. Sci. Symp., Bergen, 197:1-2.

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

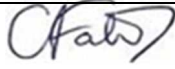
YAMAGISHI-COSTA, J.; SAMPAIO, D.S.; MARQUES, D; CAMPOS, P., 2022. Filo Haptophyta. Disponível em: <http://www.criptogamas.ib.ufu.br/node/14>. Acesso em: 27 de março de 2022.

YODER, J. A. et al. **Annual cycles of phytoplankton chlorophyll concentrations in the global oceans:** A satellite view. Global Biogeochem. Cycles 5: 119-134, 1993.

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 e Plâncton, Análise integrada, Considerações Finais
Assinatura	

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

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

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

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

X - ANEXOS



Anexo X-1 – Cartas de aceite de material biológico

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

Anexo X-3 – Laudos analíticos das amostras biológicas

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

Anexo X-5 – Resalva Zooplâncton