



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade Oceanografia

Raquel Neves Tavares Lopes

Diversidade funcional do fitoplâncton no oceano Atlântico Tropical Oeste

Rio de Janeiro

2024

Raquel Neves Tavares Lopes

Diversidade funcional do fitoplâncton no oceano Atlântico Tropical Oeste

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como requisito final para o título de Doutor em Oceanografia. Área de concentração: Caracterização, diagnóstico e evolução de ambientes marinhos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Gleyci Aparecida Oliveira Moser

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Letícia Cotrim da Cunha

Rio de Janeiro

2024

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

L864	Lopes, Raquel Neves Tavares. Diversidade funcional do fitoplâncton no oceano Atlântico Tropical Oeste./ Raquel Neves Tavares Lopes. – 2024. 174 f. : il. Orientadora: Gleyci Aparecida Oliveira Moser. Coorientadora: Letícia Cotrim da Cunha Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia. 1. Fitoplancton – Teses. 2. Ecologia marinha – Teses. 3. Ecologia aquática – Teses. 4. El Niño, Corrente – Teses. 5. La Niña, Corrente – Teses. I. Moser, Gleyci Aparecida Oliveira. II. Cunha, Letícia Cotrim da. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Faculdade de Oceanografia. V. Título. CDU 574.583
------	--

Bibliotecária responsável: Ingrid Pinheiro – CRB-7: 7048

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Raquel Neves Tavares Lopes

Diversidade funcional do fitoplâncton no oceano Atlântico Tropical Oeste

Tese apresentada, como requisito final para obtenção do grau de Doutorado, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Caracterização, diagnóstico e evolução de ambientes marinhos.

Aprovada em: 28 de Fevereiro de 2024

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Gleyci A. O. Moser (Orientadora)

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof^a. Dr^a. Leticia Cotrim da Cunha (Coorientadora)

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof. Dr. Alexandre Macedo Fernandes

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof. Dr. Fernanda Piedras

Faculdade de Oceanografia - UERJ

Prof.^a Dra. Silvia Mattos Nascimento

UNIRIO

Prof.^a Dra. Priscila Kienteca Lange

Departamento de Meteorologia - IGEO/CCMN/UFRJ

Rio de Janeiro

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, razão do meu existir.

AGRADECIMENTO

Esta tese foi desenvolvida na Faculdade de Oceanografia (FAOC) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), estando enquadrada na área de concentração caracterização, diagnóstico e evolução de ambientes marinhos. A coleta de amostras e processamento dos dados hidrográficos foi realizada pelo grupo multi-institucional do projeto PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*) no Brasil, a bordo do Navio Oceanográfico Vital de Oliveira da Marinha do Brasil. A parte de análise de nutrientes foi realizada no laboratório da Unidade Multiusuário de Análise Ambientais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e no Laboratório de Oceanografia Química (LABOQUI) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). A estas instituições agradeço a possibilidade e o apoio para a realização da tese.

Agradeço, também, a Dr^a. Priscila K. Lange, pelos dados satelitais de clorofila e temperatura; e ao Prof. Dr. Alexandre Macedo Fernandes e a Dr^a. Elisa Nóbrega Passos, pela ajuda com a análise dos dados de intensidade de vento.

A Prof^a. Dr^a. Gleyci A. O. Moser (Orientadora) e a Prof^a. Dr^a. Leticia Cotrim da Cunha (Coorientadora), dedico um especial agradecimento pela orientação, ensinamentos prestados, rigor científico e apoio constante.

A Prof^a. Dr^a. Josefa Varela Guerra agradeço a revisão crítica do texto desta tese.

Deixo expresso meu agradecimento a equipe do laboratório de Ecologia e Cultivo do fitoplâncton marinho (LABCULT), nomeadamente a Dr^a. Domenica Teixeira de Lima, o Dr. Caio Cesar Ribeiro, a Prof^a. Dr^a. Fernanda Reinhardt Piedra, o mestrando Diogo Lannes Melo, por toda ajuda e ensinamentos.

Agradeço a minha banca pela revisão e sugestões que contribuíram para a melhora do meu trabalho.

Por último meu maior agradecimento dirijo-o a minha mãe, pela motivação e apoio constante ao longo da elaboração dessa tese e de toda a minha vida.

A persistência é o caminho do êxito.

Charles Chaplin

RESUMO

LOPES, Raquel Neves Tavares. *Diversidade funcional do fitoplâncton no Atlântico Tropical Oeste*. 2024. 174 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Como a composição da comunidade fitoplanctônica afeta o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, é importante saber quais fatores governam a sua dinâmica. Por serem facilmente dispersos, dado seu pequeno tamanho e alta abundância, é razoável supor que as condições locais possam atuar como filtros ambientais, favorecendo grupos de espécies que compartilham características adaptativas semelhantes. Existem poucos dados sobre a distribuição espacial da comunidade fitoplanctônica no Atlântico Tropical Ocidental e não há estudos sobre a diversidade funcional do fitoplâncton relacionando as características físicas e químicas da zona fótica neste gradiente latitudinal, sob a influência de a ITCZ (5° a 10° N). Portanto, o presente estudo avaliou a distribuição espacial de grupos funcionais fitoplanctônicos no Atlântico Tropical durante duas campanhas, em 2017 sob influência de La Niña e em 2018 sob influência de El Niño, através de análises qualitativas e quantitativas de organismos nanoplanctônicos e microplanctônicos, biovolume e características funcionais. Grupos funcionais foram formados e testados estatisticamente, e apesar da semelhança entre os valores de biomassa e densidade fitoplanctônica nas observações de 2017 e 2018, a comunidade fitoplanctônica apresentou composição diferente, com maior abundância de cianobactérias diazotróficas em 2017 e aumento na riqueza funcional (FRic), no âmbito do evento La Niña, em comparação com a campanha de 2018, no âmbito do evento El Niño. O aumento da temperatura das águas superficiais e o enfraquecimento da divergência e consequentemente do aporte de nutrientes para a zona eufótica, traduzido como variações na relação N/P, durante o evento El Niño afetaram a abundância de características funcionais e a riqueza de espécies na ITCZ. No contexto biogeográfico, os gradientes ambientais observados variaram pouco quando comparados às variações temporais (anos sob influência de La Niña ou El Niño), porém, a divergência observada sob influência da ITCZ em 2017, criou um gradiente discreto na temperatura da água superficial e na disponibilidade de nitrogênio. A temperatura atuou como um filtro ambiental, afetando a distribuição das características das cianobactérias diazotróficas, o que confere a esses organismos uma vantagem adaptativa e afeta as concentrações de nitrogênio na camada mista.

Palavras-chaves: diversidade funcional; equitatividade funcional; cianobactérias diazotróficas; diatomáceas; dinoflagelados.

ABSTRACT

LOPES, Raquel Neves Tavares. *Functional diversity of phytoplankton in the Western Atlantic Tropical*. 2024. 174 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024

As the composition of the phytoplankton community affects the functioning of aquatic ecosystems, it is important to know which factors govern its dynamics. Because they are easily dispersed, given their small size and high abundance, it is reasonable to assume that local conditions can act as environmental filters, favoring groups of species that share similar adaptive characteristics. There are a few data on the spatial distribution of the phytoplankton community in the Western Tropical Atlantic and there are no studies on the functional diversity of phytoplankton relating the physical and chemical characteristics of the photic zone in this latitudinal gradient, under the influence of the ITCZ (5° to 10° N). Therefore, the present study evaluated the spatial distribution of phytoplanktonic functional groups in the Tropical Atlantic during two campaigns, in 2017 under La Niña influence and in 2018 under El Niño influence, through qualitative and quantitative analysis of nanoplanktonic and microplanktonic organisms, biovolume and functional traits. Functional groups were formed and statistically tested, and despite the similarity between the values of biomass and phytoplankton density in the 2017 and 2018 observations, the phytoplankton community showed different composition, with greater abundance of diazotrophic cyanobacteria in 2017 and an increase in functional richness (FRic), under the La Niña event, when comparing to 2018 campaign, under a El Niño event. The increase in surface water temperature and weakening of divergence and consequently of nutrient input to the euphotic zone, translated as variations in the N/P ratio, during the El Niño event affected the abundance of functional traits and species richness at ITCZ. In a biogeographic context, the environmental gradients observed varied little when compared to temporal variations (years under the influence of La Niña or El Niño), however, the divergence observed under the influence of the ITCZ in 2017, created a discrete gradient in surface water temperature and nitrogen availability. Temperature acted as an environmental filter, affecting the traits distribution of diazotrophic cyanobacteria that gives these organisms an adaptive advantage and affects nitrogen concentrations in the mixed layer.

Keywords: functional diversity; functional equitability; diazotrophic cyanobacteria; diatom;. dinoflagellates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Alguns exemplos dos organismos do fitoplâncton.	27
Figura 2-	Diagrama do modelo de estratégia de vida r-K	33
Figura 3-	Diagrama de traços funcionais e suas funções ecológicas.....	35
Figura 4-	Série temporal da contagem de artigos sobre a ecologia do plâncton que utilizam em seu método os traços e diversidade funcionais.	36
Figura 5-	Ciclo do nitrogênio no oceano.	39
Figura 6-	Modelo da concentração média de diazotróficos.....	40
Figura 7-	Províncias biogeográficas de Longhurst.....	42
Figura 8-	Esquema de uma pluma de rio no estuário e no oceano adjacente.	46
Figura 9-	Esquema de circulação superficial com as principais correntes do Atlântico Sul e Equatorial.....	52
Figura 10-	Climatologia mensal reconstruída usando o modelo empírico de salinidade de superfície.....	56
Figura 11-	Variação sazonal na posição da Zona de Convergência Intertropical	59
Figura 12-	Localização dos pontos de amostragem.....	61
Figura 13-	Fotos das etapas da contagem.	63
Figura 14-	Massas d'Água (limites definidos pela densidade) na profundidade de coleta no transecto 38°W	70
Figura 15-	Diagrama T-S do transecto 38°W	71
Figura 16-	Distribuição vertical das propriedades salinidade, temperatura (°C), oxigênio dissolvido (mL L ⁻¹) e fluorescência (em unidades de clorofila mg m ⁻³) no transecto 38°W.....	72
Figura 17-	Diagrama da área de estudo: Anomalia do nível do mar, correntes geostróficas, intensidade e direção do vento e concentração de Diazotróficas.....	75
Figura 18-	Diagrama da área de estudo: Clorofila e temperatura.....	76
Figura 19-	Concentração de nutrientes nas campanhas de 2017 e 2018, longo do transecto 38°W.	78
Figura 20-	Distribuição latitudinal da comunidade de cianobactérias diazotróficas livres e da simbiose entre diatomáceas e cianobactérias diazotróficas (DDAs), na	

	superfície (Sup.) e máximo subsuperficial de clorofila (DCM) para o período amostral.....	80
Figura 21-	Espécies diazotróficas observadas na campanha de 2017- PIRATA.....	81
Figura 22-	Abundância relativa dos principais grupos taxonômicos durante o período amostral- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e de 2018 (Comissão PIRATA XVIII).	86
Figura 23-	Abundância relativa e densidade de células (células/L), dos grupos de modo nutricional, durante o período amostral- campanha de 2017 (PIRATA XVII) e de 2018 (PIRATA XVIII).	87
Figura 24-	Grupos funcionais.	90
Figura 25-	PCA.	91
Figura 26-	Análise dos grupos	92
Figura 27-	Grupos funcionais	93
Figura 28-	A riqueza, diversidade e equitatividade taxonômica (alfa) ao longo do transecto 38°W.	94
Figura 29-	Índices de diversidade funcional, por campanha (XVII ou XVIII), estação amostral e profundidade (S- superfície ou D- máximo subsuperficial de clorofila).	95
Figura 30-	Diagrama box-plot dos índices de diversidade funcional comparando 3 regiões oceânicas: Atlântico Tropical Oeste; Vórtices oriundos da corrente das Agulhas e Península Oeste Antártida.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela I-	Resumo das principais características dos organismos com estratégias de vida r e K.....	32
Tabela II-	Resumo das principais características dos organismos segundo as estratégias C (competitiva), S (estresse-tolerante) e R (ruderal).....	34
Tabela III-	Características utilizadas para definir águas superficiais com mistura com a pluma e águas oceânicas.	47
Tabela IV-	Concentração de nutrientes (Máximas, Mínimas, Médias e Desvio Padrão) nas campanhas de 2017 e 2018 PIRATA, transecto 38°W.	77
Tabela V-	Razão N/P de cada ponto de coleta.	79
Tabela VI-	Densidade de células dos grupos taxonômicos (células/L) durante o período amostral- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e de 2018 (Comissão PIRATA XVIII).	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACAN	Água Central do Atlântico Norte
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
aCDOM	Coeficiente de absorção da matéria orgânica dissolvida colorida
ACS	Água Circumpolar Superior
ADP	Adenosina difosfato
AFA	Água de fundo Antártida
AIA	Água Intermediária Antártida
ANOSIM	<i>Analysis of Similarities</i>
APAM	Água Profunda do Atlântico Norte
APLR	<i>Austral polar</i> (Província Polar Austral)
AT	Água Tropical
Atm.	Atmosfera
ATP	Adenosina trifosfato
B.	Bioma
BG	Baía de Guanabara
BRAZ	<i>Brazilian Current Coast</i> (Corrente Costeira Do Brasil)
CB	Corrente do Brasil
CCA	Análise de Correlação Canônica
CCNE	Contracorrente Norte Equatorial
CDOM	<i>Colored Dissolved Organic Matter</i> (Matéria Orgânica Dissolvida Colorida)
CE	Contracorrente Equatorial
Cél	Células
Cl- <i>a</i> /Chl	Clorofila- <i>a</i> mg/m ³
CLIVAR	<i>Climate Variability and Predictability Program</i>
CNB	Corrente Norte do Brasil

CNE	Corrente Norte Equatorial
CNRS	<i>Centre National de la Recherche Scientifique</i>
COA	Componente opticamente ativo
CSE	Corrente Sul Equatorial
cSEC	<i>South Equatorial Current Central</i> (Corrente Sul Equatorial Central)
C-S-R	<i>Competitive - Stress-tolerant - Ruderal</i> (Competitivo - Estresse-tolerante – Ruderal)
CTD	<i>Conductivity, Temperature and Depth</i> (condutividade, temperatura e profundidade)
DCM	<i>Depth of Chlorophyll Maximum</i> (Profundidade De Máxima Clorofila)
DDA	<i>Diatom Diazotroph Associations</i> (Associação de Diatomáceas e Diazotróficos)
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DNA	Ácido desoxirribonucléico
E_k	Parâmetro de saturação de luz
ENSO	<i>El Niño-Southern Oscillation</i> (El Niño-Oscilação Sul)
ESS	Modelo empírico de salinidade de superfície
Etc	Et Cetera
ETR	Taxa de transporte de elétrons, unidade $\mu\text{mol de elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
$\text{ETR}_{\text{Máx}}$	Taxa de transporte de elétrons máxima, unidade $\mu\text{mol de elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
EUC	<i>Equatorial Undercurrent</i> (Subcorrente Equatorial)
FD	<i>Functional Diversity</i> (Diversidade Funcional)
FDis	Dispersão funcional
FEve	Equitatividade Funcional
FIA	Análise por injeção de fluxo
Fm	Fluorescência máxima
Fo	Fluorescência intrínseca observada
FRic	Riqueza Funcional
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

Fv	Fluorescência variável
GD	<i>Guinea Dome</i> (Corrente das Guianas)
H'	Índice de Diversidade de espécies de Shannon-Wiener
HABs	<i>Harmful Algal Blooms</i> (Florescimentos de algas prejudiciais)
HPLC	<i>High performace liquid chromatography</i>
IFREMER	<i>French Research Institute for Exploitation of the Sea</i>
I_k	Irradiância de saturação - intensidade de luz em $P_{MÁX}$
$I_{MÁX}$	Intensidade luminosa onde o crescimento é máximo ($P_{MÁX}$ e $\mu_{MÁX}$)
IMMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INAG	Instituto Nacional da Água
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRD	<i>Institut de recherche pour le développement</i>
ITCZ	<i>Inter Tropical Convergence Zone</i> (Zona de Convergência Intertropical)
J	Índice de Equitatividade de Pielou
K	Capacidade de suporte
LABALGAS	Laboratório de Ecologia e Fisiologia do Fitoplâncton
LABCULT	Laboratório de cultivo e Ecologia de Microalgas Marinhas
LABOFIS	Laboratório de Oceanografia Física e Meteorologia
LABOQUI	Laboratório de Oceanografia Química
LAGOM	Laboratório de Geoquímica Orgânica Marinha
MDL	Máxima Dimensão Linear
MLD	<i>Mixed Layer Depth</i> (profundidade da camada de mistura) [OBJ]
MOD	Matéria orgânica dissolvida
MODIS	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
N total	Número total de organismos
N	Norte
NADPH	Fosfato de dinucleotídeo de adenina e nicotinamida

NATR	<i>North Atlantic tropical gyre</i> (Giro tropical do Atlântico Norte)	
NBC	<i>North Brazil Current</i> (Corrente Norte do Brasil)	
NBUC	<i>North Brazil Undercurrent</i> (Subcorrente Norte do Brasil)	
NE	Nordeste	
NEC	<i>North Equatorial Current</i> (Corrente Norte Equatorial)	
NECC	<i>North Equatorial Countercurrent</i> (Contracorrente Norte Equatorial)	
NEUC	<i>North Equatorial Undercurrent</i> (Subcorrente Norte Equatorial)	
Ni	Densidade de indivíduos de um dado gênero ou espécie	
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>	
nSEC	<i>South Equatorial Current northern</i> (Corrente Sul Equatorial norte)	
ODV	<i>Ocean Data View</i>	
OISST	<i>Optimum Interpolation Sea Surface Temperature</i>	
ONI	<i>Oceanic Niño Index</i>	
P	Taxa específica	mg C mg ⁻¹ Chl h ⁻¹
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa	μmol fótons m ⁻² s ⁻¹
PAST	<i>Paleontological Statistical</i>	
PCA	Análise de componentes principais	
PCoA	<i>Principal Coordinate Analysis</i> (Análises de Coordenadas Principais)	
pH	Potencial Hidrogeniônico	
Pi	Abundância relativa de gêneros/espécies;	
P-I	Curva de luz – fotossíntese	
PIRATA	<i>Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic</i>	
P _{MÁX} /μ _{MÁX}	Crescimento máximo do fitoplâncton unidades dia ⁻¹	mg C mg ⁻¹ Chl h ⁻¹ ou ln
PMEL	<i>Pacific Marine Environmental Laboratory</i>	
POAS	Propriedades ópticas aparentes	
POIS	Propriedades ópticas inerentes	

PP	Produtividade Primária	$\mu\text{mol de elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
PPB	Produtividade primária bruta	
PPL	Produtividade primária líquida	
PSI	Fotossistema 1	
PSII	Fotossistema 2	
PSU	<i>Practical Salinity Units</i> (unidades práticas de salinidade)	
r	Capacidade de reprodução	
S	Riqueza	
S	Sul	
S	Inclinação espectral	
s/v	Razão superfície/volume	
SALT	<i>South Atlantic Subtropical Gyre province</i> (província do Giro Subtropical do Atlântico Sul)	
SE	Subcorrente Equatorial	
SE	Sudeste	
SeaWiFS	<i>Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor</i>	
SEUC	<i>South Equatorial Current</i> (Subcorrente Sul Equatorial)	
SMOS	<i>Moisture and Ocean Salinity</i>	
SNE	Subcorrente Norte Equatorial	
Sp.	Espécie	
Spp.	Espécies	
SS	Salinidade sintética	
sSEC	<i>South Equatorial Current Southern</i> (Corrente Sul Equatorial sul)	
SST	<i>Sea Surface Temperature</i> (Temperatura da superfície do mar)	
T-S	Temperatura e Salinidade	
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro	
UFF	Universidade Federal Fluminense	

UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UPGMA	<i>Unweighted Pair Group Method using Arithmetic mean.</i>
UPGMC	<i>Unweighted Pair-Groups Method Centroid</i>
valor-p	Probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou igual ao encontrado
W	<i>West</i> (Oeste)
WAP	<i>West Antarctic Peninsula</i> (Península Oeste Antártida)
WPGMA	<i>Weighted Pair Group Method with Averaging</i>
WPGMC	<i>Weighted Pair Group Method Centroid</i>
WTRA	<i>Western Tropical Atlantic Province</i> (Giro tropical do Atlântico Norte)
ZD	Zona de divergência
ϕ PSII	Eficiência máxima do fotossistema II

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem	
/	Divisão	
~	Aproximadamente	
<	Menor que	
>	Maior que	
±	Mais ou menos	
°C	Grau Celsius	
μ	Taxa de crescimento	ln unidades dia-1
μm / μM	Micrômetro	
μmol/L	Micromol por litro	
¹⁴ C	Isótopo radioativo de carbono	
C	Carbono	
-CH ₃	Radical metil	
-CHO	Radical carbonila	
CO ₂	Gás dióxido de carbono	
d	Dia	
DFe	Ferro dissolvido	
DIP	Fosforo inorgânico dissolvido	
Fe	Ferro	
Gt	Gigatonelada	1Gt = 10 ⁹ t
H	Hidrogênio	
h	Hora	
H ₂ O	Molécula da água	
Kg	Quilograma	
Km	Quilometro	

L	Litro	
ln	Logaritmo neperiano	
m	Metros	
m ³	Metros cúbicos	
Mg	Magnésio	
mg	Miligrama	
ml	Mililitro	
mm	Milímetro	
N	Nitrogênio	
N ₂	Dinitrogênio – Nitrogênio atmosférico	
NH ₄ ⁺	Amônio	
NID	Nitrogênio inorgânico dissolvido	
nm	Nanômetro	
NO ₂ ⁻	Nitrito	
NO ₃ ⁻	Nitrato	
O ₂	Gás oxigênio	
P	Fósforo	
s	Segundo	
Si	Sílica	
sv	Sievert	
Tg	Teragrama	1 Tg = 10 ⁶ t
α	ALPHA- Eficiência fotossintética, unidade μmol de elétrons m ⁻² s ⁻¹	
β	Beta	
γ	Gamma	
λ	Lambda (Comprimento de onda, em nm –unidade)	
μ	Mu	
φ	Phi	

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	22
1	OBJETIVOS	25
1.1	Objetivo Geral.....	25
1.2	Objetivos Específicos:.....	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1	Projeto PIRATA	26
2.2	Fitoplâncton	26
2.2.1	Morfologia	28
2.2.2	Luz	29
2.2.3	Nutrientes.....	29
2.2.4	Predação: Herbivoria	29
2.2.5	Modo de nutrição	30
2.2.6	Reprodução e ciclo de vida.....	31
2.1.6.1	Modelo de duas estratégias de vida: r e K	31
2.1.6.2	Modelo de três estratégias de vida: C-S-R	33
2.1.6.3	Modelo de grupos funcionais.....	34
2.1	Fixação do Nitrogênio por organismos planctônicos.....	36
2.2	Províncias Biogeográficas Marinhas de Longhurst	41
2.3	Correntes marítimas de superfície	44
2.4	Continuum Amazônico.....	45
2.5	ENSO	48
2.5.1	El Niño.....	49
2.5.2	La Niña	50
3	METODOLOGIA.....	51
3.1	Área de estudo.....	51
3.1.1	Correntes (CB/CNB/CCNE).....	52
3.1.2	Pluma do rio Amazonas.....	55
3.1.3	Zona de Convergência Intertropical	57

3.2	Amostragem	60
3.3	Análise laboratorial	61
3.3.1	Análise Química	61
3.3.2	Análise da comunidade fitoplanctônica: Análise qualitativa e quantitativa, Traços e Diversidade Funcional:	62
3.4	Análise dos dados.....	64
3.4.1	Densidade Fitoplanctônica.....	64
3.4.2	Cálculo do biovolume.....	64
3.5	Tratamento dos dados bióticos e estatística	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1	Cenário Oceanográfico.....	69
4.2	Distribuição dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e oxigênio.....	76
4.3	Comunidade de protistas planctônicos	80
4.4	Comunidade planctônica: estrutura taxonômica e funcional.....	87
4.4.1	Traços funcionais e diversidade funcional do microplâncton	87
4.4.2	Comparação entre os índices de diversidade taxonômicos e funcionais	94
	CONCLUSÃO.....	100
	PESPECTIVAS.....	102
	REFERÊNCIAS.....	103
	APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII.....	Erro! Indicador não definido.5
	APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII	142
	APÊNDICE C- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII.....	152
	APÊNDICE D- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII	159
	APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume	165
	APÊNDICE F- Traços funcionais	171

INTRODUÇÃO

O fitoplâncton marinho interfere diretamente nos ciclos biogeoquímicos, notadamente nos do carbono e nitrogênio, através da bomba biológica, durante a fixação de carbono inorgânico e nitrogênio atmosférico no processo da fotossíntese. Grupos taxonômicos e funcionais desempenham diferentes papéis biogeoquímicos (CARVALHO et al., 2020).

O fitoplâncton é composto por grupos taxonômicos e funcionalmente diversos (ACEVEDO-TREJOS et al., 2015), envolvendo organismos com diferentes requisitos e estratégias para adquirir luz e nutrientes, bem como diferentes estratégias de competição por recursos e prevenção de predação (ACEVEDO-TREJOS et al., 2015; FALKOWSKI et al., 2004). Assim, agrupar espécies com base em suas características morfométricas e fisiológicas, pode ser uma ferramenta mais completa, para caracterizar a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, em diferentes condições ambientais (LELES et al., 2014; MOSER et al., 2017).

Grupos funcionais (REYNOLDS et al., 2002a) são grupos de espécies, com ou sem relação filogenética, baseadas em características morfológicas e fisiológicas semelhantes (por exemplo, razão superfície/volume S/V , máxima dimensão linear – MDL, presença de flagelos). Através da abordagem funcional os organismos similares em estrutura e função são agrupados, considerando os traços funcionais (atributos), não as espécies, e estes são selecionados pelas variáveis ambientais (VIOLLE et al., 2007). A abordagem funcional é, portanto, uma poderosa ferramenta de previsão para a dinâmica de ecossistemas (BRASIL; HUSZAR, 2011; MCGILL et al., 2006; REYNOLDS, 2006). Ela baseia-se no agrupamento de espécies com características funcionais convergentes, ou seja, propriedades morfológicas, fisiológicas e ecológicas (LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2008), compatíveis com a hidrodinâmica de cada sistema (DOLBETH et al., 2016; VERÍSSIMO et al., 2017).

As características funcionais também são uma ferramenta útil para determinar a diversidade funcional (FD), que reflete a diversidade de funções ecológicas como indicadora da dinâmica dos fatores que afetam a estrutura do ecossistema (PETCHEY; GASTON, 2006). A diversidade funcional pode ser resumida através de índices baseados em valores de traços e na importância de cada espécie na comunidade, utilizando a determinação direta de aspectos da distribuição de espécie em seu nicho espacial (MOUILLOT et al., 2005). Atualmente, estão disponíveis uma variedade de métricas de diversidade funcional, incluindo índices baseados em dendrogramas funcionais e índices baseados no espaço funcional multidimensio-

nal (por exemplo: Riqueza Funcional (FRic) e Equitatividade Funcional (FEve) de acordo com Villéger; Mason; Mouillot, (2008) e Dispersão funcional (FDis) proposta por Laliberté; Legendre, (2010)).

Desenvolvido primeiramente para estudos de comunidades fitoplanctônicas de sistemas aquáticos continentais (REYNOLDS, 1988), a abordagem de grupos funcionais tornou-se uma ferramenta importante para estudos em ambientes marinhos e estuarinos (COSTA; HUSZAR; OVALLE, 2009; MOSER et al., 2017). Apesar disso, em regiões oceânicas a abordagem de grupos funcionais é menos empregada (CESAR-RIBEIRO et al., 2020; GRACO-ROZA et al., 2022).

Existe um consenso crescente de que, para melhor entender os padrões da comunidade, é preciso levar em conta a composição e distribuição das características e a diversidade funcional do fitoplâncton (ERNST et al., 2006).

A comunidade fitoplanctônica do Atlântico Tropical vem recebendo maior atenção da comunidade científica nos últimos anos (ESTRADA et al., 2016; FARIAS et al., 2022). De acordo com Estrada et al. (2016) a comunidade microfitoplanctônica, da coluna de água do oceano Tropical, é dominada por dinoflagelados (*Triplos spp.*, *Ornithocercus spp.*, *Histioneis spp.*, *Gyrodinium spp.*, *Torodinium robustum*, *Lessardia elongata*, *Oxytoxum variabile*, *Oxytoxum minutum*, e *Scrippsiella spp.*) incluindo formas autotróficas, mixotróficas e heterotróficas, outros flagelados e cocolitoforídeos (*Umbellosphaera irregularis*, *Discosphaera tubifera*, *Ophiaster hydroideus*, *Calciosolenia murrayi*, *Calciosolenia brasiliensis*, *Calcidiscus leptoporus*, *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa spp.* e *Syracosphaera pulchra*), enquanto as diatomáceas (*Pseudo-nitzschia spp.*, *Hemiaulus hauckii* - com seu simbionte a cianobactéria *Richelia intracellularis*, *Dactyliosolen mediterraneus*, *Planktoniella sol*, *Chaetoceros spp.* e *Rhizosolenia spp.* muitos deles com *Richelia intracellularis*) só eram relevantes em zonas de ressurgência (ex: ressurgência equatorial). Os ciliados foram representados principalmente por *Strombidium spp.*; outros táxons encontrados foram *Phaeocystis spp.* e *Chrysochromulina spp.*, silicoflagelados, criptomônadas, *Pterosperma spp.* e *Halosphaera viridis* e cianobactérias do gênero *Trichodesmium*.

Farias et al. (2022) acrescenta que a comunidade fitoplânctônica varia, verticalmente, predominantemente devido a termoclina, que funciona como barreira física, dificultando o transporte de organismos entre a região mais profunda e rica em nutrientes e a superfície, onde se encontram menores concentrações de nutrientes. Esses autores explicam, ainda, que o fitoplâncton é dominado por pequenas cianobactérias e picoflagelados, por exemplo, as cianobactérias do gênero *Prochlorococcus spp.*, que contribuem majoritariamente para o máxi-

mo de clorofila, na superfície. Em um gradiente continente-oceano, percebe-se uma maior concentração de diatomáceas próximo da plataforma, com predominância de produção regenerada e pico e nanofitoplâncton, sugerindo forte limitação de nitrogênio.

Neste contexto, considerando a diversidade da comunidade fitoplanctônica no Atlântico Tropical Oeste e suas estratégias de sobrevivência, o presente estudo levanta a hipótese de que as variações das propriedades físicas e químicas refletirão mudanças nas características funcionais e nos índices de diversidade (FRic, FEve e FDis) planctônica.

De forma inédita, se caracteriza a distribuição espaço-temporal dos grupos funcionais do fitoplâncton, para as diferentes regiões e através de um gradiente latitudinal no oceano Atlântico Tropical Oeste, comparando-os através da diversidade funcional das comunidades. Considerando a escassez de estudos em regiões oceânicas tropicais, o esforço amostral foi concentrado nessas áreas do oceano, especialmente em sua dinâmica e na variação dos produtos primários.

Destaca-se a importância de conhecer a composição do fitoplâncton e as consequências da mudança dessa composição para a teia trófica e ciclos biogeoquímicos, somados a valores de clorofila-*a* satelitais, para monitoramento, devido a relevância para a economia (pesca) e clima global (mudanças climáticas e sumidouros ou fontes de CO₂ para a atmosfera) (DUTKIEWICZ et al., 2019; HENSON et al., 2021).

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Identificar os principais controladores ambientais dos grupos funcionais e da diversidade do plâncton através de um gradiente latitudinal no Atlântico Tropical Oeste, comparando tanto dados *in situ* quanto disponíveis em bases públicas de dados oceanográficos.

1.2 Objetivos Específicos:

- a) Identificar grupos funcionais do plâncton relacionados aos modos de nutrição;
- b) Calcular os índices de diversidade funcional e índice de diversidade alpha;
- c) Elaborar cenários ecológicos relacionando grupos e diversidade funcionais aos controladores ambientais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Projeto PIRATA

O PIRATA (*Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic*) é um programa de oceanografia operacional elaborado por um grupo de cientistas do CLIVAR (*Climate Variability and Predictability Program*) e realizado no âmbito de uma cooperação internacional entre o Brasil (INPE e DHN), a França (IRD em colaboração com Meteo-France, CNRS e do IFREMER) e os Estados Unidos (NOAA- *National Oceanic and Atmospheric Administration*; PMEL- *Pacific Marine Environmental Laboratory*). O objetivo do Programa PIRATA é observar e estudar as interações oceano-atmosfera no Atlântico tropical, para melhor compreender esse sistema e os seus impactos na variabilidade climática regional em escalas sazonais, interanuais ou de período mais longo (FUNCEME (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS), 2023; INPE, 2022).

Atualmente a rede PIRATA é constituída por 16 boias: 10 boias da rede inicial (1997–1998); 3 boias da Extensão Sudoeste (2005); 2 boias da Extensão Nordeste (2006); 1 boia da Extensão Sudeste (2006) (NOAA; PMEL, 2022).

O presente estudo, apresenta os resultados da análise do conjunto de dados PIRATA denominados: Campanha XVII (2017) e Campanha XVIII (2018), que atravessam a região influenciada sazonalmente pela mistura de águas oceânicas e da pluma do rio Amazonas, ITCZ e correntes superficiais e sub superficiais (Corrente Norte do Brasil e sua retroflexão, Contracorrente Norte Equatorial, Subcorrente Norte Equatorial). Esse estudo apresenta foco na comunidade fitoplânctônica em condições ambientais diferentes, variando temporalmente: 2017- La Niña e 2018- El Niño; e latitudinalmente: 1°S até 15°N.

2.2 Fitoplâncton

Derivado das palavras gregas φυτόν (*phyton*), significa ‘planta’, e πλαγκτός (*planktos*), que significa ‘feito para vagar’ ou ‘à deriva’, o fitoplâncton é composto por organismos microscópicos que vivem em ambientes aquáticos, como nos oceanos, mares e em

água doce, em profundidades aonde a luz pode chegar, pois são produtores fotossintéticos primários. Além dos autotróficos, muitos organismos do fitoplâncton são mixotróficos, capazes de fagocitar bactérias e pequenos protistas ou absorver substâncias orgânicas dissolvidas (KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020; PIERELLA KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020; REYNOLDS, 2006).

O fitoplâncton domina a vida nos oceanos em termos de biomassa, abundância de organismos e diversidade. Sendo constituído por organismos de diversas filogenias, desde procaríotos, como *Prochlorococcus* e *Synechococcus*, e pelos fixadores de nitrogênio *Trichodesmium*, *Crocospaera* e *Richelia*; até organismos eucarióticos, predominantemente diatomáceas e dinoflagelados maiores e micro-organismos menores, incluindo haptófitas, pelagofíceos, prasinófitos, criptófitos, euglenóides e cloracniófitos. Esses organismos podem ser encontrados como células únicas; formando cadeias (por exemplo, algumas diatomáceas) e/ou colônias (por exemplo, *Phaeocystis* e *Trichodesmium*); e em simbiose com outras espécies (por exemplo, *Richelia*) (Figura 1). (KÄSE; GEUER, 2018).

Figura 1- Alguns exemplos dos organismos do fitoplâncton.



Legenda: Desenhos sem escala de tamanho de organismos do fitoplâncton.
Fonte: NASA, [s.d.]; SALLY BENSUSEN, [s.d.]; UBC, 2012

Medições da produção primária e sensoriamento remoto da clorofila superficial indicam que o fitoplâncton é responsável por gerar mais de 45% da produção primária líquida global (aproximadamente 50 Gt C ano^{-1}), enquanto representam apenas aproximadamente 1% da biomassa fotossintética da Terra (FIELD et al., 1998). O fitoplâncton pode influenciar os ciclos biogeoquímicos, principalmente:

I) Na geração de oxigênio: Formando a composição atmosférica atual da Terra e seu status redox (LYONS; REINHARD; PLANAVSKY, 2014);

II) Na ciclagem de nutrientes elementares: devido a sua capacidade de construir estruturas minerais (por exemplo, frústulas de sílica, placas de calcita e aragonita e espículas).

Essa capacidade, em combinação com o tamanho de suas populações resultou em enormes depósitos, que podem ser observados no registo geológico (KNOLL, 2003); e

III) Na bomba biológica de carbono: processo pelo qual o fitoplâncton, através da fixação do carbono durante a fotossíntese, ‘sequestra’ o CO₂ da atmosfera, para gerar biomassa orgânica (e carbonato de cálcio em alguns táxons). A bomba biológica de carbono exporta aproximadamente 5–12 Gt C ano⁻¹ da superfície para a camada mesopelágica, seja por afundamento ou por meio de interações tróficas e da alça microbiana (TURNER, 2015), onde pode ser armazenado, em sedimentos, por milênios (BOYD et al., 2019; CUBASCH; WUEBBLES; CHEN; FACCHINI; FRAME; MAHOWALD, 2021; HEINRICHS; MORI; DLUGOSCH, 2020), contribuindo assim para o gradiente vertical de carbono no oceano. Esse processo também resulta na diminuição das concentrações de CO₂ atmosférico e, portanto, no clima da Terra, visto que o CO₂ é um dos gases de efeito estufa (KÄSE; GEUER, 2018; PIERELLA KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020).

2.2.1 Morfologia

Os organismos fitoplanctônicos mostram uma ampla diversidade de formas: esféricas, elipsóides, cilíndrico-curtas, achatadas ou alongadas; simples ou com diversos tipos de ornamentação; e tamanhos, variando em até oito ou nove ordens de magnitude, indo desde cianobactérias unicelulares de $\sim 1\mu\text{m}^3$ até colônias mucilaginosas de *Microcystis* (Cyanobacteria), que podem atingir mais de 1mm de diâmetro ($>10^9\mu\text{m}^3$ em volume) (REYNOLDS, 2006). Essas propriedades determinam sua adaptabilidade aos ambientes, por exemplo, a forma esférica permite as espécies fitoplanctônicas utilizarem baixas intensidades de luz e diminuir suas taxas de sedimentação (KRUK et al., 2010; LEWIS, 1976; NASELLI-FLORES; PADISÁK; ALBAY, 2007; REYNOLDS, 1988).

Outro exemplo é a taxa de crescimento, onde: i) os indivíduos menores crescem mais rapidamente que os maiores; e ii) aqueles com maior razão superfície/ volume (sv^{-1}) crescem mais rapidamente que organismos com uma sv^{-1} menor. Ou seja, células esféricas pequenas absorvem e utilizam mais rapidamente os nutrientes, se reproduzindo mais rapidamente do que as grandes (BRASIL; HUSZAR, 2011).

2.2.2 Luz

A luz é um recurso essencial para o fitoplâncton, porém sua distribuição é influenciada por diversos fatores como: tempo, espaço, condições do meio (substâncias dissolvidas e partículas em suspensão, incluindo o próprio fitoplâncton), etc. (KIRK, 2011). O fitoplâncton captura e utiliza eficientemente diferentes comprimentos de onda dentro da faixa de luz visível (400-700nm), usualmente referida como radiação fotossinteticamente ativa (PAR - $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (MARTINS, 2001).

2.2.3 Nutrientes

Macro e micronutrientes (ex: nitrogênio, fósforo, sílica, ferro, molibdênio, cobre, zinco) são recursos essenciais ao fitoplâncton, logo há vários traços funcionais que caracterizam a absorção (em função das concentrações externas) e utilização (em função da concentração interna) de nutrientes (BRASIL; HUSZAR, 2011). Alguns exemplos de traços relacionados à assimilação de nutrientes e nutrição são: i. hidrólise de compostos orgânicos dissolvidos, com a produção extracelular de enzimas fosfatases, utilizada por algumas espécies fitoplanctônicas para superar condições de limitação por fósforo (REYNOLDS, 2006); ii. fixação de nitrogênio molecular por cianobactérias, que oferece uma vantagem competitiva, quando há limitação de nitrogênio (PIERELLA KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020); iii. mixotrofia (presença de comportamento heterotrófico e autotrófico de nutrição) é uma adaptação positiva em corpos aquáticos muito oligotróficos ou fortemente limitados por luz (PIERELLA KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020).

2.2.4 Predação: Herbivoria

Herbivoria é uma das principais causas de perda de biomassa das populações fitoplanctônicas. Algumas das adaptações para minimizar essa perda, segundo a literatura supracitada são: i. toxinas, espículas, carapaças, mucilagem, muitos destes são traços morfológicos e fisio-

lógicos que contribuem para diminuir a palatabilidade ou digestão das espécies fitoplanctônicas pelo zooplâncton; ii. formação de colônias, filamentos: a maioria dos herbívoros consome, de forma específica, apenas certa variação de tamanho (PADISÁK J, 2003; REYNOLDS, 2006; REYNOLDS; IRISH, 1997).

2.2.5 Modo de nutrição

Nutrição é o processo pelo qual os organismos vivos obtêm energia, podendo ser classificada como: autotrófica, heterotrófica e mixotrófica. A nutrição autotrófica é aquela na qual o organismo vivo produz moléculas orgânicas a partir de substâncias inorgânicas retiradas do meio (diatomáceas) e da fotossíntese. Na nutrição heterotrófica o ser vivo necessita obter diretamente a matéria orgânica do meio externo, ou seja, precisará se alimentar de outro ser vivo (protozooplâncton). Já na nutrição mixotrófica, o ser vivo se nutre de modo autotrófico e heterotrófico (fago-mixotrofia), simultaneamente ou em fases alternadas da vida (ex: dinoflagelados) (MITRA et al., 2016).

A nutrição mixotrófica pode ainda, ser classificada em diferentes grupos, dependendo da fonte de sua capacidade fotossintética. I) Mixotróficos constituintes são aqueles que sintetizam e mantêm ativamente seus próprios cloroplastos (*Karlodinium*, *Prymnesium*), II) Mixotróficos não constituintes são aqueles que não sintetizam cloroplastos constitutivamente, mas fotossintetizam usando cloroplastos adquiridos de suas presas fototróficas. Os mixotróficos não constituintes ainda podem ser divididos em: A) Generalista: aqueles que adquirem cloroplastos de uma ampla variedade de presas fototróficas, têm pouca capacidade de manter cloroplastos funcionais (*Strombidium*); e B) Especialistas: aqueles que precisam adquirir cloroplastos de presas fototróficas específicas, podem manter uma atividade fotossintética por longos períodos (*Dinophysis*) (GHYOOT et al., 2017; SCHNEIDER et al., 2021).

2.2.6 Reprodução e ciclo de vida

Os organismos fitoplanctônicos podem reproduzir-se sexuada ou assexuadamente (SANDGREN, 1988). Alguns grupos taxonômicos (ex. diatomáceas, dinoflagelados e algas verdes) são capazes de realizar os dois modos de reprodução, dependendo das condições ambientais (HILTZ; BATES; KACZMARSKA, 2000; KREMP; HEISKANEN, 1999).

A reprodução sexuada aumenta a variabilidade genética, possibilitando maiores chances de evolução e adaptação ao ambiente (HOLLIDAY, 2006; OTTO; GERSTEIN, 2006). Outro traço que merece destaque é a formação de estágios de resistência, em ambientes com condições desfavoráveis, que resultam em crescimento lento e/ou alta mortalidade. A habilidade de produzir estes estágios de resistência pode conferir uma vantagem competitiva, aumentando o tempo de vida desses organismos, e/ ou permitindo o deslocamento para um ambiente com melhores condições (LEWIS, 1999; NEHRING, 1996).

2.1.1.1 Modelo de duas estratégias de vida: r e K

O modelo de duas estratégias de vida aplica, nos organismos fitoplanctônicos, os conceitos de Pianka (1970) sobre a seleção r e K. São constantes na equação de Verhulst, sendo K a capacidade de suporte e r a reprodução (BACAËR, 2008), logo nesse modelo os organismos r-selecionados possuem expectativa de vida curta e grande esforço reprodutivo, enquanto os K-selecionados são organismos com expectativa de vida longa, cuja energia e recursos despendidos para a reprodução é pequena (tabela I).

Tabela I- Resumo das principais características dos organismos com estratégias de vida r e K.

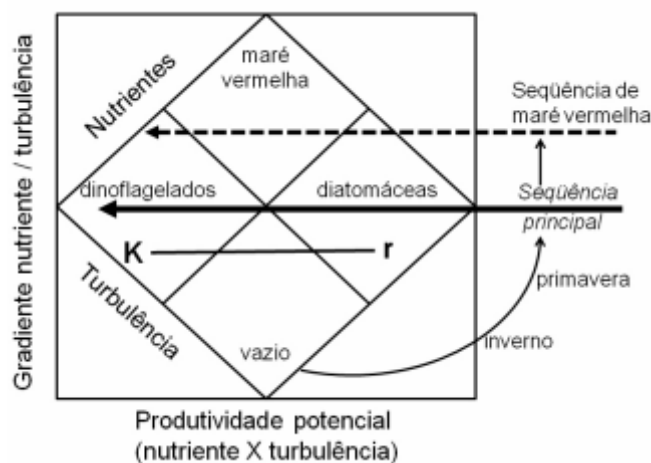
Estratégia-r	Estratégia-K
Células pequenas	Células grande
Alta taxa de crescimento	Baixa taxa de crescimento
Tempo de vida curto	Tempo de vida mais longo
Alocam recursos na reprodução	Alta habilidade de estocar recursos
Alta taxa metabólica	Taxa metabólica menor
Ocorre em ambientes variáveis e imprevisíveis	Ocorre em ambientes constantes ou previsíveis
Maximizam recursos para a reprodução	Maximizam a eficiência de aproveitamento de recursos e a capacidade competitiva

Fonte: PIANKA, 1970

Margalef (1978) utilizou o conceito de estratégias adaptativas de seleção r ou K inicialmente proposto por Macarthur; Wilson (1967, reimpressão em 2001) e Pianka (1970), para formar uma abordagem em resposta ao estado nutricional e turbulência do ambiente, para prever a ocorrência de diferentes grupos ao longo de gradientes ambientais. A diagonal do gráfico (Figura 2) representa a sequência de dominância do fitoplâncton, na qual as espécies de seleção r (diatomácea de grande porte) são favorecidas em condições de altas concentrações de nutrientes e de alta instabilidade, enquanto as espécies de seleção K (dinoflagelado) são mais bem adaptadas às condições de estratificação térmica e limitação por recursos, devido à ocorrência de flagelos, que permitem seu deslocamento ativo através da coluna d'água, possibilitando ajustes às condições de nutrientes ideais para seu crescimento. Algumas das limitações desse modelo são: I) assume que a disponibilidade de nutrientes e a turbulência são correlacionadas; e II) desconsidera a limitação por luz (REYNOLDS, 1988, 2006; REYNOLDS; IRISH, 1997).

Reynolds (1980) concluiu que algumas espécies precisavam ser reclassificadas, devido a essas limitações. Assim veio com a classificação w-selecionadas, com base nas adaptações morfológicas e fisiológicas necessárias para a captação de luz necessária nas diferentes condições ambientais.

Figura 2- Diagrama do modelo de estratégia de vida r-K



Legenda: A Mandala de Margalef (1978) foi desenvolvida a partir da compreensão conceitual original da trajetória das respostas do fitoplâncton aos nutrientes e à turbulência. Destacando a distinção na distribuição entre organismos que prosperam em condições turbulentas e ricas em nutrientes (diatomáceas), e aqueles que tendem a prosperar em ambientes mais pobres em nutrientes e pouco turbulentos (dinoflagelados). Assim como apresenta uma compreensão geral da formação de HABs (*Harmful Algal Blooms*- anteriormente chamadas de marés vermelha), através de uma sucessão sazonal que é impulsionada por uma mudança na turbulência e no fornecimento de nutrientes da profundidade.

Fonte: GLIBERT, 2016; NISHIMURA; MOSCHINI-CARLOS; POPÊO, 2015

2.1.1.2 Modelo de três estratégias de vida: C-S-R

Grime (1977), definiu três estratégias primárias para plantas terrestres, a estratégia competitiva (C-estrategistas), relativamente sem distúrbios; a estratégia estresse-tolerante (S-estrategistas), distúrbios contínuos; e a estratégia ruderal (R-estrategistas), que é característica de vegetação severamente perturbada.

Reynolds (1988) adaptou as ideias de Grime (1977) às estratégias de sobrevivência do fitoplâncton, de acordo com as adaptações morfológicas e fisiológicas e combinou a circulação/turbulência e gradiente de recursos. Ele descreve uma sucessão autogênica onde o consumo do fitoplâncton esgota os nutrientes, fazendo com que os organismos precisem de adaptações especializadas, indo de organismos r-selecionados C-estrategistas para K-selecionados S-estrategistas. Já os organismos R-estrategistas são selecionados por eventos de mistura que interferem na seleção autogenética. As características morfológicas e fisiológicas dos estrategistas C, R e S do fitoplâncton estão resumidas na Tabela II, vale ressaltar que esta descrição é apenas a adaptação de Grime (1977) e não o que encontramos na região de estudo.

Tabela II- Resumo das principais características dos organismos segundo as estratégias C (competitiva), S (estresse-tolerante) e R (ruderal).

Estrategistas invasores	Estrategistas estresse-tolerantes	Estrategistas distúrbio-tolerantes
Indivíduos pequenos	Indivíduos grandes	Indivíduos grandes
Razão s/v alta	Razão s/v baixa	Razão s/v alta
Alta demanda de luz	Alta demanda de luz	Baixa demanda de luz
Crescimento rápido	Crescimento lento	Crescimento rápido
Adaptados à plenitude de recursos (luz e nutrientes)	Adaptados à deficiência de nutrientes	Adaptados a ambientes ricos em nutrientes e turbidos
Equivalem à seleção-r	Equivalem à seleção-k	Equivalem à seleção r e k

Fonte:GRIME,1977

2.1.1.3 Modelo de grupos funcionais

Para compreender o funcionamento dos ecossistemas, agrupamos os organismos com características similares em estrutura e função (ex: tamanho, forma, estratégias de vida e fisiologia) na tentativa de encontrar padrões, simplificados, da complexidade ambiental. Tradicionalmente, a análise da comunidade é feita a partir de espécies ou grandes divisões taxonômicas, entretanto como o fitoplâncton não é um grupo uniforme, abrangendo organismos de diversas filogenias, tamanhos, formas e estratégias adaptativas, esse estudo se torna complexo (NISHIMURA; MOSCHINI-CARLOS; POPÊO, 2015).

A abordagem funcional está baseada na teoria de nicho ecológico (HUTCHINSON, 1957), que considera as espécies como entidades diversas, que conseqüentemente respondem de diferentes formas às condições ambientais, mudando o foco da espécie em si para seus traços funcionais. Essa abordagem permite fazer maiores generalizações, se comparada a uma abordagem baseada na filogenia (VIOLE et al., 2007; WEIHER; CLARKE; KEDDY, 1998).

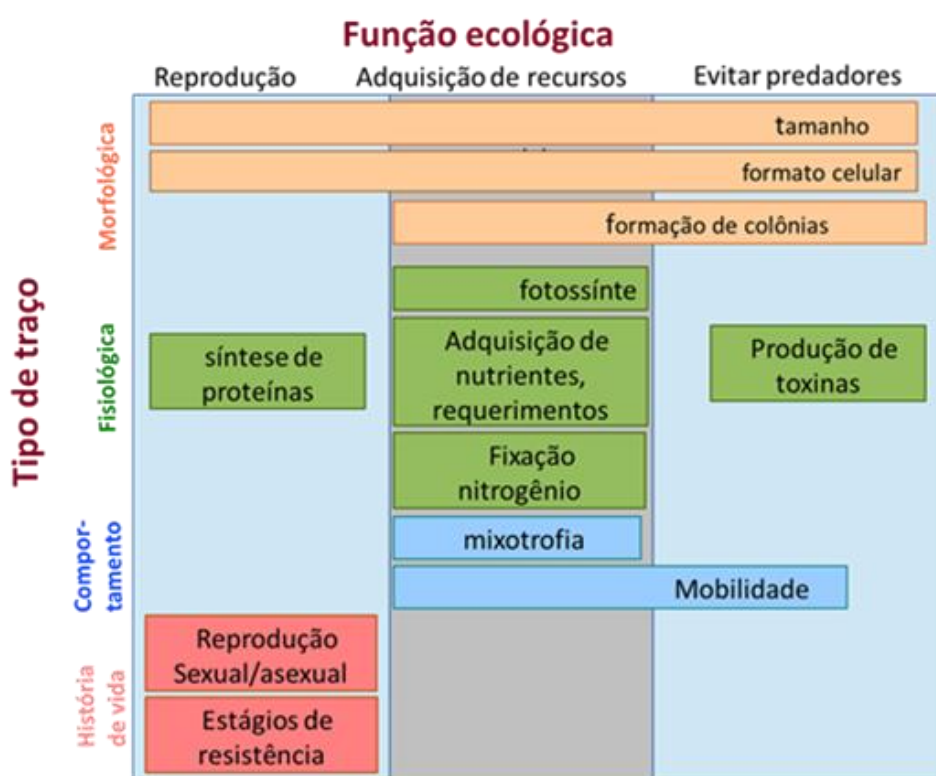
Os grupos funcionais podem ser definidos como um conjunto de espécies, com ou sem afinidades filogenéticas, que compartilham traços funcionais similares e que respondem similarmente às condições ambientais (LAVOREL et al., 1997).

Por exemplo, a forma e tamanho do fitoplâncton estão relacionados à utilização de recursos e à susceptibilidade a processos de perda (BRASIL; HUSZAR, 2011).

A diversidade funcional tem sido usada para descrever diversos aspectos da estrutura da comunidade, como: a transição de espécies frente a distúrbios, a complexidade de teias alimentares e número de grupos funcionais (TEIXEIRA; SILVA; CARNEIRO, 2018).

De acordo com Litchman & Klausmeier (2008), os traços funcionais podem ser divididos em 4 categorias: morfológicos (máxima dimensão linear ou MDL, biovolume, tamanho da célula e forma biológica), fisiológicos (demanda por sílica, mucilagem), comportamentais (mixotrofia, mucilagem e aerótopos) e de história de vida (reprodução assexuada/sexuada, produção de estágios de dormência) (Figura 3), todos desempenham funções fundamentais na sobrevivência das espécies e consequentemente influenciam processos ecossistêmicos (TEIXEIRA; SILVA; CARNEIRO, 2018).

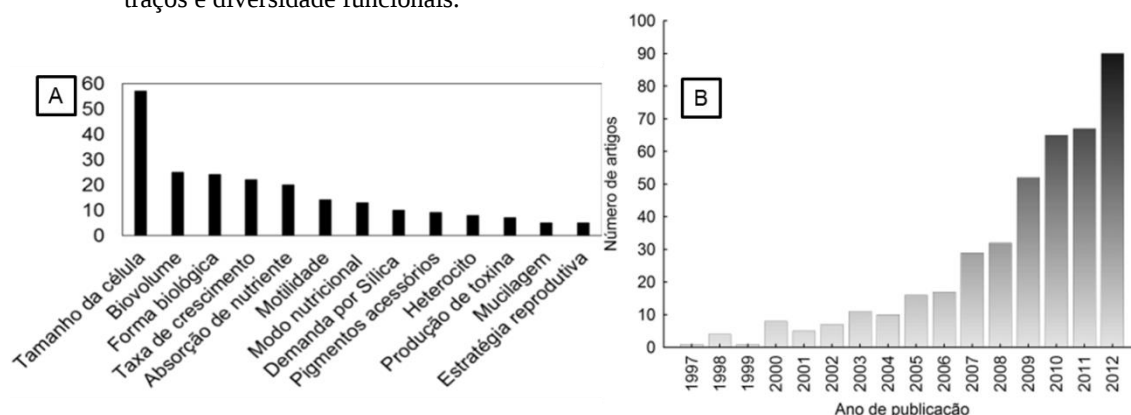
Figura 3- Diagrama de traços funcionais e suas funções ecológicas.



Fonte: Adaptado de LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2008

De acordo com o estudo de Teixeira et al. (2018), os traços funcionais mais utilizados são: tamanho da célula, biovolume e forma biológica (unicelular, colonial, filamento, cenobial) (Figura 4).

Figura 4- Série temporal da contagem de artigos sobre a ecologia do plâncton que utilizam em seu método os traços e diversidade funcionais.



Legenda: A) Eixo x: Principais traços usados em estudos de grupos funcionais. Eixo y: Número de trabalhos publicados que utilizam os respectivos traços funcionais, entre 2001 e 2016. B) Número de artigos publicados sobre diversidade funcional desde 1997 até 2012.

Fonte: A) TEIXEIRA; SILVA; CARNEIRO, 2018; B) CALAÇA; GRELLE, 2016

2.1 Fixação do Nitrogênio por organismos planctônicos

O nitrogênio é considerado o principal nutriente limitante nas águas marinhas (ARRIGO, 2005). Devido às suas várias espécies inorgânicas e estados de oxidação presentes no oceano, o ciclo do nitrogênio é frequentemente considerado o mais complexo dos ciclos dos macronutrientes. A utilização do nitrogênio fixado pelo fitoplâncton é limitada à zona eufótica. Parte do nitrogênio organicamente ligado já é remineralizado por procariotos e liberado de volta à solução dentro da zona eufótica (produção regenerada). A outra fração, nitrogênio ligado à matéria orgânica particulada, é exportada para o oceano profundo, onde está sujeita à contínua degradação procariótica. A nitrificação, que descreve a oxidação de amônio em nitrito e depois nitrato, é mediada por bactérias nitrificantes e archaea (HEINRICHS; MORI; DLUGOSCH, 2020). O processo inverso (desnitrificação) é realizado pela desnitrificação de micro-organismos em ambientes anóxicos ou com limitação de oxigênio (por exemplo, mar profundo, regiões de ressurgência e regiões costeiras altamente produtivas). É considerado o mecanismo dominante responsável pela remoção do nitrogênio fixado da biosfera e realizado por procariotos desnitrificantes (CHESTER; JICKELLS, 2012). O produto inorgânico final desta cascata redox mediada por procarióticos é o nitrato, a forma termodinamicamente estável do nitrogênio na coluna de água oxigenada (HEINRICHS; MORI; DLUGOSCH, 2020) (Figura 5).

A fixação de nitrogênio é uma reação bioquímica essencial que envolve a redução do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia biologicamente disponível. A maioria das espécies de fitoplâncton oceânico (exceto alguns táxons de cianobactérias) não são capazes de fixação direta de nitrogênio, mas dependem de nitrogênio prefixado na forma de espécies dissolvidas, como nitrato, nitrito e amônio. Os organismos capazes de fixação de nitrogênio são chamados coletivamente de “diazotróficos” ou organismos fixadores de nitrogênio, sendo, atualmente, a maior fonte de nitrogênio fixo para os oceanos (FOSTER et al., 2011).

Esses organismos apresentam diversas estratégias para a fixação de nitrogênio, tais como: 1- Heterocistos, comuns em simbioses de diatomáceas no ambiente marinho, podendo ocorrer em cianobactérias de vida livre no ambiente marinho. Ex: *Richelia intracellularis*; 2- Cianobactérias unicelulares anoxigênicas. Ex: Simbioses de haptófitas (PIERELLA KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020); 3-Divisão do trabalho entre células fotossintetizantes e células fixadoras de N_2 (diazocitos - células produtoras de nitrogenase). Nesse caso o “ambiente anóxico” é proporcionado pela agregação dos tricomas nas colônias. Ex: *Trichodesmium*; 4-Cianobactérias unicelulares: Separação temporal entre fotossíntese (dia) e fixação do nitrogênio N_2 (noite). Ex: *Crocosphaera* (ZEHR, 2011).

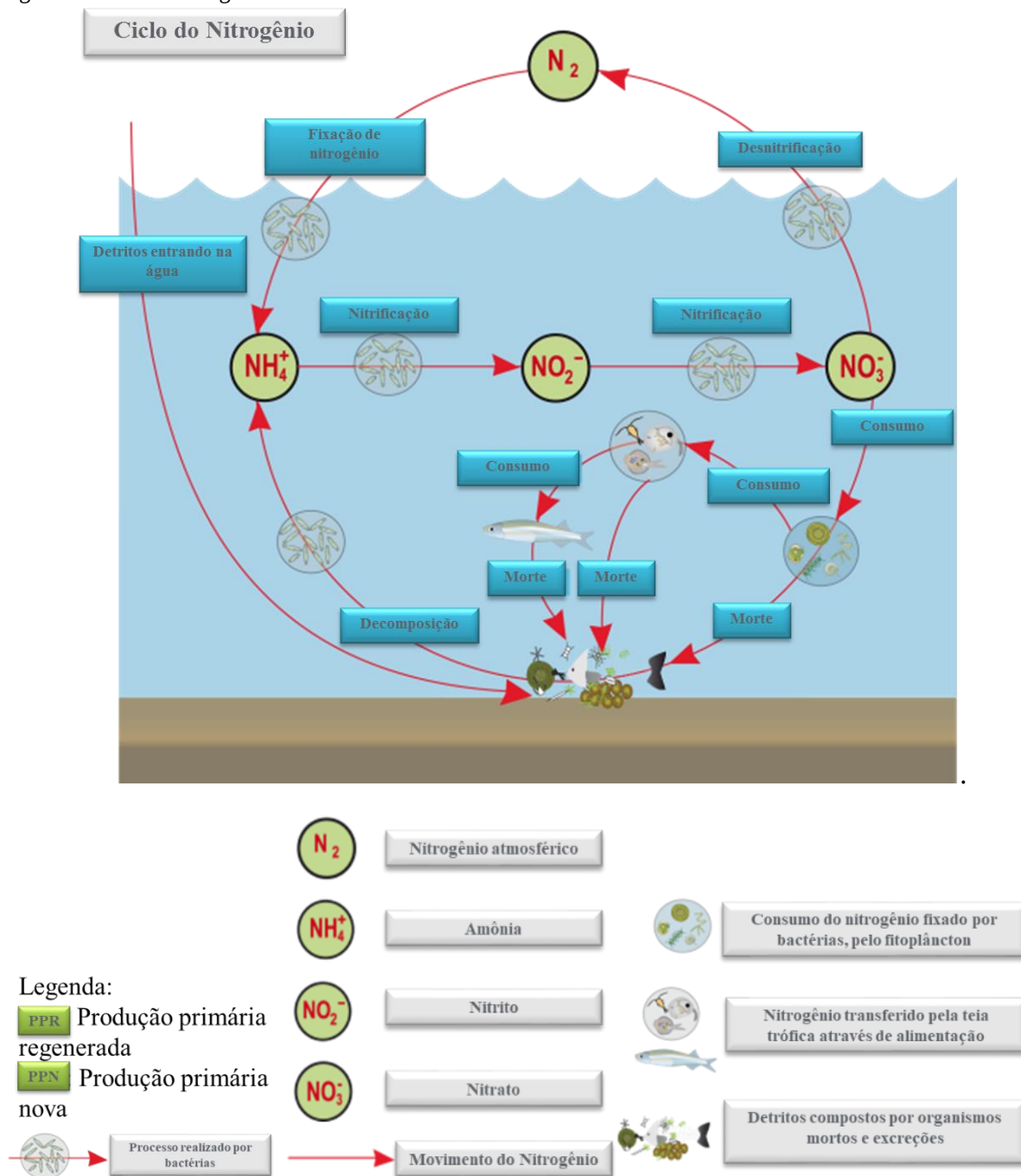
A abundância e a atividade dos diazotróficos podem, ser controladas pela disponibilidade de outros nutrientes potencialmente limitantes, incluindo o fósforo (P) e o ferro (Fe) (SCHLOSSER et al., 2014). Isso pode ser observado na figura 6, onde as maiores concentrações de diazotróficos se encontram em regiões onde há maior entrada desses micronutrientes, seja por rios ou por transporte atmosférico.

No oceano aberto, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais do oceano, onde as águas superficiais são oligotróficas, as cianobactérias são os contribuintes mais significativos para a fixação biológica de N_2 . A principal cianobactéria fixadora de N_2 , atualmente conhecida, é o *Trichodesmium*, uma cianobactéria filamentosa, não formadora de heterocistos, que frequentemente forma colônias ('puffs' e 'tufts'), que tem a capacidade de gerar vacúolos de gás que podem controlar a flutuabilidade, possibilitando a migração verticalmente para otimizar a intensidade da luz ou obter nutrientes de águas mais profundas (ZEHR, 2011). Estes organismos apoiam a comunidade não diazotrófica e a produção primária pela liberação de N_{2atm} no ambiente marinho. No entanto, há uma controvérsia contínua em relação ao aparente desequilíbrio nas fontes e sumidouros de N no orçamento global desse elemento. Muitos estudos na última década mostraram que a presença e atividade de diversos microrganismos fixadores de N_2 têm sido subestimados (CAPUTO; NYLANDER; FOSTER, 2019).

Um dos motivos para isso é que nesses ambientes pobres em nutrientes, as relações simbióticas são comumente observadas e as cianobactérias diazotróficas funcionam como fontes de nitrogênio para seus respectivos hospedeiros (MANJUMOL et al., 2018; SCHVARCZ et al., 2022). As cianobactérias simbióticas (*Richelia* e *Calothrix*) possuem um heterocisto terminal e estão associados a vários gêneros de diatomáceas, como por exemplo: I) *Rhizosolenia* e *Hemiaulus* - onde as cianobactérias vivem dentro da frústula das diatomáceas, mas fora da parede celular; e II) *Chaetoceros* - onde as cianobactérias vivem fora da frústula (ZEHR, 2011).

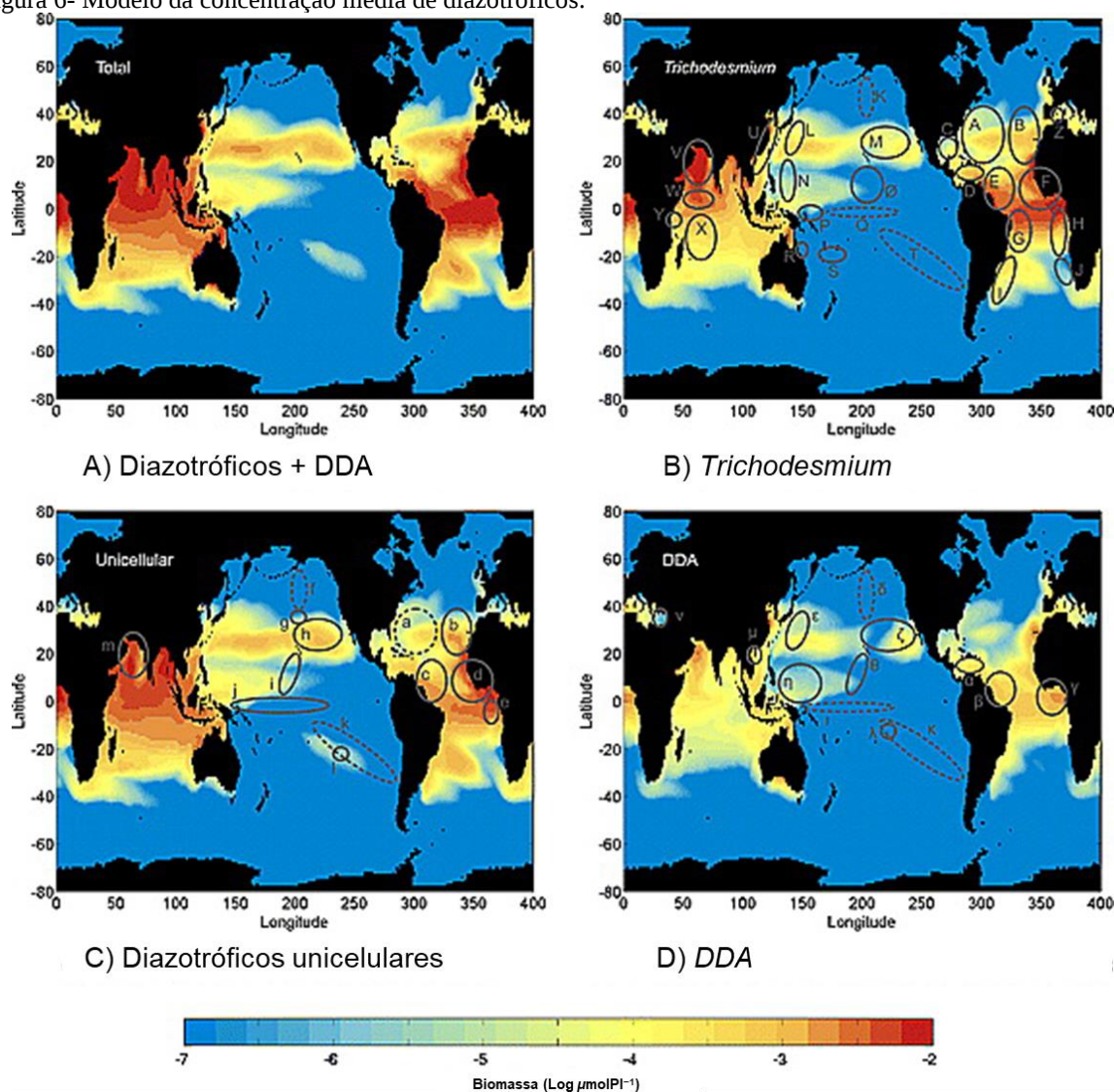
Como as diatomáceas não são capazes de assimilar diretamente o nitrogênio a partir do N_2 , elas dependem de reservatórios extracelulares de nitrogênio inorgânico fixado e dissolvido (nitrato - NO_3^- e amônio - NH_4^+), que nas águas superficiais do oceano aberto estão presentes em concentrações extremamente baixas. Assim, as diatomáceas que abrigam organismos diazotróficos simbióticos têm uma vantagem distinta (CAPUTO; NYLANDER; FOSTER, 2019; PIERELLA KARLUSICH; IBARBALZ; BOWLER, 2020).

Figura 5- Ciclo do nitrogênio no oceano.



Fonte: Adaptado de DES (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND SCIENCE), 2013.

Figura 6- Modelo da concentração média de diazotróficos.



Legenda: Concentração média anual de análogos de diazotróficos gerados no modelo ($\mu\text{mol P l}^{-1}$, escala logarítmica, primeiros 50 m de profundidade). As regiões de observações publicadas são indicadas por letras e elipses: I) Uma elipse sólida denota a presença observada dos organismos de interesse; II) Uma elipse tracejada indica que foram feitas observações, mas o organismo de interesse não foi visto.

(a) Abundância total de diazotróficos. (b) Análogos do *Trichodesmium*. (c) Análogos diazotróficos unicelulares. (d) Análogos da associação diatomácea-diazotrófica (DDA). As letras representam regiões com observações de ocorrência de *Trichodesmium*, unicelular e DDA.

Fonte: Adaptado de Monteiro; Follows; Dutkiewicz, 2010

2.2 Províncias Biogeográficas Marinhas de Longhurst

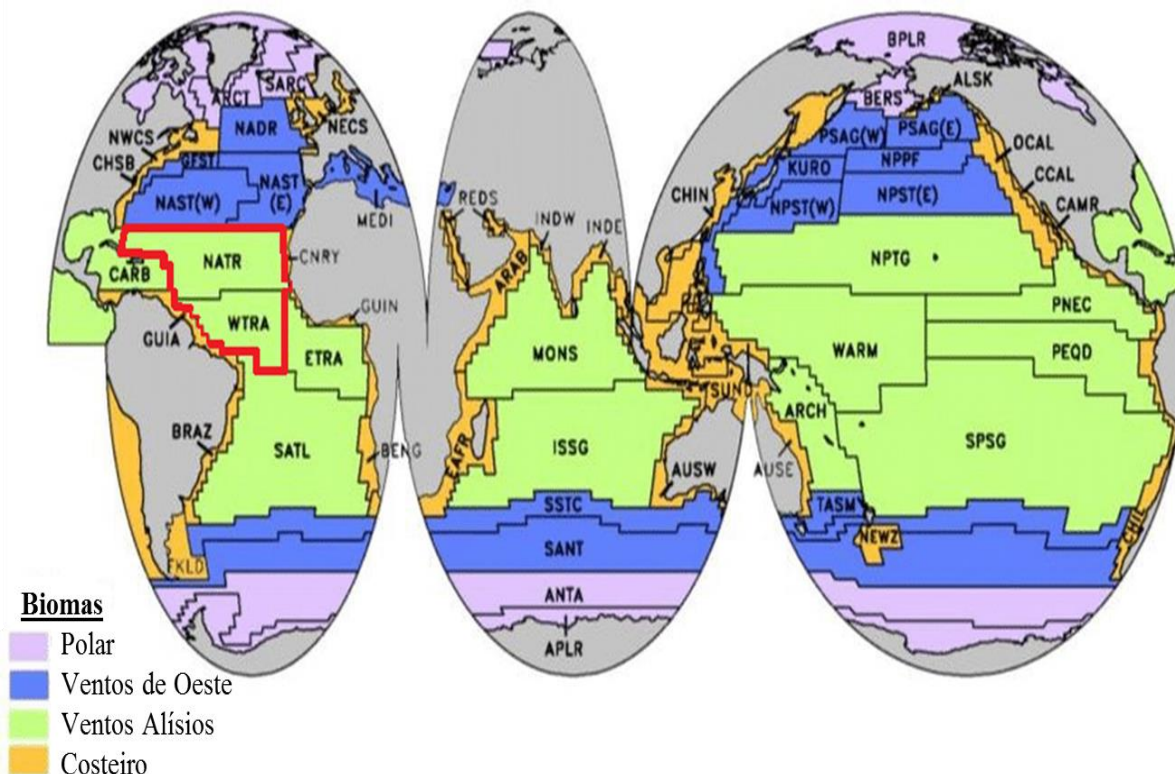
Longhurst, (1998), propõe que se utilizem as respostas do fitoplâncton às forçantes sazonais geradas pelos processos físicos, chamando atenção para o papel das frentes como barreiras, com características ecológicas específicas.

Em ambientes terrestres, os biomas são caracterizados por parâmetros simples como latitude, longitude, precipitação, tipo de substrato, e são definidos pela “vegetação clímax” que é uniforme em todo o bioma. Na visão de Longhurst o ciclo sazonal do fitoplâncton de cada bioma pelágico equivale a “vegetação clímax” para os biomas terrestres.

Esta é uma proposta que utiliza como base dados de sensoriamento remoto para distinguir as frentes, utilizando valores integrados de clorofila numa coluna de água superficial, e assim denominando os biomas marinhos (frentes oceânicas análogas à biomas terrestres) (LONGHURST, 2007). Os biomas pelágicos foram divididos, segundo Longhurst em 4: bioma de Ventos Alísios, bioma de Ventos Oeste, bioma Polar e bioma Costeiro. Estes são divididos em 57 províncias biogeográficas usando propriedades físicas (temperatura, salinidade, turbulência), concentração de clorofila, produção primária e observações in situ de zooplâncton (LONGHURST, 2007, 1998) (Figura 7).

Como a distribuição da comunidade fitoplanctônica é diretamente influenciada pelas condições ambientais, essas províncias biogeoquímicas são úteis para comparar e contrastar os processos biogeoquímicos e a biodiversidade entre as regiões oceânicas (OLIVER; IRWIN, 2008), vale ressaltar que enquanto as propriedades físicas e biogeoquímicas revelam-se distintas nas condições ambientais, os biomas tendem a se sobrepor em suas propriedades biológicas, como clorofila-*a*) (VICHI et al., 2011).

Figura 7- Províncias biogeográficas de Longhurst.



Legenda: Províncias biogeográficas, incluídas em seus respectivos biomas. A região tropical inclusa no bioma de Ventos Alísios está em verde, sendo destacadas em vermelho as províncias inclusas neste trabalho: NATR - *North Atlantic Tropical Gyre*; WTRA - *Western Tropical Atlantic Province*. A região subtropical inclusa no bioma de Ventos de Oeste está em azul. A região polar, incluindo o bioma Polar está em roxo, enquanto o bioma costeiro está em laranja.

Fonte: Adaptado de Virgili, 2019

O bioma dos Ventos Alísios é delimitado pelas latitudes de 30°/40°S e 30°/40°N, sendo assim o maior bioma contínuo abrangendo a região tropical, sendo limitado, em ambos os hemisférios, pela Zona de Convergência Subtropical. Suas províncias representam os giros centrais e o Mar do Caribe (LONGHURST, 1998).

Esse bioma é definido pelo padrão de variação do fitoplâncton, que por sua vez é definido pelo regime de ventos: Durante o inverno, os ventos são mais intensos, impulsionando os giros, logo uma maior massa de água converge, para os centros, aumentando a subducção, o que aprofunda a picnoclina (camada de mistura). Esse aprofundamento da picnoclina, somado a maior incidência solar, devido à baixa latitude, gera um aumento da produtividade primária durante esse período. Vale ressaltar que mesmo com esse aumento a produtividade primária é menor que nos demais biomas.

Os organismos de tamanho pequeno (pico e nanoplâncton, ex: cianobactérias e procariontes), predominam no fitoplâncton, devido à baixa disponibilidade de nutrientes, sendo mais comum a produção primária regenerada. Neste bioma, são encontradas também grandes florações de cianobactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (N_2) como o gênero *Trichodesmium* (LONGHURST, 1998).

O bioma dos Ventos de Oeste engloba a região temperada, sendo limitado pelas zonas de convergência subtropical e a frente polar, e está dividido em Boreal e Austral. Pode ser considerado uma área de transição entre os biomas Polar e dos Ventos Alísios. Possui uma sazonalidade bastante marcada, e a sua camada de mistura é fortemente determinada pelos ventos locais, ou seja, durante o inverno, com a intensificação dos ventos a camada de mistura se aprofunda, aumentando a disponibilidade de nutrientes. No entanto, a disponibilidade de luz é menor, durante esse período, para a região, logo não gera um bloom. De forma semelhante, durante o verão há disponibilidade de luz, mas não de nutriente, logo os picos de produção primária ocorrem durante a primavera (Bloom eutrófico – diatomáceas e macro dinoflagelados) e no outono (Bloom oligotrófico, esgotamento dos nutrientes – cianobactérias e procariontes) (FISCHER et al., 2014; LONGHURST, 1998).

O bioma Polar é limitado pelas frentes polares norte e sul, sendo formado pelas regiões polares Antártida e Ártico. Neste bioma, em especial na Antártida, a profundidade da camada de mistura é definida pela ação direta dos ventos, mas limitada pela formação de águas superficiais de baixa salinidade (degelo). Essa camada de água com salinidade menor diminui a densidade da água do mar, gerando uma picnoclina resistente a ação dos ventos, somado a presença de fragmentos de gelo torna os ventos de oeste e leste menos capazes de aprofundar a cama de mistura (LONGHURST, 1998).

Cadeia trófica no bioma polar é curta, com alta eficiência energética, além da pouca diversidade com organismos extremamente adaptados às condições ambientais adversas (migrações, sem formação de cardumes densos). A comunidade zooplancônica no oceano Austral é predominantemente composta por Euphasiaceae e Copépoda, enquanto no oceano Ártico é composta por Copépodas. Sendo que os Copépodas não respondem tão rapidamente a disponibilidade do fitoplâncton quanto em baixas latitudes (devido a migrações verticais ontogenética), fazendo com que o tempo de ocorrência do bloom no Ártico seja ligeiramente depois do que na Antártida. Vale ressaltar que os Amphipodas são importantes nos dois polos (LONGHURST, 1998).

O bioma Costeiro, normalmente, tem seu limite externo definido pelas frentes oceânicas associadas à quebra da plataforma continental, mas pode ser definido pelo limite externo

de plumas que ultrapassem a quebra da plataforma. A sua definição não pode ser generalizada de forma satisfatória, pois abrange diferentes regiões latitudinais, com grandes diferenças de sazonalidade (LONGHURST, 1998).

O bioma costeiro é altamente influenciado pelos diversos processos costeiros (marés, ventos, topografia, aporte fluvial, etc.), sendo mais diversificado pela soma da diversidade continental (tendo forte acoplamento bento-pelágico) e latitudinal, e com a maior produtividade primária entre todos os biomas (LONGHURST, 1998).

2.3 Correntes marítimas de superfície

As correntes marítimas de superfície, que transportam massas de água, são produzidas, principalmente, pela rotação da Terra, gravidade, ação do vento e variação da densidade da água em diferentes partes do oceano. São comparáveis aos ventos, na atmosfera, pois transferem quantidades significativas de calor das áreas equatoriais para os polos, contribuindo com aproximadamente 15% da distribuição de calor no planeta como um todo e, portanto, desempenham um papel importante na determinação do clima do planeta. Além disso, as correntes oceânicas e a circulação atmosférica influenciam-se mutuamente (WELLS, 2019).

Os ventos Alísios de NE e de SE formam as correntes superficiais de maior intensidade, que ocorrem em todos os oceanos, chamadas correntes equatoriais. Nos oceanos Atlântico e Pacífico, essas correntes são interceptadas e desviadas pelos continentes nas bordas leste das bacias oceânicas. Esses ventos fazem com que haja empilhamento de água nessas regiões, que devido à força da gravidade, gera as contracorrentes equatoriais, presentes em todos os oceanos (MORAES, 2011; SILVEIRA et al., 2000).

Nas médias e altas latitudes, os ventos de Oeste formam as correntes que completam os giros subtropicais, dos oceanos Pacífico e Atlântico nortes e seus e no oceano Índico. Esses giros são no sentido horário no hemisfério norte, e no sentido anti-horário no hemisfério sul, devido à força aparente de Coriolis (SVERDRUP, 1947). Já em regiões subpolares no oceano Austral, onde não há barreiras continentais para obstruir o fluxo de água, permite que a corrente Circumpolar Antártida de a volta ao planeta (WELLS, 2019).

2.4 Continuum Amazônico

A plataforma continental amazônica no Brasil, situada entre o Cabo Orange (4°N) e o Turiaçu (2°S), é a principal feição oceanográfica da costa norte do Brasil, visto que há grandes descargas fluviais que influenciam diretamente os processos biogeoquímicos da região e adjacentes (LOURENÇO, 2016). Uma das principais fontes de água doce na região é o Rio Amazonas, com uma vazão média de $2 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, e uma bacia hidrográfica de aproximadamente $6.11 \times 10^6 \text{ km}^2$. O rio Amazonas representa cerca de 10% do aporte fluvial global de carbono orgânico dissolvido para o oceano. Estima-se que o rio Amazonas exporta anualmente cerca de 22 a 27 Tg de carbono orgânico dissolvido (LOURENÇO, 2016). A velocidade de propagação varia com a descarga do rio Amazonas, vento e marés (GRODSKY et al., 2012)

O conceito de “Continuum Amazônico” descreve a estrutura e função das comunidades aquáticas de forma contínua ao longo da foz e da pluma do rio no oceano Atlântico, sugerindo uma distribuição de espécies que segue os gradientes de parâmetros abióticos (CARVALHO; SAMPAIO ZUANON, 2008; OLIVEIRA, 2018).

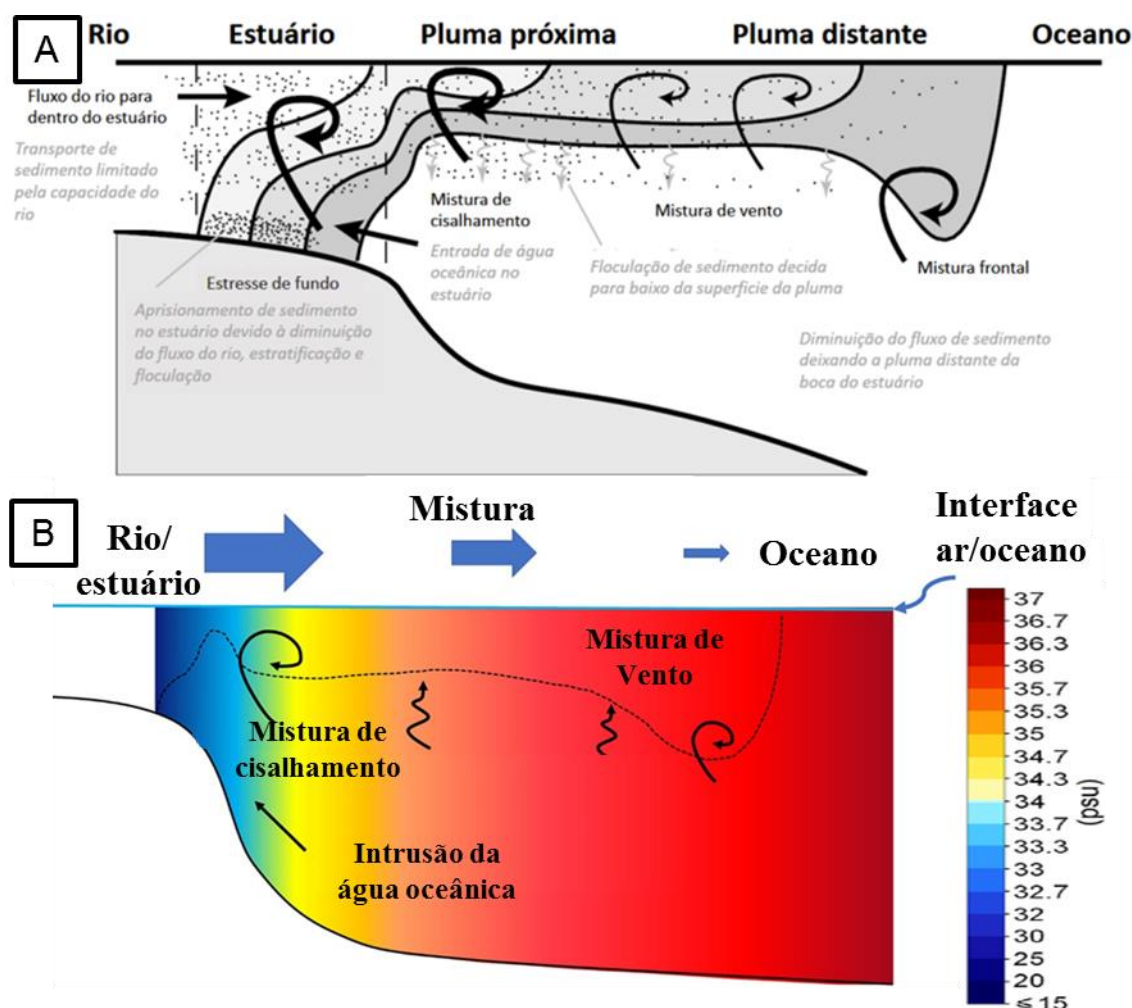
A influência da água doce amazônica é notada até longas distâncias da foz, 3000km através do Oceano Atlântico tropical e engloba uma extensão de aproximadamente 2 milhões de km^2 (COOLEY et al., 2007). Há artigos (COLES et al., 2013; COOLEY et al., 2007) que mencionam a influência da pluma em 20°W e 25°W, apesar de maior contribuição até 38°W. Isso ocorre por meio do aumento da estratificação termohalina, devido à diminuição da salinidade com a mistura de águas fluviais e de águas mais salinas do oceano, e a diminuição do carbono inorgânico, causada pela solubilidade em excesso da absorção biológica (Figura 8, Tabela III) (GOYET; ADAMS; EISCHEID, 1998; TAKAHASHI et al., 2002). Essa camada menos salina e rasa, cria uma barreira à mistura vertical e aumenta o aprisionamento da radiação solar, causando uma elevação na temperatura superficial (Tabela III) (COLES et al., 2013; FIELD, 2005; FOLTZ; MCPHADEN, 2009).

A pluma também transfere sedimentos de origem terrestre, nutrientes e matéria orgânica dissolvida colorida e transparente (CDOM, MOD) (HU et al., 2004). A comunidade planctônica é influenciada por esse transporte, bem como pela estratificação salina do oceano superior (STUKEL et al., 2014). Ela aumenta, significativa, a absorção global de dióxido de carbono atmosférico (COOLEY et al., 2007; SUBRAMANIAM et al., 2008).

A salinidade é o principal parâmetro utilizado para delimitação dessa pluma, entretanto a baixa resolução espacial (47 km -SMOS - *Moisture and Ocean Salinity*), dos sensores

capazes de estimar a salinidade por satélite, fez com que Moller; Kampel; Moraes Novo, (2010) propusessem um modelo de salinidade sintética (SS) a partir de dados de CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*) do sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS), que possui resolução espacial mais alta (4km) (ex: DEL VECCHIO, 2004; OLIVEIRA, 2018).

Figura 8- Esquema de uma pluma de rio no estuário e no oceano adjacente.



Legenda: A) Uma seção transversal idealizada de uma pluma de rio aprisionada na superfície (camada barreira), marcando as várias regiões dinâmicas e os processos de mistura dominantes dentro de cada região. B) Seção transversal esquemática da transição estuário/plataforma da pluma do rio Amazonas mostrando que o controle da salinidade e da produtividade primária está relacionado com a mistura vertical. O tamanho das setas azuis indica que a intensidade da mistura diminui para a direita, e a linha tracejada é a isohalina hipotética que limita a pluma. Obs.: No Amazonas as condições estuarinas ocorrem apenas sobre a plataforma continental - não há entrada de águas salobras no canal fluvial, como em estuários típicos

Fonte: A) HETLAND; HSU, 2013; OLIVEIRA, 2018 e B) GOUVEIA et al., 2019; HETLAND, 2005

Tabela III- Características utilizadas para definir águas superficiais com mistura com a pluma e águas oceânicas.

Fonte	Mistura							Oceano						
	Salinidade (PSU)	Tem- peratura (°C)	Cl-a (mg/ m³)	Fixação de N ₂ (µmol N m ⁻² d ⁻¹)	Nitrato (µM)	Carbono inorgânico dissolvido (µmol kg ⁻¹)	CDOM (355) (m ⁻¹)	Salinidade (PSU)	Tem- peratura (°C)	Cl-a (mg/m³)	Fixação de N ₂ (µmol N m ⁻² d ⁻¹)	Nitrato (µM)	Carbono inorgânico dissolvido (µmol kg ⁻¹)	CDOM (355) (m ⁻¹)
Louchard; Münnich; Gruber (2023)	30 - 35			503				> 35			152			
Subramaniam et al. (2008)	32,97 ± 0,20 (30-35)		0,5-0,7	986 ± 373		29 ± 5		36,03 ± 0,03 (>35)		0,1-0,5	157 ± 32		12 ± 1	
Cooley; Yager (2006)	<35	>28				1786,2 ± 15,8		>35	<27				2017,2 ± 1,5	
Del Vecchio (2004)	30-36	29-27					1-0,1	~36	<27					0,046 (muito baixo)
Smith; Demaster (1996)	<32		1,5-3,6		>0,5			>32		0,3-1,07		<0,5		

Fonte: COOLEY; YAGER, 2006; DEL VECCHIO, 2004; LOUCHARD; MÜNNICH; GRUBER, 2023; SMITH; DEMASTER, 1996; SUBRAMANIAM et al, 2008

O carbono orgânico (particulado e dissolvido) que escoar do sistema de drenagem faz com que a água do rio Amazonas fique supersaturada em CO_2 . Ao atingir o oceano, as águas da pluma do rio Amazonas tornam-se cada vez menos supersaturadas em relação ao $\text{CO}_{2\text{atm}}$, devido a: (1) Forte mudança no equilíbrio do sistema carbonato marinho (que inclui a saturação em CO_2) devido à mistura da água do rio com a água do oceano (maiores salinidades e alcalinidade) (TERNON et al., 2000), e (2) Início da floração de diatomáceas devido ao rápido assentamento de partículas suspensas transportadas pelo rio, permitindo que as águas se tornem suficientemente transparentes para a fotossíntese (EDMOND et al., 1981). O rio Amazonas descarrega em média cerca de 0,2 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de água rica em nutrientes e supersaturada de CO_2 no Oceano Atlântico tropical. Devido à desgaseificação do rio, à mistura das águas do rio e do oceano e à produção primária líquida, as águas da pluma tornam-se marcadamente subsaturadas em relação ao $\text{CO}_{2\text{atm}}$. O sumidouro de CO_2 oceânico resultante nesta região contrasta com a situação nas águas superficiais tropicais, que são tipicamente supersaturadas (KÖRTZINGER, 2003).

2.5 ENSO

Em condições normais no oceano Pacífico, os ventos alísios sopram para oeste ao longo do equador, levando água superficial, mais quente, da América do Sul em direção à Ásia. Para substituir a camada superficial de água mais aquecida, em função da circulação superficial no oceano Pacífico Leste, ocorre a ressurgência de águas mais profundas e mais frias (CIRANO et al., 2006). A oscilação climática chamada El Niño-Oscilação Sul (ENSO) possui duas fases: El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria), que alteram essas condições normais na superfície do oceano Pacífico devido à mudança no comportamento da temperatura da superfície das águas, associado aos campos de pressão atmosféricos, influenciando assim, o clima em diferentes regiões (SARACHIK; CANE, 2010). ENSO afeta não somente a região do Pacífico, mas também o padrão de temperatura superficial no oceano Atlântico, particularmente na região tropical norte (CHIKAMOTO et al., 2020).

2.5.1 El Niño

É um termo utilizado para a fase de aquecimento da Oscilação Sul do El Niño (ENSO). Durante um evento El Niño, as temperaturas da superfície do mar no Pacífico podem aumentar de 0,5 a 3°C ou mais, durante alguns meses até dois anos, em função do enfraquecimento dos ventos alísios. O evento El Niño afeta os sistemas climáticos em todo o mundo, provocando mudanças previsíveis nos padrões de temperatura, chuvas e ventos. Durante o evento de El Niño, a água mais quente é empurrada para o leste, em direção à costa oeste das Américas. A superfície mais quente do oceano aquece a atmosfera, o que permite que o ar carregado em umidade suba e se transforme em tempestades na parte central do oceano Pacífico. Da mesma forma, o deslocamento dessas águas mais quentes para leste, pode gerar ascensão de ar na costa da América do Sul aumentando as chuvas na região e secas na parte leste da Amazônia e norte da Região Nordeste do Brasil (NOAA, 2016; ROSENZWEIG; HILLEL, 2008).

Geralmente os efeitos do El Niño no oceano Atlântico são observados cerca de 3 a 5 meses após o ápice no oceano Pacífico (ZHANG et al., 2021). Em condições normais no oceano Atlântico, a ressurgência traz a água mais profunda para a superfície; esta água é fria e rica em nutrientes, o que promove a produção primária regional e mantém a pesca. Já durante o El Niño, a ressurgência enfraquece ou para completamente. Sem a disponibilidade de nutrientes, há menos biomassa fitoplanctônica na região costeira no Atlântico Norte, o que consequentemente afeta toda a teia alimentar regional (OCHA, 2020).

Vale ressaltar que de acordo com Chikamoto et al. (2020) o resfriamento da superfície do oceano Atlântico pode induzir a ocorrência de um El Niño no Pacífico alguns meses depois.

O Niño Atlântico é um termo debatido entre os meteorologistas, devido ao menor impacto global causado por esse fenômeno, apesar de sua dinâmica semelhante à do ENSO. Ele é caracterizado por temperaturas da superfície do mar mais quentes do que a média na bacia equatorial oriental e ventos mais fracos do que a média em todo o Atlântico Leste e central. O fenômeno tem impactos locais complexos, como o aumento da frequência das inundações na América do Sul (ARAÚJO et al., 2013), além disso, novas pesquisas sugerem a contribuição para a formação de furacões. O Niño Atlântico, tende a atingir o pico no verão, quando o ENSO está geralmente inativo e tem geralmente uma duração mais curta (CHIKAMOTO et al., 2020; VALLÈS-CASANOVA et al., 2020).

2.5.2 La Niña

La Niña é uma fase de resfriamento do ENSO, que tende a ter impactos climáticos globais opostos aos do El Niño. Durante os eventos de La Niña, a atmosfera esfria em resposta à superfície mais fria do oceano e menos água evapora na região equatorial do oceano Pacífico. O ar mais frio e seco é denso, logo não ascende nem forma tempestades, resultando em menores índices pluviométricos na região (OCHA, 2020). Foi observado em diversos artigos (ARAÚJO et al., 2013; GRIMM, 2002, 2004) que durante eventos de La Niña o número de eventos extremos de precipitação tende a aumentar no centro-sudeste do Brasil.

Durante eventos de La Niña, os ventos alísios, no oceano Pacífico, são ainda mais fortes que o normal, empurrando mais água superficial e aquecida para a Ásia, consequentemente gerando movimentos ascendentes e nuvens de chuva no nordeste do oceano Índico a oeste do oceano Pacífico passando pela Indonésia. No Brasil provoca o aumento na intensidade da estação chuvosa, ocasionando cheias (enchentes) expressivas de alguns rios da região Amazônica (FERNANDO; MARCUZZO; ROMERO, 2013; SALES; REBELLO; FÁTIMA, 2010). Na borda leste do continente americano, no oceano Atlântico tropical, a ressurgência se intensifica, trazendo à superfície mais água fria e rica em nutrientes (OLIVEIRA, 2022).

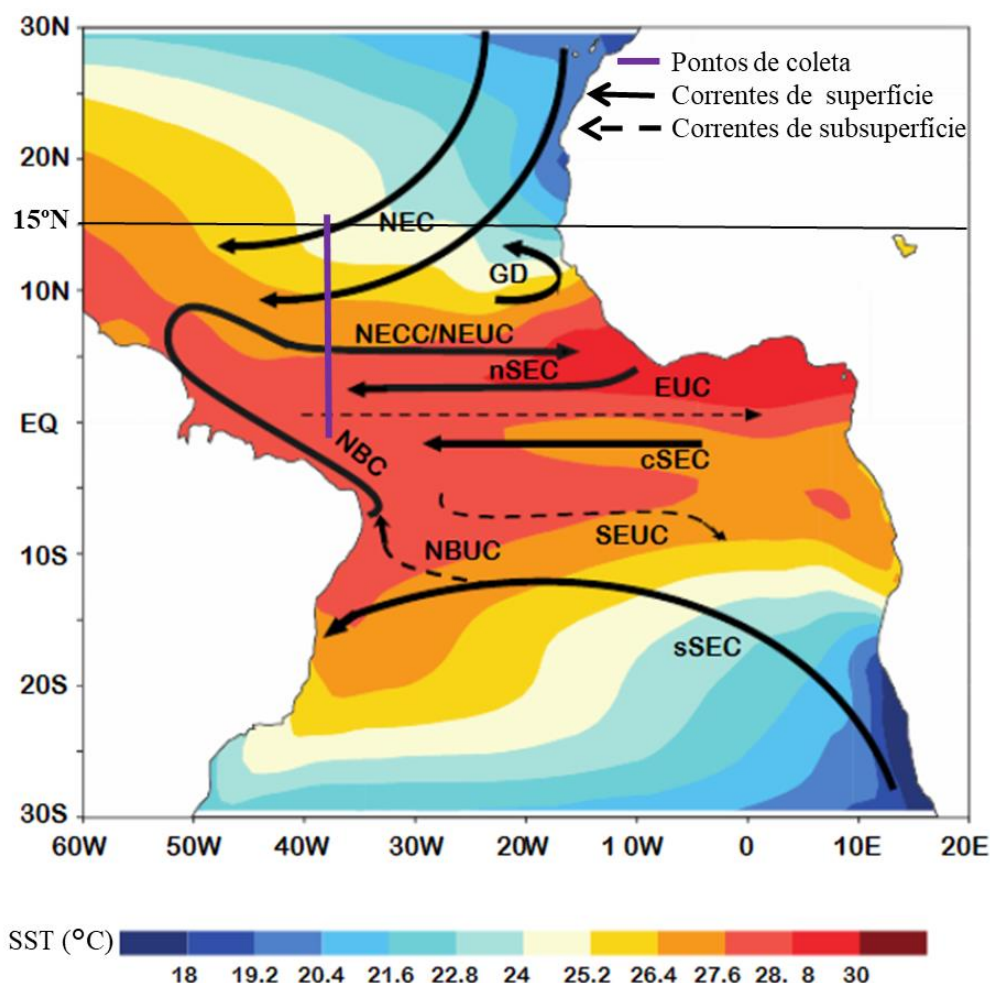
Assim como o El Niño, o Niño Atlântico tem um fenômeno oposto, a Niña Atlântica, que traz condições atlânticas equatoriais mais frias do que a média e os impactos climáticos opostos ao seu irmão (LEE, 2020; VALLÈS-CASANOVA et al., 2020).

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde ao oceano Atlântico Tropical Oeste, incluindo as províncias biogeográficas marinhas como NATR (*North Atlantic Tropical Gyral*) e WTRA (*Western Tropical Atlantic Province*) proposta por Longhurst (2007), em um gradiente latitudinal, de 1° S a 15° N ao longo da longitude 38°W. Esta região engloba uma área de complexa circulação superficial equatorial e tropical do Atlântico Oeste (Figura 9), e a presença da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ – *Inter Tropical Convergence Zone*). A extensão da área de estudo permitiu estudar a variação da diversidade funcional do fitoplâncton, através de um gradiente de variáveis físicas e químicas (salinidade, temperatura, concentração de nutrientes) na superfície do oceano.

Figura 9- Esquema de circulação superficial com as principais correntes do Atlântico Sul e Equatorial.



Legenda: Correntes superficiais marítimas (setas contínuas), incluindo Corrente Norte do Brasil (NBC – *North Brazil Current*), e sua retroflexão, Corrente Norte Equatorial (NEC – *North Equatorial Current*), Contracorrente Norte Equatorial (NECC – *North Equatorial Countercurrent*), Corrente das Guianas (GD – *Guinea Dome*), Corrente Sul Equatorial com suas vertentes norte, centro e sul (nSEC, cSEC, sSEC – *South Equatorial Current, with northern, central and Southern branches*), Correntes subsuperficiais (setas tracejadas), Subcorrente Norte do Brasil (NBUC – *North Brazil Undercurrent*), Subcorrente Equatorial (EUC – *Equatorial Undercurrent*), Subcorrente Sul Equatorial (SEUC – *South Equatorial Current*), Subcorrente Norte Equatorial (NEUC – *North Equatorial Undercurrent*). Com temperatura no mar (SST), para maio, a partir de dados do OISST dataset. Em linha roxa o transecto de coleta.

Fonte: Adaptado de MARTÍN-REY; VALLÈS-CASANOVA; PELEGRÍ, 2023; REYNOLDS et al., 2002b, 2007

3.1.1 Correntes (CB/CNB/CCNE)

A Corrente do Brasil (CB) origina-se da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSE), em 10°S, e flui para sul, contornando a borda leste do continente sul-

americano até a região da Convergência Subtropical, localizada entre 30 ° –40 ° S (OLSON et al., 1988). O outro ramo da CSE flui para o norte e dá origem à Corrente Norte do Brasil (CNB). Nesta região da Convergência Subtropical, a CB encontra a Corrente das Malvinas e se afasta da costa, formando a corrente do Atlântico Sul.

A CB é a corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul, caracterizada por massas de água de temperaturas quentes que variam de 19 ° a 27 ° C e uma alta salinidade, que varia em média de 35 a 37. Comparada a outras correntes de contorno oeste, é relativamente fraca e rasa, com uma velocidade de superfície de um a dois nós e uma profundidade de 100–200 m, e tem um transporte de aproximadamente 10.000.000 m³/s (CIRANO et al., 2006).

Nos primeiros três quilômetros de coluna d'água, na borda oeste do Atlântico Sul, encontram-se a Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártida (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (SILVEIRA et al., 2000).

Nos trópicos há fortes correntes zonais de superfície, o que pode aumentar a advecção horizontal de nutrientes e, por sua vez, aumentar o crescimento do fitoplâncton. O aumento da advecção também é observado durante o evento de El Niño no Oceano Atlântico tropical, à medida que os ventos de leste equatoriais se intensificam no Leste, trazendo águas mais quentes e pobres em nutrientes para cerca de 15°N (RICHTER et al., 2013), e levando a reduções de clorofila e produtividade primária de $-8 \pm 3\%$ e -10 ± 5 Tg C/ano, respectivamente (RACAULT et al., 2017).

A Corrente Norte do Brasil (CNB) é a corrente de contorno oeste que fecha o Giro Equatorial do oceano Atlântico em sua porção austral (FERREIRA, 2018). É uma corrente vigorosa, que transporta águas quentes e salinas através do equador para o norte até o Mar do Caribe e que ao longo do ano apresenta dois padrões típicos de comportamento. Um desses padrões é o fluxo contínuo que ocorre geralmente entre os meses de fevereiro e junho, onde a corrente flui para noroeste junto à quebra da plataforma, ao longo da costa brasileira. Outro padrão é quando uma fração importante gira, entre 5°N e 10°N, para leste na região equatorial, retrofletindo na Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) e na Subcorrente Equatorial (SE). Essa retroflexão ocorre devido ao rotacional do vento nulo (rotacional zero, que ocorre próximo a ITCZ), descrito na teoria de SVERDRUP (1947). A retroflexão equatorial da Corrente Norte do Brasil (CNB) é um importante regulador para o trecho de retorno da Circulação Meridional do Atlântico. Nessa retroflexão, diversos vórtices de mesoescala (cerca de 2 a 7 por ano) são gerados e transladados para noroeste (MORAES, 2011).

De acordo com Vallès-Casanova et al. (2022), de fato, a maior parte da água dessa retroflexão vem do oceano Atlântico Sul tropical e subtropical, com pequena porcentagem do Atlântico Norte, principalmente do nordeste do Atlântico tropical. Essas fontes de água, do Norte e do Sul, seguem diferentes caminhos de retroflexão em diversas latitudes e camadas de densidade. O transporte de água associado à retroflexão muda ao longo do ano, com máximos na primavera e no outono. Esta variabilidade é resultado de mudanças locais e remotas do sistema de ventos alísios do Atlântico Tropical combinadas com modos climáticos de variabilidade interanual, como o El Niño.

O deslocamento norte-oeste da pluma do Amazonas varia com a retroflexão da CNB, devido ao deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ). Durante os meses de máxima descarga (abril e junho) a pluma flui para o noroeste, enquanto durante os meses de mínima descarga (outubro e dezembro) a pluma flui em direção à borda leste do oceano Atlântico. Essa mistura de águas oceânicas e pluma, pode penetrar mais de 1000 km no oceano Atlântico Norte, podendo chegar até a latitude de 10° N (FELIPE et al., 2017; LOURENÇO, 2016).

A Contracorrente Equatorial (CE) é uma corrente que flui para o leste, altamente sujeita à força do vento sazonal, que se estende a profundidades de 100 a 150 metros nos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico (BOURLES et al., 1999; GRODSKY; CARTON, 2002). A CE Atlântica é mais forte na costa de Gana (África), onde é conhecida como Corrente da Guiné (FERREIRA, 2018).

A Contracorrente Norte equatorial (CCNE), situando-se principalmente entre a latitude de 3 ° e 10 ° N, entre a Corrente Norte Equatorial (CNE) e a Corrente Sul Equatorial (CSE) (BOURLES et al., 1999; PETERSON; STRAMMA, 1991). O fluxo máximo para leste é atingido no final do verão boreal e no outono, enquanto a contracorrente é substituída pelo fluxo para oeste no final do inverno e na primavera (RICHARDSON; MCKEE, 1984; RICHARDSON; REVERDIN, 1987). A força da CCNE no Atlântico é notavelmente mais forte nos anos seguintes ao El Niño no Pacífico tropical (CARTON; KATZ, 1990; KATZ, 1993).

A Subcorrente Norte Equatorial (SNE) é uma corrente de subsuperfície que flui para o leste, centrada em 5°N. Seu limite superior é comumente definido como a camada de densidade neutra de 24,5 kg m⁻³, que separa as águas superficiais tropicais das águas subtropicais (por exemplo, BOURLES et al., 1999; GOES et al., 2013). BURMEISTER et al. (2020) afirma que a SNE transporta águas ricas em oxigênio para a zona leste de baixo oxigênio.

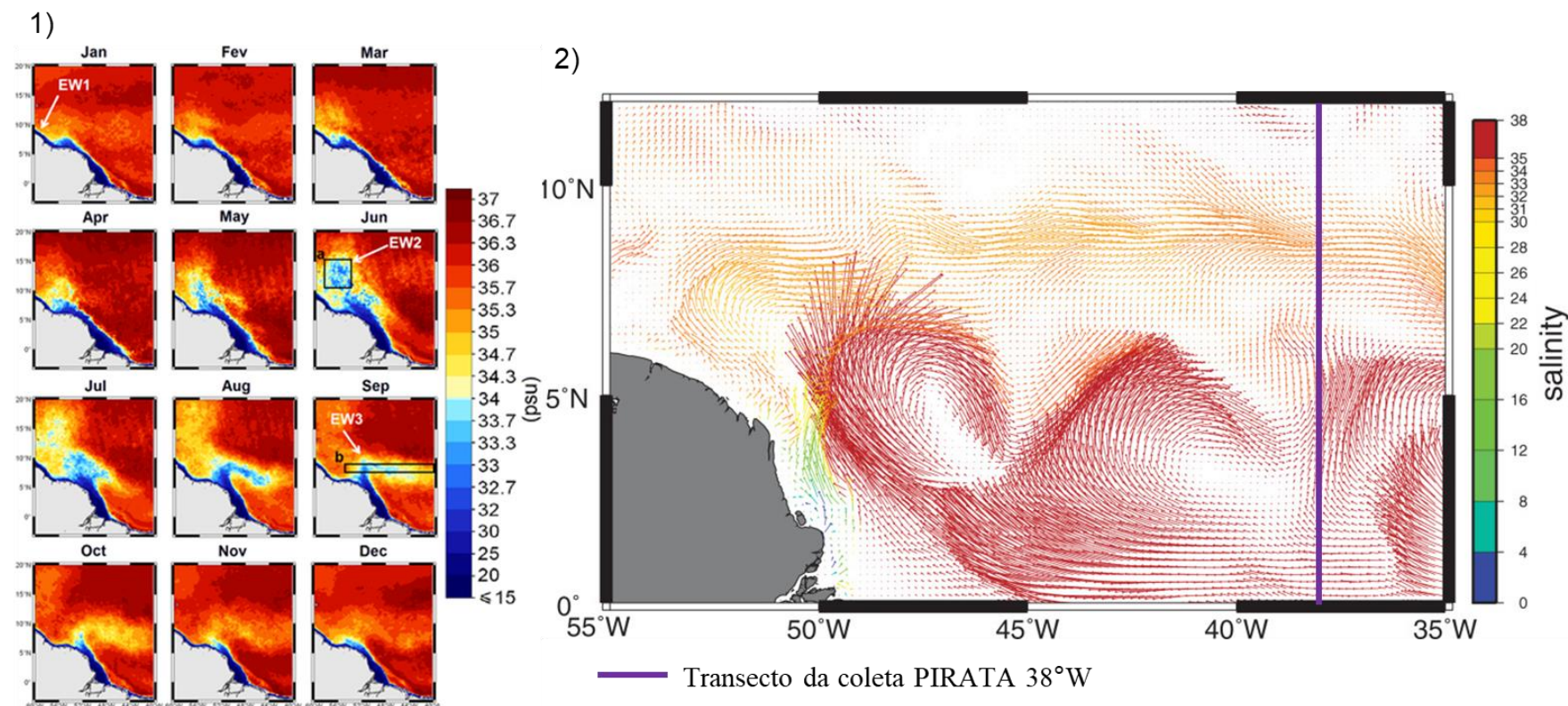
3.1.2 Pluma do rio Amazonas

A pluma do rio Amazona gera uma camada barreira no Atlântico Tropical Ocidental (PAILLER; BOURLÈS; GOURIOU, 1999) de 5 a 10 m de espessura de água de baixa salinidade (Figura 10-2) separada da água oceânica subjacente por uma haloclina acentuada de 5 m, que cria uma camada superficial mista (COOLEY; YAGER, 2006).

Mudanças no ciclo hidrológico da Amazônia associadas a menores temperaturas no Atlântico Tropical (ex: La Niña) são caracterizadas por uma tendência de aumento da pluviosidade, com o consequente aumento da amplitude dos máximos e mínimos mensais na vazão do rio (GLOOR et al., 2013; MARENGO; ESPINOZA, 2016). Na Figura 10-1, pode-se ver a forte descarga do rio Amazonas em 2009, causada pelo resfriamento anômalo do Atlântico Norte equatorial (FOLTZ; MCPHADEN; LUMPKIN, 2012; GRODSKY; CARTON; BRYAN, 2014), através da baixa salinidade nas regiões da geração de giros da CNB e no aumento da exportação para o leste pela retroflexão do CNB estendendo-se até 40°W (GOUVEIA et al., 2019).

Gouveia et al. (2019) mostram uma representação melhorada dos principais caminhos de exportação da água de baixa salinidade do rio Amazonas: I) uma plataforma noroeste e um ramo de quebra de plataforma, II) um ramo norte formado pelos Anéis da CNB que desviam em direção às Pequenas Antilhas e III) um ramo para leste com a retroflexão CNB no CCNE (COLES et al., 2013; GRODSKY; CARTON; BRYAN, 2014; HELLWEGGER; GORDON, 2002). O modelo empírico de salinidade de superfície (ESS) também permite identificar uma relação sigmoideal inversa entre produtividade primária e salinidade, entretanto tanto as regiões de baixa salinidade quanto as mesohalinas respondem a processos, responsáveis pela transformação da MOD (bactérias, compostos adicionados por *blooms* de fitoplâncton e processos fotoquímicos), que podem aumentar ou diminuir a produção primária. Além disso, a proporção das frações MOD continentais e marinhas são controladas pela diluição da água da pluma pelo oceano. Indicando que a influência do rio Amazonas é muito mais complexa do que a esperada diminuição da produtividade primária de superfície à medida que a salinidade aumenta.

Figura 10- Climatologia mensal reconstruída usando o modelo empírico de salinidade de superfície.



Legenda: 1) Climatologia ESS de julho de 2002 a agosto de 2017. As duas caixas pretas (a e b) indicam as áreas de localização usadas na análise de Hovmoller. As setas brancas nos mapas de janeiro, junho e setembro apontam para os caminhos de exportação da água de baixa salinidade (EW1, EW2 e EW3). 2) Vetores de velocidade de correntes superficiais, com cores de acordo com o valor de salinidade, do ano modelo de 1991 no início de outubro. Linha em roxo pontos de coleta deste trabalho.

Fonte: 1) GOUVEIA et al., 2019; 2) COLES et al., 2013

De acordo com Subramaniam et al. (2008) a comunidade fitoplânctonica na pluma é dominada por diatomáceas costeiras, com concentrações suficientes de sílica (Si), fósforo (P) e nitrogênio (N) para que haja pouca fixação de N₂ (dinitrogênio). Já na parte em que a pluma se mistura com águas oceânicas oligotróficas, os diazotróficos se tornam fontes principais de nitrogênio para a comunidade planctônica. Nesta zona de mistura as DDAs com *Richelia* dominam, pois requerem o Si e P encontrados na pluma do rio, enquanto o N é fornecido pela fixação de N₂. Já no oceano onde o Si e o P associados ao rio estão esgotados, a composição da comunidade fitoplânctonica transita para aquela típica de oceanos tropicais oligotróficos, e o diazotrófico dominante é *Trichodesmium*.

A produção primária baseada na fixação de nitrogênio é uma via chave para o sequestro de carbono atmosférico no oceano (EPPLEY; PETERSON, 1979). A produção associada à diazotrofia permite que a pluma offshore da Amazônia absorva quantidades significativas de carbono atmosférico ($15 \pm 6 \text{ Tg C ano}^{-1}$). O sumidouro de carbono na pluma amazônica depende de condições sensíveis ao clima que controlam a hidrologia do rio, a solubilidade do CO₂ e as trocas gasosas, como por exemplo: maiores temperaturas diminuem a solubilidade e aumentam a variabilidade da velocidade do vento; e temperaturas mais baixas e velocidades mais altas do vento, durante o outono, aumentariam a absorção da pluma e teriam um impacto maior no sumidouro do que se ocorressem na primavera ou no verão (COOLEY; YAGER, 2006).

3.1.3 Zona de Convergência Intertropical

Na região tropical, a precipitação está relacionada à atuação de fenômenos meteorológicos de diferentes escalas de tempo e, dentre os de grande escala, destaca-se a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ – *Inter Tropical Convergence Zone*), sendo responsável por 32% da precipitação global (HUFFMAN et al., 1997; MOURA; VITORINO, 2012).

A Zona de Convergência Intertropical é um cinturão de baixa pressão que circunda a Terra geralmente próximo ao equador, gerado pela maior incidência de sol na região, que aumenta a temperatura e, conseqüentemente, diminui a pressão (XIE; SAITO, 2001). Esta é uma região de convergência dos ventos alísios (ventos de nordeste no hemisfério norte convergem com os ventos de sudeste do hemisfério sul), visto que o vento sempre se move em

direção a áreas de menor pressão, que oscila entre 5°S e 10°N, e transfere calor e umidade das regiões tropicais, para as médias e altas latitudes (BYRNE et al., 2018).

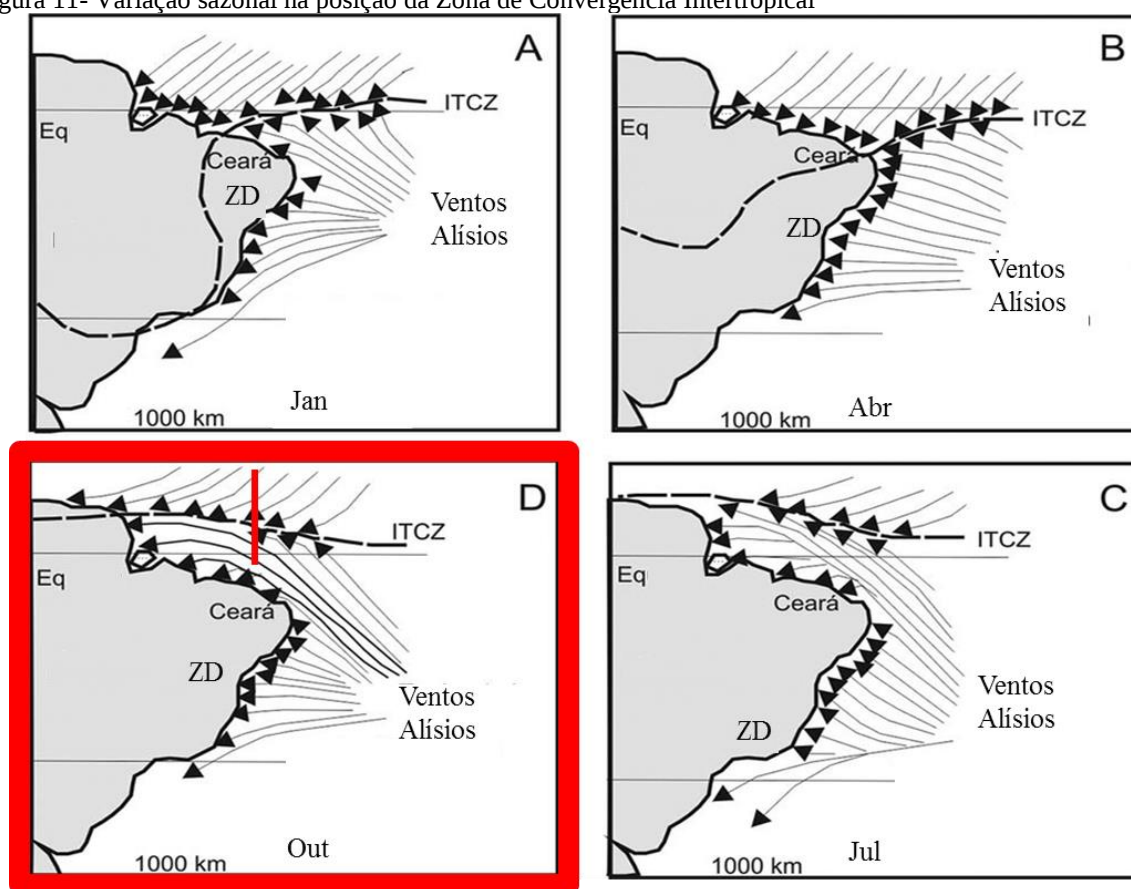
A posição da ITCZ varia com as estações do ano (Figura 11), devido a variações na circulação atmosférica e na Zona de Máxima Temperatura da Superfície do Mar. Uma vez que a água tem uma capacidade térmica maior do que a terra (o oceano aquece mais lentamente do que a terra), a ITCZ se propaga em direção aos polos de forma mais proeminente sobre a terra do que sobre a água e sobre o hemisfério norte do que sobre o hemisfério sul. Em julho e outubro, sobre o Atlântico e o Pacífico, a ITCZ fica entre 5°N e 15°N. Em janeiro e abril, sobre o Atlântico, a ITCZ se aproxima do Equador (SKYBRARY, 2017).

Schlosser et al. (2014) mostram que a migração sazonal da ITCZ está ligada a mudança da zona de elevada densidade de ferro, e consequentemente leva a uma mudança na distribuição latitudinal da fixação de dinitrogênio e depleção de fosfato nas águas superficiais. Os diazotróficos oceânicos têm uma necessidade de vários nutrientes, incluindo fósforo (P) e ferro (Fe), notadamente de Fe, devido a necessidade dele na nitrogenase, o catalisador responsável pela fixação do N₂ (FALKOWSKI, 1997; PAERL; PRUFERT-BEBOUT; GUO, 1994; TOVAR-SANCHEZ et al., 2006).

O ferro é altamente insolúvel e rapidamente eliminado da água do mar oxida (MILLERO, 1998). Em consequência, a disponibilidade deste micronutriente nas águas superficiais é muitas vezes fortemente associada a fontes externas, incluindo entradas de materiais terrígenos via deposição eólica. O Atlântico Norte (sub)tropical recebe os maiores fluxos de deposição de poeira eólica (notadamente de Fe) no oceano global, possuindo assim elevadas concentrações de ferro dissolvido (DFe), quando comparado ao oceano oligotrófico (BOWIE et al., 2002; JICKELLS et al., 2005; TOVAR-SANCHEZ et al., 2006), com correspondente depleção severa de fosforo inorgânico dissolvido (DIP) argumentado como resultado de atividade diazotrófica significativa dentro ou a montante deste sistema. Em contraste, o giro (sub)tropical do Atlântico Sul é caracterizado por DIP relativamente alto e concentrações muito baixas de DFe. A região entre esses sistemas de giros (sub)tropicais é normalmente caracterizada por altas taxas de fixação de N₂, pelas cianobactérias diazotróficas (GROKOPF et al., 2012; TYRRELL, 2003). As concentrações superficiais de nutrientes e a atividade diazotrófica parecem definir uma divisão biogeoquímica do Atlântico entre um sistema de alto DIP e baixo DFe no Sul, e um sistema de baixo DIP e alto DFe no Norte. Tudo isso corrobora que a diazotrofia pode ser aumentada em regiões de entradas de alto Fe, resultando em subsequente redução de DIP (CHAPPELL et al., 2012; MILLS et al., 2004; RICHIER et al., 2012; TYRRELL, 2003; WU et al., 2000).

A região da ITCZ possui fortes precipitações de até $\sim 0,8 \text{ mm h}^{-1}$ (HUFFMAN et al., 1997), que rapidamente elimina os aerossóis (JICKELLS, 1995), também restringe o transporte deles para o Atlântico sul, resultando em baixas concentrações de DFe (SCHLOSSER et al., 2014). Schlosser et al. (2014) defendem fortemente que a deposição úmida, associada à ITCZ, forma a principal fonte de DFe para as águas superficiais do Atlântico tropical e que as mudanças sazonais na ITCZ e as entradas de Fe dominadas pela deposição úmida associada pareciam controlar dinamicamente a diazotrofia.

Figura 11- Variação sazonal na posição da Zona de Convergência Intertropical



Legenda: Posição média da zona de convergência intertropical (ITCZ), da zona de divergência (ZD) e os padrões de vento associados nos meses de: A) janeiro, B) abril, C) julho e D) outubro. Destaque em vermelho para o mês de outubro, relativo ao período de coleta. Linha vermelha indica o transecto de coleta.

Fonte: Carvalho et al., 2016

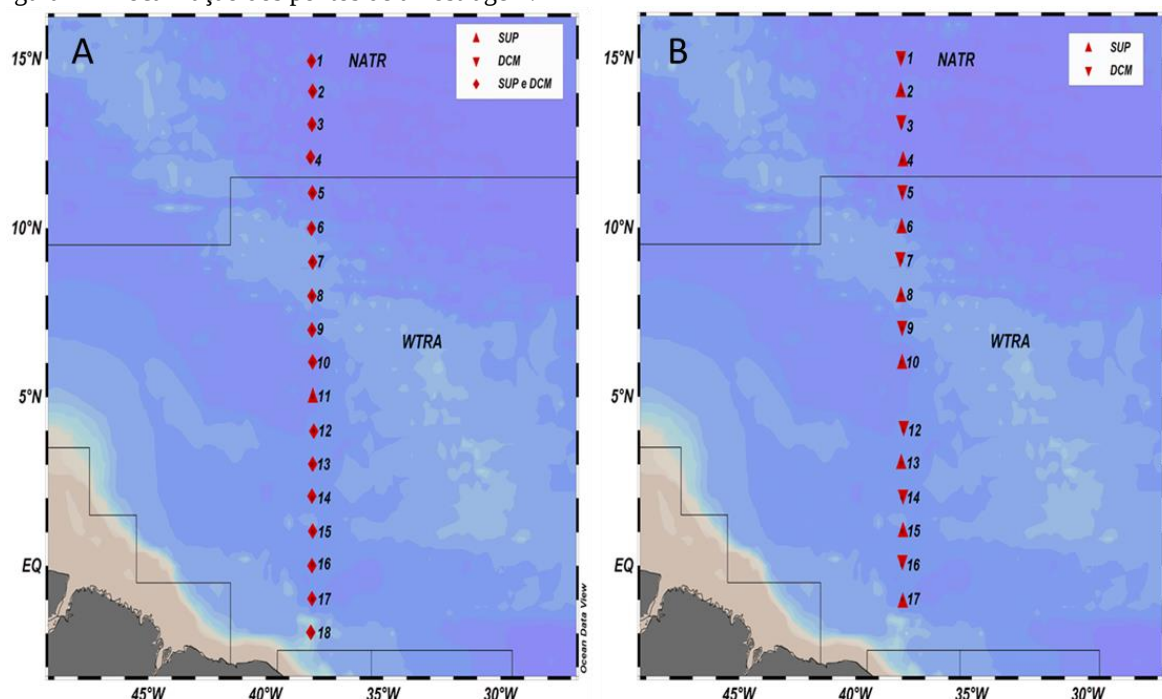
3.2 Amostragem

Foram realizadas duas campanhas amostrais correspondentes às Comissões PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), a PIRATA-BR XVII P2 (Nov./2017 a Dez./2017) e PIRATA-BR XVIII P3 (Out./2018 a Nov./2018); com 34 estações amostrais (Figura 12).

A amostragem discreta dos dados foi realizada através de um CTD-Rosette Sea Bird Electronics® Inc. (SBE), modelo SBE 911, em conjunto de um sistema CTD-O₂ (dados de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido) e garrafas de Niskin. As amostras foram coletadas com garrafas Niskin em duas profundidades (à 5 m da superfície e na profundidade equivalente ao máximo de clorofila-*a*- DCM- variando de 38 a 127 metros), nas mesmas estações de coleta de água para oxigênio, nutrientes e outras variáveis. De cada amostra, alíquotas de 2 litros de água foram armazenadas com fixador (solução de lugol neutralizada a 2%) em garrafas, devidamente identificadas, para posterior análise da comunidade nanofitoplanctônica (5 µm a 20 µm) e microfitoplanctônica (> 20 µm).

Dados sobre El Niño/La Niña foram obtidos no site da NOAA - *Oceanic Niño Index* (ONI), obtido pela média contínua de 3 meses de anomalias de temperatura da superfície do mar na região Niño 3.4 (5°N – 5°S, 120°-170°W), com base em períodos base centrados de 30 anos atualizados a cada 5 anos (CLIMATE PREDICTION CENTRE, 2019). Dados de vento processados usando as informações do E.U. Copernicus Marine Service (CMEMS, 2022), com satélite que possui resolução temporal de 6 h e horizontal de 1/4°. Dados de elevação da superfície do mar do site da NASA (C3S, 2018). Os outros dados referentes à coluna de água foram coletados e analisados por outros grupos de pesquisa presentes a bordo. Os dados de nutrientes, pH e oxigênio foram disponibilizados pela Prof. Dra. Letícia Cotrim da Cunha, coorientadora deste estudo. O processamento dos dados hidrográficos, assim como a caracterização das massas de água foi feito pelo grupo multi-institucional do projeto PIRATA no Brasil (UFPE, UFF, UERJ) (INPE, 2022; NOAA; PMEL, 2022). Os dados de clorofila e temperatura da superfície do mar foram obtidos a partir de dados satelitais (Satélite Aqua, sensor MODIS 8 dias, durante o período de coleta, resolução de 4 km), com auxílio da Dra. Priscila K. Lange.

Figura 12- Localização dos pontos de amostragem.



Legenda: Pontos de coleta. Triângulos representam coletas na superfície, triângulos invertidos representam coletas na DCM (profundidade de máxima clorofila), e losangos representam coletas na superfície e na DCM. NATR - *North Atlantic tropical Gyral*; WTRA - *Western Tropical Atlantic Province* A: PIRATA XVII (2017); B: PIRATA XVIII (2018).

Fonte: A autora, 2024; preparado com ODV (SCHLITZER, 2023).

3.3 Análise laboratorial

3.3.1 Análise Química

As amostras para análise de nutrientes inorgânicos dissolvidos foram coletadas em frascos de polietileno com volume de aproximadamente 100mL, em seguida congeladas (VIEIRA, 2021).

A determinação das concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrato, nitrito, fosfato e silicato), da campanha de 2017, foi realizada no laboratório da Unidade Multiusuário de Análise Ambientais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), de acordo com o método de colorimetria de Hansen; Koroleff (2007), em um analisador automático através de uma análise por injeção de fluxo (FIA), fabricado pela FOSS modelo FiaStar 5000.

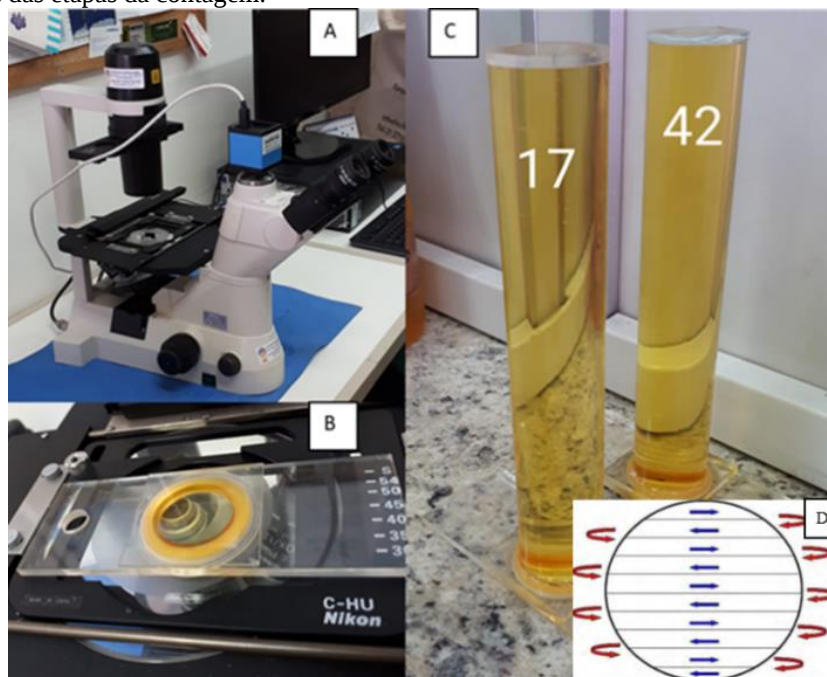
Já as concentrações de nutriente da campanha de 2018, foram determinadas no Laboratório de Oceanografia Química (LABOQUI) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), através do método de colorimetria, com o uso de espectrofotometria na faixa de luz visível (HANSEN; KOROLEFF, 2007).

3.3.2 Análise da comunidade fitoplanctônica: Análise qualitativa e quantitativa, Traços e Diversidade Funcional:

A análise qualiquantitativa do fitoplâncton consistiu na identificação, contagem e no cálculo do biovolume dos organismos pertencentes a cada táxon. A metodologia utilizada foi baseada no protocolo de amostragem e análise para o fitoplâncton da UNESCO (SAKSHAUG, 1981).

Em laboratório as amostras fixadas foram sedimentadas e concentradas para 500 mL através de sifonamento (representado por d na equação 1), em seguida sedimentadas em câmara de Utermöhl, com volume final 100 mL (UTERMÖHL, 1958). As contagens foram realizadas em microscópio invertido (modelo Eclipse TS 100 da Nikon®) em 400 X de aumento (Figura 13). Os organismos fitoplanctônicos ($>10\ \mu\text{m}$) foram contados na totalidade da câmara, nos casos em que o número de organismos foi inferior a 400 para nanofitoplâncton e 200 para microfitoplâncton uma nova contagem foi realizada, somando o volume final na equação de densidade de células (VENRICK, 1978).

Figura 13- Fotos das etapas da contagem.



Legenda: A- Microscópio; B – câmara de contagem; C- Câmara de sedimentação, D- A estratégia da contagem completa da câmara é apropriada para amostras com reduzida densidade de algas e cianobactérias, para *táxons* de grandes dimensões (e.g. *Ceratium*), *táxons* pouco representados ou formas coloniais e filamentosas de grandes dimensões (e.g. *Microcystis*, *Fragilaria*).

Fonte: INAG, 2009; A autora, 2024.

Para aqueles *táxons* pertencentes ao nanoplâncton (5-20 μm) e ao microplâncton ($> 20 \mu\text{m}$) com frequência de ocorrência $> 10\%$, foram atribuídas dezoito características funcionais a partir das observações ao microscópio (traços observados) e através da consulta da literatura (traços potenciais), seguindo o proposto em Litchman et al. (2010).

A classificação foi realizada considerando as características morfológicas: (a) tamanho - representado pela máxima dimensão linear, como MDL x S/V (μm), e razão s/v, (b) colonialidade - representada pela formação de cadeias ou filamentos, (c) presença de frústula ou teca, (d) presença de rafe; e características fisiológicas / ecológicas e comportamentais: (e) motilidade (indicada pela presença de flagelos ou cílios), (f) potencial toxicidade - capacidade de formação de *bloom* de algas nocivas (HAB), (g) formação de cistos, (h) Diazotrofia e DDA (*Diatom Diazotroph Associations*) e (i) Modo nutricional (autotrofia, heterotrofia e mixotrofia) (BALECH, 1988; CUPP, 1943; MOSER et al., 2017; THRONDSSEN; HASLE; TANGEN, 2007; TOMAS; HASLE, 1997).

3.4 Análise dos dados

3.4.1 Densidade Fitoplanctônica

O número de organismos do fitoplâncton contabilizado por táxons foi convertido em concentração de células por unidade de volume da amostra, segundo a equação 1:

$$N = X * \frac{A * d}{a * v}$$

Equação 1- Equação de densidade do fitoplâncton

Legenda: *N*: Número de unidades por volume na amostra (unidades/ml)

X: Número médio de unidades por quadrícula ou transecto (ou número total de unidades na câmara)

A: Área da câmara

v: Volume da amostra sedimentado na câmara

a: Área do campo de contagem (quadrícula, transecto ou câmara)

d: Fator de diluição ou de concentração da amostra (1 × diluído *d* = 2; 1 × concentrado *d* = 0,5), se aplicável

Fonte: INAG, 2009

3.4.2 Cálculo do biovolume

O volume celular dos organismos fitoplanctônicos, designado por biovolume fitoplanctônico (mm³/L) (equação 2), permite uma adequada e precisa comparação entre amostras e a quantificação da contribuição dos diferentes grupos de fitoplâncton para a biomassa primária. Para a determinação do biovolume, as células, colônias ou filamentos, dos táxons com mais de 10% de frequência, foram medidos (ex: largura, comprimento, diâmetro) com o auxílio de uma lâmina micrométrica e um programa de análise de imagens (BelView e Image-pro insight), para melhor precisão estatística foram medidos 40 indivíduos de cada táxon e os seus volumes celulares médios foram estimados com base nas fórmulas geométricas, que melhor se ajustaram a cada organismo com base no artigo de Sun & Liu, (2003).

$$BioVolume_{\text{táxons}} \left[\frac{mm^3}{l} \right] = \text{número de} \frac{\text{células}}{\text{unidades}} \left[\frac{n}{l} \right] * \text{volume} \frac{\text{celular}}{\text{unidade}} [\mu m^3] * 10^{-9}$$

Equação 2- Equação de biovolume.

Fonte: INAG, 2009.

3.5 Tratamento dos dados bióticos e estatística

A diversidade é composta pela variedade de espécies e o número de indivíduos dentro de cada espécie, não estando correlacionada ao número de indivíduos por hectare (densidade) da população. Já a riqueza (S), destaca o número de indivíduos de determinadas espécies, no presente estudo a riqueza de espécies foi baseada em dados de incidência (presença/ausência). A diversidade alfa (α) é o número total de espécies em um habitat, ou seja, se refere ao número e abundância de espécies dentro de uma comunidade. Para avaliar a diversidade alfa foram utilizados os valores de riqueza (S); o índice de diversidade de espécies de Shannon-Wiener (H'); e a equitatividade de Pielou (J), ajustada ao índice H' (CARVALHO; FELFILI, 2011; MAGURRAN, 1988).

O índice de diversidade de Shannon-Weaver ou Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H'), considera igual peso entre as espécies raras e abundantes. Ele fornece uma ideia do grau de incerteza em prever, a qual espécie pertenceria um indivíduo retirado aleatoriamente da população. Quanto maior for o valor de H' , maior será a diversidade específica da população em estudo), e expressa a heterogeneidade, ou seja, riqueza e equitatividade e é dado por:

$$H' = -\sum p_i * \ln p_i \quad \therefore \quad p_i = n_i/N$$

Equação 3- Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H')

Legenda: H' = Medida logarítmica da diversidade;

p_i = proporção de indivíduos da i-ésima espécie;

$\ln$ = logaritmo de base neperiano (e);

n_i = número de indivíduos amostrados para a espécie i;

N = número total de indivíduos amostrados.

Fonte: DE PAULA AMARAL et al., 2013; RICKLEFS, 2003

O índice de Equitatividade pertence ao intervalo [0,1], onde 1 representa a máxima diversidade, ou seja, todas as espécies são igualmente abundantes. O índice de Equitatividade de Pielou é derivado do índice de diversidade de Shannon e permite representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes. Seu valor apresenta uma amplitude de 0, que é a uniformidade mínima, até 1, sendo esta, a uniformidade máxima.

$$J' = \frac{H'}{H'_{\text{máx}}} \quad \therefore \quad H'_{\text{máx}} = \log_b S$$

Equação 4- Equitatividade de Pielou (J)

Legenda: J' = índice de Equitatividade de Pielou;

H' máx. = diversidade máxima;

Log_b = logaritmo na base b (2 ou 2,718282 ou 10)

S = número de espécies amostradas.

Fonte: RICKLEFS, 2003; RODRIGUES, 2014

Os índices de diversidade funcional (FD) (Equação 5) visam descrever quanto do espaço multifuncional é preenchido e como a abundância de uma comunidade é distribuída dentro desse espaço funcional. Primeiramente é construída uma matriz de características, matriz de traços (matriz binária na qual a presença da característica é incluída como 1 e a ausência 0 ou matriz mista com dados quantitativos e binários), calculando uma matriz de distâncias entre pares de espécies no espaço de características funcionais e construindo um dendrograma para classificar as espécies de acordo com a matriz de distância, ao mesmo conjunto de dados aplicamos uma análise de componentes principais (PCA), para avaliar quais traços eram mais representativos da comunidade. As escolhas da distância e do método de classificação são de crucial importância, pois podem levar a resultados diferentes. Diferentes dendrogramas funcionais podem ser obtidos a partir da mesma matriz de dissimilaridade, dependendo do método de agrupamento utilizado (UPGMA, WPGMA, UPGMC, WPGMC ou método de Ward). Estes índices têm valores positivos, sendo que os valores mais elevados representam maior FD da componente que escalam (VILLÉGER; MASON; MOUILLOT, 2008).

$$FD = i' * h_2$$

Equação 5- Diversidade Funcional

Legenda: Soma do maior ramo do dendrograma funcional.

i'= vetor de linha de presença/ausência do ramo. [OBJ]

h₂= vetor comprimento do ramo.

Fonte: CALAÇA; GRELLE, 2016; PETCHEY; GASTON, 2002

A riqueza funcional (FRic) representa uma medida multidimensional da quantidade de espaço funcional preenchido pela comunidade e corresponde ao volume de um *convex hull*¹ no espaço funcional, baseada em algoritmos (CORNWELL; SCHWILK; ACKERLY, 2006; VILLÉGER; MASON; MOUILLOT, 2008). Não há limite, pois quantifica um volume absoluto preenchido. A equitatividade funcional (FEve) (Equação 6) descreve a uniformidade da distribuição da abundância no espaço dos caracteres funcionais, ou seja, corresponde a uma medida de regularidade do espaço entre as espécies ao longo do gradiente dos caracteres funcionais e regularidade na distribuição ponderada de suas abundâncias. Essa medida diminui quando a abundância é menos uniformemente distribuída entre as espécies ou quando as distâncias funcionais entre as espécies não são consistentes. Está restrita a valores entre 0 e 1 (VILLÉGER; MASON; MOUILLOT, 2008). Dispersão funcional (FDis) (Equação 7) é a média ponderada, no espaço multidimensional de traços, da distância que cada espécie está do centróide considerando todas as espécies dentro de uma comunidade. Este índice considera tanto os traços quanto a abundância de cada espécie, onde os pesos correspondem à abundância relativa destas, não havendo limite superior para o seu valor (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010b).

$$F_{Eve} = \frac{\sum_{i=1}^{s-1} \min \left(PEW_i, \frac{1}{s-1} \right) - \frac{1}{s-1}}{1 - \frac{1}{s-1}}$$

Equação 6- Equitatividade Funcional

Legenda: Soma do comprimento da árvore que liga os pontos no espaço tridimensional pesado pela abundância.
i= espécie amostrada.

S= a riqueza total de espécies.

PEW= uniformidade ponderada parcial.

Fonte: CALAÇA; GRELLE, 2016; VILLÉGER; MASON; MOUILLOT, 2008

$$F_{Dis} = \frac{\sum a_j z_j}{\sum a_j}$$

Equação 7- Dispersão Funcional

Legenda: Soma das distâncias no espaço funcional, deslocada pelo centróide da espécie mais abundante.

a_j = abundância da espécie j.

z_j = distância da espécie j ao centróide ponderado

Fonte: CALAÇA; GRELLE, 2016; LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010

¹ O convex hull é formado por um conjunto de pontos, em um espaço euclidiano, no qual os segmentos de linha conectam cada par de seus pontos formando um polígono.

A matriz mista de traços funcionais (matriz i- dados binários- presença/ ausência e medidas MDL S/V (μm) e razão S/V) e as abundâncias relativas das espécies (matriz ii) foram usadas para avaliar a diversidade funcional (FD) da comunidade, usando índices multidimensionais baseados na distância euclidiana e análise de coordenadas principais (PCoA)² dos traços para medir diferentes aspectos da diversidade, FRic, FEve e FDis. Essas métricas foram calculadas usando a função dbFD do pacote FD (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010a; OKSANEN et al., 2015; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2022) (software R, versão 4.2.1 – R Core Team, 2022).

Inicialmente à matriz mista de traços foi aplicada uma análise de agrupamento (Distância Euclidiana combinada com o Método de Ward, que procura por partições que minimizem a perda associada a cada agrupamento) de traços selecionados descritos na Seção “Análise da comunidade fitoplanctônica: Análise qualitativa e quantitativa, Traços e Diversidade Funcional”. A diferença entre as assembleias de organismos formadas foi testada aplicando ANOSIM (*Analysis of Similarities*) à matriz de distância resultante. Todos esses procedimentos foram realizados usando o pacote Vegan do software R (versão 4.2.1 – R Core Team, 2022) (KEMBEL et al., 2010; OKSANEN et al., 2015; PETCHEY; GASTON, 2007).

Uma Análise de Correlação Canônica (CCA) foi aplicada para avaliar a influência das variáveis abióticas na abundância dos organismos fitoplanctônicos, considerando às variáveis ambientais e abundância das espécies em todo conjunto de dados (matriz iii), a fim de avaliar a variação através do gradiente latitudinal e a formação dos grupos funcionais. A normalidade foi testada pelo teste de Shapiro–Wilk (Software *Paleontological Statistical 3* – PAST), (HAMMER et al., 2001). A comparação desses resultados (CCA) e das espécies agrupadas através de seus traços funcionais (cluster e PCA) permite validar ecologicamente os grupos formados (DE LIMA et al., 2019). A identificação de grupos funcionais foi realizada considerando as espécies que se agruparam nas seguintes etapas: análise de cluster, PCA e CCA, bem como pela análise dos índices funcionais.

² A PCoA é uma análise de ordenação irrestrita que aceita dados de diferentes tipos, como contínuos, categóricos, ordinais, binários, entre outros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as amostras, referentes ao transecto equatorial ao longo de 38°W, coletadas foram analisadas.

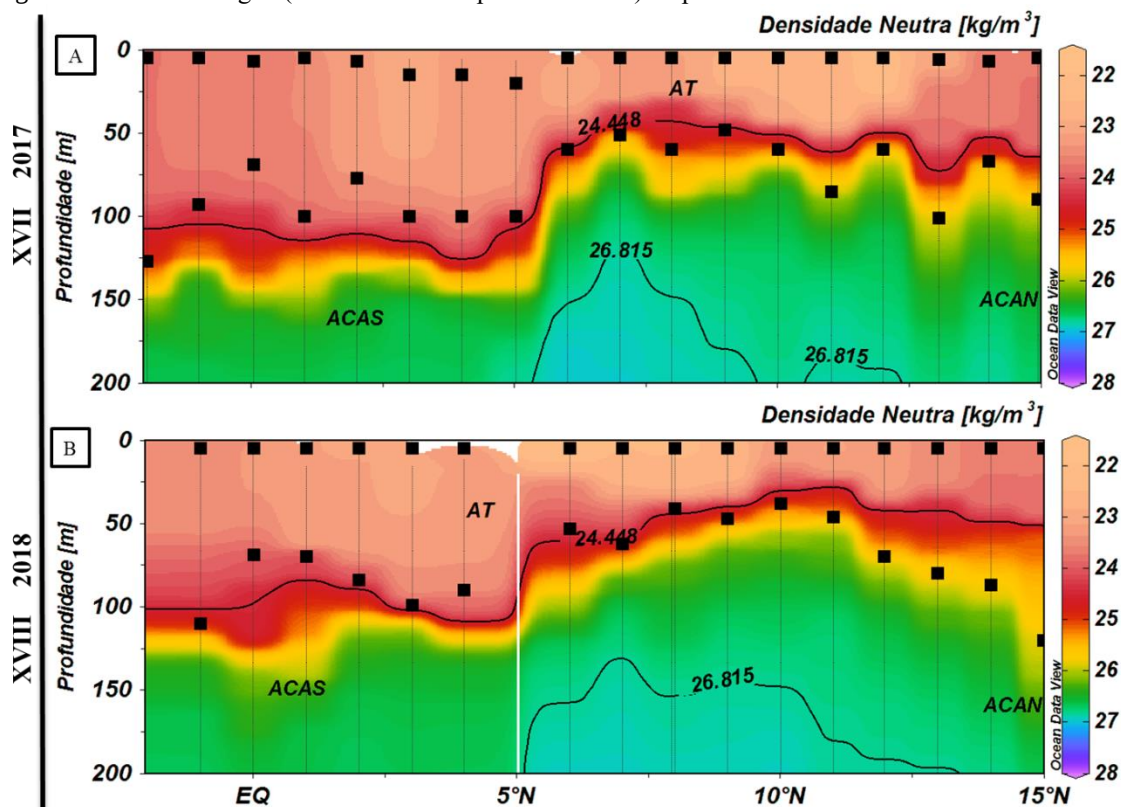
4.1 Cenário Oceanográfico

As massas de água observadas na região nas campanhas de 2017 e 2018 foram: Água Tropical (AT); Águas Centrais do Atlântico Sul e do Atlântico Norte (ACAS e ACAN); Água Intermediária Antártida (AIA); Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e Água de Fundo Antártida (AFA).

Na camada superficial até 200 m as massas de água presentes foram AT, ACAS e ACAN (Figura 14 e 15). Em ambas as campanhas a AT foi observada em todas as estações superficiais, com temperaturas acima de 25° e máximo de 31° C (Figura 16). A ACAS ocorreu abaixo de 125 m de profundidade nas estações ao sul. A ACAN foi registrada entre 75 m e 100 m de profundidade a partir de 5° N. Em 2017 essa massa de água foi observada em torno de 50 m a 7° N e 9° N. Em 2018 a ACAN ocorreu em torno de 50 m entre 9° e 10° N.

Os menores valores de salinidade na superfície foram observados entre 4° e 13° N, variando entre 34 e 35,5 em 2017 e entre 34,5 e 35,5 em 2018 (Figura 16A e B). Cabe destacar que nesta região a salinidade apresenta variações sazonais. Entre o final da primavera e início do verão, período do ano no qual foram realizadas as campanhas amostrais, geralmente são observados valores na faixa de 34,8; ocasionalmente são registradas salinidades mais baixas, na faixa de 34,4, enquanto no final do outono e durante o inverno, ocorre um aumento na salinidade, atingindo 36,2. Mais a leste, a salinidade da superfície é, em média, superior a 37 (ASSIS, 2021; NOAA; PMEL, 2022; VIEIRA, 2021).

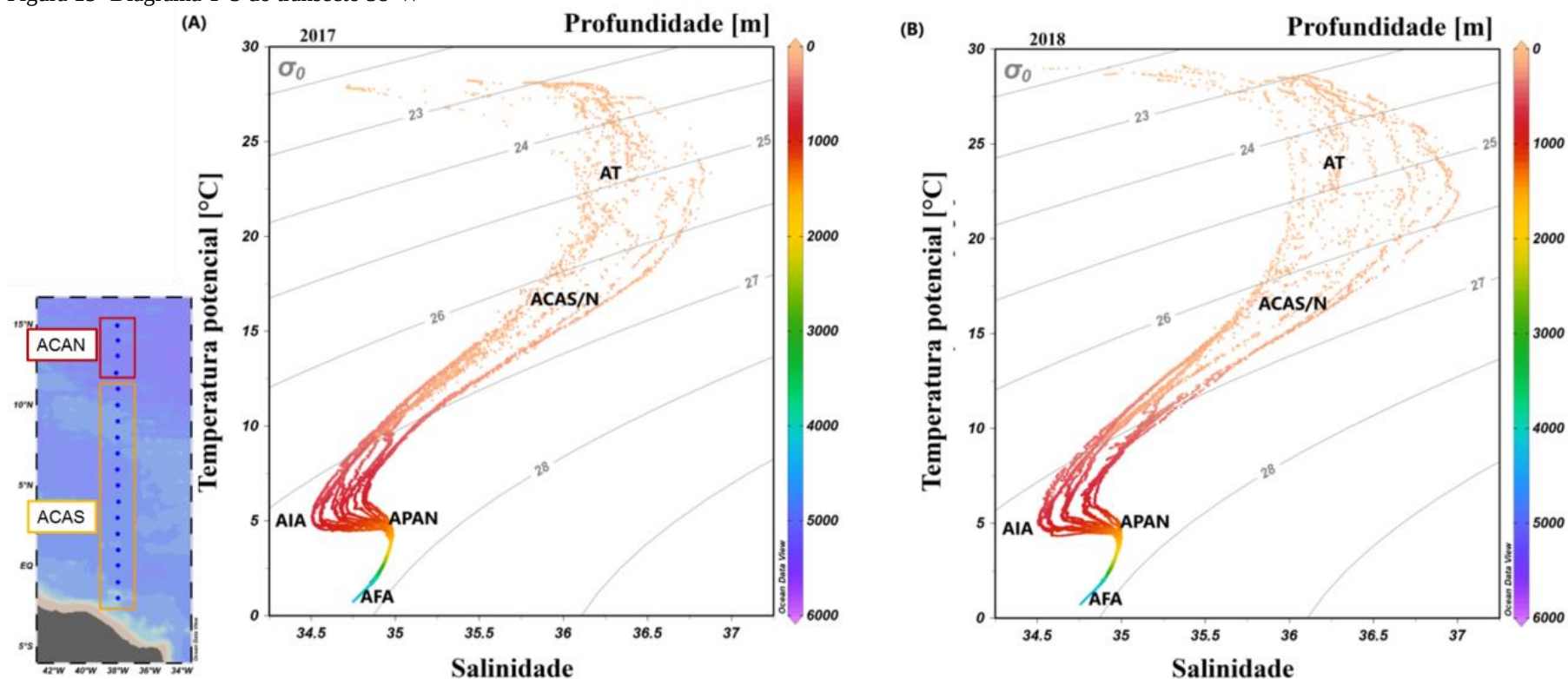
Figura 14- Massas d'Água (limites definidos pela densidade) na profundidade de coleta no transecto 38°W



Legenda: Linhas de densidade marcando os limites entre as massas de água. Quadrados pretos marcando as profundidades de coleta nas duas campanhas A- 2017 e B-2018.

Fonte: A autora, 2024; dados brutos coletados do CTD do PIRATA NOAA, 2022; preparado com ODV (SCHLITZER, 2023)

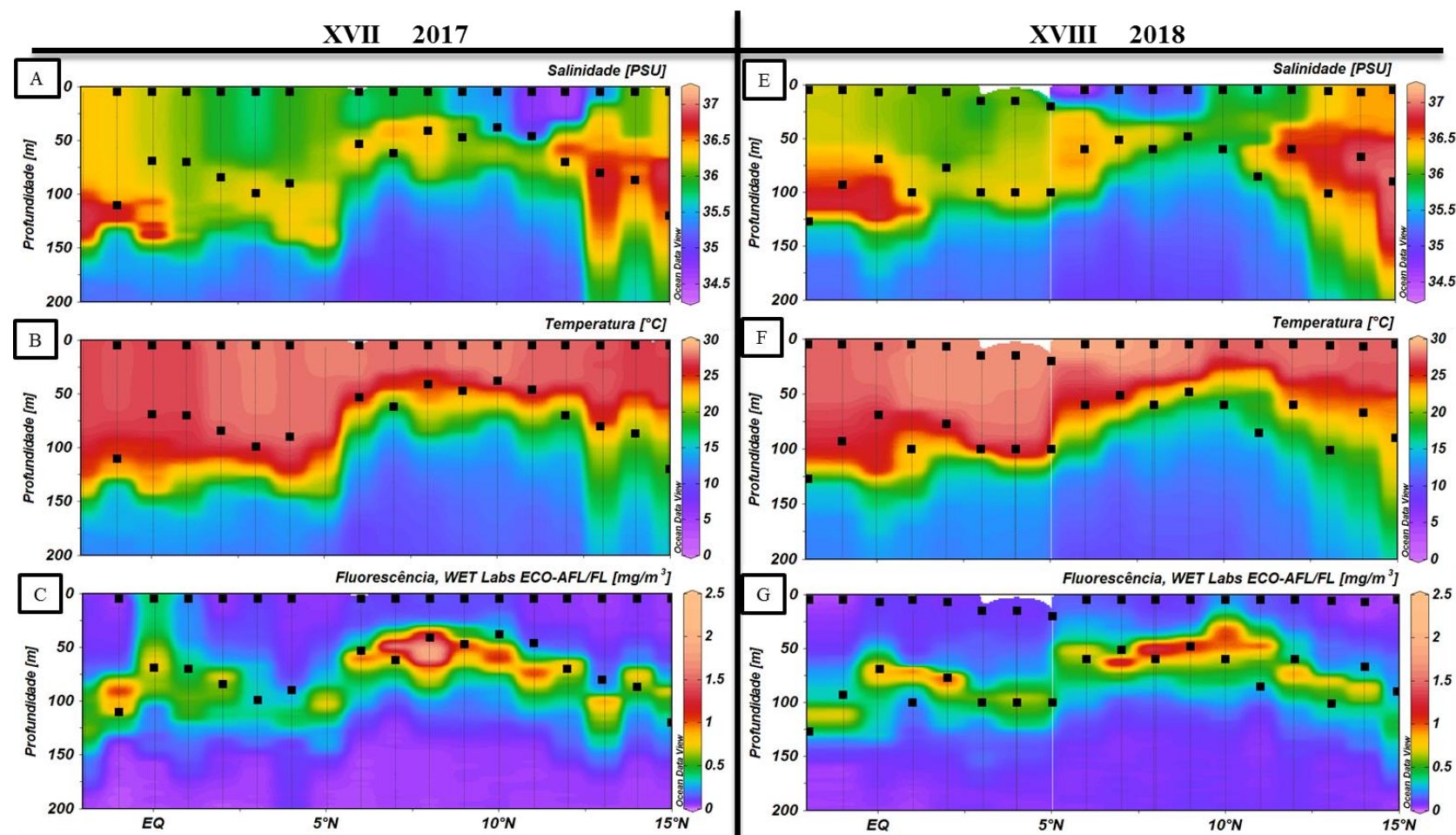
Figura 15- Diagrama T-S do transecto 38°W



Legenda: Diagrama T-S dos dados de temperatura potencial e salinidade, com eixo Z em profundidade, para A) 2017 e B) 2018. Com destaque para a localização da ocorrência de ACAN e ACAS no transecto 38°W, identificadas a partir dos valores de O_2 dissolvido. AT: Água Tropical; ACAS: Água Central do Atlântico Sul; ACAN: Água Central do Atlântico Norte; AIA: Água Intermediária Antártida; APAN: Água Profunda do Atlântico Norte; e AFA: Água de Fundo Antártida.

Fonte: Modificado de VIEIRA, 2021

Figura 16- Distribuição vertical das propriedades salinidade, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mL L^{-1}) e fluorescência (em unidades de clorofila mg m^{-3}) no transecto 38°W



Legenda: Quadrados pretos são as profundidades de coleta nas diferentes campanhas: 2017- A: Salinidade (PSU), B- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), C- Fluorescência (em unidades de clorofila- mg/m^3); 2018- E: Salinidade (PSU), F- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), G- Fluorescência (em unidades de clorofila- mg/m^3).

Fonte: A autora, 2024; a partir dos dados do CTD das campanhas PIRATA-BR; preparado com ODV (SCHLITZER, 2023).

Observa-se na figura 14, a elevação das isopícnais a partir de 5°N, isso é resultado do campo de ventos, que induz um giro ciclônico entre 5°N e 15°N (Figura 17).

Em 2017 a retroflexão da Corrente Norte do Brasil (CNB) foi mais acentuada no sentido leste, devido ao posicionamento da latitude da linha de rotacional nulo do vento, que geralmente, coincide com a latitude da ITCZ. A qual foi observada entre as latitudes 5° N e 10°N, associada a uma zona de divergência com elevação negativa da superfície do mar. Observa-se, também, um menor estresse do vento (Figura 17A, B e 18A).

A temperatura das águas superficiais variou entre 26° e 29°C (Figura 18B), enquanto a pluviosidade foi maior (precipitação diária 2,4 mm/h, em 9°N) do que a observada na campanha de 2018 (precipitação diária 1,9 mm/h, em 9°N). Os menores valores de salinidade foram observados em 2017 na camada superficial, com salinidades abaixo de 35,5. A maior pluviosidade, menores salinidades das águas superficiais e a presença de diatomáceas bentônicas e cianobactérias diazotróficas e DDAs entre 5° e 10°N (Figura 17 B), pode indicar mistura com as águas da pluma amazônica.

De acordo com Subramanian et al. (2008) ao longo da dispersão da pluma amazônica, as diatomáceas hospedeiras de *Richelia* sp., o diazotrófico dominante nas estações mesohalinas, requerem Si e P encontrados na pluma do rio, sendo N fornecido pela fixação de N₂. Mais a jusante da pluma, onde Si e N associados ao rio estão esgotados, a composição de espécies transita para a comunidade típica de oceanos tropicais oligotróficos, com dominância do diazotrófico *Trichodesmium* sp.

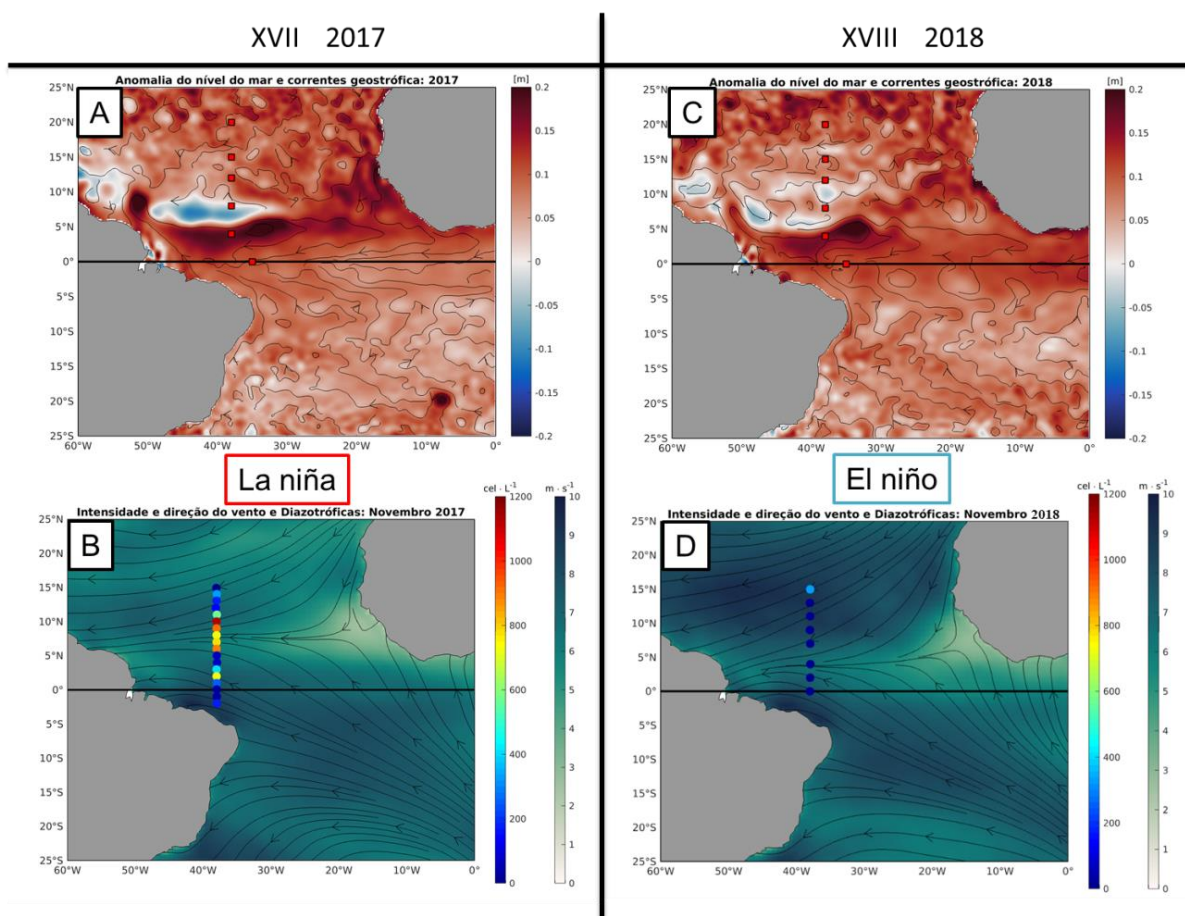
Já em 2018, observa-se uma maior intensidade dos ventos e retroflexão da CNB menos acentuada para leste (Figura 18A e 18C), com a ITCZ abaixo de 5°N, e divergência menos marcada quando comparada as observações da campanha de 2017 (Figura 17). A temperatura da superfície do mar esteve entre 28° e 31°C (Figura 18 D).

Cabe destacar que 2017 foi um ano de La Niña, com o *Oceanic Niño Index* (ONI) variando de -0,7, durante o trimestre de setembro/outubro/novembro, a -1,0 (novembro/dezembro/janeiro). Vale ressaltar que a La Niña continuou atuando até o trimestre de maio/junho/julho de 2018, enquanto durante a época das coletas, em 2018 o El Niño atuante variou de 0,5 (agosto/setembro/outubro) a 0,9 (outubro/novembro/dezembro), sendo ambos, classificados como fracos. Destaca-se que as coletas, nos dois anos, foram iniciadas no final do último mês do trimestre de início do El Niño/La Niña. Apesar destas diferenças, na região entre 5°N e 10°N, associada à divergência das águas superficiais (Figura 17A e C), os valores de clorofila, a partir de satélite, foram semelhantes nas campanhas de 2017 e 2018 (Figura 18 A e C).

De acordo com Vallès-Casanova et al. (2020), a retroflexão da Corrente Norte do Brasil, observada entre 3°S e 12°N, ocorre onde há mudanças nas anomalias da temperatura superficial do mar. Essas anomalias se devem a diferentes forças locais e remotas, como a influência do ENSO observada nas campanhas. O El Niño Atlântico é tipicamente caracterizado por anomalias de aumento da temperatura da superfície do mar, anomalias positivas da altura da superfície do mar no Atlântico equatorial leste e oeste, e anomalias do vento na baía ocidental (ventos alísios mais intensos). Os autores supracitados encontraram quatro tipos de variedades principais de El Niño Atlântico, com diferenças notáveis na precipitação, dependendo das fases de início e dissipação. Mecanismos de início que envolvem o pré-condicionamento na primavera boreal pelo Modo Meridional do Atlântico (variedade de *término-precoce*) ou pelo El Niño do Pacífico (variedades *persistentes* e de *início-precoce*), enquanto para a variabilidade de *início-tardio* não há uma variabilidade clara. De acordo com essa classificação a coleta de 2018 ocorreu na variedade de *início-tardio* (outubro-novembro) onde a precipitação dificilmente muda. Quatro variedades de La Niña Atlântica também apresentam padrões distintos de resposta quanto a pluviosidade ao longo da América do Sul, entretanto estes padrões não são detalhados (VALLÈS-CASANOVA et al., 2020).

Apesar dos valores semelhantes de clorofila, por satélite e de fluorescência (CTD), observados entre as campanhas de 2017 e 2018 (2,5mg/m³ e 1,5mg/m³ respectivamente), esperavam-se menores concentrações de clorofila associadas ao evento de El Niño, como observado por outros autores em regiões equatoriais e tropicais do oceano (ex: MESSIÉ; CHAVEZ, 2012; RADENAC et al., 2001, 2012). O crescimento do fitoplâncton é limitado por nutrientes nos trópicos e subtropicais, já que a disponibilidade de luz é abundante durante todo o ano. Com isso a concentração média anual de nitrato é baixa e as médias mensais de clorofila e profundidade da camada de mistura (MLD - *Mixed Layer Depth*) mostram correlação positiva, ou seja, a clorofila aumenta quando a MLD é mais profunda, já que há o aumento da disponibilidade de nutrientes para o crescimento do fitoplâncton (MESSIÉ; CHAVEZ, 2012; SIMPSON; SHARPLES, 2012).

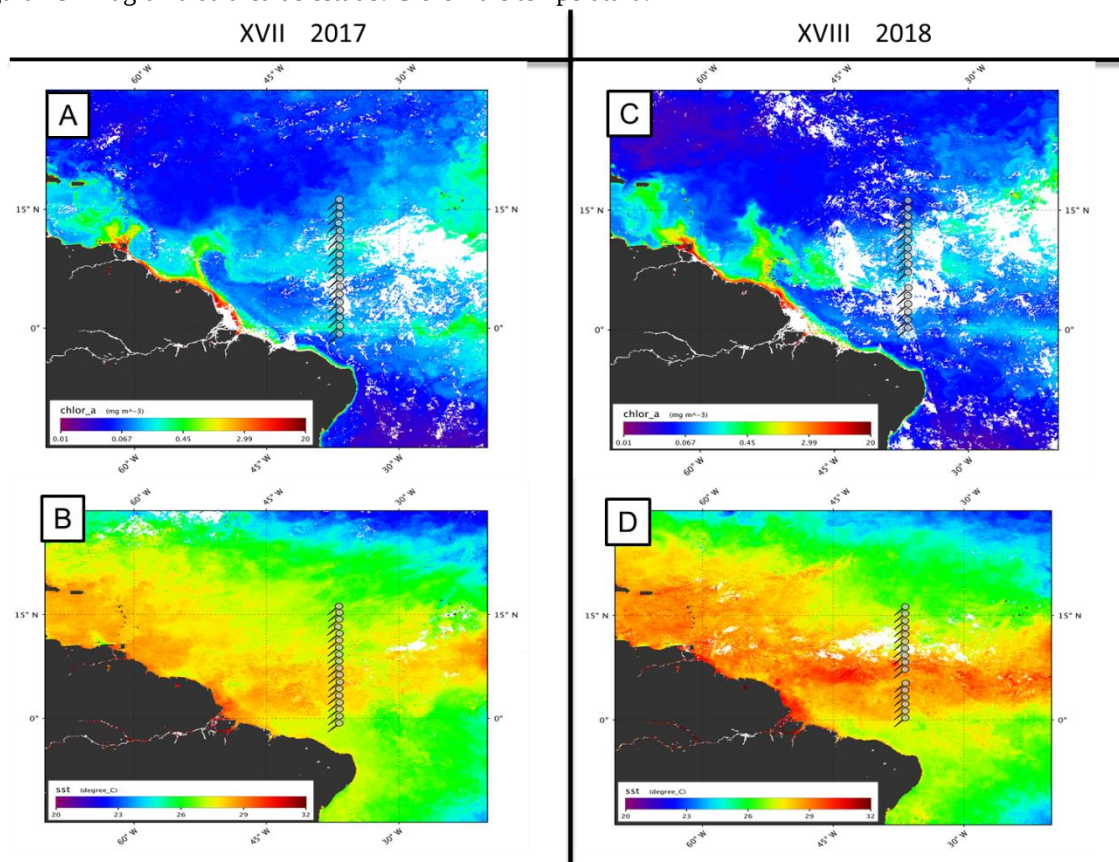
Figura 17- Diagrama da área de estudo: Anomalia do nível do mar, correntes geostróficas, intensidade e direção do vento e concentração de Diazotróficas.



Legenda: A e C- Anomalia do nível do mar (m) e correntes geostróficas, para a: A- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e C- 2018 (Comissão PIRATA XVIII). B e D- Intensidade (ms^{-1}) e direção dos ventos, e Densidade de cianobactérias diazotróficas (Cél./L) para o período amostral- B- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e D- 2018 (Comissão PI-RATA XVIII).

Fonte: C3S, 2018; CMEMS, 2022; INPE, 2022

Figura 18- Diagrama da área de estudo: Clorofila e temperatura.



Legenda: A- Clorofila (mg m^{-3}) a partir de dados de satélite da área de coleta na campanha de 2017; B- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a partir de dados de satélite da área de coleta na campanha de 2017; C- Clorofila (mg m^{-3}) a partir de dados de satélite da área de coleta na campanha de 2018; D- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a partir de dados de satélite da área de coleta na campanha de 2018.

Fonte: INPE, 2022; NOAA, 2022; (Satélite Aqua, sensor MODIS 8 dias, durante o período de coleta, resolução de 4 km, com auxílio da Dra. Priscila K. Lange)

4.2 Distribuição dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e oxigênio

As maiores concentrações de nutrientes foram observadas durante a campanha de 2017 (médias e desvio padrão das concentrações observadas: nitrito- 0,22 e 0,14 $\mu\text{mol/L}$; nitrato- 7,20 e 9,45 $\mu\text{mol/L}$; NID: 7,43 e 9,26 $\mu\text{mol/L}$; fosfato: 0,27 e 0,31 $\mu\text{mol/L}$; silicato: 11,66 e 7,82 $\mu\text{mol/L}$; oxigênio: 4,03 e 0,18 $\mu\text{mol/L}$; e N/P: 43 e 51,94). Os maiores valores de NID (nitrogênio inorgânico dissolvido) – máx.: 37,36 $\mu\text{mol/L}$; min: 0,13 $\mu\text{mol/L}$, relacionados às maiores concentrações de nitrato em superfície, foram observados em 2017 (tabela IV e Figura 19B), entre 5° e 15° N, coincidindo com as maiores concentrações de oxigênio e maiores densidades de cianobactérias diazotróficas e DDAs, indicando produção nova, assim como é visto em estudos anteriores no Atlântico Tropical e Subtropical (CAPONE et al.,

2005) e no Pacífico, onde a fixação de N_{2atm} é responsável por quase 50% da produção nova (KARL et al., 1997). As concentrações de NID e fosfato foram maiores no Equador, enquanto concentrações maiores de silicato e menores de oxigênio ocorreram entre 5° e 10°N na camada superficial, associada às salinidades inferiores a 35,5, o que pode estar relacionado a influência da pluma amazônica, (como descrito por Foster et al. (2007); Körtzinger (2003)) (Figura 19).

Tabela IV- Concentração de nutrientes (Máximas, Mínimas, Médias e Desvio Padrão) nas campanhas de 2017 e 2018 PIRATA, transecto 38°W.

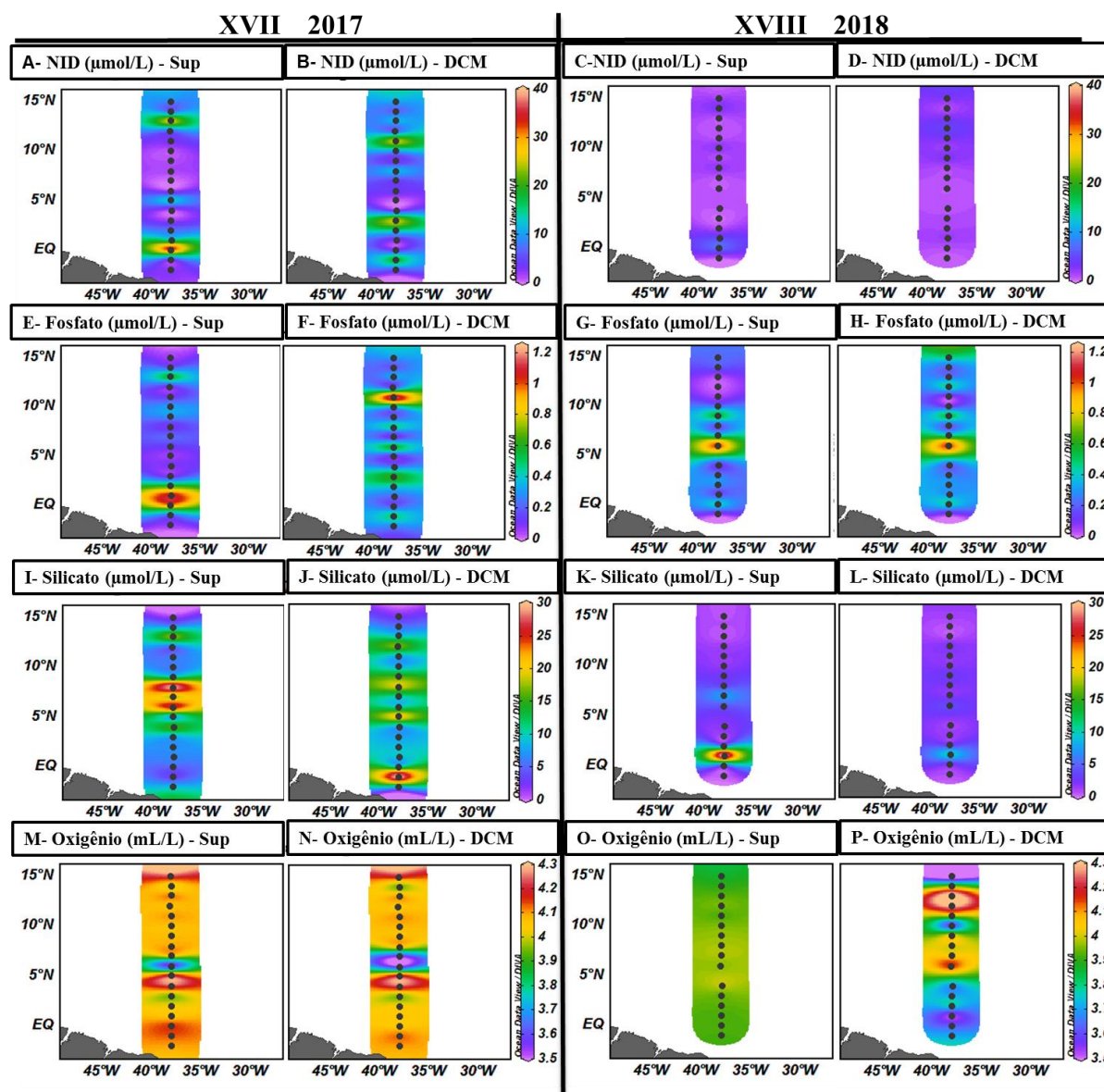
		<i>O₂</i> (mL/L)	<i>Nitrito</i> (μ mol/L)	<i>Nitrato</i> (μ mol/L)	<i>NID</i> (μ mol/L)	<i>Fosfato</i> (μ mol/L)	<i>N/P</i>	<i>Sílica</i> (μ mol/L)
2017	Máx.	4,25	0,62	37,25	37,36	1,27	280,20	33,67
	Mín.	3,50	0,02	0,10	0,13	0,03	0,57	1,65
	Méd.	4,03	0,22	7,20	7,43	0,27	43,00	11,66
	Desvio Padrão	0,18	0,14	9,45	9,26	0,31	51,94	7,82
2018	Máx.	4,39	0,70	7,46	7,75	1,10	71,11	34,81
	Mín.	3,30	0,04	0,02	0,22	0,02	0,65	0,40
	Méd.	3,93	0,38	1,18	1,66	0,28	13,08	1,97
	Desvio Padrão	0,22	0,21	1,83	1,67	0,24	15,98	6,38

Nota: Valores apenas das profundidades de coleta do fitoplâncton.

Fonte: VIEIRA, 2021

Em 2018, as concentrações de nutriente, com exceção do nitrito foram menores (médias e desvio padrão das concentrações observadas: nitrito: 0,38 e 0,21 μ mol/L; nitrato: 1,18 e 1,83 μ mol/L; NID: 1,66 e 1,67 μ mol/L; fosfato: 0,28 e 0,24 μ mol/L; silicato: 1,97 e 6,38 μ mol/L; oxigênio: 3,93 e 0,22 μ mol/L; e N/P: 13,08 e 15,98) e os maiores valores de fosfato foram observados em 5°N e de silicato no Equador. Os valores de oxigênio foram mais homogêneos ao longo do transecto 38°W (Figura 19O).

Figura 19- Concentração de nutrientes nas campanhas de 2017 e 2018, longo do transecto 38°W.



Legenda: A até D- Concentrações de NID (nitrogênio inorgânico dissolvido) ($\mu\text{mol/L}$), sendo A: na superfície em 2017, B: na DCM em 2017, C: na superfície em 2018 e D: na DCM em 2018; E até H- Concentrações de Fosfato ($\mu\text{mol/L}$), sendo E: na superfície em 2017, F: na DCM em 2017, G: na superfície em 2018 e H: na DCM em 2018; I até L- Concentrações de Silicato ($\mu\text{mol/L}$), sendo I: na superfície em 2017, J: na DCM em 2017, K: na superfície em 2018 e L: na DCM em 2018; M até P- Concentrações de Oxigênio (mL/L), sendo M: na superfície em 2017, N: na DCM em 2017, O: na superfície em 2018 e P: na DCM em 2018.

Fonte: A autora, 2024; preparado com ODV (SCHLITZER, 2023).

Na DCM, os maiores valores de NID foram, aproximadamente, em 3°N e 11°N, nos dois anos amostrados. Fosfato teve maiores valores em 11°N, 2017 e em 6°N, 2018. O silicato teve maiores valores próximo ao Equador nos dois anos (Figura 19I e K).

A razão média N/P foi maior na campanha de 2017 do que em 2018 (Tabela IV). Entretanto, a distribuição espacial ao longo do transecto, em 2017, variou desde 2,5 até 280, 20

entre 5°N e 11°N. Em 2018 essa variação espacial foi menor, variando entre 0,65 e 48,52 (Tabela V).

Tabela V- Razão N/P de cada ponto de coleta.

	N/P			
	2017		2018	
	SUP	DCM	SUP	DCM
1	137,29	34,72	6,45	6,57
2	34,27	37,93	15,47	3,88
3	45,05	33,38	26,67	14,49
4	75,00	65,14	38,50	9,18
5	32,08	20,88	15,36	71,11
6	2,50	32,63	15,69	32,08
7	3,67	12,56	1,14	5,12
8	18,50	24,98	22,81	7,98
9	0,57	131,67	1,64	3,00
10	2,08	6,84	0,65	
11	280,20	7,75		
12	4,09	6,54	12,68	5,69
13	27,33	40,23	0,82	4,47
14	14,02	36,75	2,16	3,53
15	12,02	13,30	48,52	8,21
16	36,27	8,50	16,28	2,06
17	5,00	38,66	7,34	
18	39,22	20,38		

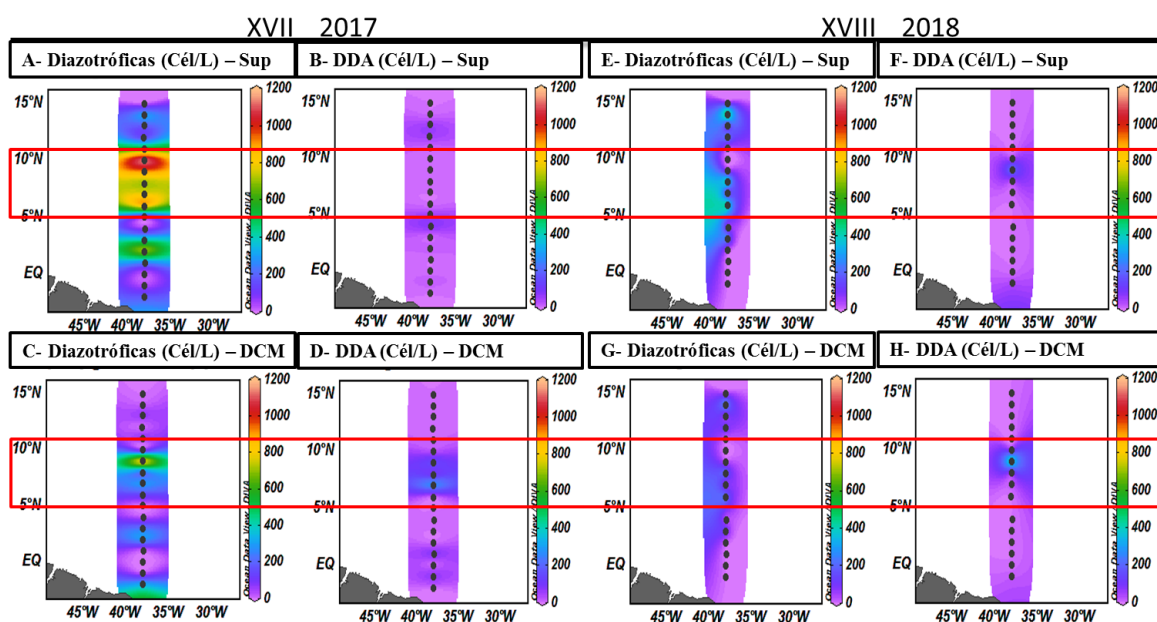
Fonte: VIEIRA, 2021

Os valores de nutrientes inorgânicos (fosfato, silicato e NID) estão de acordo com o esperado para a região (BRISTOW et al., 2017; RACAULT et al., 2017; VIEIRA, 2021), devido as menores profundidades de coleta, a alta insolação e o uso desses nutrientes pela comunidade fitoplanctônica. Os maiores valores de nitrogênio inorgânico dissolvido e a maior razão N/P, em 2017, estão associados à presença de cianobactérias diazotróficas e à fixação do nitrogênio atmosférico, discutidos mais adiante com a composição taxonômica e funcional do plâncton. A fixação de N₂ e a produtividade primária nova são discutidos na literatura para a região (GOEBEL et al., 2010; SUBRAMANIAM et al., 2013). A alta concentração de oxigênio da AT, quando comparado a outras massas de água (mais profundas), está diretamente associada a troca gasosa oceano-atmosfera e a fotossíntese.

4.3 Comunidade de protistas planctônicos

Os principais grupos taxonômicos observados foram: ciliados, clorófitas, silicoflagelados, cocolitoforídeos, diatomáceas, cianobactérias e dinoflagelados. Entre 5° N e 10° N, associada à divergência das águas superficiais (Figura 20), e com valores de clorofila semelhantes entre as campanhas, ocorreram mudanças na comunidade microplanctônica observada, sobretudo com maiores temperaturas das águas superficiais. Segundo alguns autores o aumento da temperatura impacta os valores de clorofila e a composição da comunidade fitoplanctônica, no Atlântico tropical (DUNSTAN et al., 2018; HOFMANN ELIZONDO et al., 2021; OLONSHECK et al., 2013; ZHAN et al., 2023), assim como a temperatura está relacionada com a distribuição global de cianobactérias diazotróficas (STAL, 2009).

Figura 20- Distribuição latitudinal da comunidade de cianobactérias diazotróficas livres e da simbiose entre diatomáceas e cianobactérias diazotróficas (DDAs), na superfície (Sup.) e máximo subsuperficial de clorofila (DCM) para o período amostral.



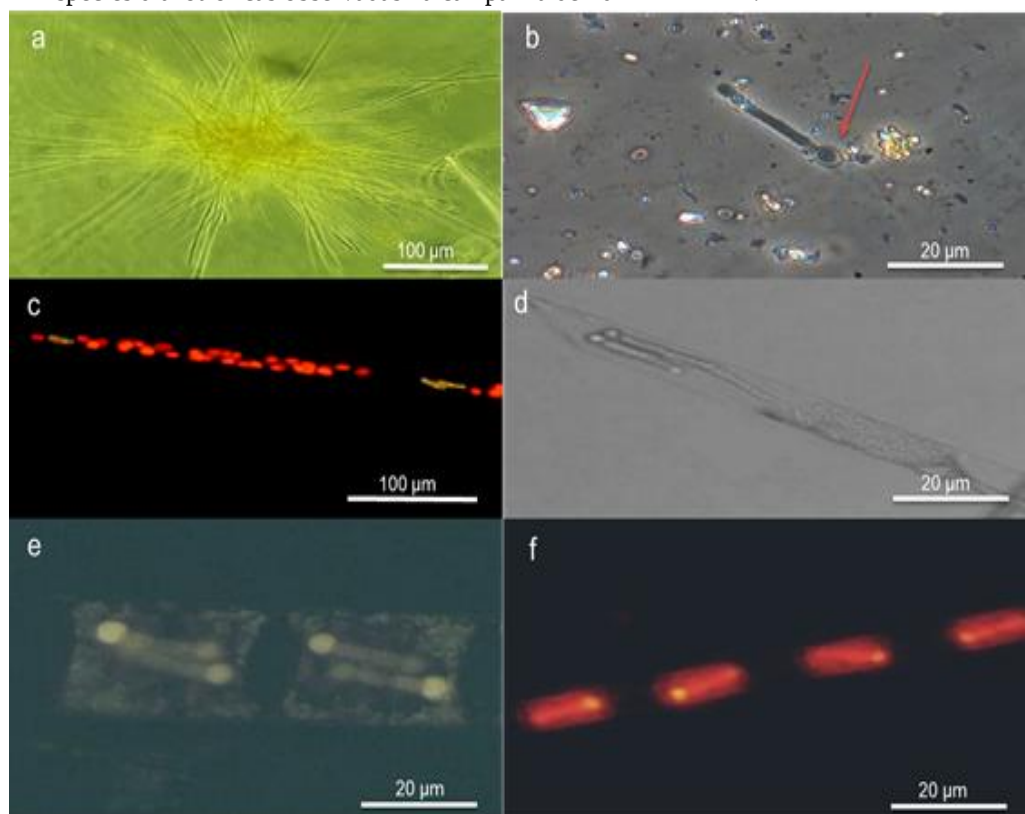
Legenda: A, B, C e D- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e E, F, G e H- 2018 (Comissão PIRATA XVIII). Com destaque para os pontos amostrais entre as latitudes de 5°N e 10°N.

Fonte: A autora, 2024; preparado com ODV (SCHLITZER, 2023).

Na campanha de 2017, sob a influência do evento La Niña, houve uma maior riqueza de táxons, tanto no microplâncton, quanto no nanoplâncton. A comunidade foi representada pelas maiores densidades de cianobactérias diazotróficas e as diatomáceas com simbioses

diazotróficos (DDAs – Figura 17 e 20), estas últimas no DCM. Cabe destacar que houve a presença de colônias de *Trichodesmium* spp. (cianobactéria diazotrófica -Figura 21 A), formando tufos, indicando fixação de nitrogênio (N_2), e *Richelia intracellularis* (Figura 21 B), que é uma espécie de cianobactéria com heterocisto, filamentosa, capaz de viver em simbiose com diversos gêneros de diatomáceas (e.g. *Hemiaulus hauckii* - Figura 21 E, F; *Rhizosolenia* spp. - Figura 21 C, D; e *Chaetoceros* sp.) (MANJUMOL et al., 2018). A diatomácea *Epithemia* spp., gênero que apresenta simbiose universal com cianobactérias cocóides intracelulares fixadoras de N_2 (SCHVARCZ et al., 2022), foi observada; contudo, com frequência menor que 10%.

Figura 21- Espécies diazotróficas observadas na campanha de 2017- PIRATA.



Legenda: a) *Trichodesmium* sp.: Tufos para fixação de N_2 ; b) cf. *Richelia intracellularis*: Seta vermelha apontando para o heterocisto, que são células especializadas na fixação de N_2 ; c-d) *Rhizosolenia* spp.: Diatomácea com cianobactéria simbiote (cf. *Richelia intracellularis*) – DDA; e-f) *Hemiaulus hauckii*: Diatomácea com cianobactéria simbiote (cf. *Richelia intracellularis*).

Fonte: a, b: A autora, 2024; c-f: Gleyci Moser, 2022.

Em 2018, sob influência do evento El Niño, houve menor contribuição de cianobactérias diazotróficas junto à superfície (Figuras 20 E), entretanto, houve aumento na contribuição

de dinoflagelados e outros grupos de flagelados. Os ciliados, clorófitas, silicoflagelados e dinoflagelados ocorreram em maiores densidades, quando comparados a 2017. Enquanto os cocolitoforídeos, diatomáceas e cianobactérias apresentaram menores densidades (Tabela VI). As DDAs representaram uma pequena porcentagem das diatomáceas (~8% em 2017 e ~3% em 2018).

Tabela VI- Densidade de células dos grupos taxonômicos (células/L) durante o período amostral- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e de 2018 (Comissão PIRATA XVIII).

	2017	2018
Diatomáceas	2,25E+04 Cél/L	1,83E+04 Cél/L
Dinoflagelados	4,38E+04 Cél/L	4,75E+04 Cél/L
Cianobactérias	6,06E+04 Cél/L	2,43E+04 Cél/L
Ciliados	1,30E+03 Cél/L	3,30E+03 Cél/L
Clorófitas	7,21E+03 Cél/L	4,44E+04 Cél/L
Silicoflagelados	1,07E+04 Cél/L	1,92E+03 Cél/L
Cocolitoforídeos	1,55E+04 Cél/L	8,84E+03 Cél/L
Total	1,51E+05 Cél/L	1,49E+05 Cél/L

Fonte: A autora, 2024

A composição de ciliados variou de um ano para o outro, com diferenças no grupo funcional. Em 2017 os ciliados foram compostos por tintinídeos heterotróficos, representados por *Acanthostomella* spp.; cf. *Salpingella* spp.; *Eutintinnus* spp.; *Undella* spp., enquanto em 2018 foi composto por *Mesodinium rubrum* e *Strombidium* spp., mixotróficos não constitutivos especialistas e generalistas, respectivamente (ex: modo nutricional relatado por Stoecker; Michaels; Davis, (1987) na primeira observação de mixotrofia em ciliados). O mixoplâncton contribui notavelmente para as comunidades protistas marinhos (FAURE et al., 2019; LELES et al., 2017b, 2019), altera a dinâmica de nutrientes inorgânicos e de predação (HANSEN et al., 2019) e tem um impacto importante no ciclo do carbono (WORDEN et al., 2015). É um elo trófico entre as cadeias alimentares microbianas, protistas e mesozooplânctônicas (STOECKER et al., 2017) desempenhando um papel importante em ecossistemas governados por fortes gradientes de luz e nutrientes (SCHNEIDER et al., 2021; SELOSSE; CHARPIN; NOT, 2017). Cabe destacar que mixotróficos não constitutivos generalistas ocupam até um

terço do microzooplâncton ciliado da zona eufótica do oceano (PITTA; GIANNAKOUREOU, 2000).

A razão nitrogênio e fósforo e os requisitos nutricionais para o crescimento do fitoplâncton são considerados características essenciais que determinam a dominância das espécies nos ecossistemas e explica a resposta do fitoplâncton à disponibilidade de nutrientes, quando em condições de baixo teor de nutrientes o N é essencial para o crescimento do fitoplâncton, enquanto o P pode ser o principal fator limitante em condições de nutrientes suficientes (BERMAN-FRANK et al., 2007; JIANG; NAKANO, 2022). Razões N/P entre 12 e 15 geralmente favorecem o desenvolvimento de cianobactérias filamentosas diazotróficas em sistemas aquáticos (NÖGES et al., 2008; PICK; LEAN, 1987). De fato, maior limitação por nitrogênio foi observada entre as latitudes 5° N e 10° N (estações 6 a 11-Tabela V) na campanha de 2017, quando comparada a campanha de 2018, em algumas estações com dominância de *Trichodesmium* spp. na camada superficial (razão N/P entre 2,5 e 3,7, estações 6 e 7- Tabela V). Entretanto, em áreas com abundância de *Trichodesmium* nesta mesma faixa latitudinal a razão N/P foi maior do que 16 (estações 8 e 11- Tabela V). Como as observações são temporalmente pontuais, o aumento de NID associado à presença destas cianobactérias pode estar relacionado a um evento de produtividade primária nova. Uma cascata de comunidades diazotróficas ao longo de gradientes de salinidade e nutrientes no Atlântico tropical oeste é relatada na literatura (FOSTER et al., 2007; STUKEL et al., 2014; SUBRAMANIAM et al., 2013). Inicialmente, associada à pluma amazônica há a dominância da simbiose entre *H. hauckii*-*Richelia*, à medida que a pluma se afasta, misturando-se com as correntes oceânicas há o aumento de *Trichodesmium* spp. (FOSTER et al., 2007), como observado no presente estudo em 2017, com maiores abundâncias desta cianobactéria e uma menor contribuição de DDAs entre 5° e 10° N de latitude, sob influência da ITCZ.

A correlação entre cianobactérias e protistas autótrofos pode ser favorecida pela condição ambiental (e.g. temperatura, disponibilidade de luz e nutrientes); como o desenvolvimento desses organismos é geralmente limitado por baixas concentrações de N, o N₂ atmosférico fixado por cianobactérias diazotróficas pode ter contribuído para a transferência de tal nutriente pela teia trófica, suportando a coexistência dos produtores primários e o aumento da biomassa fitoplanctônica, assim como observado por Suikkanen et al. (2021). Uma vez que o nitrogênio molecular fixado pelas cianobactérias diazotróficas é disponibilizado no ambiente, onde promove o crescimento de bactérias e do fitoplâncton (KARLSON et al., 2015). O efeito que promove o crescimento, e, adicionalmente, o possível efeito alelopático (inibidores do crescimento) em outros grupos, induzido pelas cianobactérias diazotróficas nas es-

pécies de uma comunidade e/ou em grupos sistemáticos gera mudanças na estrutura da comunidade fitoplanctônica (BERGLUND et al., 2007; BOATMAN et al., 2018; SUIKKANEN et al., 2021; WANNICKE et al., 2013) e nos ciclos biogeoquímicos do N e C (GAO et al., 2014; HO et al., 2003; MOORE et al., 2013). A matéria orgânica produzida pelas diazotróficas é uma parte importante do fluxo de energia como fonte de produção nova (assimilação de N molecular) (BOATMAN et al., 2018; MARTÍNEZ-PÉREZ et al., 2016; REDFIELD, 1960; SUIKKANEN et al., 2021).

Vale ressaltar que além da variação na concentração dos macronutrientes nitrogênio e fósforo, a intensificação da divergência equatorial sob a influência de La Niña também pode ter contribuído com o aumento da fixação do nitrogênio, devido a limitação por micronutrientes, como mostrado em estudos anteriores (ex: BRISTOW et al., 2017; SUBRAMANIAM et al., 2013).

Na campanha de 2018, os dinoflagelados e as clorófitas foram mais representativos (32% e 30%, respectivamente), seguidos das cianobactérias (17%). O microplâncton foi composto principalmente por cianobactérias (35%) e dinoflagelados (32%). E o nanoplâncton por clorófitas (43%) e dinoflagelados (32%) (Figura 22).

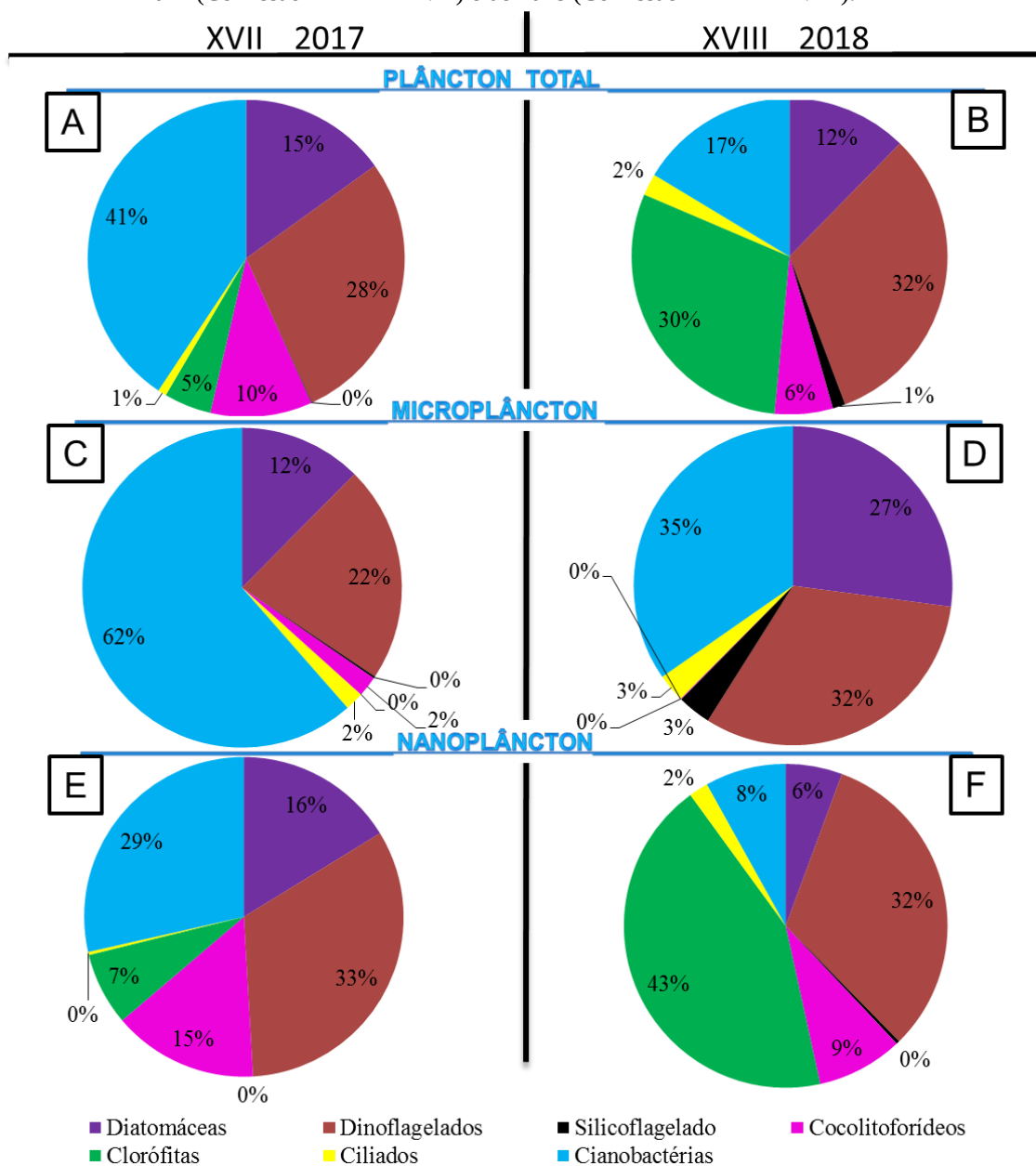
A alta abundância relativa de clorófitas nas menores frações do plâncton (43%) na campanha de 2018 é esperada, pois o grupo tem uma distribuição ampla e contribui com mais da metade da abundância total de pico-eucariotos em muitas regiões marinhas (COLLADO-FABBRI; VAULOT; ULLOA, 2011; LOPES DOS SANTOS et al., 2017; NOT et al., 2004, 2005; TRAGIN et al., 2016). A fração dominante de clorófitas varia entre 2 μ m e 5 μ m (CHARVET et al., 2021; COLLADO-FABBRI; VAULOT; ULLOA, 2011; LOPES DOS SANTOS et al., 2017; NOT et al., 2005), e, portanto, dentro da variação de tamanho considerada como nanoplâncton, no presente trabalho. Na pluma do rio Amazonas as clorófitas pico e nanoplanctônicas dominam a biomassa em águas superficiais, mudanças zonais na contribuição destes organismos não foram observadas no estudo de Charvet et al. (2021).

No presente estudo, a maior contribuição de clorófitas ocorre sob a influência de El Niño, associada às maiores temperaturas das águas superficiais e menores concentrações de silicato. Esses resultados são similares aos estudos no Pacífico subtropical, onde há uma diminuição na contribuição destes organismos quando são consideradas escalas espaciais maiores, com variação latitudinal, envolvendo maiores diferenças nas concentrações de nutrientes (KIRKHAM et al., 2013). Nesta mesma região, Lin et al. (2022) observam que a biomassa e diversidade de clorófitas foi positivamente correlacionada com a temperatura e negativamente correlacionada com a concentração de silicato.

A abundância relativa de dinoflagelados na campanha de 2018 foi maior do que em 2017, considerando os táxons microplanctônicos (Figura 22). Como dito anteriormente, a campanha de 2018 foi caracterizada pelas maiores temperaturas em superfície, maior intensidade dos ventos e divergência menos marcada. Estas condições se refletiram em menores concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos, e maior limitação por nitrogênio, de forma geral, tanto na superfície quando no DCM (Tabelas IV e V). Isso pode favorecer a utilização de outras estratégias nutricionais, como a mixotrofia (ex: FLYNN; MITRA, 2009; LELES et al., 2019). A mixotrofia é reconhecidamente difundida entre os dinoflagelados (FLYNN; MITRA, 2009; STOECKER, 1999), ocorre entre a maioria das ordens existentes, incluindo as Prorocentrales, Dinophysiales, Gymnodiniales, Noctilucales, Gonyaulacales, Peridinales, Blastodinales, Phytodinales e Dinamoebales (STOECKER, 1999), conferindo uma vantagem ecológica para estes organismos em ambientes oligotróficos (ex: LELES et al., 2019; STOECKER et al., 2009).

No ano de 2017, as diatomáceas cêntricas de menor tamanho (nanofitoplâncton) dominaram, sendo o ano com maior densidade de DDA. Já em 2018, as diatomáceas penadas de menor tamanho (nanofitoplâncton) dominaram. O estudo de Charvet et al. (2021) mostra a maior abundância de clorófitas e diatomáceas nanoplanctônicas em águas superficiais e sub-superficiais do Atlântico tropical Oeste. As diatomáceas são um dos principais produtores primários no oceano, responsáveis anualmente por ~20% do CO₂ fixado fotossinteticamente no planeta. Entretanto em modelos oceânicos são representadas somente como microfitoplanctônicas (> 20 µm), diatomáceas pertencentes ao nanofitoplâncton (2–20 µm) e picoplanctônicas (< 2 µm) são geralmente subestimadas (LEBLANC et al., 2018). Devido ao seu tamanho diminuto e dificuldade de detecção são pouco caracterizados, entretanto artigos recentes têm mostrado tanto a diversidade quanto a importância ecológica deste grupo no fluxo do carbono (FERNANDES; CORRER-DA-SILVA, 2020; LEBLANC et al., 2018). Cabe destacar a presença de diatomáceas penadas com rafe dos gêneros *Delphineis*, *Diploneis*, *Rhaphoneis* em 2017, a 15° N, associadas a salinidades menores do que 35.

Figura 22- Abundância relativa dos principais grupos taxonômicos durante o período amostral- campanha de 2017 (Comissão PIRATA XVII) e de 2018 (Comissão PIRATA XVIII).



Legenda: A e B- Abundância relativa do Plâncton total, sendo A da campanha de 2017 e B da campanha de 2018; C e D- Abundância relativa do Microplâncton, sendo C da campanha de 2017 e D da campanha de 2018; E e F- Abundância relativa do Nanoplâncton, sendo E da campanha de 2017 e f da campanha de 2018.

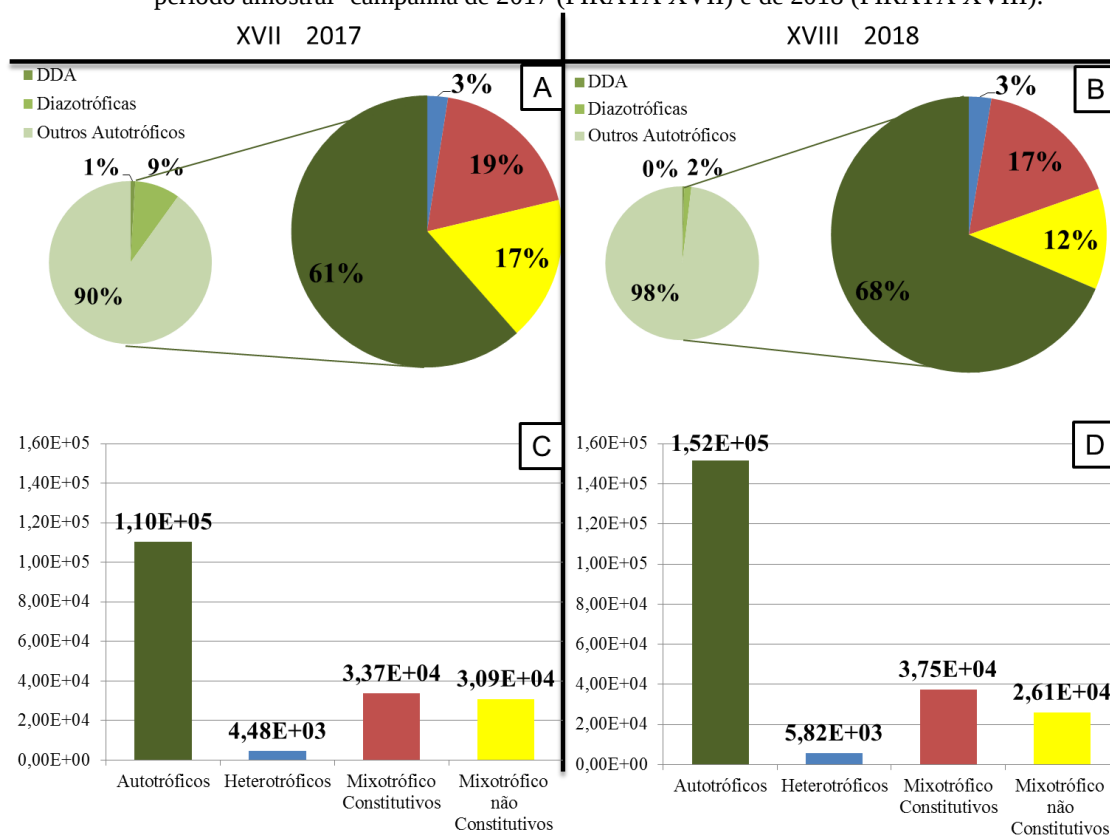
Fonte: A autora, 2024

4.4 Comunidade planctônica: estrutura taxonômica e funcional

4.4.1 Traços funcionais e diversidade funcional do microplâncton

A distribuição dos traços de modo de nutrição foi semelhante (Figura 23). Houve a maior contribuição de organismos estritamente autotróficos em ambas as campanhas, seguidos por organismos mixotróficos constitutivos e não constitutivos, estes últimos foram menos representativos em 2018. Os heterótrofos estritos apresentaram baixas contribuições em ambos os anos. Cabe destacar que dentre os autotróficos estritos observados em 2017 predominaram as cianobactérias diazotróficas e DDAs, o que não ocorreu em 2018. Em 2018, além de dinoflagelados houve a contribuição de ciliados mixotróficos.

Figura 23- Abundância relativa e densidade de células (células/L), dos grupos de modo nutricional, durante o período amostral- campanha de 2017 (PIRATA XVII) e de 2018 (PIRATA XVIII).



Legenda: A e B- Abundância relativa dos modos de nutrição, com destaque para os grupos que constituem os autotróficos: as DDAs, diazotróficas e outros, sendo A- para a campanha de 2017 e B- para a campanha de 2018; C e D- Densidade de células (células/L) dos modos de nutrição, sendo C- para a campanha de 2017 e D- para a campanha de 2018.

Fonte: A autora, 2024

Devido ao predomínio de autotróficos estritos e diazotróficas (cianobactérias e DDAs), filamentosos ou em cadeia (estratégia para otimização da razão S/V), como principais traços funcionais, os agrupamentos formados na análise de cluster (Correlação frenética entre os grupos de 92%, e $p < 0,05$ - ANOSIM- indicam grupos consistentes e significativamente diferentes), sobre a distribuição de traços funcionais destacou a máxima dimensão linear (MDL) como o principal fator, formando 4 grupos. (Figura 24), destacados abaixo em relação à PCA.

Os eixos 1 e 2 da PCA (Figura 25) indicando MDL e modo nutricional, respectivamente, representaram 99,70% e 0,09% da explicação ambiental. Os agrupamentos da análise de cluster foram ordenados na PCA nos seguintes 4 grupos (Figura 26): Grupo 1- representado por organismos com células grandes- maior MDL e maior razão S/V- otimização da razão S/V- células achatadas e/ou alongadas. Estes traços foram notavelmente importantes para autotróficos (absorção de luz e nutrientes) e heterotróficos (relação predador-presa). Na PCA o grupo é individualizado na porção positiva do componente 1; Grupo 2- organismos com células com menor tamanho e razão S/V intermediárias. A PCA, em sua componente 1, individualiza este grupo em sua porção negativa, associado à diversas estratégias nutricionais (componente 2); Grupo 3- organismos com células com tamanho intermediário (MDL entre os observados nos grupos 2 e 4) e razão S/V intermediárias, semelhante ao Grupo 2, formado por dinoflagelados mixotróficos majoritariamente, plotados no componente 2, porção positiva da PCA; Grupo 4- Células grandes, porém com menor MDL do que o grupo 1, com razão S/V otimizada, células alongadas e achatadas. Em todos os grupos, excetuando o grupo 3, houve o predomínio de autotróficos, em sua maioria plotados na porção negativa do componente 2 da PCA.

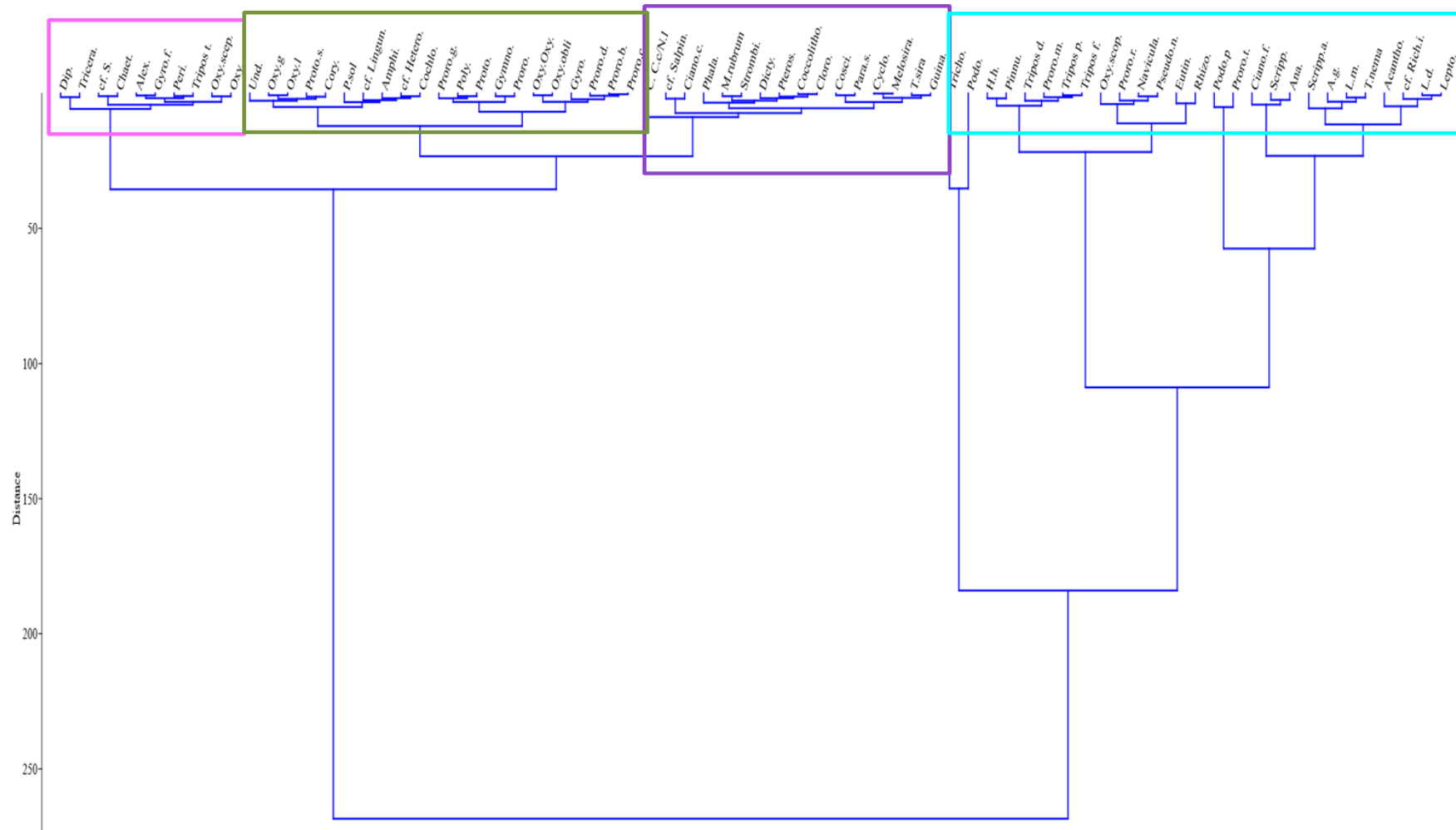
A CCA foi representada em 2 eixos com explicação ambiental total de 73,20% (Figura 27). Eixo 1 (55,82%): dividiu os organismos por modo nutricional- em sua porção negativa estão plotadas as estações da campanha de 2017, e os vetores NID, oxigênio e N/P, nestas condições os autótrofos estritos foram mais representativos, incluindo diatomáceas (DDAs – e.g. *Hemiaulus* e não DDAs- e.g. *Cyclotella*), assim como cianobactérias diazotróficas, enquanto em sua porção negativa estão as estações da campanha de 2018 e a maior parte dos táxons de dinoflagelados mixotróficos; Eixo 2 (17,38%): representou a variação pelo tamanho (MDL) (não apresentado na Figura 27). Os grupos observados no cluster e PCA foram mantidos na CCA, portanto serão considerados como grupos funcionais.

Uma das características funcionais dos protistas mais comumente utilizada para entender os fluxos biogeoquímicos, como a exportação vertical de carbono e a transferência

trófica energética, é o tamanho da célula, sua forma e formação de colônias e cadeias (FINKEL et al., 2010; GEIDER; PIATT, 1986; KEY et al., 2010; LITCHMAN, 2003; WARD; FOLLOWS, 2016), expressos aqui como MDL, razão S/V e colonialidade, respectivamente. O tamanho da célula é uma característica chave, um traço mestre, que afeta o crescimento, o metabolismo, o acesso aos recursos, e a fisiologia do plâncton estritamente autotrófico, abundante tanto na campanha de 2017 quanto na campanha de 2018 do presente estudo. Organismos com células pequenas têm vantagens como menores taxas de afundamento, melhor aquisição de nutrientes e utilização da luz (LITCHMAN et al., 2007; SMAYDA, 1970, 1971). Quanto à forma, células achatadas ou alongadas também otimizam a razão S/V e são capazes de sobreviver em ambientes com baixas concentrações de nutrientes (GEIDER; PIATT, 1986; LITCHMAN, 2003). Estes traços morfológicos têm grande plasticidade e respondem diretamente às condições ambientais e pressão de herbivoria, por isso auxiliam na compreensão dos nichos ecológicos do fitoplâncton.

Apesar do tamanho e forma se apresentarem como traços importantes na divisão primária das comunidades de protistas observadas nas 2 campanhas, é importante destacar que a diazotrofia e a mixotrofia independem do tamanho (FLYNN et al., 2019; LELES et al., 2017a; PÉQUIN et al., 2022; SCHNEIDER et al., 2021; SERRA-POMPEI et al., 2020; WILK-WOŹNIAK et al., 2022), e são traços igualmente importantes destacados pela análise deste conjunto de dados. A análise conjunta de traços morfológicos e o modo de nutrição/aquisição de nutrientes moldam os nichos ecológicos da comunidade planctônica.

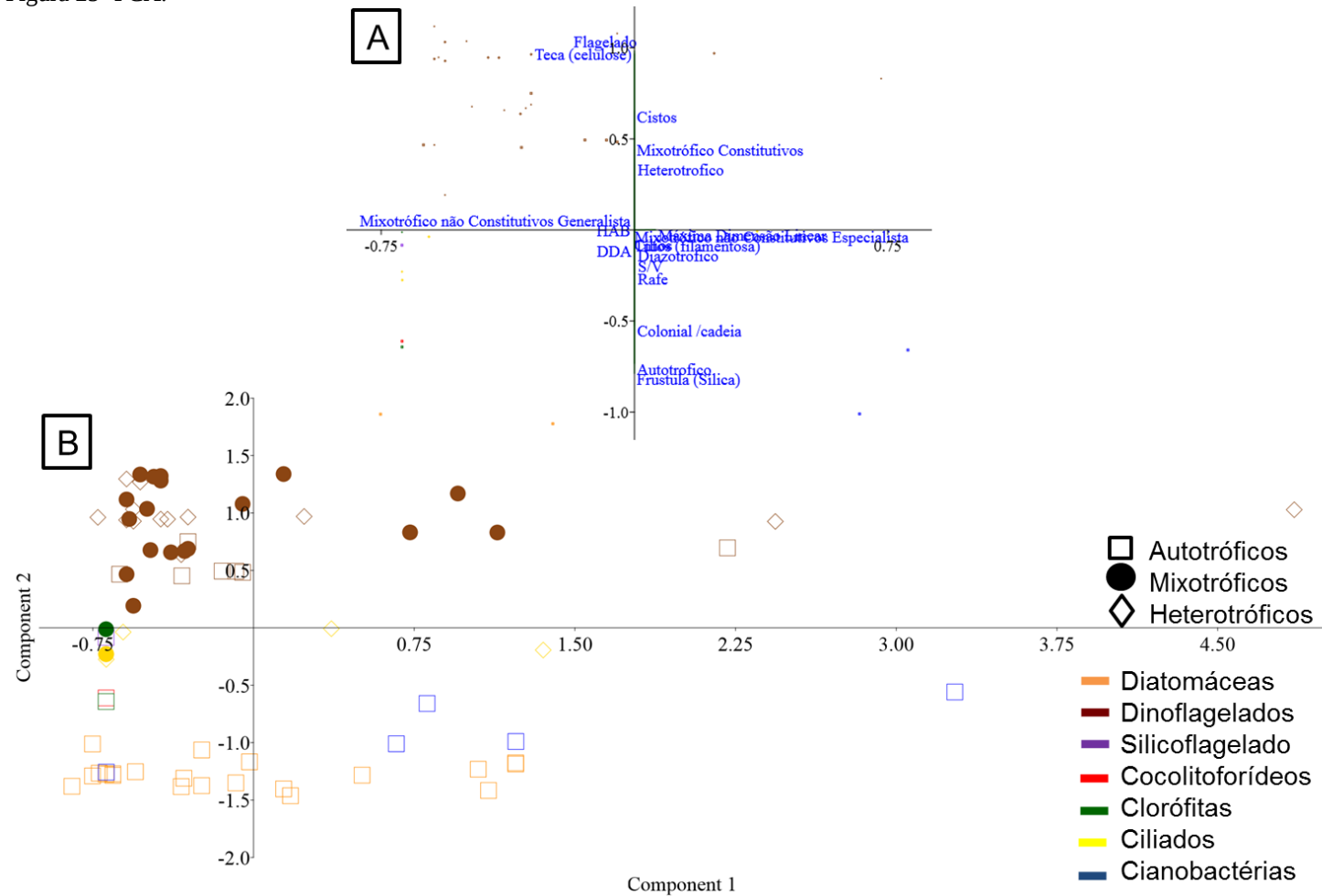
Figura 24- Grupos funcionais.



Legenda: Análise de cluster- Distância Euclidiana combinada com método de Ward. 4 grupos formados: Grupo 1 em azul - Células grandes- maior MDL e maior razão S/V. Grupo 2 em rosa - Células com menor tamanho e razão S/V intermediárias. Grupo 3 em verde - Células com tamanho intermediário (MDL entre os observados nos grupos 2 e 4) e razão S/V intermediárias. Grupo 4 em roxo - Células grandes, porém com menor MDL do que o grupo 1, com razão S/V otimizada.

Fonte: A autora, 2024; preparada usando PAST (HAMMER et al., 2001).

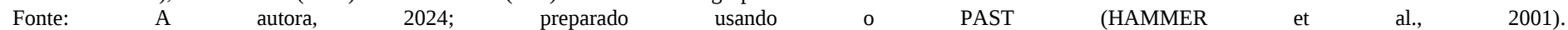
Figura 25- PCA.



Legenda: Análise de componentes principais (PCA). Táxons com frequência maior de 10%. A- Biplot dos traços funcionais. B- Quadrado- representação dos organismos estritamente autotróficos; círculo- representação dos organismos mixotróficos; diamante- representação dos organismos heterotróficos. Na cor laranja as diatomáceas, em marrom os dinoflagelados, em roxo os silicoflagelados, em vermelho os cocolitoforídeos, em verde as clorófitas, em amarelo os ciliados e em azul as cianobactérias.

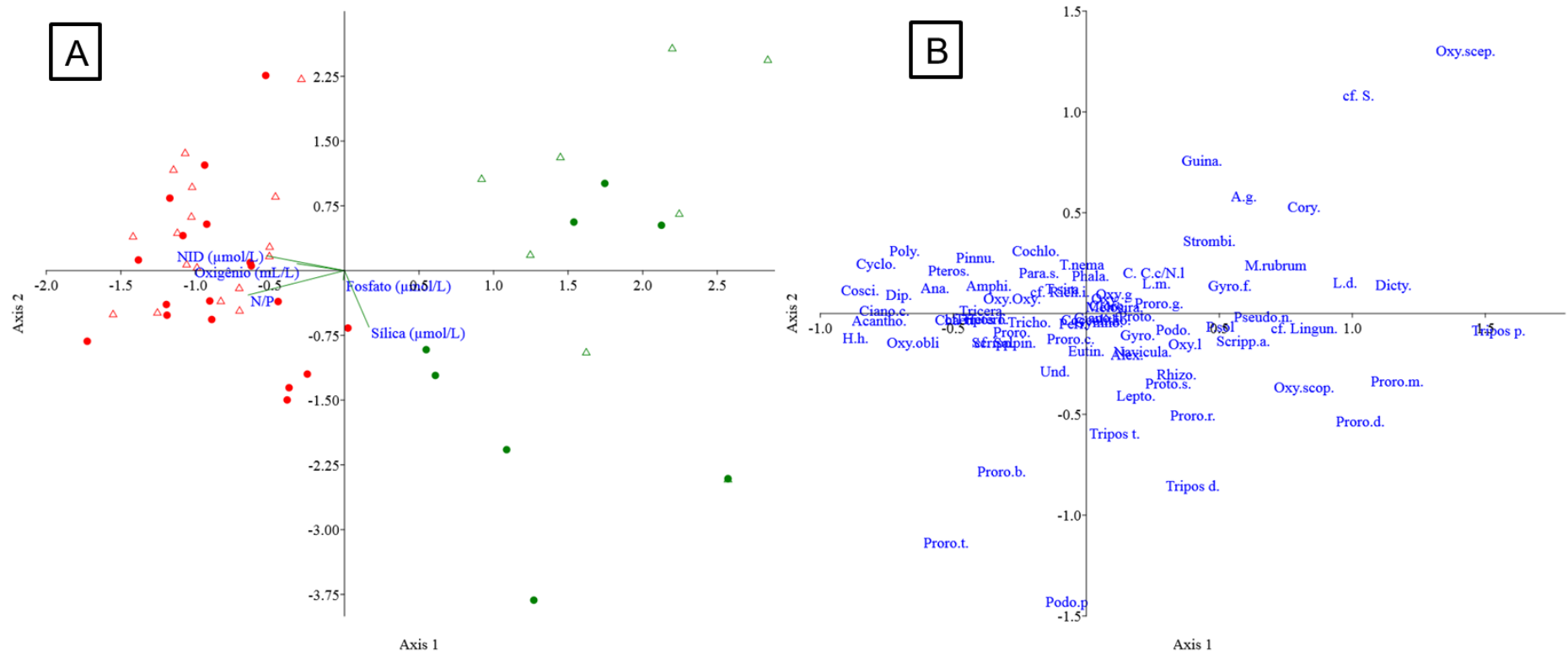
Fonte: A autora, 2024; preparado usando o PAST (HAMMER et al., 2001).

Legenda: Análise do Cluster e da PCA. Grupos observados no cluster (Eixo X). A- PCA com destaque para os grupos formados: Grupo 1 em azul, Grupo 2 em rosa, Grupo 3 em verde e Grupo 4 em roxo. B- Relação entre os grupos sobre a razão S/V. C- Relação entre os grupos sobre o MDL. D- Porcentagem dos autotróficos (verde), mixotróficos (coral) e heterotróficos (azul) em cada um dos grupos.



Fonte: A autora, 2024; preparado usando o PAST (HAMMER et al., 2001).

Figura 27- Grupos funcionais



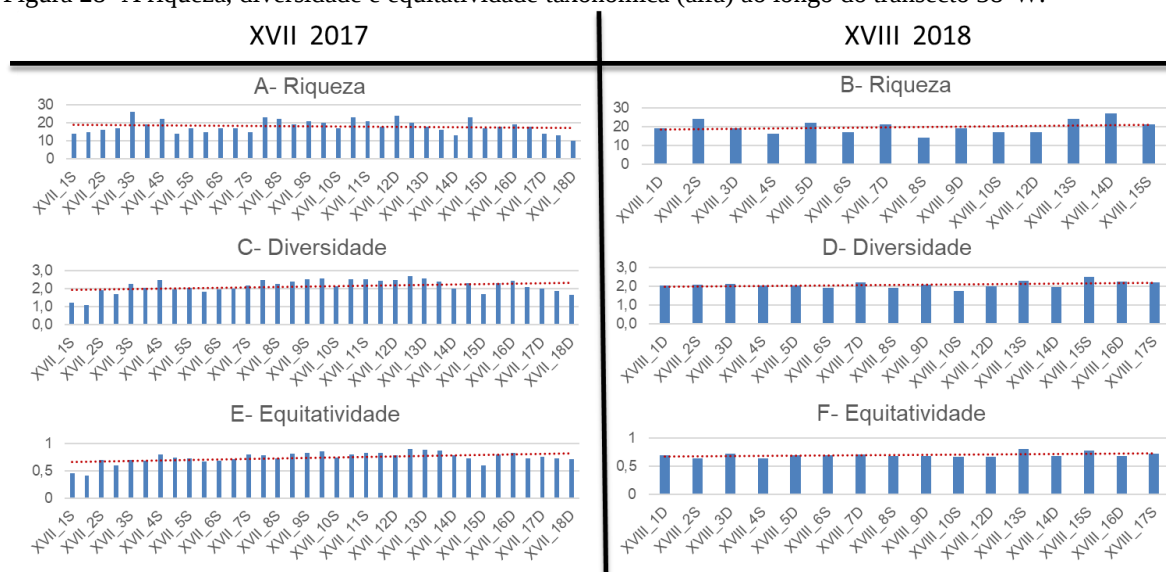
Legenda: Análise de correlação canônica (CCA). A- Triângulos- pontos de coleta na DCM; círculos- pontos de coleta na superfície, com as variáveis ambientais (NID, Fosfato, Silica, Oxigênio e N/P). Em vermelho- campanha amostral de 2017 e em verde- campanha amostral de 2018 e B -. Táxons com frequência maior de 10%.
 Fonte: A autora, 2024; preparado usando o PAST (HAMMER et al., 2001).

4.4.2 Comparação entre os índices de diversidade taxonômicos e funcionais

Os índices de diversidade taxonômica isoladamente são descritores pouco robustos da estrutura das comunidades, mas a interpretação conjunta com os índices funcionais auxilia na compreensão da variabilidade das assembleias de espécies e diversificação de nichos ecológicos temporalmente (WEITHOFF; ROCHA; GAEDKE, 2015) e espacialmente (GRACORROZA et al., 2022).

A diversidade e equitatividade taxonômica (alfa α) foram similares nos dois anos (Figura 28), com alta diversidade (> 2). Entretanto, em 2017 há maior riqueza de táxons (120 microplâncton e 43-nanoplâncton) do que 2018 (71-microplâncton e 33-nanoplâncton).

Figura 28- A riqueza, diversidade e equitatividade taxonômica (alfa) ao longo do transecto 38°W.



Legenda: A e B- Riqueza, sendo A da campanha de 2017 e B da campanha de 2018; C e D- Diversidade Alfa, através do índice de Shannon-Wiener, sendo C da campanha de 2017 e D da campanha de 2018; E e F- Equitatividade, sendo E da campanha de 2017 e f da campanha de 2018.

Fonte: A autora, 2024

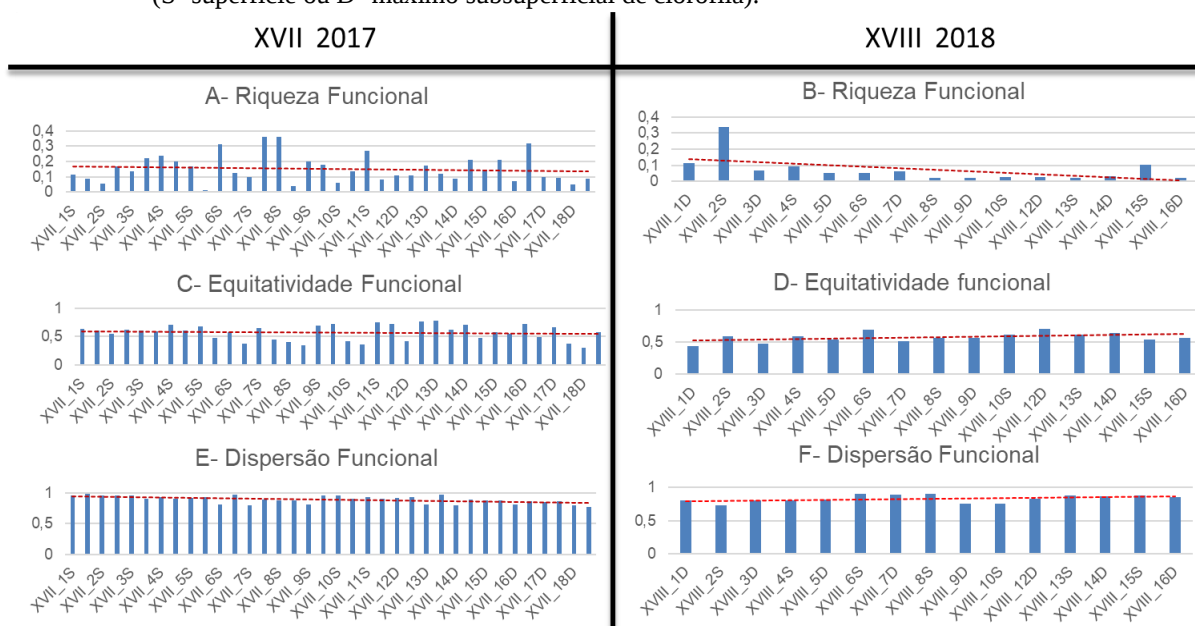
Quanto aos índices de diversidade funcional, a riqueza funcional FRic foi maior na campanha de 2017 do que na de 2018 (Figura 29 A e B), devido a presença dos traços funcionais associados à diazotrofia. A baixa riqueza funcional (FRic geralmente $< 0,1$ em 2018 - Figura 29), indica que a riqueza de espécies observada na campanha de 2018 não se traduziu, significativamente em novos traços. De fato, a abundância relativa das espécies com traços

distintos (cianobactérias diazotróficas e simbiose entre diatomáceas e diazotróficas - DDAs) variou entre as campanhas, notadamente, entre 5°N e 10°N sob a influência da ITCZ. Na estação 2, superfície- campanha de 2018, houve maior riqueza funcional devido a maior abundância de mixotróficos constitutivos (dinoflagelados).

A equitatividade funcional foi elevada nos 2 anos de campanha (Figura 29 C e D), o que indica a distribuição equitativa dos traços funcionais, com valores semelhantes entre o ano de La Niña (2017) e El Niño (2018) (Figura 24).

A dispersão funcional (FDis) foi elevada e variou pouco entre as campanhas ($> 0,9$ em 2017 e $< 0,9$ em 2018- Figura 29 E e F). Em 2017 os maiores valores de FDis podem estar associados ao maior número de grupos funcionais, devido a ocorrência das cianobactérias diazotróficas e DDAs, como mencionado anteriormente.

Figura 29- Índices de diversidade funcional, por campanha (XVII ou XVIII), estação amostral e profundidade (S- superfície ou D- máximo subsuperficial de clorofila).



Legenda: A e B- Riqueza funcional, sendo A- campanha de 2017 e B- campanha de 2018; C e D- Equitatividade funcional, sendo C- campanha de 2017 e D- campanha de 2018; E e F- Dispersão funcional, sendo E- campanha de 2017 e F- campanha de 2018.

Fonte: A autora, 2024

A relação entre o estresse ambiental e a riqueza funcional foi notável entre as campanhas amostrais, com variações bem-marcadas na área de influência da ITCZ (entre 5° e 10°N). O aumento da temperatura das águas superficiais e enfraquecimento da divergência e

consequentemente do aporte de nutrientes para a zona eufótica, traduzido como as variações na razão N/P, no ano de El Niño, teve efeitos na variação espacial, esses resultados indicam que a temperatura tem efeito sobre a abundância relativa dos traços funcionais, assim como sobre a riqueza de espécies. A adição de traços detectada (cianobactérias diazotróficas e simbiose- DDA) e maior riqueza de espécies foram observadas com a diminuição da temperatura da água em superfície na campanha 2017, sob a influência de La Niña.

O microplâncton apresenta distintas estratégias para que tantas espécies coexistam ao mesmo tempo (paradoxo do plâncton- HUTCHINSON, 1961; RECORD; PERSHING; MAPS, 2014): i) múltiplos nichos como um processo de estabilização (HAEGEMAN; LOREAU, 2011) ou ii) neutralidade como um processo de equalização (SCHEFFER; VAN NES, 2006; VERGNON; DULVY; FRECKLETON, 2009; VERGNON; VAN NES; SCHEFFER, 2012). No Atlântico Tropical Oeste, presente conjunto de dados, a complementariedade de nichos ocorreu na campanha de 2017, quando a riqueza de espécies se traduziu em aumento da riqueza funcional, entretanto, a temperatura atuou como filtro ambiental, afetando principalmente a distribuição de cianobactérias diazotróficas e DDAs, traço que confere a estes organismos uma vantagem adaptativa e afeta as concentrações de nitrogênio na camada de mistura.

Em um contexto biogeográfico, os gradientes ambientais observados ao longo das províncias estudadas espacialmente variaram pouco, quando comparados às variações temporais (anos sob influência de La Niña ou El Niño), entretanto, a divergência observada sob a influência da ITCZ (5° a 10° N), assim como a provável maior contribuição da pluma amazônica, associada à maior retroflexão da CNB em 2017, criaram um discreto gradiente de temperatura superficial das águas e disponibilidade de nitrogênio (Figura 18 e 19).

Ao compararmos os índices de diversidade funcional obtidos no presente estudo, com aqueles utilizados nos estudos realizados por Lima et al. (2019), na península oeste Antártida (WAP - *West Antarctic Peninsula*), sob distintas condições de degelo, e por Cesar-Ribeiro et al. (2020) no Atlântico Sul, em vórtices de diferentes idades, utilizando a mesma metodologia de amostragem e análise de dados, os índices funcionais diferiram (Figura 30). Essas regiões englobam uma escala latitudinal maior, desde a Antártida (DE LIMA et al., 2019), passando pelo Atlântico Sul (CESAR-RIBEIRO et al., 2020) até a região equatorial do presente estudo.

Estas correspondem, predominantemente, aos seguintes biomas e províncias de Longhurst (1998): i. Presente estudo- bioma de Ventos Alísios: WTRA (província do Atlântico Tropical Oeste) e NATR (província do Giro Tropical do Atlântico Norte); ii. Atlântico Sul:

SATL (província do Giro Subtropical do Atlântico Sul) e iii. Península oeste Antártida (WAP): Bioma Polar Austral - APLR (Província Polar Austral).

Comparando essas 3 regiões oceânicas há um crescente aumento da riqueza funcional (FRic) (Figura 30A) desde o Atlântico Tropical Oeste até a WAP (CESAR-RIBEIRO et al., 2020; DE LIMA et al., 2019). A maior riqueza de espécies observada nas regiões tropicais e subtropicais não se traduziu na adição de novos traços funcionais significativamente, o que pode indicar maior *fitness* das espécies microplanctônicas nessas regiões (CESAR-RIBEIRO et al., 2020; SEGURA et al., 2011), onde a estratificação vertical da temperatura (termoclina) e a oligotrofia da camada de mistura são características.

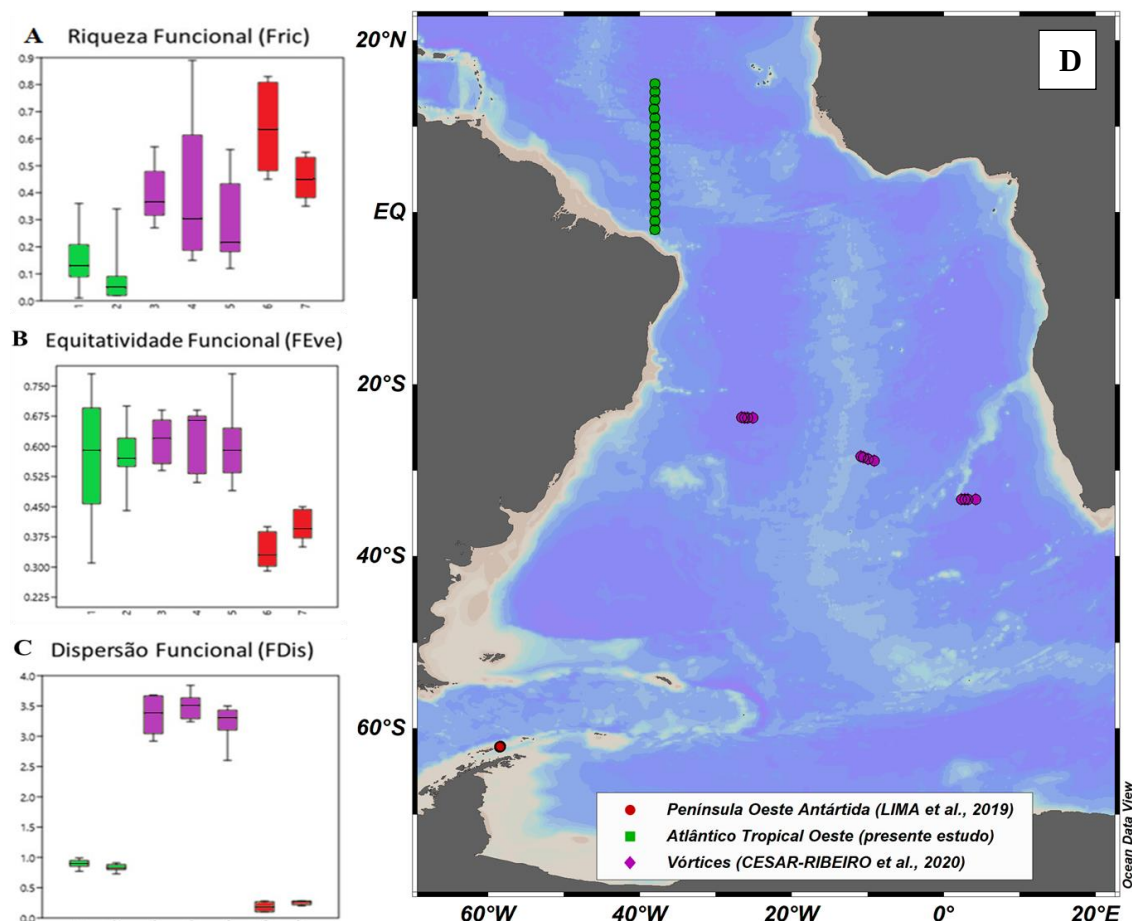
A equitatividade funcional (Figura 30B) foi menor na WAP, o que era esperado, pois houve, notadamente nos períodos de menor degelo, a dominância de diatomáceas microplanctônicas e do traço nutricional de autotrofia e maior tamanho celular ($> MDL$) (DE LIMA et al., 2019).

Quanto a dispersão funcional (FDis), os maiores valores foram observados nos vórtices de diferentes idades, oriundos do vazamento da Corrente das Agulhas (CESAR-RIBEIRO et al., 2020), cabe destacar que esta foi a região mais oligotrófica entre as 3 aqui comparadas, e a variação da FDis aumentou em direção ao vórtice mais antigo (Figura 30 C- classes 3, 4 e 5), enquanto a WAP apresentou os menores valores de FDis, indicando agrupamentos funcionais mais fortes na WAP (KRUK et al., 2017a, 2017b).

A forte sazonalidade e o estresse climático devem selecionar apenas os táxons altamente especializados e modificar o espaço funcional em direção aos polos (LAMANNA et al., 2014). Portanto, é plausível que o estresse climático leve a um aumento nas diferenças de riqueza nas comunidades em direção aos polos, além disso, espera-se que o agrupamento funcional seja mais forte em latitudes mais altas (KRUK et al., 2017b), com menor FDis. Uma forte filtragem ambiental em conjuntos de dados em latitudes mais altas (acima de 50°) seleciona as espécies com diferentes combinações de características entre os locais, com impactos sobre a diversidade funcional (GRACO-ROZA et al., 2022).

No Atlântico Tropical Oeste, o aumento da temperatura pode levar a mudanças nos padrões de vento (diferença de pressão), o enfraquecimento da ITCZ e da divergência (observado na figura 17 A e C), modificando o aporte de nutrientes para a zona eufótica, ocasionando variações na comunidade microplanctônica, como observado no presente estudo, com possíveis consequências sobre o ciclo do nitrogênio e carbono.

Figura 30- Diagrama box-plot dos índices de diversidade funcional comparando 3 regiões oceânicas: Atlântico Tropical Oeste; Vórtices oriundos da corrente das Agulhas e Península Oeste Antártida



Legenda: Diagrama box-plot (média, valores máximo e mínimo, desvio padrão) dos índices de diversidade funcional (A- riqueza funcional FRic, B- equitatividade funcional FEve e C- dispersão funcional FDis) comparando 3 regiões oceânicas. D- Mapa da distribuição de pontos de amostragem de cada campanha.

Sendo o Atlântico Tropical Oeste (presente estudo), representado pela cor verde: Classes 1-Campanha 2017/La Niña e 2- Campanha 2018/El Niño; Vórtices de distintas idades oriundos do vazamento da corrente das Agulhas (CESAR-RIBEIRO et al., 2020), representados pela cor rosa: Classes 3- mais jovem, 4- intermediário e 5- mais antigo; e Península Oeste Antártida (WAP) (DE LIMA et al., 2019), representada pela cor vermelha: Classes 6- cenários com maior degelo e 7- cenários com menor degelo.

Fonte: A autora, 2024

A biogeografia do fitoplâncton na superfície do oceano pode ser determinada como clorofila-*a*, usando técnicas de sensoriamento remoto (HARDMAN-MOUNTFORD et al., 2008; LONGHURST, 1998), mas a avaliação da composição da comunidade planctônica permanece limitada. No presente estudo, as concentrações de clorofila-*a* foram semelhantes nas campanhas de 2017 e 2018, sob influência de La Niña e El Niño, respectivamente. Entretanto, a composição da comunidade planctônica e sua estrutura funcional variaram.

Estudos como este, que incluam taxonomia, diversidade específica e funcional da comunidade de protistas no Atlântico Tropical Oeste podem “alimentar” modelos biogeoquímicos. Sugerimos o aprofundamento do estudo da ecologia funcional do plâncton no Atlântico tropical, a fim de utilizar dados de traços e diversidade funcional como *proxies* para a avaliação dos impactos do aumento da temperatura na superfície oceânica e estratificação vertical em zonas de divergência.

CONCLUSÃO

A partir dos dados deste trabalho podemos concluir que apesar dos valores de clorofila-*a* não diferirem significativamente entre os dois anos, a comunidade fitoplânctonica foi composta de organismos diferentes, o que por sua vez altera a composição dos seguintes níveis tróficos e dos ciclos biogeoquímicos.

Os fatores físicos foram os principais controladores ambientais dos grupos funcionais e da diversidade do plâncton, notadamente para a ITCZ sob a influência do ENSO.

Os índices de diversidade foram altos (acima de 2) e semelhantes em ambos os anos amostrados.

O modo de nutrição, a disponibilidade de nutrientes e o tamanho dos organismos planctônicos foram os principais traços que contribuíram para a formação dos grupos funcionais. Podemos destacar a formação de 2 cenários ecológicos relacionados à diversidade de traços e fatores ambientais: I) sob a influência de La Niña; II) sob influência de El Niño.

O cenário I, no ano 2017, é caracterizado pela influência do início de uma La Niña fraca, que aumentou a pluviosidade e consequentemente a intensificação da vazão do rio Amazonas, aumentando a disponibilidade de nutrientes e possível transporte de organismos (diatomáceas bentônicas encontradas em 15°N). Além disso, a influência da La Niña diminuiu a temperatura da superfície do oceano e intensifica a ressurgência, entre 5° e 10° N, aumentando a disponibilidade de nutrientes, como silicato. No oceano Atlântico observa-se um menor estresse dos ventos e ITCZ, entre 5° e 10°N o que por sua vez causa uma retroflexão da Corrente Norte do Brasil (CNB) mais para leste, com elevação negativa, ou seja, divergência subequatorial. Essas condições favorecem a maior densidade das cianobactérias diazotróficas e DDAs (10% do total dos autotróficos), o que se reflete no aumento da riqueza funcional.

A mistura da pluma Amazônica com águas oceânicas é marcada pela maior concentração de DDAs com *Richelia*, e um aumento das diazotróficas típicas do oceano tropical, *Trichodesmium* (como descrito na literatura ex: Subramanian et al. (2008)). A fixação de nitrogênio atmosférico pelo *Trichodesmium* (tufos e puffs), e pela *Richelia* (filamentos com heterocistos) disponibiliza NO₃, produção nova, tornando o fosfato e silicato nutrientes limitantes na comunidade, e não mais o nitrogênio.

Já no ano 2018, cenário II, sob influência do início de um El Niño fraco, no Pacífico, e um El Niño Atlântico de *início-tardio* (classificação de VALLÈS-CASANOVA et al.,

2020), observamos uma maior temperatura da superfície do oceano, que gera uma área de baixa pressão que intensifica os ventos, assim com a subsidência de massa de ar, faz com que a ITCZ permaneça abaixo de 5°N. Além disso, o maior estresse do vento contribui para uma retroflexão menos acentuada para leste, com divergência menos marcada. Vale ressaltar que esses ventos mais intensos não são característicos do El Niño, mas podem ocorrer devido a influência do El Niño na troposfera, que causa a inversão da intensidade dos ventos.

Uma menor pluviosidade na Amazônia, devido ao El Niño, diminui o aporte fluvial e, por conseguinte a disponibilidade de nutrientes, como silicato e fosfato. A porcentagem de diazotróficas e DDAs cai para 3% dos autotróficos, fazendo com que a forma de nitrogênio disponível não seja mais o NO_3 , mas sim o NO_2 sendo assim produção regenerada.

Dinoflagelados, silicoflagelados e clorófitas possuem maiores densidades em 2018, notadamente para clorófitas de menor tamanho (nanofitoplâncton). Além de maiores densidades, os ciliados também mudaram sua composição funcional, enquanto em 2017 os ciliados foram formados por tintinídeos heterotróficos (*Acanthostomella*, *Salpingella*, *Eutintinnus* e *Undella*), em 2018 foram representados por organismo mixotróficos (*Mesodinium rubrum* e *Strombidium*). A composição das diatomáceas também mudou em 2018, com maior porcentagem de diatomáceas penadas, notadamente dos organismos de menor tamanho (nanofitoplâncton). A riqueza funcional foi menor que 2017, com aumento na estação onde ocorreu a maior abundância de mixotróficos constitutivos.

Quando comparado a um maior conjunto de dados de diversidade funcional, disponíveis na literatura, distribuídos latitudinalmente da Antártida até a zona tropical-equatorial (presente estudo), a variação do fitoplâncton latitudinalmente é dependente da sazonalidade, da temperatura da superfície do oceano, e da ITCZ na zona equatorial. Há um aumento da riqueza funcional em direção a Antártida e da dispersão funcional em direção aos trópicos e equador, indicando que esses organismos possuem mais de uma estratégia funcional para a sobrevivência nestas regiões oligotróficas. Já em profundidade, o fitoplâncton varia dependendo da camada de mistura e resistência a luz.

PESCPECTIVAS

Intensificar os estudos na região é premente. A influência do continuum Amazônico na região é provável, uma vez que observamos a presença de diatomáceas bentônicas encontradas em 15°N.

Os resultados aqui apresentados demonstram a importância de se saber não apenas os valores de clorofila-a satelitais para a modelagem (de projeções de mudanças climáticas e biodiversidade, por exemplo), mas também da composição de comunidade fitoplânctonica. Visto que, como Henson et al. (2021) descreve, os diferentes organismos do fitoplâncton impactam de forma diferente a teia trófica e os ciclos biogeoquímicos, afetando diretamente as mudanças climáticas globais e a economia, visto que a pesca é uma importante fonte de alimento (20% da ingestão de proteína animal).

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO-TREJOS, E. et al. Mechanisms shaping size structure and functional diversity of phytoplankton communities in the ocean. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 8918, 9 ago. 2015.
- AHYONG, S. et al. **World Register of Marine Species (WoRMS)**. WoRMS Editorial Board, 2024. Disponível em: <<https://www.marinespecies.org>>
- ARAÚJO, R. G. et al. A influência do evento El Niño - Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões norte e nordeste da América do Sul. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 469–480, dez. 2013.
- ARRIGO, K. R. Marine microorganisms and global nutrient cycles. **Nature**, v. 437, n. 7057, p. 349–55, 15 set. 2005.
- ASSIS, C. A. M. DE. **Reconstrução do sistema carbonato marinho no Atlântico Tropical Oeste : tendências e variabilidades em 20 anos de projeto PIRATA (8 ° N 38 ° W) Rio de Janeiro**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2021.
- BACAËR, N. Verhulst et l'équation logistique en dynamique des populations. **European Communications in Mathematical and Theoretical Biology**, v. 10, p. 24–26, 2008.
- BALECH, E. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. **Publicaciones especiales del Instituto Español de Oceanografía**, Publ. espec. Inst. Esp. Oceanogr. v. 1, p. 310, 1988.
- BERGLUND, J. et al. Efficiency of a phytoplankton-based and a bacterial-based food web in a pelagic marine system. **Limnology and Oceanography**, v. 52, n. 1, p. 121–131, 16 jan. 2007.
- BERMAN-FRANK, I. et al. Nitrogen-fixation strategies and Fe requirements in cyanobacteria. **Limnology and Oceanography**, v. 52, n. 5, p. 2260–2269, 27 set. 2007.
- BOATMAN, T. G. et al. An Integrated Response of *Trichodesmium erythraeum* IMS101 Growth and Photo-Physiology to Iron, CO₂, and Light Intensity. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 10 abr. 2018.
- BOURLES, B. et al. Upper layer currents in the western tropical North Atlantic (1989-1991). **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 104, n. C1, p. 1361–1375, 15 jan. 1999.
- BOWIE, A. R. et al. Biogeochemistry of Fe and other trace elements (Al, Co, Ni) in the upper Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 49, n. 4, p. 605–636, abr. 2002.
- BOYD, P. W. et al. Multi-faceted particle pumps drive carbon sequestration in the ocean. **Nature** 2019 568:7752, v. 568, n. 7752, p. 327–335, 17 abr. 2019.

- BRASIL, J.; HUSZAR, V. L. M. L. DE M. L. M. The role of the functional traits on the phytoplankton ecology in inland waters. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 04, p. 799–834, dez. 2011.
- BRISTOW, L. A. et al. Nutrients that limit growth in the ocean. **Current Biology**, v. 27, n. 11, p. R474–R478, jun. 2017.
- BURMEISTER, K. et al. Fluctuations of the Atlantic North Equatorial Undercurrent and Associated Changes in Oxygen Transports. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 13, 16 jul. 2020.
- BYRNE, M. P. et al. Response of the Intertropical Convergence Zone to Climate Change: Location, Width, and Strength. **Current Climate Change Reports 2018 4:4**, v. 4, n. 4, p. 355–370, 9 ago. 2018.
- C3S. **Sea level daily gridded data from satellite observations for the global ocean from 1993 to present**. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.4c328c78?tab=overview>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- CALAÇA, A. M.; GRELLE, C. E. V. Diversidade funcional de comunidades: discussões conceituais e importantes avanços metodológicos. **Oecologia Australis**, v. 20, n. 04, p. 401–416, dez. 2016.
- CAPONE, D. G. et al. Nitrogen fixation by *Trichodesmium* spp.: An important source of new nitrogen to the tropical and subtropical North Atlantic Ocean. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 19, n. 2, p. 1–17, 1 jun. 2005.
- CAPUTO, A.; NYLANDER, J. A. A.; FOSTER, R. A. The genetic diversity and evolution of diatom-diazotroph associations highlights traits favoring symbiont integration. **FEMS Microbiology Letters**, v. 366, n. 2, p. 297, 9 jan. 2019.
- CARTON, J. A.; KATZ, E. J. Estimates of the zonal slope and seasonal transport of the Atlantic North Equatorial Countercurrent. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. C3, p. 3091, 1990.
- CARVALHO, A. C. O. et al. Phytoplankton strengthen CO₂ uptake in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 190, p. 102476, 1 jan. 2020.
- CARVALHO, F. A.; FELFILI, J. M. Aplicação da Diversidade Alfa e Beta Para Definição de Áreas Prioritárias Para Conservação: Uma Análise das Florestas Deciduais Sobre Afloramentos Calcários no Vale do Paranã, Goiás. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, p. 830–838, 2011.
- CARVALHO, L. N.; SAMPAIO ZUANON, J. A. **História natural de peixes de igarapés**

amazônicos: utilizando a abordagem do Conceito do Rio Contínuo. Manaus, 2008.

Disponível em:

<http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=109745>. Acesso em: 14 maio. 2021

CESAR-RIBEIRO, C. et al. Is Oligotrophy an Equalizing Factor Driving Microplankton Species Functional Diversity Within Agulhas Rings? **Frontiers in Marine Science**, v. 7, p. 599185, 17 dez. 2020.

CHAPPELL, P. D. et al. Molecular evidence of iron limitation and availability in the global diazotroph *Trichodesmium*. **The ISME Journal** 2012 6:9, v. 6, n. 9, p. 1728–1739, 8 mar. 2012.

CHARVET, S. et al. Small pigmented eukaryote assemblages of the western tropical North Atlantic around the Amazon River plume during spring discharge. **Scientific Reports** 2021 11:1, v. 11, n. 1, p. 1–14, 10 ago. 2021.

CHESTER, R.; JICKELLS, T. Marine Geochemistry. **Marine Geochemistry**, 27 ago. 2012.

CHIKAMOTO, Y. et al. El Niño–Southern Oscillation Evolution Modulated by Atlantic Forcing. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 125, n. 8, 14 ago. 2020.

CIRANO, M. et al. The large-scale ocean circulation in the western region of the South Atlantic based on the OCCAM global circulation model. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n. 2, p. 209–230, 2006.

CLIMATE PREDICTION CENTRE. **Climate Prediction Center**. Disponível em:

<<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/%0Ahttp://www.weather.gov/riw/drought/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

CMEMS. **Global Ocean Hourly Sea Surface Wind and Stress from Scatterometer and Model. Copernicus Marine MyOcean Viewer**, 2022. Disponível em:

<https://data.marine.copernicus.eu/product/WIND_GLO_PHY_L4_MY_012_006/description>. Acesso em: 12 dez. 2022

COLES, V. J. et al. The pathways and properties of the Amazon River Plume in the tropical North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 118, n. 12, p. 6894–6913, dez. 2013.

COLLADO-FABBRI, S.; VAULOT, D.; ULLOA, O. Structure and seasonal dynamics of the eukaryotic picophytoplankton community in a wind-driven coastal upwelling ecosystem.

Limnology and Oceanography, v. 56, n. 6, p. 2334–2346, nov. 2011.

COOLEY, S. R. et al. Seasonal variations in the Amazon plume-related atmospheric carbon sink. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 21, n. 3, p. n/a-n/a, set. 2007.

- COOLEY, S. R.; YAGER, P. L. Physical and biological contributions to the western tropical North Atlantic Ocean carbon sink formed by the Amazon River plume. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. C8, p. C08018, 2006.
- CORNWELL, W. K.; SCHWILK, D. W.; ACKERLY, D. D. A trait-based test for habitat filtering: Convex hull volume. **Ecology**, v. 87, n. 6, p. 1465–1471, 2006.
- COSTA, L. S.; HUSZAR, V. L. M.; OVALLE, A. R. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. **Estuaries and Coasts**, v. 32, n. 3, p. 508–521, 19 maio 2009.
- CUBASCH, U., D. WUEBBLES, D. CHEN, M.C. FACCHINI, D. FRAME, N. MAHOWALD, AND J.-G. W. **AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis — IPCC**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- CUPP, E. E. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. **Bulletin Scripps Institution of Oceanography of the University of California**. University of California Press, 1943.
- DE LIMA, D. T. et al. Abiotic changes driving microphytoplankton functional diversity in Admiralty bay, King George island (Antarctica). **Frontiers in Marine Science**, v. 6, n. OCT, p. 1–17, 17 out. 2019.
- DE PAULA AMARAL, L. et al. Variabilidade espacial do Índice de Diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 41, n. 97, p. 83–93, 2013.
- DEL VECCHIO, R. Influence of the Amazon River on the surface optical properties of the western tropical North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. C11, p. C11001, 2004.
- DES (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND SCIENCE). **Coastal and subcoastal floodplain lake – Nutrient dynamics**. Disponível em: <<https://wetlandinfo.ehp.qld.gov.au/wetlands/ecology/aquatic-ecosystems-natural/lacustrine/coastal-floodplain-lake/nutrients.html>>. Acesso em: 7 jun. 2023.
- DOLBETH, M. et al. Exploring ecosystem functioning in two Brazilian estuaries integrating fish diversity, species traits and food webs. **Marine Ecology Progress Series**, v. 560, p. 41–55, 24 nov. 2016.
- DUNSTAN, P. K. et al. Global patterns of change and variation in sea surface temperature and chlorophyll a. v. 8, n. 1, p. 1–9, 2 out. 2018.
- DUTKIEWICZ, S. et al. Ocean colour signature of climate change. **Nature Communications 2019 10:1**, v. 10, n. 1, p. 1–13, 4 fev. 2019.

- EDMOND, J. M. et al. The chemical mass balance in the Amazon plume I: The nutrients. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 28, n. 11, p. 1339–1374, nov. 1981.
- EPPLEY, R. W.; PETERSON, B. J. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. **Nature** **1979 282:5740**, v. 282, n. 5740, p. 677–680, 1979.
- ERNST, B. et al. Oral toxicity of the microcystin-containing cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in European whitefish (*Coregonus lavaretus*). **Aquatic Toxicology**, v. 79, n. 1, p. 31–40, 12 ago. 2006.
- ESTRADA, M. et al. Phytoplankton across Tropical and Subtropical Regions of the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. **PLOS ONE**, v. 11, n. 3, p. e0151699, 16 mar. 2016.
- FALKOWSKI, P. G. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean. **Nature** **1997 387:6630**, v. 387, n. 6630, p. 272–275, 15 maio 1997.
- FALKOWSKI, P. G. et al. The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton. **Science**, v. 305, n. 5682, p. 354–360, 16 jul. 2004.
- FARIAS, G. B. et al. Uncoupled changes in phytoplankton biomass and size structure in the western tropical Atlantic. **Journal of Marine Systems**, v. 227, p. 103696, mar. 2022.
- FAURE, E. et al. Mixotrophic protists display contrasted biogeographies in the global ocean. **The ISME Journal**, v. 13, n. 4, p. 1072–1083, 14 abr. 2019.
- FELDER, D. L.; CAMP, D. K. Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota: Biodiversity, Volume 1 Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. **Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies**, v. 1, p. 1393, 2009.
- FELIPE, J. et al. Mapeamento da dispersão da pluma do Rio Amazonas no Oceano Atlântico por técnicas de Sensoriamento Remoto Mapeamento da dispersão da pluma do Rio Amazonas no Oceano Atlântico por técnicas de Sensoriamento Remoto hidrossedimentométrica efetuadas no âmbito. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR**, 2017.
- FERNANDES, L. F.; CORRER-DA-SILVA, F. Diversity and distribution of nanoplanktonic *Minidiscus* (Bacillariophyta) in shelf waters of the Southwest Atlantic Ocean. **Diatom Research**, v. 35, n. 4, p. 327–338, 1 out. 2020.
- FERNANDO, F.; MARCUZZO, N.; ROMERO, ; ; VANESSA. Influência do El Niño e La Niña na precipitação máxima diária do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, p. 429–440, 2013.
- FERREIRA, T. P. **Caracterização Do Sistema De Correntes Da Região Oeste Do Oceano**

Atlântico Equatorial. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, 2018.

FIELD, A. North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 52, n. 1, p. 137–160, jan. 2005.

FIELD, C. B. et al. Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. **Science**, v. 281, n. 5374, p. 237–240, 10 jul. 1998.

FINKEL, Z. V. et al. Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. **Journal of Plankton Research**, v. 32, n. 1, p. 119–137, 1 jan. 2010.

FISCHER, A. et al. Sixty Years of Sverdrup: A Retrospective of Progress in the Study of Phytoplankton Blooms. **Oceanography**, v. 27, n. 1, p. 222–235, 1 mar. 2014.

FLYNN, K. J. et al. Mixotrophic protists and a new paradigm for marine ecology: where does plankton research go now? **Journal of Plankton Research**, v. 41, n. 4, p. 375–391, 26 jul. 2019.

FLYNN, K. J.; MITRA, A. Building the “perfect beast”: modelling mixotrophic plankton. **Journal of Plankton Research**, v. 31, n. 9, p. 965–992, 1 set. 2009.

FOLTZ, G. R.; MCPHADEN, M. J. Impact of Barrier Layer Thickness on SST in the Central Tropical North Atlantic*. **Journal of Climate**, v. 22, n. 2, p. 285–299, 15 jan. 2009.

FOLTZ, G. R.; MCPHADEN, M. J.; LUMPKIN, R. A Strong Atlantic Meridional Mode Event in 2009: The Role of Mixed Layer Dynamics*. **Journal of Climate**, v. 25, n. 1, p. 363–380, 1 jan. 2012.

FOSTER, R. A. et al. Influence of the Amazon River plume on distributions of free-living and symbiotic cyanobacteria in the western tropical north Atlantic Ocean. **Limnology and Oceanography**, v. 52, n. 2, p. 517–532, mar. 2007.

FOSTER, R. A. et al. Nitrogen fixation and transfer in open ocean diatom–cyanobacterial symbioses. **The ISME Journal** 2011 5:9, v. 5, n. 9, p. 1484–1493, 31 mar. 2011.

FUNCEME (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS). **Pirata**. Disponível em: <http://www.funceme.br/?page_id=2726>. Acesso em: 11 jul. 2023.

GAO, Y. et al. Influence of cyanobacteria blooms on sediment biogeochemistry and nutrient fluxes. **Limnology and Oceanography**, v. 59, n. 3, p. 959–971, maio 2014.

GEIDER, J.; PIATT, T. A mechanistic model of photoadaptation in microalgae. **Marine Ecology Progress Series**, v. 30, p. 85–92, 1986.

GHYOOT, C. et al. Modeling Plankton Mixotrophy: A Mechanistic Model Consistent with

- the Shuter-Type Biochemical Approach. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, n. JUL, p. 78, 18 jul. 2017.
- GLIBERT, P. M. Margalef revisited: A new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology. **Harmful Algae**, v. 55, p. 25–30, maio 2016.
- GLOOR, M. et al. Intensification of the Amazon hydrological cycle over the last two decades. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1729–1733, 16 maio 2013.
- GOEBEL, N. L. et al. Abundance and distribution of major groups of diazotrophic cyanobacteria and their potential contribution to N₂ fixation in the tropical Atlantic Ocean. **Environmental Microbiology**, v. 12, n. 12, p. 3272–3289, dez. 2010.
- GOES, M. et al. Variability of the Atlantic off-equatorial eastward currents during 1993-2010 using a synthetic method. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 118, n. 6, p. 3026–3045, jun. 2013.
- GONZÁLEZ-GIL, S. et al. Considerations on the toxigenic nature and prey sources of *Phalacroma rotundatum*. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 64, n. 2, p. 197–203, 1 set. 2011.
- GOUVEIA, N. A. et al. The Salinity Structure of the Amazon River Plume Drives Spatiotemporal Variation of Oceanic Primary Productivity. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 124, n. 1, p. 147–165, 22 jan. 2019.
- GOYET, C.; ADAMS, R.; EISCHEID, G. Observations of the CO₂ system properties in the tropical Atlantic Ocean. **Marine Chemistry**, v. 60, n. 1–2, p. 49–61, fev. 1998.
- GRACO-ROZA, C. et al. Distance decay 2.0 – A global synthesis of taxonomic and functional turnover in ecological communities. **Global Ecology and Biogeography**, v. 31, n. 7, p. 1399–1421, 1 jul. 2022.
- GRIME, J. P. **Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory**Source: **The American Naturalist**. [s.l: s.n.].
- GRIMM, A. M. Relação entre eventos El Niño/La Niña e frequência de ocorrência de extremos frios e quentes de temperatura no cone sul da América do Sul. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002.
- GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, n. 2–3, p. 123–138, 19 dez. 2004.
- GRODSKY, S. A. et al. Haline hurricane wake in the Amazon/Orinoco plume: AQUARIUS/SACD and SMOS observations. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 20, p. 2012GL053335, 28 out. 2012.
- GRODSKY, S. A.; CARTON, J. A. Surface drifter pathways originating in the equatorial

- Atlantic cold tongue. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 23, p. 62-1-62-4, dez. 2002.
- GRODSKY, S. A.; CARTON, J. A.; BRYAN, F. O. A curious local surface salinity maximum in the northwestern tropical Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 119, n. 1, p. 484–495, jan. 2014.
- GROKOPF, T. et al. Doubling of marine dinitrogen-fixation rates based on direct measurements. . 8 ago. 2012, p. 361–364.
- GUIRY, M.D. & GUIRY, G. M. **Algaebase**. Disponível em: <<http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/>>. Acesso em: 31 jan. 2024.
- HAEGEMAN, B.; LOREAU, M. A mathematical synthesis of niche and neutral theories in community ecology. **Journal of Theoretical Biology**, v. 269, n. 1, p. 150–165, jan. 2011.
- HAMMER, D. A. T. et al. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 178, 2001.
- HANSEN, H. P.; KOROLEFF, F. Determination of nutrients. **Methods of Seawater Analysis: Third, Completely Revised and Extended Edition**, p. 159–228, 27 dez. 2007.
- HANSEN, P. J. et al. Mixotrophy Among Freshwater and Marine Protists. In: **Reference Module in Life Sciences**. [s.l.] Elsevier, 2019.
- HARDMAN-MOUNTFORD, N. J. et al. An objective methodology for the classification of ecological pattern into biomes and provinces for the pelagic ocean. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 8, p. 3341–3352, 2008.
- HEINRICHS, M. E.; MORI, C.; DLUGOSCH, L. Complex Interactions Between Aquatic Organisms and Their Chemical Environment Elucidated from Different Perspectives. In: **YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future**. [s.l.] Springer, Cham, 2020. p. 279–297.
- HELLWEGER, F. L.; GORDON, A. L. Tracing Amazon River water into the Caribbean Sea. **Journal of Marine Research**, v. 60, n. 4, p. 537–549, 1 jul. 2002.
- HENSON, S. A. et al. Future phytoplankton diversity in a changing climate. **Nature Communications 2021 12:1**, v. 12, n. 1, p. 1–8, 10 set. 2021.
- HETLAND, R. D. Relating River Plume Structure to Vertical Mixing. **Journal of Physical Oceanography**, v. 35, n. 9, p. 1667–1688, 1 set. 2005.
- HETLAND, R. D.; HSU, T. J. Freshwater and sediment dispersal in large river plumes. **Biogeochemical Dynamics at Major River-Coastal Interfaces**, p. 55–85, 5 nov. 2013.
- HILTZ, M.; BATES, S. S.; KACZMARSKA, I. Effect of light: dark cycles and cell apical length on the sexual reproduction of the pennate diatom *Pseudo-nitzschia multiseries* (Bacillariophyceae) in culture. **Phycologia**, v. 39, n. 1, p. 59–66, 6 jan. 2000.

- HO, T. et al. THE ELEMENTAL COMPOSITION OF SOME MARINE PHYTOPLANKTON 1. **Journal of Phycology**, v. 39, n. 6, p. 1145–1159, 24 dez. 2003.
- HOFMANN ELIZONDO, U. et al. Biome partitioning of the global ocean based on phytoplankton biogeography. **Progress in Oceanography**, v. 194, p. 102530, jun. 2021.
- HOLLIDAY, R. Meiosis and sex: potent weapons in the competition between early eukaryotes and prokaryotes. **BioEssays**, v. 28, n. 11, p. 1123–1125, nov. 2006.
- HU, C. et al. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 51, n. 10–11, p. 1151–1171, maio 2004.
- HUFFMAN, G. J. et al. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 1, p. 5–20, jan. 1997.
- HUTCHINSON, G. E. Concluding Remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 22, n. 0, p. 415–427, 1 jan. 1957.
- HUTCHINSON, G. E. The Paradox of the Plankton on JSTOR. **The American Naturalist**, v. 95, n. 882, p. 137–145, 1961.
- INAG, I. P. Manual para a avaliação da qualidade biológica da água em lagos e albufeiras segundo a directiva quadro da água. **Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I. P.**, p. 67, 2009.
- INPE. **PIRATA - Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic**. Disponível em: <<http://www.goosbrasil.org/pirata/>>. Acesso em: 12 dez. 2022.
- JIANG, M.; NAKANO, S. ICHI. The crucial influence of trophic status on the relative requirement of nitrogen to phosphorus for phytoplankton growth. **Water Research**, v. 222, p. 118868, 15 ago. 2022.
- JICKELLS, T. Atmospheric inputs of metals and nutrients to the oceans: their magnitude and effects. **Marine Chemistry**, v. 48, n. 3–4, p. 199–214, fev. 1995.
- JICKELLS, T. D. et al. Global Iron Connections Between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate. **Science**, v. 308, n. 5718, p. 67–71, abr. 2005.
- KARL, D. et al. The role of nitrogen fixation in biogeochemical cycling in the subtropical North Pacific Ocean. **Nature** 1997 388:6642, v. 388, n. 6642, p. 533–538, 1997.
- KARLSON, A. M. L. et al. Nitrogen fixation by cyanobacteria stimulates production in Baltic food webs. **Ambio**, v. 44, n. 3, p. 413–426, 22 jun. 2015.
- KARLUSICH, J. J. P.; IBARBALZ, F. M.; BOWLER, C. Exploration of marine phytoplankton: from their historical appreciation to the omics era. **Journal of Plankton**

Research, v. 42, n. 6, p. 595–612, 30 out. 2020.

KÄSE, L.; GEUER, J. K. Phytoplankton Responses to Marine Climate Change – An Introduction. In: **YOUMARES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other**. [s.l.] Springer, Cham, 2018. p. 55–71.

KATZ, E. J. An Interannual Study of the Atlantic North Equatorial Countercurrent. **Journal of Physical Oceanography**, v. 23, n. 1, p. 116–123, jan. 1993.

KAZUMI MATSUOKA, Y. F. Technical guide for modern dinoflagellate cyst study. 2000.

KEMBEL, S. W. et al. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology.

Bioinformatics, v. 26, n. 11, p. 1463–1464, 1 jun. 2010.

KEY, T. et al. Cell size trade-offs govern light exploitation strategies in marine phytoplankton. **Environmental Microbiology**, v. 12, n. 1, p. 95–104, jan. 2010.

KIRK, J. T. O. (JOHN T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. [s.l.] Cambridge University Press, 2011.

KIRKHAM, A. R. et al. A global perspective on marine photosynthetic picoeukaryote community structure. **The ISME Journal** 2013 7:5, v. 7, n. 5, p. 922–936, 31 jan. 2013.

KNOLL, A. H. Biomineralization and Evolutionary History. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 54, n. 1, p. 329–356, 1 jan. 2003.

KÖRTZINGER, A. A significant CO₂ sink in the tropical Atlantic Ocean associated with the Amazon River plume. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 24, 1 dez. 2003.

KREMP, A.; HEISKANEN, A.-S. Sexuality and cyst formation of the spring-bloom dinoflagellate *Scrippsiella hangoei* in the coastal northern Baltic Sea. **Marine Biology**, v. 134, n. 4, p. 771–777, 7 set. 1999.

KRUK, C. et al. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. **Freshwater Biology**, v. 55, n. 3, p. 614–627, mar. 2010.

KRUK, C. et al. Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. **Freshwater Biology**, v. 62, n. 10, p. 1681–1692, out. 2017a.

KRUK, C. et al. Functional redundancy increases towards the tropics in lake phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, 14 dez. 2017b.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, jan. 2010a.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, 1 jan. 2010b.

LAMANNA, C. et al. Functional trait space and the latitudinal diversity gradient.

Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111, n. 38, p. 13745–13750, 23 set. 2014.

LAVOREL, S. et al. Phosphate and silicate growth and uptake kinetics of the diatoms *Asterionella formosa* and *Cyclotella meneghiniana* in batch and semi-continuous culture.

Trends in Ecology & Evolution, v. 12, n. 12, p. 474–478, dez. 1997.

LEBLANC, K. et al. Nanoplanktonic diatoms are globally overlooked but play a role in spring blooms and carbon export. **Nature Communications** 2018 9:1, v. 9, n. 1, p. 1–12, 5 mar. 2018.

LEE, S.-K. **The Atlantic Niño: El Niño's Little Brother - NOAA/AOML**. Disponível em: <<https://www.aoml.noaa.gov/the-atlantic-nino-el-ninos-little-brother/>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

LELES, S. G. et al. Short-term phytoplankton dynamics in response to tidal stirring in a tropical estuary (Southeastern Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 4, p. 341–349, dez. 2014.

LELES, S. G. et al. A Lagrangian study of plankton trophodynamics over a diel cycle in a eutrophic estuary under upwelling influence. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, 2017a.

LELES, S. G. et al. Oceanic protists with different forms of acquired phototrophy display contrasting biogeographies and abundance. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n. 1860, p. 20170664, 16 ago. 2017b.

LELES, S. G. et al. Sampling bias misrepresents the biogeographical significance of constitutive mixotrophs across global oceans. **Global Ecology and Biogeography**, v. 28, n. 4, p. 418–428, 29 abr. 2019.

LEWIS, J. Long-term survival of marine planktonic diatoms and dinoflagellates in stored sediment samples. **Journal of Plankton Research**, v. 21, n. 2, p. 343–354, 1 fev. 1999.

LEWIS, W. M. Surface/Volume Ratio: Implications for Phytoplankton Morphology. **Science**, v. 192, n. 4242, p. 885–887, 28 maio 1976.

LIN, Y.-C. et al. The Spatial Variation in Chlorophyte Community Composition From Coastal to Offshore Waters in a Subtropical Continental Shelf System. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, 13 jul. 2022.

LITCHMAN, E. Competition and coexistence of phytoplankton under fluctuating light: experiments with two cyanobacteria. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 31, p. 241–248, 2003.

LITCHMAN, E. et al. The role of functional traits and trade-offs in structuring phytoplankton communities: scaling from cellular to ecosystem level. **Ecology Letters**, v. 10, n. 12, p.

1170–1181, dez. 2007.

LITCHMAN, E. et al. Linking traits to species diversity and community structure in phytoplankton. **Hydrobiologia**, v. 653, n. 1, p. 15–28, 11 out. 2010.

LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A. Trait-Based Community Ecology of Phytoplankton. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, n. 1, p. 615–639, 31 dez. 2008.

LONGHURST, A. R. THE PACIFIC OCEAN. In: **Ecological Geography of the Sea**. [s.l.] Elsevier, 2007. p. 327–441.

LONGHURST, A. R. A. R. **Ecological Geography of the Sea**. San Diego: Acad. Press, 1998.

LOPES DOS SANTOS, A. et al. Chloropicophyceae, a new class of picophytoplanktonic prasinophytes. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 1 dez. 2017.

LOUCHARD, D.; MÜNNICH, M.; GRUBER, N. On the Role of the Amazon River for N₂ Fixation in the Western Tropical Atlantic. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 37, n. 2, 8 fev. 2023.

LOURENÇO, C. B. O fitoplâncton na Zona Costeira Amazônica Brasileira : Biodiversidade , distribuição e estrutura no continuum estuário- oceano. **Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, p. 150, 1 fev. 2016.

LUMCON. **Guide to Phytoplankton – An online taxonomic guide**. Disponível em: <<https://phytoplanktonguide.lumcon.edu/>>. Acesso em: 6 nov. 2021.

LYONS, T. W.; REINHARD, C. T.; PLANAVSKY, N. J. **The rise of oxygen in Earth’s early ocean and atmosphere**. Nature Publishing Group, , 19 fev. 2014. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nature13068>>. Acesso em: 11 jul. 2023

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The Theory of Island biogeography (MPB-1)**. [s.l.: s.n.].

MAGURRAN, A. E. **Ecological Diversity and Its Measurement**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1988.

MANJUMOL, C. C. et al. Occurrence of Diatom – Diazotrophic association in the coastal surface waters of south Andaman, India. **Symbiosis** **2018 76:3**, v. 76, n. 3, p. 293–302, 2018.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, mar. 2016.

MARTÍN-REY, M.; VALLÈS-CASANOVA, I.; PELEGRÍ, J. L. Upper-Ocean Circulation and Tropical Atlantic Interannual Modes. **Journal of Climate**, v. 36, n. 8, p. 2625–2643, 15

abr. 2023.

MARTÍNEZ-PÉREZ, C. et al. The small unicellular diazotrophic symbiont, UCYN-A, is a key player in the marine nitrogen cycle. **Nature Microbiology**, v. 1, n. 11, p. 16163, 12 set. 2016.

MARTINS, N. F. **Uma síntese sobre aspectos da fotossíntese**. [s.l.] EDUEP, Editora Universitária, 2001. v. 11

MCGARAGHAN, A. Phytoplankton Identification. **Kudela Lab Biological Oceanography**, 2016.

MCGILL, B. J. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in ecology & evolution**, v. 21, n. 4, p. 178–85, 1 abr. 2006.

MESSIÉ, M.; CHAVEZ, F. P. A global analysis of ENSO synchrony: The oceans' biological response to physical forcing. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 117, n. C9, p. n/a-n/a, set. 2012.

MILLERO, F. J. Solubility of Fe(III) in seawater. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 154, n. 1–4, p. 323–329, jan. 1998.

MILLS, M. M. et al. Iron and phosphorus co-limit nitrogen fixation in the eastern tropical North Atlantic. **Nature** 2004 **429:6989**, v. 429, n. 6989, p. 292–294, 20 maio 2004.

MITRA, A. et al. Defining Planktonic Protist Functional Groups on Mechanisms for Energy and Nutrient Acquisition: Incorporation of Diverse Mixotrophic Strategies. **Protist**, v. 167, n. 2, p. 106–120, 1 abr. 2016.

MOLLERI, G. S. F.; KAMPEL, M.; DE MORAES NOVO, E. M. L. Spectral classification of water masses under the influence of the Amazon River plume. **Acta Oceanologica Sinica**, v. 29, n. 3, p. 1–8, 7 maio 2010.

MONTEIRO, F. M.; FOLLOWS, M. J.; DUTKIEWICZ, S. Distribution of diverse nitrogen fixers in the global ocean. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 24, n. 3, p. 3017, 1 set. 2010.

MOORE, C. M. et al. Processes and patterns of oceanic nutrient limitation. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 9, p. 701–710, set. 2013.

MORAES, S. O. C. DE. **Caracterização da corrente norte do Brasil na região da retroflexão**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 2011.

MOSER, G. A. O. et al. Tidal effects on phytoplankton assemblages in a near-pristine estuary: a trait-based approach for the case of a shallow tropical ecosystem in Brazil. **Marine Ecology**, v. 38, n. 4, p. e12450, 1 ago. 2017.

MOUILLOT, D. et al. Functional regularity: a neglected aspect of functional diversity. **Oecologia**, v. 142, n. 3, p. 353–359, 20 jan. 2005.

MOURA, M. DO N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 475–483, dez. 2012.

NASA. **Global Phytoplankton Distribution**. Disponível em:

<<https://storymaps.arcgis.com/stories/3f8591c4226041f5b7e4ff7a7477d4f0>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

NASELLI-FLORES, L.; PADISÁK, J.; ALBAY, M. **Shape and size in phytoplankton ecology: Do they matter?** Hydrobiologia. **Anais...** Springer, mar. 2007. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s10750-006-2815-z>>. Acesso em: 16 maio. 2021

NEHRING, S. Recruitment of Planktonic Dinoflagellates: Importance of Benthic Resting Stages and Resuspension Events. **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, v. 81, n. 4, p. 513–527, 1996.

NISHIMURA, P. Y.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POPÊO, M. O estudo fitoplâncton com base nos grupos funcionais: Origens e um vislumbre sobre seu futuro. In: **Ecologia de reservatórios e interfaces**. [s.l: s.n.]. p. 120–131.

NOAA. **What are El Nino and La Nina?** Disponível em:

<<http://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina.html>>. Acesso em: 7 jun. 2023.

NOAA; NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION); PMEL (PACIFIC MARINE ENVIRONMENTAL LABORATORY). **Data Display and Delivery | Global Tropical Moored Buoy Array**. Disponível em:

<<https://www.pmel.noaa.gov/tao/drupal/disdell/>>. Acesso em: 13 dez. 2022.

NÕGES, T. et al. Critical N:P ratio for cyanobacteria and N₂-fixing species in the large shallow temperate lakes Peipsi and Võrtsjärv, North-East Europe. **Hydrobiologia**, v. 599, n. 1, p. 77–86, 3 mar. 2008.

NOT, F. et al. A Single Species, *Micromonas pusilla* (Prasinophyceae), Dominates the Eukaryotic Picoplankton in the Western English Channel. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 7, p. 4064–4072, jul. 2004.

NOT, F. et al. Late summer community composition and abundance of photosynthetic picoeukaryotes in Norwegian and Barents Seas. **Limnology and Oceanography**, v. 50, n. 5, p. 1677–1686, set. 2005.

OCHA. **El Niño and La Niña | OCHA**. Disponível em: <<https://www.unocha.org/themes/el-niño/el-niño-and-la-niña>>. Acesso em: 7 jun. 2023.

OKSANEN, J. et al. **Package “vegan” Title Community Ecology Package**. [s.l: s.n.].

Disponível em: <http://www.pelagicos.net/MARS6910_spring2015/manuals/R_vegan.pdf>.

Acesso em: 14 dez. 2018.

OLIVEIRA, A. DE L. **Caracterização da dinâmica da pluma do rio Amazonas com base na salinidade sintética por satélite.** [s.l: s.n.].

OLIVEIRA, G. S. DE. El Niño e La Niña. . 2022, p. 2001.

OLIVER, M. J.; IRWIN, A. J. Objective global ocean biogeographic provinces. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 15, p. 15601, 1 ago. 2008.

OLONSCHECK, D. et al. Decomposing the effects of ocean warming on chlorophyll a concentrations into physically and biologically driven contributions. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 1, p. 014043, 1 mar. 2013.

OLSON, D. B. et al. Temporal variations in the separation of Brazil and Malvinas Currents. **Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers**, v. 35, n. 12, p. 1971–1990, dez. 1988.

OTTO, S. P.; GERSTEIN, A. C. Why have sex? The population genetics of sex and recombination. **Biochemical Society Transactions**, v. 34, n. 4, p. 519–522, 1 ago. 2006.

PADISÁK J. Phytoplankton. In: **The Lakes Handbook 1. Limnology and Limnetic Ecology**. Oxford: Blackwell Science Ltd., 2003. p. 251–308.

PAERL, H. W.; PRUFERT-BEBOUT, L. E.; GUO, C. Iron-Stimulated N₂ Fixation and Growth in Natural and Cultured Populations of the Planktonic Marine Cyanobacteria *Trichodesmium* spp. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 60, n. 3, p. 1044–1047, mar. 1994.

PAILLER, K.; BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y. The barrier layer in the western tropical Atlantic Ocean. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 14, p. 2069–2072, 15 jul. 1999.

PÉQUIN, B. et al. Succession of protistan functional traits is influenced by bloom timing. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, 29 ago. 2022.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, v. 5, n. 3, p. 402–411, 1 maio 2002.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity: back to basics and looking forward. **Ecology Letters**, v. 9, n. 6, p. 741–758, 1 jun. 2006.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Dendrograms and Measuring Functional Diversity. **Oikos**, v. 116, n. 8, p. 1422–1426, 2007.

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1–73, jan. 1991.

PIANKA, E. R. On r- and K-Selection. **The American Naturalist**, v. 104, n. 940, p. 592–597, 15 nov. 1970.

- PICK, F. R.; LEAN, D. R. S. The role of macronutrients (C, N, P) in controlling cyanobacterial dominance in temperate lakes. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 21, n. 3, p. 425–434, set. 1987.
- PIERELLA KARLUSICH, J. J.; IBARBALZ, F. M.; BOWLER, C. Phytoplankton in the Tara Ocean. **Annual Review of Marine Science**, v. 12, n. 1, p. 233–265, 3 jan. 2020.
- PITTA, P.; GIANNAKOUREU, A. Planktonic ciliates in the oligotrophic Eastern Mediterranean: vertical, spatial distribution and mixotrophy. **Marine Ecology Progress Series**, v. 194, p. 269–282, 2000.
- PROCOPIAK, L. K.; FERNANDES, L. F.; MOREIRA-FILHO, H. Diatomáceas (Bacillariophyta) marinhas e estuarinas do Paraná, Sul do Brasil: lista de espécies com ênfase em espécies nocivas. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 3, 2006.
- PROENÇA, L.; TAMANAHA, M.; FONSECA, R. Screening the toxicity and toxin content of blooms of the cyanobacterium *Trichodesmium erythraeum* (Ehrenberg) in northeast Brasil. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases**, v. 15, n. 2, p. 204–215, 2009.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing** Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, , 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 24 jul. 2023
- RACAULT, M.-F. et al. Impact of El Niño Variability on Oceanic Phytoplankton. **Frontiers in Marine Science**, v. 4, 8 maio 2017.
- RADENAC, M.-H. et al. Modeled and observed impacts of the 1997-1998 El Niño on nitrate and new production in the equatorial Pacific. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 106, n. C11, p. 26879–26898, 15 nov. 2001.
- RADENAC, M.-H. et al. Sea surface chlorophyll signature in the tropical Pacific during eastern and central Pacific ENSO events. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 117, n. C4, p. n/a-n/a, abr. 2012.
- RECORD, N. R.; PERSHING, A. J.; MAPS, F. The paradox of the “paradox of the plankton”. **ICES Journal of Marine Science**, v. 71, n. 2, p. 236–240, 1 jan. 2014.
- REDFIELD, A. C. The biological control of chemical factors in the environment. **Science progress**, v. 11, n. 3, p. 150–170, 1960.
- REYNOLDS, C. S. Phytoplankton Assemblages and Their Periodicity in Stratifying Lake Systems. **Holarctic Ecology**, v. 3, n. 3, p. 141–159, 14 maio 1980.
- REYNOLDS, C. S. Potamoplankton: Paradigms, Paradoxes and Prognoses. **Algae and the**

auatic environment. Biopress, London, UK, v. 9, p. 285–311, 1988.

REYNOLDS, C. S. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 5, p. 417–428, 1 maio 2002a.

REYNOLDS, C. S. The Ecology of Phytoplankton. . 1 jan. 2006, p. 1–535.

REYNOLDS, C. S.; IRISH, A. E. Modelling phytoplankton dynamics in lakes and reservoirs: the problem of in-situ growth rates. **Hydrobiologia**, v. 349, n. 1/3, p. 5–17, 1997.

REYNOLDS, R. W. et al. An Improved In Situ and Satellite SST Analysis for Climate. **Journal of Climate**, v. 15, n. 13, p. 1609–1625, jul. 2002b.

REYNOLDS, R. W. et al. Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 20, n. 22, p. 5473–5496, 15 nov. 2007.

RICHARDSON, P. L.; MCKEE, T. K. Average Seasonal Variation of the Atlantic Equatorial Currents from Historical Ship Drifts. **Journal of Physical Oceanography**, v. 14, n. 7, p. 1226–1238, jul. 1984.

RICHARDSON, P. L.; REVERDIN, G. Seasonal cycle of velocity in the Atlantic North Equatorial Countercurrent as measured by surface drifters, current meters, and ship drifts. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, n. C4, p. 3691, 1987.

RICHIER, S. et al. Abundances of Iron-Binding Photosynthetic and Nitrogen-Fixing Proteins of *Trichodesmium* Both in Culture and In Situ from the North Atlantic. **PLoS ONE**, v. 7, n. 5, p. e35571, 1 maio 2012.

RICHTER, I. et al. Multiple causes of interannual sea surface temperature variability in the equatorial Atlantic Ocean. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 1, p. 43–47, 16 jan. 2013.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. [s.l.] Guanabara-Koogan, 2003.

RODRIGUES, W. C. **DivEs - Diversidade de Espécies**. , 2014. Disponível em:

<https://dives.ebras.bio.br/guide_dives.aspx?IDTopic=0D98EC0C-C0C8C928-C6F0D1B8&Topico=ST11>. Acesso em: 24 jul. 2023

ROSENZWEIG, C.; HILLEL, D. Climate Variability and the Global Harvest: Impacts of El Niño and Other Oscillations on Agro-Ecosystems. **Oxford University Press**, 12 nov. 2008.

SAKSHAUG, E. Phytoplankton manual — monographs on oceanographic methodology, 6: A. Sournia (Editor) UNESCO, Paris, 1978, 337 pp. **Ocean Management**, v. 6, n. 2–3, p. 247–248, 1 jan. 1981.

SALES, N.; REBELLO, E.; FÁTIMA, J. DE. As maiores “ cheias ” e “ secas ” no Amazonas e as influências dos fenômenos “ EL NIÑO ”, “LA NIÑA”, “ODP” e “OMA”. **Congresso Brasileiro De Meteorologia**, p. 5, 2010.

SALLY BENSUSEN. **What are Phytoplankton? - Collage adapted from drawings and**

micrographs . Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/Phytoplankton>>.

Acesso em: 11 jul. 2023.

SANDGREN, C. D. **Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton**.

New York: [s.n.].

SARACHIK, E. S.; CANE, M. A. **The El Niño-Southern oscillation phenomenon**. [s.l.:

s.n.].

SCHEFFER, M.; VAN NES, E. H. Self-organized similarity, the evolutionary emergence of groups of similar species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 16, p. 6230–6235, 18 abr. 2006.

SCHLITZER, R. **Ocean Data View, ODV**. Disponível em: <<http://odv.awi.de/>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

SCHLOSSER, C. et al. Seasonal ITCZ migration dynamically controls the location of the (sub)tropical Atlantic biogeochemical divide. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 4, p. 1438–1442, 28 jan. 2014.

SCHNEIDER, L. K. et al. Modeling mixoplankton along the biogeochemical gradient of the Southern North Sea. **Ecological Modelling**, v. 459, p. 109690, 1 nov. 2021.

SCHVARCZ, C. R. et al. Overlooked and widespread pennate diatom-diazotroph symbioses in the sea. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, 1 dez. 2022.

SEGURA, A. M. et al. Emergent neutrality drives phytoplankton species coexistence.

Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, v. 278, n. 1716, p. 2355–2361, 7 ago. 2011.

SELOSSE, M.; CHARPIN, M.; NOT, F. Mixotrophy everywhere on land and in water: the grand écart hypothesis. **Ecology Letters**, v. 20, n. 2, p. 246–263, 28 fev. 2017.

SERRA-POMPEI, C. et al. A general size- and trait-based model of plankton communities. **Progress in Oceanography**, v. 189, p. 102473, 1 nov. 2020.

SILVEIRA, I. C. A. DA et al. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira.

Brazilian Journal of Oceanography, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000.

SIMPSON, J. H.; SHARPLES, J. **Introduction to the Physical and Biological Oceanography of Shelf Seas**. [s.l.] Cambridge University Press, 2012.

SKYBRARY. Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ). **SKYbray Aviatiiin Safety**, p. 3–5, 2017.

SMAYDA, T. J. The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. **Oceanogr. mar. Biol.**, v. 8, p. 353–414, 1970.

SMAYDA, T. J. Normal and accelerated sinking of phytoplankton in the sea. **Marine**

- Geology**, v. 11, n. 2, p. 105–122, set. 1971.
- SMITH, W. O.; DEMASTER, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 3, p. 291–319, mar. 1996.
- STAL, L. J. Is the distribution of nitrogen-fixing cyanobacteria in the oceans related to temperature? **Environmental Microbiology**, v. 11, n. 7, p. 1632–1645, jul. 2009.
- STOECKER, D. et al. Acquired phototrophy in aquatic protists. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 57, p. 279–310, 24 nov. 2009.
- STOECKER, D. K. Mixotrophy among Dinoflagellates. **The Journal of Eukaryotic Microbiology**, v. 46, n. 4, p. 397–401, jul. 1999.
- STOECKER, D. K. et al. Mixotrophy in the Marine Plankton. **Annual Review of Marine Science**, v. 9, n. 1, p. 311–335, 3 jan. 2017.
- STOECKER, D. K.; MICHAELS, A. E.; DAVIS, L. H. Large proportion of marine planktonic ciliates found to contain functional chloroplasts. **Nature**, v. 326, n. 6115, p. 790–792, 1 abr. 1987.
- STUKEL, M. R. et al. Top-down, bottom-up and physical controls on diatom-diazotroph assemblage growth in the Amazon River plume. **Biogeosciences**, v. 11, n. 12, p. 3259–3278, 19 jun. 2014.
- SUBRAMANIAM, A. et al. Amazon River enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 30, p. 10460–10465, 29 jul. 2008.
- SUBRAMANIAM, A. et al. Equatorial upwelling enhances nitrogen fixation in the Atlantic Ocean. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 9, p. 1766–1771, 16 maio 2013.
- SUIKKANEN, S. et al. Diazotrophic cyanobacteria in planktonic food webs. **Food Webs**, v. 28, p. e00202, set. 2021.
- SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 11, p. 1331–1346, 1 nov. 2003.
- SVERDRUP, H. U. Wind-Driven Currents in a Baroclinic Ocean; with Application to the Equatorial Currents of the Eastern Pacific. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 33, n. 11, p. 318–326, nov. 1947.
- TAKAHASHI, T. et al. Global sea–air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 49, n. 9–10, p. 1601–1622, 1 jan. 2002.
- TEIXEIRA, A. P.; SILVA, P. F. R. S.; CARNEIRO, F. M. **Traços funcionais da**

comunidade fitoplanctônica: um estudo cienciométrico. IV Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG. **Anais...**2018.

TERNON, J. . et al. A seasonal tropical sink for atmospheric CO₂ in the Atlantic ocean: the role of the Amazon River discharge. **Marine Chemistry**, v. 68, n. 3, p. 183–201, jan. 2000.

THRONDSSEN, J.; HASLE, G.; TANGEN, K. **Phytoplankton of Norwegian coastal waters.** **Almater forlag**Almater Forlag AS, , 2007. Disponível em:

<<https://www.nhbs.com/phytoplankton-of-norwegian-coastal-waters-book>>. Acesso em: 14 dez. 2018

TOMAS, C. R.; HASLE, G. R. (GRETHE R. **Identifying marine phytoplankton.** [s.l.] Academic Press, 1997.

TOVAR-SANCHEZ, A. et al. Effects of dust deposition and river discharges on trace metal composition of *Trichodesmium* spp. in the tropical and subtropical North Atlantic Ocean.

Limnology and Oceanography, v. 51, n. 4, p. 1755–1761, 15 jul. 2006.

TRAGIN, M. et al. Diversity and ecology of green microalgae in marine systems: an overview based on 18S rRNA gene sequences With 5 figures in the text and an electronic supplement. **Perspectives in Phycology**, v. 3, p. 141–154, 2016.

TURNER, J. T. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump. **Progress in Oceanography**, v. 130, p. 205–248, 1 jan. 2015.

TYRRELL, T. Large-scale latitudinal distribution of *Trichodesmium* spp. in the Atlantic Ocean. **Journal of Plankton Research**, v. 25, n. 4, p. 405–416, 1 abr. 2003.

UBC, D. OF E. O. AND A. S. **EOS - Phytoplankton Encyclopedia Project.** , 2012. Disponível em:

<https://www.eoas.ubc.ca/research/phytoplankton/dinoflagellates/prorocentrum/p_micans.html>. Acesso em: 6 nov. 2021

UTERMÖHL, H. **Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik.** [s.l.] Schweizerbart, 1958.

VALLÈS-CASANOVA, I. et al. On the Spatiotemporal Diversity of Atlantic Niño and Associated Rainfall Variability Over West Africa and South America. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 8, 28 abr. 2020.

VALLÈS-CASANOVA, I. et al. Water Mass Transports and Pathways in the North Brazil-Equatorial Undercurrent Retroflexion. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 127, n. 5, 2 maio 2022.

VENRICK, E. L. **Phytoplankton manual.** Disponível em:

<<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000030788>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

- VERGNON, R.; DULVY, N. K.; FRECKLETON, R. P. Niches versus neutrality: uncovering the drivers of diversity in a species-rich community. **Ecology Letters**, v. 12, n. 10, p. 1079–1090, out. 2009.
- VERGNON, R.; VAN NES, E. H.; SCHEFFER, M. Emergent neutrality leads to multimodal species abundance distributions. **Nature Communications**, v. 3, n. 1, p. 663, 7 fev. 2012.
- VERÍSSIMO, H. et al. Comparison of thermodynamic-oriented indicators and trait-based indices ability to track environmental changes: Response of benthic macroinvertebrates to management in a temperate estuary. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 809–824, 1 fev. 2017.
- VICHI, M. et al. The emergence of ocean biogeochemical provinces: A quantitative assessment and a diagnostic for model evaluation. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 25, n. 2, p. n/a-n/a, jun. 2011.
- VIEIRA, R. L. E. **Propriedades Biogeoquímicas das Massas d'Água no Oceano Atlântico Tropical Oeste**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 26 ago. 2021.
- VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H. H.; MOUILLOT, D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. **Ecology**, v. 89, n. 8, p. 2290–2301, 1 ago. 2008.
- VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, maio 2007.
- VIRGILI, A. **Modelling distributions of rare marine species: The deep-diving cetaceans**. Disponível em: <<https://hal.science/tel-02265299>>. Acesso em: 5 jul. 2023.
- WANNICKE, N. et al. Incorporation of diazotrophic fixed N₂ by mesozooplankton — Case studies in the southern Baltic Sea. **Journal of Marine Systems**, v. 117–118, p. 1–13, maio 2013.
- WARD, B. A.; FOLLOWS, M. J. Marine mixotrophy increases trophic transfer efficiency, mean organism size, and vertical carbon flux. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 11, p. 2958–2963, 15 mar. 2016.
- WEIHER, E.; CLARKE, G. D. P.; KEDDY, P. A. Community Assembly Rules, Morphological Dispersion, and the Coexistence of Plant Species. **Oikos**, v. 81, n. 2, p. 309, mar. 1998.
- WEITHOFF, G.; ROCHA, M. R.; GAEDKE, U. Comparing seasonal dynamics of functional and taxonomic diversity reveals the driving forces underlying phytoplankton community structure. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 4, p. 758–767, abr. 2015.
- WELLS, N. C. Ocean circulation. In: ANGELA COLLING (Ed.). **Encyclopedia of Ocean Sciences**. 2. ed. [s.l.: s.n.]. p. 45–62.

- WILK-WOŹNIAK, E. et al. Non-Nitrogen-Fixers or Nitrogen-Fixers? Factors Distinguishing the Dominance of Chroococcal and Diazotrophic Cyanobacterial Species. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 23, p. 15980, 30 nov. 2022.
- WORDEN, A. Z. et al. Rethinking the marine carbon cycle: Factoring in the multifarious lifestyles of microbes. **Science**, v. 347, n. 6223, 13 fev. 2015.
- WU, J. et al. Phosphate Depletion in the Western North Atlantic Ocean. **Science**, v. 289, n. 5480, p. 759–762, 4 ago. 2000.
- XIE, S.-P.; SAITO, K. Formation and Variability of a Northerly ITCZ in a Hybrid Coupled AGCM: Continental Forcing and Oceanic–Atmospheric Feedback*. **Journal of Climate**, v. 14, n. 6, p. 1262–1276, mar. 2001.
- ZEHR, J. P. **Nitrogen fixation by marine cyanobacteria**. **Trends in Microbiology** Elsevier Current Trends, , 1 abr. 2011.
- ZHAN, W. et al. Shifting responses of phytoplankton to atmospheric and oceanic forcing in a prolonged marine heatwave. **Limnology and Oceanography**, 11 jun. 2023.
- ZHANG, W. et al. Spurious North Tropical Atlantic precursors to El Niño. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 3096, 25 maio 2021.

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continua)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM	
Bacillariophyceae	8,67E+01	1,31E+03	2,67E+01	2,27E+02	1,13E+02	1,73E+02	3,20E+02	8,67E+01	1,87E+02	1,53E+02	5,33E+01	1,80E+02	2,60E+02	6,00E+01	2,67E+01	2,13E+03	2,73E+02	1,41E+03	-	1,45E+03	9,33E+01	5,33E+01	1,07E+02	1,20E+02	6,67E+00	1,73E+02	-	5,33E+01	2,67E+01	-	6,67E+01	4,00E+01	2,67E+01	2,67E+01	-	
Diatomácea cêntrica	2,40E+02	1,20E+02	2,93E+02	9,33E+01	2,00E+01	2,67E+01	4,00E+01	6,67E+01	6,67E+01	-	-	9,33E+01	6,67E+00	6,67E+00	1,33E+01	1,33E+01	-	6,00E+01	-	1,33E+01	1,00E+02	1,27E+02	-	6,00E+01	2,00E+01	3,33E+01	8,67E+01	-	-	2,00E+01	1,33E+01	-	-	-	1,33E+01	
Asteromphalus spp.	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
cf. Thalassiosira spp.	-	-	-	5,33E+01	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cyclotella spp.	-	-	-	-	-	-	1,20E+02	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Corethron spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,40E+02	-	-	5,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coscinodiscus cf. granii	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coscinodiscus spp.	7,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	1,33E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
<i>cf. Gomphonema spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2,00E+01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Licmophora spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6,67E+00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Naviculaceae</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,33E+01	.	.	.	6,67E+00	.	.	.	.	.	.	2,67E+01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Navicula cf. parietina</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1,33E+01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nitzschia spp.</i>	.	5,33E+02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pinnularia spp.</i>	.	.	.	.	6,67E+00	.	.	.	.	.	.	6,67E+00	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6,67E+00	1,33E+01	.	.	.	.	.	.
<i>Pleurosigma spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2,00E+01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pseudo-nitzschia spp.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2,67E+01	.	.	3,33E+01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2,00E+01	.	.	.	.

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
<i>cf. Lingulodinium spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	4,67E+01	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-
<i>cf. Phalacroma spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cochlodinium spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	2,67E+01	6,67E+00	-	-	
<i>Corythodinium spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dinoflagelado tecado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Dinophysis spp.</i>	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinophysis argus</i>	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gonyaulax spinifera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,33E+01	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM	
<i>Oxytoxum</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Peridinales	7,33E+01	4,00E+01	1,40E+02	8,00E+01	1,53E+02	5,33E+01	1,07E+02	8,67E+01	5,33E+01	6,00E+01	2,00E+01	1,53E+02	8,00E+01	1,47E+02	6,00E+01	4,67E+01	4,00E+01	1,00E+02	9,33E+01	4,67E+01	1,07E+02	9,33E+01	7,33E+01	8,00E+01	-	9,33E+01	5,33E+01	4,00E+01	6,00E+01	8,00E+01	4,00E+01	8,00E+01	6,00E+01	1,33E+01	1,33E+01	
<i>Phalacroma oxytoxoides</i>	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Phalacroma rotundatum</i>	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Phalacroma</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	6,67E+00	-	-	
<i>Podolampa palmipes</i>	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Podolampa</i> spp.	-	-	6,67E+00	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	
<i>Polykrikos</i> spp.	-	-	-	-	1,33E+01	1,33E+01	8,00E+01	-	-	-	6,67E+00	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	2,67E+01	-	-	1,33E+01	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
<i>Prorocentrum balticum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum hoffmannianum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum cordatum</i>	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum dentatum</i>	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum emarginatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum gracile</i>	-	-	-	-	-	1,33E+01	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	6,67E+00	-	-	6,67E+00	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum lima</i>	-	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum micans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

[illegible]

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

[illegible]

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
Coccoli- thophyceae	6,67E+00	-	-	1,07E+02	2,67E+01	1,33E+01	1,33E+01	6,00E+01	-	-	-	3,93E+02	2,00E+01	1,33E+01	2,67E+01	8,00E+01	1,33E+01	8,67E+01	-	8,00E+01	9,33E+01	4,67E+01	-	6,67E+00	1,33E+01	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-
Cyanobacteria	1,89E+03	5,05E+03	4,40E+02	6,40E+02	4,07E+02	8,20E+02	8,00E+01	7,07E+02	4,73E+02	5,87E+02	1,56E+03	1,67E+02	9,33E+02	1,09E+03	1,17E+03	5,27E+02	9,47E+02	6,40E+02	1,34E+03	3,53E+02	3,27E+02	3,13E+02	3,00E+02	4,40E+02	8,93E+02	6,47E+02	1,73E+03	1,11E+03	1,39E+03	5,33E+02	3,87E+02	8,27E+02	9,13E+02	1,56E+03	1,55E+03
Cianobactérias filamentosas	1,85E+03	4,95E+03	6,67E+01	5,67E+02	2,93E+02	6,87E+02	-	5,33E+02	3,20E+02	5,07E+02	4,20E+02	1,67E+02	1,00E+02	2,07E+02	5,13E+02	3,20E+02	1,53E+02	2,13E+02	4,80E+02	2,07E+02	2,13E+02	2,53E+02	2,80E+02	1,20E+02	3,27E+02	2,27E+02	6,80E+02	8,93E+02	1,39E+03	3,47E+02	3,87E+02	8,13E+02	9,13E+02	6,60E+02	7,93E+02
Anabaena spp.	4,00E+01	9,33E+01	-	7,33E+01	1,13E+02	1,33E+02	-	1,73E+02	-	-	4,27E+02	-	1,73E+02	1,20E+02	-	-	6,67E+00	1,20E+02	-	-	5,33E+01	-	-	-	3,73E+02	-	8,93E+02	-	-	1,87E+02	-	-	-	7,20E+02	6,53E+02
cf. Richelia intracellularis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,33E+02	-	-	-	8,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,13E+02	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	1,80E+02	1,07E+02
Trichodesmium spp.	-	-	3,20E+02	-	-	-	8,00E+01	-	1,53E+02	8,00E+01	8,00E+01	-	6,60E+02	7,47E+02	5,60E+02	2,07E+02	7,87E+02	3,07E+02	8,60E+02	1,47E+02	6,00E+01	6,00E+01	2,00E+01	3,20E+02	8,00E+01	4,20E+02	1,53E+02	2,20E+02	-	-	-	-	-	-	
Tufo Trichodes- mium spp.	-	-	5,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciliophora	6,67E+00	-	-	-	1,60E+02	2,00E+01	6,67E+01	2,67E+01	1,87E+02	4,00E+01	1,33E+01	2,00E+01	-	2,00E+01	1,33E+01	6,67E+00	2,67E+01	6,00E+01	6,67E+00	3,33E+01	3,33E+01	5,33E+01	8,00E+01	1,07E+02	-	6,67E+00	-	-	6,67E+00	-	-	6,67E+00	-	-	-

APÊNDICE A- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (conclusão)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
<i>Xystonella treforti</i>	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: A autora, 2024; AHYONG et al., 2024; GUIRY, M.D. & GUIRY, 2024

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Guinardia</i> spp.	-	-	-	-	6,00E+01	-	1,60E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-	1,00E+02	6,00E+01	7,20E+02	4,00E+01	4,00E+02	-	-	-	-	-	4,00E+02	-	-	4,00E+01	-
<i>Leptocylindrus minimus</i>	-	1,00E+02	-	2,00E+02	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+02	-	-	1,20E+02	-
<i>Leptocylindrus</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	3,20E+02	-	-	-	-	2,00E+01	2,80E+02	-	-
Melosiraceae	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	8,00E+01	-	4,00E+01	-	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-
<i>Rhizosolenia</i> spp.	-	-	-	-	-	-	5,20E+02	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	4,00E+01
Diatomácea penada	3,80E+02	2,40E+02	2,40E+02	5,20E+02	1,00E+02	6,00E+01	1,00E+02	4,00E+01	2,20E+02	7,40E+02	9,60E+02	1,20E+02	1,00E+02	-	8,60E+02	2,00E+02

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Complexo Cyllindrotheca closterium / Nitzschia longissima</i>	-	2,00E+01	2,00E+02	2,00E+01	1,60E+02	-	1,00E+02	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-
<i>Cylindrotheca</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	6,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dactyliosolen</i> spp.	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Naviculaceae	-	-	-	-	-	-	-	1,20E+02	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-
<i>Thalassionema</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	6,00E+01	-
Myzozoa	7,80E+02	2,52E+03	6,60E+02	1,28E+03	1,10E+03	6,20E+02	4,80E+02	5,60E+02	9,20E+02	4,40E+02	1,12E+03	9,00E+02	2,20E+02	1,40E+03	6,40E+02	1,10E+03
<i>Alexandrium</i> spp.	-	2,00E+01	-	4,00E+01	8,00E+01	2,00E+01	-	-	-	4,00E+01	1,20E+02	6,00E+01	-	8,00E+01	-	2,00E+02

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Dinophysis argus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dinophysis hastata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01
Gymnodiniales	2,00E+02	9,60E+02	2,40E+02	3,80E+02	6,40E+02	2,80E+02	1,20E+02	1,40E+02	2,00E+02	1,80E+02	2,40E+02	4,00E+02	6,00E+01	1,80E+02	2,00E+02	2,00E+02
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	-	-	-	-	-	-	8,00E+01	-	-	-	2,40E+02	4,00E+01	4,00E+01	4,00E+01	-	-
<i>Gyrodinium spp.</i>	3,60E+02	6,80E+02	8,00E+01	2,60E+02	1,00E+02	-	-	2,40E+02	3,60E+02	1,00E+02	4,00E+01	4,00E+01	-	3,20E+02	1,00E+02	8,00E+01
<i>Ornithocercus magnificus</i>	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ornithocercus spp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oxytoxum globosum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-	-	-	-

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Oxytoxum laticeps</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	1,20E+02
<i>Oxytoxum scolopax</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	4,00E+01	-	-	-	2,00E+01	-
<i>Oxytoxum spp.</i>	-	4,00E+01	8,00E+01	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	4,00E+01	-	8,00E+01	-	-
Peridinales	1,00E+02	2,40E+02	1,20E+02	1,80E+02	2,40E+02	1,40E+02	6,00E+01	6,00E+01	1,00E+02	8,00E+01	1,20E+02	2,00E+02	6,00E+01	6,00E+01	1,00E+02	1,00E+02
<i>Phalacroma rotundatum</i>	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phalacroma spp.</i>	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-
<i>Podolampa palmipes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	4,00E+01

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Protoperidinium spp.</i>	-	4,00E+01	-	2,00E+01	-	1,20E+02	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-
<i>Protoperidinium steinii</i>	6,00E+01	-	-	4,00E+01	2,00E+01	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-	1,20E+02	2,00E+01	8,00E+01
<i>Pyrocystis lunula</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	8,00E+01	-	-	-	-	-
<i>Scrippsiella acuminata</i>	-	1,60E+02	-	-	-	-	8,00E+01	-	2,00E+01	-	-	4,00E+01	-	1,20E+02	-	8,00E+01
Silicoflagelado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,00E+01	-	-	-	-
<i>Tripos pentagonus</i>	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	2,00E+01	4,00E+01
<i>Tripos gracilis</i>	-	8,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-
<i>Tripos fusus</i>	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Tripes gibberus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-
<i>Tripes spp.</i>	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01
<i>Tripes teres</i>	-	1,20E+02	-	1,60E+02	-	-	-	6,00E+01	-	2,00E+01	-	-	-	4,00E+01	-	-
Dictyochophyceae	6,00E+01	-	2,00E+02	-	-	2,00E+01	3,60E+02	-	4,00E+02	-	1,20E+02	2,00E+01	1,20E+02	2,00E+01	2,20E+02	4,00E+01
<i>Dictyocha fibula</i>	6,00E+01	-	2,00E+02	-	-	2,00E+01	3,60E+02	-	4,00E+02	-	1,20E+02	2,00E+01	1,20E+02	2,00E+01	2,20E+02	4,00E+01
Coccolithophyceae	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyanobacteria	1,04E+03	1,40E+03	2,16E+03	6,80E+02	5,40E+02	1,22E+03	4,20E+02	1,16E+03	1,16E+03	5,80E+02	5,40E+02	1,18E+03	1,60E+03	4,20E+02	1,36E+03	5,80E+02
Cianobactérias fila- mentosas	1,04E+03	8,40E+02	1,46E+03	3,80E+02	5,40E+02	1,22E+03	4,20E+02	6,40E+02	1,16E+03	8,00E+01	5,40E+02	8,60E+02	1,60E+03	4,20E+02	1,36E+03	5,80E+02

APÊNDICE B- Densidade de organismos do Microplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (conclusão)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Anabaena</i> spp.	-	-	7,00E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichodesmium</i> spp.	-	5,60E+02	-	3,00E+02	-	-	-	5,20E+02	-	-	-	3,20E+02	-	-	-	-
<i>Tufo trichodesmium</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,00E+02	-	-	-	-	-	-
Ciliophora	2,00E+01	-	1,00E+02	1,00E+02	1,60E+02	-	1,00E+02	2,00E+01	1,60E+02	1,80E+02	2,00E+01	1,00E+02	-	6,00E+01	1,80E+02	1,20E+02
Ciliado	2,00E+01	-	-	6,00E+01	1,60E+02	-	-	-	1,60E+02	1,80E+02	2,00E+01	1,00E+02	-	4,00E+01	1,80E+02	1,20E+02
<i>Mesodinium rubrum</i>	-	-	1,00E+02	4,00E+01	-	-	1,00E+02	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-
Tintinnidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-

Fonte: A autora, 2024; AHYONG et al., 2024; GUIRY, M.D. & GUIRY, 2024

APÊNDICE C- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (Continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM	
Diatomácea cêntrica em cadeia	-	-	6,67E+00	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cf. <i>Skeletonema</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	
Chaetocerotaceae	-	-	-	6,67E+00	2,00E+01	-	-	-	1,33E+01	-	-	2,00E+01	-	1,47E+02	-	9,33E+01	-	4,00E+01	-	-	2,67E+01	8,00E+01	-	-	2,00E+01	-	-	-	8,67E+01	-	-	2,00E+01	8,00E+01	-	-	
<i>Leptocylindrus minimus</i>	-	-	-	2,00E+01	8,67E+01	1,33E+01	-	1,87E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Leptocylindrus</i> spp.	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Melosiraceae	-	-	-	2,00E+01	1,07E+02	2,20E+02	-	8,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Paralia sulcata</i>	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	2,40E+02	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-
Diatomácea penada	-	-	1,33E+01	-	-	6,67E+00	5,33E+01	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	1,73E+02	9,33E+01	-	-	-	-	1,60E+02	5,33E+01	-	2,00E+01	-	-	-	2,13E+02	-	-	-	-	-	-

APÊNDICE C- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (Continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
<i>Gyrodinium</i> spp.	2,00E+01	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	1,80E+02	1,47E+02	1,73E+02	1,80E+02	1,07E+02	2,67E+01	1,07E+02	2,13E+02	1,47E+02	2,33E+02	1,07E+02	1,53E+02	2,33E+02	2,67E+01	-	3,33E+01	2,47E+02	2,13E+02	1,53E+02	2,00E+01	1,00E+02	-	-
<i>Oxytoxum globosum</i>	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-
<i>Oxytoxum laticeps</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07E+02	-	8,00E+01	8,67E+01	1,07E+02	-	8,00E+01	2,93E+02	1,33E+01	1,67E+02	-	-	2,27E+02	5,33E+01	1,13E+02	5,33E+01	4,00E+01	-	-	2,67E+01	-
<i>Oxytoxum obliquum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oxytoxum</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,47E+02	2,20E+02	-	-	2,47E+02	-	-	2,13E+02	1,93E+02	2,87E+02	2,47E+02	1,20E+02	8,00E+01	-	9,33E+01	-	6,00E+01	-	2,00E+01
<i>Oxytoxum crassum</i>	-	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polykrikos</i> spp.	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum cordatum</i>	2,67E+01	5,33E+01	1,33E+01	-	-	-	3,33E+01	-	7,33E+01	6,67E+00	-	-	-	1,27E+02	-	-	-	9,33E+01	2,00E+01	1,60E+02	8,67E+01	-	-	-	9,33E+01	-	-	-	-	2,67E+01	-	6,67E+00	-	1,33E+01	6,67E+00

APÊNDICE C- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (Continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM	
<i>Prorocentrum</i> spp.	-	-	8,00E+01	6,67E+00	-	6,67E+00	-	2,40E+02	-	-	6,67E+00	1,47E+02	8,00E+01	-	-	-	1,13E+02	1,13E+02	1,33E+01	-	2,13E+02	1,20E+02	8,00E+01	-	5,33E+01	1,33E+01	2,67E+01	-	-	-	2,00E+01	1,33E+01	2,00E+01	-	-	
<i>Protoperdinium</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Protoperdinium steinii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Scrippsiella</i> spp.	-	4,00E+01	4,00E+01	-	-	-	-	9,33E+01	-	-	-	-	6,67E+00	1,07E+02	-	-	1,60E+02	1,53E+02	-	2,27E+02	2,20E+02	2,53E+02	-	-	-	-	1,07E+02	-	-	-	-	1,27E+02	-	1,33E+01	-	-
<i>Scrippsiella acuminata</i>	2,00E+01	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coccolithophyceae	6,27E+02	3,73E+02	5,73E+02	4,27E+02	5,40E+02	2,13E+02	5,60E+02	2,93E+02	3,20E+02	2,07E+02	3,93E+02	8,40E+02	5,07E+02	5,13E+02	6,53E+02	5,87E+02	3,80E+02	6,20E+02	3,73E+02	5,80E+02	5,27E+02	4,60E+02	5,27E+02	3,93E+02	5,13E+02	2,33E+02	2,87E+02	8,67E+01	-	5,47E+02	3,60E+02	3,40E+02	3,07E+02	1,07E+02	8,00E+01	
Chlorophyta	1,93E+02	1,27E+02	8,00E+01	1,13E+02	8,00E+01	1,00E+02	1,20E+02	-	8,00E+01	1,47E+02	9,33E+01	3,00E+02	1,47E+02	1,67E+02	3,00E+02	2,40E+02	1,53E+02	3,20E+02	2,27E+02	2,27E+02	2,13E+02	2,40E+02	4,73E+02	1,67E+02	1,60E+02	2,93E+02	3,20E+02	1,80E+02	1,53E+02	5,20E+02	3,27E+02	3,07E+02	2,47E+02	2,13E+02	1,80E+02	

APÊNDICE C- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (Continuação)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM	
<i>Pterosperma</i> spp.	-	4,00E+01	-	-	1,33E+01	-	5,33E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,27E+02	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-		
Cyanobacteria	3,18E+03	3,59E+03	1,97E+03	2,64E+03	1,03E+03	1,55E+03	1,20E+03	1,13E+03	1,11E+03	2,40E+02	1,35E+03	3,40E+02	6,47E+02	3,60E+02	2,73E+02	8,00E+01	3,00E+02	1,13E+02	2,67E+01	1,00E+02	-	-	-	8,67E+01	2,27E+02	3,53E+02	7,87E+02	6,60E+02	1,27E+03	3,00E+02	6,67E+00	6,07E+02	5,93E+02	6,33E+02	1,12E+03	
Cianobactérias cocóide	-	-	1,57E+03	1,63E+03	-	8,20E+02	3,33E+02	-	-	-	4,40E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cianobactérias filamentosas	2,91E+03	2,55E+03	4,00E+02	9,87E+02	8,13E+02	4,87E+02	5,60E+02	7,93E+02	4,53E+02	2,40E+02	-	3,27E+02	2,33E+02	1,80E+02	4,67E+01	8,00E+01	1,47E+02	1,13E+02	-	1,00E+02	-	-	-	-	1,40E+02	5,33E+01	2,60E+02	1,87E+02	7,93E+02	-	-	1,27E+02	-	4,60E+02	3,20E+02	4,60E+02
<i>Anabaena</i> spp.	2,73E+02	1,04E+03	-	1,33E+01	4,00E+01	1,73E+02	2,47E+02	3,40E+02	2,27E+02	-	4,80E+02	6,67E+00	1,60E+02	9,33E+01	1,60E+02	-	1,53E+02	-	-	-	-	-	-	-	6,00E+01	-	3,80E+02	4,47E+02	4,73E+02	2,73E+02	-	4,60E+02	5,93E+02	3,13E+02	4,47E+02	
<i>Cf. Richelia intracellularis</i>	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	4,20E+02	-	-	-	6,67E+01	-	-	-	2,67E+01	-	-	-	-	8,67E+01	2,67E+01	3,00E+02	2,67E+01	2,67E+01	-	2,67E+01	6,67E+00	2,00E+01	-	-	2,13E+02	
<i>Trichodesmium</i> spp.	-	-	-	1,33E+01	1,80E+02	6,67E+01	4,67E+01	-	4,27E+02	-	6,67E+00	6,67E+00	2,53E+02	8,67E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,20E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ciliophora	6,00E+01	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,40E+02	1,33E+01	4,67E+01	-	-	-	1,33E+01	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	-	-	

APÊNDICE C- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2017 – PIRATA XVII (Conclusão)

TÁXONS	1SUP	1DCM	2SUP	2DCM	3SUP	3DCM	4SUP	4DCM	5SUP	5DCM	6SUP	6DCM	7SUP	7DCM	8SUP	8DCM	9SUP	9DCM	10SUP	10DCM	11SUP	12SUP	12DCM	13SUP	13DCM	14SUP	14DCM	15SUP	15DCM	16SUP	16DCM	17SUP	17DCM	18SUP	18DCM
Ciliado	6,00E+01	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Strombidium spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,40E+02	1,33E+01	4,67E+01	-	-	-	1,33E+01	-	-	6,67E+00	-	-	-	-	-	-	1,33E+01	-	-	-	-	

Fonte: A autora, 2024; AHYONG et al., 2024; GUIRY, M.D. & GUIRY, 2024

APÊNDICE D- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (Continua)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
Bacillariophyceae	9,80E+02	1,00E+02	1,00E+02	3,00E+02	2,60E+02	1,20E+02	2,80E+02	6,00E+01	4,00E+01	4,80E+02	1,32E+03	4,00E+02	6,20E+02	2,60E+02	2,20E+02	2,40E+02
<i>Asteromphalus</i> spp.	5,00E+02	-	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cf. Thalassiosira</i> spp.	-	-	-	-	1,20E+02	-	4,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Triceratium</i> spp.	1,60E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cerataulina</i> spp.	2,40E+02	1,00E+02	1,00E+02	2,60E+02	1,40E+02	1,20E+02	-	6,00E+01	4,00E+01	4,80E+02	1,32E+03	4,00E+02	3,80E+02	2,60E+02	2,20E+02	4,00E+01
Diatomácea penada	8,00E+01	-	-	-	-	-	2,40E+02	-	-	-	-	-	2,40E+02	-	-	2,00E+02
Naviculaceae	2,50E+03	4,12E+03	3,88E+03	3,06E+03	1,68E+03	2,06E+03	9,40E+02	6,40E+02	1,24E+03	3,14E+03	1,14E+03	1,88E+03	9,00E+02	1,22E+03	2,62E+03	1,70E+03
<i>Thalassionema</i> spp.	8,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	3,80E+02	1,60E+02	-	2,00E+02

APÊNDICE D- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (Continuação)

[illegible]

APÊNDICE D- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (Continuação)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
<i>Prorocentrum</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E+01
<i>Protoperidinium</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00E+01	-
<i>Scrippsiella spinifera</i>	-	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scrippsiella acuminata</i>	8,00E+01	2,60E+02	3,80E+02	4,00E+02	1,20E+02	1,60E+02	-	1,20E+02	1,40E+02	6,80E+02	1,60E+02	3,60E+02	2,00E+02	8,00E+01	2,00E+02	4,80E+02
Dictyochophyceae	-	-	-	-	3,20E+02	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocha fibula</i>	-	-	-	-	3,20E+02	-	-	-	2,00E+01	-	-	-	-	-	-	-
Coccolithophyceae	2,80E+02	3,20E+02	8,00E+02	8,00E+01	1,60E+02	2,40E+02	2,60E+02	1,80E+02	4,60E+02	2,80E+02	2,40E+02	3,20E+02	1,68E+03	9,20E+02	1,60E+03	9,80E+02
Chlorophyta	1,76E+03	3,72E+03	2,88E+03	2,76E+03	3,30E+03	2,50E+03	3,24E+03	3,44E+03	3,72E+03	3,54E+03	3,42E+03	1,16E+03	2,90E+03	1,96E+03	1,32E+03	2,78E+03

APÊNDICE D- Densidade de organismos do Nanoplâncton (cél/L) – Campanha de 2018 – PIRATA XVIII (Conclusão)

TÁXONS	1DCM	2SUP	3DCM	4SUP	5DCM	6SUP	7DCM	8SUP	9DCM	10SUP	12DCM	13SUP	14DCM	15SUP	16DCM	17SUP
Ciliado	8,00E+01	-	-	6,00E+01	4,20E+02	2,40E+02	-	-	-	-	-	-	-	-	3,20E+02	-
<i>Strombidium</i> spp.	1,20E+02	2,40E+02	2,80E+02	-	4,00E+01	1,20E+02	-	6,00E+01	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: A autora, 2024; AHYONG et al., 2024; GUIRY, M.D. & GUIRY, 2024

APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume (continua)

TÁXONS	FORMA	SUN & LIU (2003)	CLASSE DE TAMANHO	A	B	C	ÁREA (μM^2)	BIOVOLUME (μM^3)	S/V (μM^{-1})	MDL S/V (μM)
Diatomácea cêntrica	Cilindro	28-H	Micro	30,1	30,1		4269	21419	0,199	6
Cf. <i>Skeletonema</i> spp.	Cilindro + 2 meias esferas	5-H	Micro	18	4,5	2,1	254	262	0,970	17
Chaetocerotaceae	Prisma com base elíptica	29-H	Micro	21	10	3	476	495	0,962	20
<i>Cyclotella</i> spp.	Cilindro	4-H	Micro	20	15		1296	3534	0,367	7
<i>Coscinodiscus</i> spp.	Cilindro	4-H	Micro	10	20		1257	3142	0,400	4
<i>Guinardia</i> spp.	Cilindro	28-H	Micro	17,5	25		2356	8590	0,274	5
<i>Hemiaulus hauckii</i>	Prisma com base elíptica	29-H	Micro	30	10	3,5	691	825	0,838	25
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Cilindro	28-H	Micro	1742	108,7		613369	16163941	0,038	66
<i>Leptocylindrus minimus</i>	Cilindro	28-H	Micro	800	29,2		74727	535730	0,139	112
<i>Leptocylindrus</i> spp.	Cilindro	28-H	Micro	368,9	23,2		27733	155946	0,178	66
Melosiraceae	Cilindro	28-H	Micro	20	15		1296	3534	0,367	7
<i>Planktoniella sol</i>	Cilindro	4-H	Micro	57	27,5		6112	33856	0,181	10
<i>Rhizosolenia</i> spp.	Cilindro	28-H	Micro	152,4	14,7		7377	25865	0,285	43
<i>Thalassiosira</i> spp.	Cilindro	4-H	Micro	56,9	56,9		15257	144686	0,105	6
<i>Triceratium</i> spp.	Prisma com base triangular	18-H	Micro	16,24		2,5	350	286	1,227	20
Diatomácea penada	Prisma com base retangular	13-H	Micro	68,8	9,6	1,7	690	561	1,229	85

APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume (continuação)

TÁXONS	FORMA	SUN & LIU (2003)	CLASSE DE TA- MANHO	A	B	C	ÁREA (μM^2)	BIOVOLUME (μM^3)	S/V (μM^{-1})	MDL S/V (μM)
Complexo <i>Cylindrotheca closterium</i> / <i>Nitzschia longis- sima</i>	Prisma com base retangular	13-H	Micro	6,8	65,6	63	1485	14052	0,106	1
<i>Diploneis</i> spp.	Prisma elíptico com constrição transapical	12-H	Micro	67,6	17,5 5	1,8	2017	6709	0,301	20
Naviculaceae	Prisma com base elíptica	11-H	Micro	21,9	5,2	1,9	260	170	1,529	33
<i>Pinnularia</i> spp.	Prisma com base retangular	13-H	Micro	25	3,9	2,1	111	102	1,082	27
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	Prisma com base retangular	13-H	Micro	40	4	3	190	240	0,792	32
<i>Thalassionema</i> spp.	Paralelepípedo	10-H	Micro	45	3	3	558	405	1,378	62
<i>Alexandrium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	29,4	24,9	12, 3	1536	4715	0,326	10
<i>Amphisolenia globifera</i>	Cilindro	4-H	Micro	95,7	6,24		1937	2927	0,662	63
Cf. <i>Heterocapsa</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	25	19	11, 3	1053	2810	0,375	9
Cf. <i>Lingulo- dinium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	32	30	18	2222	9048	0,246	8
<i>Cochlodinium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	28	23,4	11, 8	1382	4048	0,341	10
<i>Corythodinium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	21,4 5	12,6	11, 9	718	1677	0,428	9
Gymnodiniales	Elipsoide	3-H	Micro	36,9	34,1	7,6	2199	5009	0,439	16
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	Elipsoide	3-H	Micro	39,4	12,5	5,8	936	1496	0,626	25
<i>Gyrodinium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	27,3	12,9	4,6	641	848	0,756	21

APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume (continuação)

TÁXONS	FORMA	SUN & LIU (2003)	CLASSE DE TAMANHO	A	B	C	ÁREA (μM^2)	BIOVOLUME (μM^3)	S/V (μM^{-1})	MDL S/V (μM)
<i>Oxytoxum obliquum</i>	Elipsoide	3-H	Micro	30	16,2	7,4	946	1883	0,502	15
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	Elipsoide	3-H	Micro	55	22,5	11,4	2436	7391	0,330	18
<i>Oxytoxum scolopax</i>	Elipsoide	3-H	Micro	70	13,75	7,6	1895	3838	0,494	35
<i>Oxytoxum</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	20	3,6	4,5	202	168	1,201	24
<i>Peridinales</i>	Elipsoide	3-H	Micro	32	25	6,3	1408	2639	0,534	17
<i>Phalacroma oxytoxoides</i>	Elipsoide	3-H	Micro	29,2	13,4	8,5	837	1741	0,481	14
<i>Phalacroma</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	31,4	35,2	70,3	6238	40684	0,153	5
<i>Podolampa palmipes</i>	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	53,1	16,4		21921	11217	1,954	104
<i>Podolampa</i> spp.	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	100	22,5		71615	39761	1,801	180
<i>Polykrikos</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	21,25	15	7,2	646	1202	0,538	11
<i>Prorocentrum dentatum</i>	Elipsoide	3-H	Micro	25,9	7,6	16,1	828	1655	0,500	13
<i>Prorocentrum gracile</i>	Elipsoide	3-H	Micro	42,5	22,5	18,5	2329	9263	0,251	11
<i>Prorocentrum hoffmannianum</i>	Elipsoide	3-H	Micro	32	21	8,0	1267	2815	0,450	14
<i>Prorocentrum micans</i>	Elipsoide	3-H	Micro	79	24,5	11	3645	11148	0,327	26
<i>Prorocentrum rostratum</i>	Elipsoide	3-H	Micro	66,5	12,9	8,3	1771	3728	0,475	32

APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume (continuação)

TÁXONS	FORMA	SUN & LIU (2003)	CLASSE DE TA- MANHO	A	B	C	ÁREA (μM^2)	BIOVOLUME (μM^3)	S/V (μM^{-1})	MDL S/V (μM)
<i>Prorocentrum triestinum</i>	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	51	14,5		16077	8422	1,909	97
<i>Prorocentrum</i> spp.	Elipsoide	3-H	Micro	21,1	15,6	6,4	640	1103	0,580	12
<i>Protoperidinium</i> spp.	Bicônico	8-H	Micro	51,5	41,5		4312	23221	0,186	10
<i>Protoperidinium steinii</i>	Bicônico	8-H	Micro	41,8	38,1		3385	15885	0,213	9
<i>Scrippsiella acuminata</i>	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	23,46	15,6	12,4	11941	4484	2,663	62
<i>Scrippsiella</i> spp.	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	21,38	14,67	11,7	9787	3614	2,708	58
<i>Tripos fusus</i>	Elipsoide +2 cones + 1 cilindro	25-SL	Micro	85	20		2743	8901	0,308	26
<i>Tripos gracilis</i>	Elipsoide +2 cones + 1 cilindro	25-SL	Micro	165	45		12089	87474	0,138	23
<i>Tripos pentagonus</i>	Elipsoide +2 cones + 1 cilindro	25-SL	Micro	146,8	36,2		8598	50363	0,171	25
<i>Tripos teres</i>	Elipsoide +2 cones +1 cilindro	25-SL	Micro	96,5	34,9		5626	30771	0,183	18
<i>Dictyocha fibula</i>	Esférica	1-H	Micro	55,3	34,7	20,6	9602	88502	0,108	6
<i>Coccolithophyceae</i>	Esférica	1-H	Micro	20,1			1269	4250	0,299	6
<i>Cianobactérias filamen- tosas</i>	Cilindro	28-H	Micro	53,1	2,1		357	184	1,942	103
<i>Anabaena</i> spp.	Esférica	1-H	Micro	100	4,5		1446	1590	0,909	91
<i>Richelia intracellularis</i>	Cilindro	28-H	Micro	148	4,8		2268	2678	0,847	125
<i>Trichodesmium</i> spp.	Cilindro	28-H	Micro	169	5,9		3187	4620	0,690	117
<i>Tufo trichodesmium</i> spp.	Cilindro	28-H	Micro	435	6,5		8949	14435	0,620	270
<i>Acanthostomella</i> spp.	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	25	18		17692	6362	2,781	70
<i>Cf. Salpingella</i> spp.	Cone+ meia esfera	9-H	Micro	205	19		91226	58123	1,570	322

APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume (continuação)

TÁXONS	FORMA	SUN & LIU (2003)	CLASSE DE TAMANHO	A	B	C	ÁREA (μM^2)	BIOVOLUME (μM^3)	S/V (μM^{-1})	MDL S/V (μM)
<i>Cf. Undella</i>	Cilindro + 2 meias esferas	5-H	Micro	75	55		12959	134630	0,096	7
<i>Eutintinnus</i> spp.	Cilindro	28-H	Micro	210	23		16005	87250	0,183	39
<i>Mesodinium rubrum</i>	Esférica	1-H	Micro	24,1			1824	7325	0,249	6
<i>Undella</i> spp.	Cilindro + 2 meias esferas	5-H	Micro	84	39		10292	84816	0,121	10
Diatomácea cêntrica	Cilindro	28-H	Nano	13,7	13,7		884	2020	0,438	6
Chaetocerotaceae	Prisma com base elíptica	29-H	Nano	11,75	5	3,1	174	143	1,215	14
<i>Cyclotella</i> spp.	Cilindro	4-H	Nano	9,8	8,67		385	579	0,665	7
<i>Leptocylindrus minimus</i>	Cilindro	28-H	Nano	8,3	4,7		157	144	1,092	9
<i>Paralia sulcata</i>	Cilindro	4-H	Nano	7,25	15		695	1281	0,543	4
<i>Thalassiosira</i> spp.	Cilindro	4-H	Nano	8,63	8,48		343	487	0,703	6
Diatomácea penada	Prisma com base retangular	13-H	Nano	17,7	2,9	2	60	51	1,175	21
<i>Alexandrium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Nano	15,9	15,4	8,4	547	1077	0,508	8
<i>Amphidinium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Nano	13	9	6,4	276	392	0,705	9
<i>Cf. Heterocapsa</i> spp.	Cone+ Meia esfera	9-H	Nano	16,25	12,5	8,9	5760	1994	2,888	47
Gymnodiniales	Elipsoide	3-H	Nano	13,8	9,2	7,1	310	472	0,657	9
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	Elipsoide	3-H	Nano	15,1	8,91	6,57	316	463	0,682	10
<i>Gyrodinium</i> spp.	Elipsoide	3-H	Nano	12,5	8,75	5,7	249	326	0,762	10
<i>Oxytoxum globosum</i>	Elipsoide	3-H	Nano	17,5	16,25	8,2	611	1221	0,500	9
<i>Oxytoxum laticeps</i>	Elipsoide	3-H	Nano	15,7	11,3	6,4	382	595	0,643	10
<i>Oxytoxum</i> spp.	Elipsoide	3-H	Nano	11,6	8,9	4,8	220	259	0,850	10
<i>Prorocentrum cordatum</i>	Elipsoide	3-H	Nano	15	10	4	287	314	0,912	14

APÊNDICE E- Cálculo do Biovolume (conclusão)

TÁXONS	FORMA	SUN & LIU (2003)	CLASSE DE TAMA- NHO	A	B	C	ÁREA (μM^2)	BIOVOLUME (μM^3)	S/V (μM^{-1})	MDL S/V (μM)
<i>Prorocentrum</i> spp.	Elipsoide	3-H	Nano	18,13	8,9	6,3	363	532	0,683	12
<i>Scrippsiella</i> spp.	Cone+ Meia esfera	9-H	Nano	15	11,5	6	4492	1558	2,883	43
<i>Scrippsiella acuminata</i>	Cone+ Meia esfera	9-H	Nano	17,7	14,4	7,4	8609	2883	2,987	53
Coccolithophyceae	Esférica	1-H	Nano	10,9			373	678	0,550	6
Chlorophyta	Esférica	1-H	Nano	7,5			177	221	0,800	6
<i>Pterosperma</i> spp.	Esférica	1-H	Nano	14,39			650	1559	0,417	6
Cianobactérias cocóide	Esférica	1-h	Nano	1,43			6	2	4,196	6
Cianobactérias filamen- tosas	Cilindro	28-h	Nano	3	19,2		760	869	0,875	3
<i>Anabaena</i> spp.	Esférica	1-h	Nano	2,1			14	5	2,857	6
<i>Cf. Richelia intracellularis</i>	Cilindro	28-h	Nano	2,3	1,9		19	7	2,975	7
<i>Trichodesmium</i> spp.	Cilindro	28-h	Nano	7,5	12,5		540	920	0,587	4
<i>Strombidium</i> spp.	Esférica	1-h	Nano	13,25			551	1217	0,453	6

Fonte: A autora, 2024; GUIRY, M.D. & GUIRY, 2024; SUN; LIU, 2003

APÊNDICE F- Traços funcionais (Continua)

[illegible]

APÊNDICE F- Traços funcionais (Continuação)

TÁXONS	RAFE	FRÚSTULA (SÍLICA)	TECA (CELULOSE)	FLAGELADO	CÍLIOS	COLONIAL /CADEIA	TUFOS (FILAMEN- TOSA)	AUTOTRÓFICO	MIXOTRÓFICOS CONSTITUTIVOS	MIXOTRÓFICOS NÃO CONSTITUTI- VOS GENERALISTA	MIXOTRÓFICOS NÃO CONSTITUTI- VOS ESPECIALISTA	HETEROTRÓFICOS	HAB	DDA	DIAZOTRÓFICAS	CISTOS	S/V	MÁXIMA DIMEN- SÃO LINEAR
<i>Thalassiosira</i> spp.	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,404	6,0
<i>Triceratium</i> spp.	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1,227	20,0
<i>Alexandrium</i> spp.	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0,417	18,0
<i>Amphidinium</i> spp.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,705	9,0
<i>Amphisolenia globifera</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,662	63,3
Cf. <i>Heterocapsa</i> spp.	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0,375	9,4
Cf. <i>Lingulodinium</i> spp.	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0,246	8,0
<i>Cochlodinium</i> spp.	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0,341	10,0
<i>Corythodinium</i> spp.	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0,428	9,0
Gymnodiniales	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0,548	12,5
<i>Gyrodinium fusiforme</i>	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0,654	17,5
<i>Gyrodinium</i> spp.	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0,759	15,5
<i>Oxytoxum globosum</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,500	9,0
<i>Oxytoxum laticeps</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,643	10,0
<i>Oxytoxum obliquum</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,502	15,0
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,330	18,0
<i>Oxytoxum scolopax</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,494	35,0
<i>Oxytoxum</i> spp.	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,026	17,0
Peridinales	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0,534	17,1
<i>Phalacroma</i> spp.	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0,153	4,8
<i>Phalacroma oxytoxoides</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,481	14,0

APÊNDICE F- Traços funcionais (Conclusão)

TÁXONS	RAFE	FRÚSTULA (SÍLICA)	TECA (CELULOSE)	FLAGELADO	CÍLIOS	COLONIAL /CADEIA	TUFOS (FILAMEN- TOSA)	AUTOTRÓFICO	MIXOTRÓFICOS CONSTITUTIVOS	MIXOTRÓFICOS NÃO CONSTITUTI- VOS GENERALISTA	MIXOTRÓFICOS NÃO CONSTITUTI- VOS ESPECIALISTA	HETEROTRÓFICOS	HAB	DDA	DIAZOTRÓFICAS	CISTOS	S/V	MÁXIMA DIMEN- SÃO LINEAR
Chlorophyta	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,800	6,0
<i>Pterosperma</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,417	6,0
<i>Acanthostomella</i> spp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,781	70,0
<i>Cf. Salpingella</i> spp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2,857	6,0
<i>Eutintinnus</i> spp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,183	39,0
<i>Mesodinium rubrum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,249	6,0
<i>Strombidium</i> spp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,453	6,0
<i>Undella</i> spp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,109	8,5
Cianobactérias cocóide	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	4,196	6,0
Cianobactérias filamentosas	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1,409	53,0
<i>Anabaena</i> spp.	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1,883	48,5
<i>Cf. Richelia intracellularis</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1,911	66,0
<i>Trichodesmium</i> spp.	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0,632	130,3

Fonte: A autora, 2024; AHYONG et al., 2024; FELDER; CAMP, 2009; GONZÁLEZ-GIL et al., 2011; GUIRY, M.D. & GUIRY, 2024; KAZUMI MATSUOKA, 2000; LUMCON, [s.d.]; MCGARAGHAN, 2016; PROCOPIAK; FERNANDES; MOREIRA-FILHO, 2006; PROENÇA; TAMANAHA; FONSECA, 2009; SUN; LIU, 2003; UBC DEPARTMENT OF EARTH; UBC, 2012