



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO  
FITOPLÂNCTON AO LONGO DE UM GRADIENTE  
SALINO EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DE  
MACROMARÉ NA MARGEM EQUATORIAL  
BRASILEIRA**

**———— LISANA FURTADO CAVALCANTI ————**

**SÃO LUÍS**  
**2018**

**LISANA FURTADO CAVALCANTI**

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO FITOPLÂNCTON AO LONGO DE  
UM GRADIENTE SALINO EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DE MACROMARÉ  
NA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim

**Agência de Fomento:** Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA)

São Luís  
2018

FURTADO CAVALCANTI, LISANA.

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO FITOPLÂNCTON AO LONGO  
DE UM GRADIENTE SALINO EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DE MACROMARÉ NA MARGEM  
EQUATORIAL BRASILEIRA / LISANA FURTADO CAVALCANTI. - 2018.

61 f.

Orientador(a): Prof. Dr. MARCO VALÉRIO JANSEN CUTRIM.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

1. Fitoplâncton. 2. Estuário de macromaré. 3.  
Gradiente de salinidade. I. VALÉRIO JANSEN CUTRIM, Prof.  
Dr. MARCO. II. Título.

**LISANA FURTADO CAVALCANTI**

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO FITOPLÂNCTON AO LONGO DE  
UM GRADIENTE SALINO EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DE MACROMARÉ  
NA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim

**Co-orientadora:** Prof. Dra. Mariana Basso Jorge

**Linha de pesquisa:** Oceanografia biológica

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim**

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia - PPGOcean/UFMA  
(Orientador)

---

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim**

Departamento de Química e Biologia - DQB/UEMA  
(2º Examinador)

---

**Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa**

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia - PPGO/UFPE  
(3º Examinador)

São Luís  
2018

*Dedico*

À minha família amada, meu porto seguro,  
onde encontro razão para viver.

Ao meu melhor amigo e companheiro, Fernando.

Devo tudo a vocês!

## AGRADECIMENTOS

A *Deus*, pelo seu infinito amor e por me permitir viver todos os dias em tua presença. Por todos os momentos de crescimento vividos e pela realização deste sonho. Toda honra seja dada ao Senhor.

À *Universidade Federal do Maranhão* e à *Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão* (FAPEMA), pelas oportunidades concedidas e concessão de bolsa de estudos possibilitando a realização deste trabalho durante o Curso de Pós-Graduação em Oceanografia.

Ao *Programa de Pós-Graduação em Oceanografia e Laboratório de Ficologia* da Universidade Federal do Maranhão, pela viabilização a idas ao campo, análises de laboratório e pelo valioso conhecimento aperfeiçoado sobre a comunidade fitoplanctônica.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. *Marco Valério Jansen Cutrim*, por acreditar em mim e sempre me incentivar a vencer os desafios. Sou grata pela orientação e por todos os momentos de aprendizagem e crescimento vividos ao longo dessa jornada.

À minha eterna orientadora Prof. Dra. *Andrea Christina Gomes de Azevedo Cutrim*, por me apresentar a beleza da Ficologia desde a graduação. Meus sinceros agradecimentos por ter sido minha “mãe científica” e por ter construído fortes laços de amizade.

Aos *professores* do Departamento de Oceanografia e Limnologia, pela atenção e conhecimentos compartilhados durante o mestrado e a todos os *funcionários* que me ajudaram de forma direta e indireta com a realização deste trabalho.

Ao meu amigo Prof. Dr. *Caio Brito Lourenço*, pelo suporte, conselhos e sugestões na finalização deste trabalho. Seu apoio foi muito importante.

Aos meus colegas de turma *Suellen, Lorena, Hellen, Jefferson, Vinícius, Rayone, Louise, Tais, Katerine, Isabella* e *Saulo* que estiveram comigo durante esta caminhada.

Às minhas amigas de laboratório *Silvinha, Denise, Juliana, Cybelle, Taiza, Fernanda, Ronnessa*, e amigos *James e Basílio*, pela amizade construída, momentos de descontração e auxílio nas análises de laboratório. Às minhas queridas “xubas” *Bethânia, Amanda, Jordana, Karol, Francinara* e *Nágela*, vocês foram fundamentais nesta jornada, onde estudamos e crescemos juntas. Obrigada por essa linda amizade!

À minha família, em especial à minha mãe *Rosana*, sem o seu amor e dedicação nada disso seria possível. Ao meu pai *José Liraelson* e meus irmãos *Philip* e *Clisman* por todo apoio e cuidado. E ao meu melhor amigo e companheiro *Fernando*, que sempre esteve ao meu lado dando carinho e incentivo. Amo vocês!

*“You call me out upon the waters  
The great unknown where feet may fail  
And there I find You in the mystery  
In oceans deep my faith will stand...”*

***Oceans – Hillsong United***

## SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	
	LISTA DE TABELAS	
	LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
	RESUMO	
	ABSTRACT	
1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.2	Objetivos Específicos.....	17
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1	Área de estudo.....	18
3.2	Caracterização física do ERP e desenho amostral.....	19
3.3	Variáveis meteorológicas e físico-químicas da água.....	19
3.4	Composição e densidade fitoplanctônica.....	20
3.5	Biomassa fitoplanctônica (clorofila <i>a</i> ).....	22
3.6	Análises estatísticas.....	22
4	RESULTADOS.....	24
4.1	Caracterização física do ERP.....	24
4.2	Variáveis meteorológicas e físico-químicas da água.....	24
4.3	Composição e densidade fitoplanctônica no ERP.....	29
4.4	Biomassa fitoplanctônica (clorofila <i>a</i> ) no ERP.....	33
4.5	Influência do gradiente de salinidade na distribuição da densidade fitoplanctônica e nutrientes no ERP.....	34
4.6	Estrutura da comunidade fitoplanctônica ao longo do gradiente salino no ERP.....	35
4.7	Fatores controladores da comunidade fitoplanctônica no ERP.....	38
5	DISCUSSÃO.....	41
5.1	Fitoplâncton e suas principais variáveis ambientais determinantes ao longo de um gradiente estuarino no ERP.....	42
5.2	Variabilidade da comunidade fitoplanctônica no ERP.....	44
6	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNDICES.....	58

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Localização da área de estudo no estuário do rio Paciência, Maranhão – Brasil.....	18
<b>Figura 2.</b>	Gradiente de salinidade com as respectivas zonas: zona de rio, zona de mistura e zona costeira ao longo do ERP.....	24
<b>Figura 3.</b>	Média histórica da precipitação pluviométrica mensal (baseado nos últimos 30 anos), precipitação pluviométrica mensal e velocidade dos ventos registradas em 2017.....	25
<b>Figura 4.</b>	Variação sazonal e espacial das variáveis físico-químicas no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.....	26
<b>Figura 5.</b>	Variação sazonal e espacial dos nutrientes e Razão Redfield no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.....	27
<b>Figura 6.</b>	Variação sazonal e espacial da densidade fitoplanctônica e índices ecológicos no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.....	32
<b>Figura 7.</b>	Variação sazonal e espacial das concentrações de clorofila <i>a</i> , microfitoplâncton e nano/picofitoplâncton no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.....	33
<b>Figura 8.</b>	Distribuição da densidade fitoplanctônica, densidade da <i>Thalassiosira rotula</i> , compostos nitrogenados e silicato ao longo do gradiente de salinidade no ERP.....	34
<b>Figura 9.</b>	Síntese das associações fitoplanctônicas ao longo do ERP. (a) Agrupamento das amostras a partir da matriz dos táxons fitoplanctônicos e (b) perfis espaciais dos agrupamentos da comunidade fitoplanctônica durante os períodos sazonais e zonas estuarinas. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona	

	costeira.....	35
<b>Figura 10.</b>	Distribuição dos grupos taxonômicos em relação aos períodos sazonais e zonas estuarinas no ERP. Onde: DCC - diatomáceas cêntricas formadoras de cadeia; DCS - diatomáceas cêntricas solitárias; DPC - diatomáceas penadas formadoras de cadeia; DPS - diatomáceas penadas solitárias; Miozoa; Eugle - euglenofíceas; Cloro - clorofíceas; Ciano - cianobactérias.....	38
<b>Figura 11.</b>	Análise de Redundância Canônica (RDA) para as variáveis ambientais e comunidade fitoplanctônica no ERP. (a) Diagrama com a relação das amostras fitoplanctônicas com as variáveis ambientais e (b) diagrama com a relação dos táxons selecionados com as variáveis ambientais. Os códigos das variáveis são expressos na Tabela 5 e dos táxons selecionados no Apêndice B.....	39
<b>Figura 12.</b>	Diagrama conceitual dos cenários apresentados pela comunidade fitoplanctônica, indicando as variações das principais variáveis ambientais e espécies caracterizantes das zonas estuarinas durante os períodos sazonais no ERP. As imagens usadas foram retiradas de Tomas (1997) e Cupp (1943).....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Posicionamento geográfico (latitude e longitude) e profundidade local dos pontos amostrais no estuário do rio Paciência, Maranhão – Brasil....	19
<b>Tabela 2.</b>	Estatística descritiva das variáveis físico-químicas e valores de p para a análise sazonal, entre as zonas do estuário e estratos da coluna d'água para o ERP. * valor de $p < 0,05$ ; - dados não apresentados para o segundo estrato da coluna da água (meio).....	28
<b>Tabela 3.</b>	Composição fitoplanctônica, ocorrência dos táxons e densidade média ( $\times 10^3$ cel.L <sup>-1</sup> ) nos períodos sazonais e zonas no ERP. Onde: C - período chuvoso; T - período de transição; E - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.....	29
<b>Tabela 4.</b>	Espécies caracterizantes do fitoplâncton que contribuíram para a média de similaridade dos grupos formados a partir das zonas estuarinas e períodos sazonais, com percentual de contribuição entre parêntesis. Onde: ZR - zona de rio; ZM - zona de mistura; e ZC - zona costeira.....	31
<b>Tabela 5.</b>	Resumo da Análise de Redundância Canônica (RDA) para as variáveis ambientais no ERP.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOSIM - Análise de Similaridade  
APHA - American Public Health Association  
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
DCC - Diatomáceas Cêntricas formadoras de Cadeia  
DCS - Diatomáceas Cêntricas Solitárias  
DPC - Diatomáceas Penadas formadoras de Cadeia  
DPS - Diatomáceas Penadas Solitárias  
ERP - Estuário do Rio Paciência  
MEB - Margem Equatorial Brasileira  
MPS - Material Particulado em Suspensão  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Íon Amônio  
NID - Nitrogênio Inorgânico Dissolvido  
NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - Nitrito  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitrato  
PERMANOVA - Análise de Variância Multivariada Permutacional  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
PID - Fósforo Inorgânico Dissolvido  
PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> - Ortofosfato  
RDA - Análise de Redundância Canônica  
RSFA - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa  
SIMPER - Análise de Similaridade Percentual  
SiO<sub>2</sub><sup>-3</sup> - Silicato Inorgânico  
UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez  
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical  
ZC - Zona Costeira  
ZM - Zona de Mistura  
ZR - Zona de Rio

## RESUMO

### VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DO FITOPLÂNCTON AO LONGO DE UM GRADIENTE SALINO EM UM ESTUÁRIO TROPICAL DE MACROMARÉ NA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA.

A estrutura da comunidade fitoplanctônica (composição, distribuição e biomassa) e as condições ambientais foram caracterizadas ao longo de um gradiente salino em um estuário tropical de macromaré - estuário do rio Paciência. O referido estuário está localizado na Margem Equatorial Brasileira, desempenhando importante papel na contribuição para o abastecimento de água, agricultura e atividades de pesca e aquicultura, e caracterizado pela ampla vegetação de manguezais e descarte de esgoto *in natura*. Para a análise sazonal e espacial das variáveis ambientais e biológicas, coletas a cada três meses foram realizadas em treze pontos amostrais durante o período chuvoso (abril/2017), período de transição (julho/2017) e período de estiagem (outubro/2017). Os padrões ecológicos do fitoplâncton foram explorados a partir de Análises de Agrupamentos (SIMPER e Análise de Cluster) e testados pela Análise de Redundância Canônica. A composição da comunidade incluiu um total de 171 táxons identificados, divididos em sete divisões sendo Bacillariophyta a divisão mais representativa com 128 táxons. A estrutura fitoplanctônica no estuário do rio Paciência apresentou características típicas de estuários tropicais marcados por um gradiente salino, regido pela precipitação e descarga fluvial. A partir disso, três cenários relacionados à sazonalidade e gradiente salino foram identificados: zona de rio (pontos 1 a 3;  $S \leq 15 \text{ g Kg}^{-1}$ ), zona de mistura (pontos 4 a 7;  $15 > S < 30 \text{ g Kg}^{-1}$ ) e zona costeira (pontos 8 a 13;  $S \geq 30 \text{ g Kg}^{-1}$ ) controladas pelos períodos sazonais. Durante o período chuvoso e período de transição, verificou-se um gradiente espacial de salinidade, caracterizado pelo aumento gradual da densidade e biomassa fitoplanctônica da zona mais interna (salinidade  $< 20 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) em direção à zona costeira (salinidade  $> 30 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), com as maiores concentrações de nutrientes na zona de rio. No período de estiagem, o gradiente salino mais homogêneo (salinidade  $> 30 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) propiciou florações de *Thalassiosira rotula*, as quais foram responsáveis pela elevada biomassa fitoplanctônica e menores concentrações de nutrientes. Em ambos os períodos, as diatomáceas foram o grupo dominante devido a sua natureza eurialina que propicia elevadas abundâncias em ambientes estuarinos. Desta forma, este trabalho contribuiu para a compreensão da dinâmica fitoplanctônica, reforçando a importância de seu monitoramento para a identificação de alterações ecológicas no estuário do rio Paciência.

**Palavras-chave:** Fitoplâncton. Gradiente de salinidade. Estuário de macromaré.

## ABSTRACT

### SPATIAL-TEMPORAL VARIABILITY OF PHYTOPLANKTON ALONG THE SALINITY GRADIENT IN A TROPICAL MACROTIDAL ESTUARY IN THE BRAZILIAN EQUATORIAL MARGIN.

The structure of the phytoplankton community (composition, distribution and biomass) and environmental conditions were characterized along the salinity gradient in a tropical macrotidal estuary - Paciência river estuary. The Paciência river estuary is located on the Brazilian Equatorial Margin, playing an important role in contributing to the water supply, agriculture, fishing and aquaculture activities. It is characterized by the wide mangroves occurrence and in natura sewage discharge. For the seasonal and spatial analysis of environmental and biological variables, quarterly surveys were performed at thirteen sampling points during the rainy period (April 2017), transitional period (June 2017) and dry period (October 2017). The ecological patterns of phytoplankton were explored by SIMPER and Cluster Analysis and tested by Redundancy Analysis. The community composition included a total of 171 identified taxa, divided in seven divisions with Bacillariophyta as the most representative division (128 taxa). The phytoplankton structure in the Paciência river estuary showed typical characteristics of tropical estuaries marked by a salinity gradient, governed by rainfall and river discharge. From this, three scenarios related to seasonality and salinity gradient were identified: river zone (1 to 3 sampling points;  $S \leq 15 \text{ g Kg}^{-1}$ ), mixing zone (4 to 7 sampling points;  $15 > S < 30 \text{ g Kg}^{-1}$ ) and coastal zone (8 to 13 sampling points;  $S \geq 30 \text{ g Kg}^{-1}$ ), controlled by seasonal periods. During the rainy and transitional seasons, it was observed a spatial gradient of salinity, characterized by the gradual increase in phytoplankton abundance and biomass from the inner zones (salinity  $< 20 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) towards the coastal zone (salinity  $> 30 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), with the highest nutrient concentrations in the river zone. During the dry season, the homogeneous gradient of salinity (salinity  $> 30 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) favored the occurrence of *Thalassiosira rotula* blooms, which were responsible for the high phytoplankton biomass and lower nutrient concentrations. In both periods, diatoms were the dominant group due to their euryhaline nature, which provides high abundance in estuarine ecosystems. Hence, this work contributes to the understanding of the phytoplankton dynamics, reinforcing the importance of phytoplankton monitoring for the identification of ecological changes in the Paciência river estuary.

**Keywords:** Phytoplankton. Salinity gradient. Macrotidal estuary.

## 1 INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros, tais como os estuários, estão entre os ecossistemas aquáticos mais produtivos do mundo fornecendo importantes serviços ambientais, como a produção de alimentos e ciclagem de nutrientes, tornando-se cruciais para a manutenção da vida marinha e da humanidade (COSTANZA et al., 1997; ATTRILL; RUNDLE, 2002; SATHICQ et al., 2016).

Nos sistemas estuarinos, principalmente os regidos por macromaré (altura de maré entre 4 a 6 m), o gradiente de salinidade (LANCELOT; MUYLAERT, 2011) e dinâmica das marés (MIRANDA et al., 2002), regulam as variações da produção primária em resposta ao contínuo aporte de nutrientes e intensificam a mistura das águas continentais e marinhas, aumentando assim a oxigenação da água e proteção das zonas costeiras dos processos de eutrofização (CLOERN, 2001; BAZIN et al., 2014).

Essa mistura é responsável por diferentes gradientes estuarinos que, em geral, condicionam a disponibilidade de luz, nutrientes e salinidade para a biota, entre outros fatores (CLOERN et al., 2014), sendo a salinidade frequentemente usada como uma variável determinante para a avaliação dos processos biogeoquímicos nessas áreas (CORNWELL et al., 2016). Em resposta às complexas variações ambientais presentes ao longo desse ecossistema e entre os períodos sazonais, os estuários funcionam como laboratórios naturais ideais para estudos ecológicos sobre os efeitos biológicos e biogeoquímicos (SIN et al., 2015; LI et al., 2017).

Entretanto, de acordo com a Avaliação Ecológica do Milênio (MEA) conduzida entre 2001 e 2005, aproximadamente 40% da população mundial habitam as regiões costeiras e estuarinas concentrando atividades antrópicas que causam danos a essas regiões. Com isso os ecossistemas costeiros são afetados diretamente por múltiplos fatores, os quais destacam-se as atividades de pesca, poluição da terra, rios e oceanos, entrada de espécies invasoras, perda de habitat e elevada carga de nutrientes (MEA, 2005; NOGALES et al., 2011), que em condições extremas, podem afetar a produtividade costeira e qualidade da água (CARSTENSEN et al., 2011).

A comunidade fitoplanctônica, por sua vez, possui grande significado ecológico e sua importância reside em ser um excelente bioindicador da qualidade da água, apontando

rapidamente mudanças ecológicas decorrentes aos impactos ambientais em ecossistemas costeiros e estuarinos (RIMET; BOUCHEZ, 2012; ESKINAZI-LEÇA et al., 2004).

Responsável por até 50% da produtividade estuarina (SORIA-PÍRIZ et al., 2017), o fitoplâncton desempenha um papel importante tanto como produtor primário quanto nos processos de assimilação e transformação do carbono e nutrientes, os quais incluem os compostos nitrogenados e fosfatados, além da sílica, ferro e elementos traços (REYNOLDS, 2006).

A dinâmica da comunidade fitoplanctônica é determinada por vários fatores ambientais e biológicos, bem como interações entre eles (PAERL et al., 2010). Nos estuários, a variabilidade e distribuição do fitoplâncton – em termos de composição, abundância e biomassa – estão correlacionadas com as condições climáticas (precipitação), físico-químicas e hidrodinâmica do ambiente (PEIERLS et al., 2012; THOMPSON et al., 2015), quando fatores essenciais ao seu crescimento (luz e nutrientes) são disponíveis.

Recentes estudos sobre as fronteiras ecológicas nos estuários não revelam evidências de comunidades biológicas estuarinas específicas, mas mostram a existência de um *continuum* conjunto biológico ao longo de um gradiente salino, definindo estuários como ecoclinas em vez de ecótonos (ATTRILL; RUNDLE, 2002; QUINLAN; PHILIPS, 2007). Ecótonos são definidas como zonas de transição com rápidas mudanças ambientais, caracterizadas por comunidades únicas e bem definidas sendo distintas das comunidades pertencentes aos biomas adjacentes. Já um ecoclina, define-se por um gradiente associado às mudanças graduais de uma variável ambiental determinante, caracterizado por um *continuum* de assembleias ao longo deste gradiente (MUYLAERT et al., 2009).

Dentre os gradientes estuarinos, a salinidade apresenta forte influência sobre o fitoplâncton, onde o fitoplâncton marinho é adaptado a elevadas salinidades, espécies de água doce a baixas salinidades, e outras são resistentes a flutuações de salinidade sendo bem sucedidas em águas salobras (REYNOLDS, 2006; ROUBEIX; LANCELOT, 2008; MUYLAERT et al., 2009). Além disso, em ambientes enriquecidos de nutrientes, a distribuição fitoplanctônica estuarina é dada pela dominância de diatomáceas seguidas de dinoflagelados com maior riqueza de espécies em direção à zona de maior influência fluvial e poucas espécies ocorrendo ao longo de todo o gradiente estuarino (GALLEGOS, 1992; LANCELOT; MUYLAERT, 2011).

A Margem Equatorial Brasileira (MEB) é uma ampla região localizada no Norte - Nordeste do Brasil. Atualmente, a MEB tem merecido grande destaque entre os ambientes costeiros brasileiros por despertar interesse para a exploração de petróleo, gás natural e biocombustível (FAVERA et al., 2013), além de abrigar dezenas de estuários, ilhas costeiras e a maior costa de manguezais do mundo (SOUZA-FILHO et al., 2005).

Inserido na MEB, o estuário do rio Paciência caracteriza-se por um sistema estuarino tropical com regime de macromarés. Tal hidrodinâmica possibilita importantes interações entre as águas interiores e a região oceânica adjacente da baía de São José – conectada diretamente com Oceano Atlântico Sul. Por outro lado, a influência continental dada pelo rio Paciência e seus afluentes, contribui para a diluição da água marinha e distribuição dos sais nutrientes no estuário. Assim, as influências fluvial e marinha configuram dois cenários fisicamente distintos: a) águas neríticas internas, particularmente influenciadas por insumos continentais; e b) águas neríticas externas, diretamente influenciadas por águas oceânicas.

Apesar de sua grande importância ecológica, os estudos sobre a comunidade fitoplanctônica e condições ambientais nos estuários da costa norte do Brasil, em especial na costa maranhense, ainda são incipientes (TEIXEIRA et al., 1988; LAVÔR-FERNANDES, 1988a, 1988b; ALCÂNTARA et al., 2004; AZEVEDO et al., 2008; RODRIGUES; CUTRIM, 2010; DUARTE-DOS-SANTOS et al., 2017), uma vez que informações sobre a dinâmica e ecologia do fitoplâncton são de fundamental importância para a compreensão da estrutura trófica do ecossistema aquáticos.

Devido à escassez de estudos, mais investigações sobre o fitoplâncton marinho e estuarino são necessárias, principalmente no estuário do rio Paciência, onde foi registrado apenas o trabalho conduzido por Lavôr-Fernandes (1988a) com a primeira contribuição sobre a composição da flora do microfitoplâncton. Desta forma, a realização deste estudo contribuirá para o entendimento da dinâmica fitoplanctônica e possíveis alterações ambientais em resposta aos tensores ambientais presentes nos estuários.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

- ✓ Caracterizar a comunidade fitoplanctônica (composição, distribuição e biomassa) e as condições ambientais ao longo de um gradiente de salinidade em um estuário tropical de macromaré.

### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar o estuário do rio Paciência quanto ao gradiente de salinidade;
- ✓ Mensurar as variáveis físico-químicas da água e sais nutrientes inorgânicos dissolvidos;
- ✓ Determinar a variação espacial e temporal da composição, densidade e biomassa fitoplanctônica;
- ✓ Avaliar a comunidade fitoplanctônica através das estratégias ecológicas das espécies;
- ✓ Identificar as espécies caracterizantes a partir da sazonalidade e zonas estuarinas, pertencentes ao gradiente salino;
- ✓ Quantificar a contribuição das diferentes frações componentes do fitoplâncton através das concentrações de clorofila *a*;
- ✓ Analisar estatisticamente as principais relações do fitoplâncton com as variáveis ambientais na área de estudo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

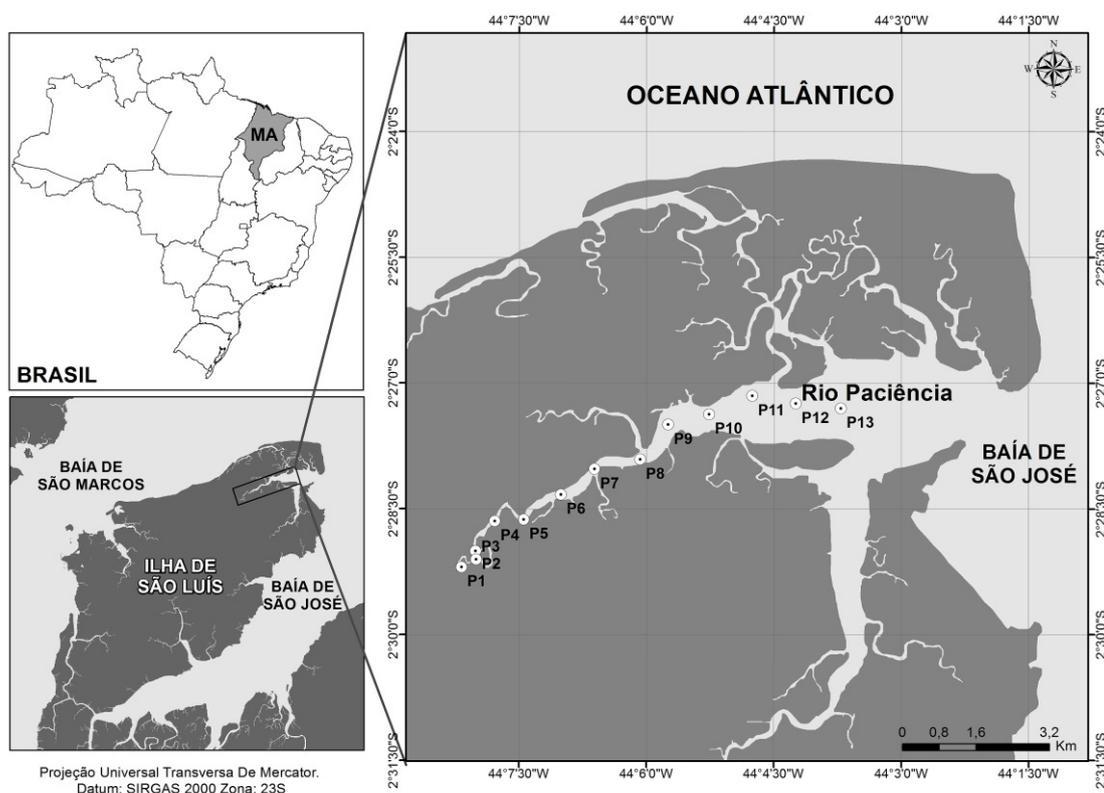
#### 3.1 Área de estudo

O estuário do rio Paciência (ERP) encontra-se inserido na Margem Equatorial Brasileira (MEB) a qual abrange uma área de aproximadamente 344.000 km<sup>2</sup> em águas rasas e cerca de 200.000 km<sup>2</sup> em águas mais profundas (FAVERA et al., 2013). Esta inclui nove bacias: bacias da Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Marajó, Bragança-Viséu, São Luís, Ilha Nova, Ceará e Potiguar (SCHRANK; ROS, 2015), destacando importantes ecossistemas aquáticos tais como estuários, baías, ilhas costeiras e manguezais.

Inserido na MEB, o estado do Maranhão localiza-se na porção norte do Brasil e apresenta características intrínsecas ao clima tropical, com elevadas temperaturas durante todo o ano, alto índice pluviométrico, resultando na alternância de dois períodos sazonais marcantes: período chuvoso e o período de estiagem (RIOS, 2001). O litoral maranhense possui uma extensão de aproximadamente 640 km, constituindo-se no segundo litoral mais extenso do país. Devido a sua estrutura geomorfológica, o litoral maranhense é dividido em três porções: Litoral Ocidental, Litoral Oriental e Golfão Maranhense, o qual inclui a baía de São Marcos e São José (AZEVEDO et al., 2008).

O ERP está situado na porção oriental da Ilha de São Luís - Maranhão (02°26' - 02°29' S e 44°4' - 44°7' W), sendo um sistema estuarino regido pela dinâmica de macromarés semi-diurnas, com intervalos de aproximadamente de 6 h e amplitude média de 4,6 m, podendo atingir 7,2 m em marés de sizígia (SOARES et al., 2011) (Figura 1).

Possui uma área de aproximadamente 5 km<sup>2</sup>, com um perímetro de 58 km e comprimento de 11 km. Apresenta regime hidrológico perene e nasce na porção central da ilha, onde drena parte da área dos municípios de São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar se desenvolvendo no sentido nordeste da Ilha de São Luís, desembocando na baía de São José (CASTRO, 2001), possuindo seus principais afluentes: Igarapé Iguaiá, Igarapé Grande e Igarapé Cristóvão.

**Figura 1.** Localização da área de estudo no estuário do rio Paciência, Maranhão – Brasil.

O ERP é utilizado desde o início da ocupação do interior da ilha constituindo um dos principais mananciais da Ilha de São Luís, com importante contribuição no abastecimento de água da capital e municípios, além de desempenhar papel preponderante na economia local, principalmente em atividades de pesca e aquicultura (mitilicultura), agricultura bem como de recreação e lazer.

O estuário é caracterizado por uma vasta faixa de manguezais, com cobertura de aproximadamente 10 km<sup>2</sup> (MARANHÃO, 1998). A composição florística do manguezal do ERP é formada por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (FONSÊCA; MOCHEL, 2016; MOCHEL, 2011). Por outro lado, o ERP sofre forte influência de atividades antrópicas recebendo acentuadas cargas de efluentes domésticos *in natura* ao longo do seu curso, comprometendo a qualidade e uso da água (CASTRO, 2001).

### 3.2 Desenho amostral

O desenho amostral foi definido a partir de um gradiente de salinidade identificado através de campanha de prospecção, onde as variáveis termohalinas foram mensuradas através de perfilagem vertical da coluna d'água usando a sonda multiparamétrica CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) (YSI - EXO 2).

Para a análise sazonal e espacial deste estudo foram realizadas coletas a cada três meses contemplando o período chuvoso (abril/17), período de transição (julho/17) e período de estiagem (outubro/17) em maré de quadratura durante a enchente. As amostras foram coletadas em treze pontos amostrais (Figura 1 e Tabela 1), os quais foram enquadrados de acordo com o gradiente de salinidade definido por Miranda et al. (2002).

**Tabela 1.** Posicionamento geográfico (latitude e longitude) e profundidade local dos pontos amostrais no estuário do rio Paciência, Maranhão – Brasil.

Pontos amostrais	Latitude	Longitude	Profundidade local (m)
P1	-2,4833	-44,1335	2,0
P2	-2,4850	-44,1334	2,2
P3	-2,4865	-44,1362	4,0
P4	-2,4774	-44,1297	4,1
P5	-2,4771	-44,1240	4,5
P6	-2,4721	-44,1167	4,5
P7	-2,4671	-44,1101	7,5
P8	-2,4652	-44,1012	6,0
P9	-2,4582	-44,0957	7,4
P10	-2,4562	-44,0877	7,5
P11	-2,4525	-44,0792	4,5
P12	-2,4541	-44,0706	4,1
P13	-2,4550	-44,0618	4,3

### 3.3 Variáveis meteorológicas e físico-químicas da água

Os dados de precipitação pluviométrica (baseada nos últimos 30 anos) e velocidade dos ventos referentes ao período de estudo foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (<http://www.inmet.gov.br>).

As amostras de água para a análise das variáveis físico-químicas foram coletadas em dois extratos da coluna d'água: sub-superfície (0,1 m) e meio (1,0 m), com auxílio de garrafa de van Dorn (5L). Esses extratos foram determinados pela Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (RSFA) medida com auxílio de Radiômetro Quanta-Meter LI-Cor (LI-1.500).

A profundidade, temperatura e salinidade da água foram mensuradas com o auxílio da sonda CTD (*Conductivity, Temperature and Depth*) (YSI - EXO 2). O pH foi medido por meio da sonda multiparamétrica Hanna (HI-9828). A transparência da água foi obtida através do disco de Secchi, a turbidez com auxílio de turbidímetro (Lamotte 2020) e o material particulado em suspensão (MPS) de acordo com o método de gravimetria descrito por Strickland e Parsons (1972). O oxigênio dissolvido foi determinado pelo método químico de Winkler, modificado por Golterman et al. (1978).

Quanto aos nutrientes, o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) foi determinado utilizando a metodologia descrita por Koroleff (1983). As determinações de nitrito e nitrato foram baseadas no método de Strickland e Parsons (1972) e ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e silicato inorgânico ( $\text{SiO}_2^{3-}$ ) por Grasshoff et al. (1983). Quantificação de NID ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ) e PID ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), seguiram a metodologia descrita em APHA (2012).

### 3.4 Composição e densidade fitoplanctônica

A comunidade fitoplanctônica foi estudada em termos de composição e densidade celular. As amostras de água para a análise de densidade fitoplanctônica foram coletadas nos dois extratos da coluna d'água (sub-superfície e meio) com auxílio de garrafa de van Dorn.

Para a determinação da densidade celular e identificação das espécies, alíquotas de 10 mL foram deixadas em repouso de 24h em câmaras de sedimentação, seguindo o método de Utermöhl (UTERMÖHL, 1958). As análises foram efetuadas em microscópio óptico invertido (ZEISS Axiovert 100) com aumento de 400 x, onde pelo menos 100 campos sistematizados em cruz, referentes a dois transectos, foram contados para cada amostra.

A estimativa da densidade celular, expressa em células por litro ( $\text{cel.L}^{-1}$ ), foi feita a partir do cálculo de células existentes em toda a câmara de sedimentação, utilizando-se a fórmula de Villafañe e Reid (1995):

$$D = \frac{N}{V}$$

onde:

**D** = densidade celular ( $\text{cel.L}^{-1}$ );

**N** = número de células contadas nos campos (2 transectos);

**V** = volume contado no transecto.

E,

$$V = \frac{A_t \cdot V_c}{A_c}$$

onde:

**A<sub>t</sub>** = área de transecção da cubeta ( $\text{mm}^2$ );

**V<sub>c</sub>** = volume da câmara (mL);

**A<sub>c</sub>** = área da câmara ( $\text{mm}^2$ ).

A identificação taxonômica foi efetuada considerando o menor nível taxonômico possível. Esta baseou-se em bibliografias especializadas, tais como para as diatomáceas seguiu-se Round et al. (1990), Tomas (1997), Cupp (1943); dinoflagelados conforme Tomas (1997), Wood (1968); Euglenophyta através de Chrètiennot-Dinet et al. (1990), Chlorophyta segundo Bourrelly (1972) e Cyanophyta por Anagnostidis e Komárek (1988), sendo atualizados pela base de dados AlgaeBase (GUIRY; GUIRY, 2017).

A diversidade do fitoplâncton foi analisada através dos índices de Shannon (SHANNON; WEAVER, 1964), uniformidade (PIELOU, 1966) e dominância, os quais foram calculados a partir das seguintes fórmulas:

✓ Índice de Shannon:  $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$       $P_i = N_i/N$

✓ Índice de uniformidade:  $J = H' / \log_2 S$

✓ Índice de dominância:  $D = \sum_{i=1}^S P_i^2$       $P_i = N_i/N$

onde:

$N_i$  = número de indivíduos para cada de espécie;

$N$  = número total de indivíduos;

$S$  = número total de espécies em cada amostra;

$P_i$  = probabilidade de coleta da espécie “i” na população.

### 3.5 Biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*)

A biomassa fitoplanctônica ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) foi quantificada por meio da concentração de clorofila *a* e determinada através da análise fluorimétrica (Fluorímetro Trilogy – 7200, Turner Design). As amostras de água foram obtidas com auxílio da garrafa van Dorn e filtradas através de filtros de fibra de vidro Whatman GF/F (0,7  $\mu\text{m}$  de porosidade e 47 mm de diâmetro) sendo o volume filtrado de 150 mL. Após este procedimento, a extração de clorofila *a* foi realizada com acetona a 90% por 24 horas a -18 °C. Para a separação e obtenção das frações do microfitoplâncton (>20  $\mu\text{m}$ ) e nano/picofitoplâncton (< 20  $\mu\text{m}$ ), sub-amostras de água foram filtradas através de uma malha de 20  $\mu\text{m}$ .

### 3.6 Análises estatísticas

Para verificar se existe diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os períodos sazonais e zonas estuarinas para variáveis físico-químicas e biológicas, foi aplicada a Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA - Two Way). A partir de então, foi

usado o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis para determinar as diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) das variáveis testadas quanto a sazonalidade, zonas estuarinas e estratos da coluna da água após o teste de normalidade e homogeneidade das variâncias. A análise de regressão foi realizada para descrever a relação da distribuição da abundância fitoplanctônica e nutrientes com o gradiente de salinidade no ERP.

A estrutura da comunidade fitoplanctônica foi explorada por meio da Análise de Similaridade Percentual (SIMPER), a fim de identificar as espécies caracterizantes (espécies que contribuíram consistentemente para similaridade entre as condições analisadas) das zonas estuarinas nos diferentes períodos sazonais e suas respectivas contribuições percentuais, seguida pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para testar a significância das similaridades. A análise de Cluster, baseada na distância Euclidiana e método de Ward, determinou a dissimilaridade das amostras em relação a estrutura da comunidade fitoplanctônica por meio da densidade celular, onde as matrizes originais dos táxons foram previamente reduzidas, eliminando-se os táxons pouco frequentes ( $< 2\%$ ) e pouco abundantes ( $< 4,8 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) para diminuir o ruído nas análises (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998).

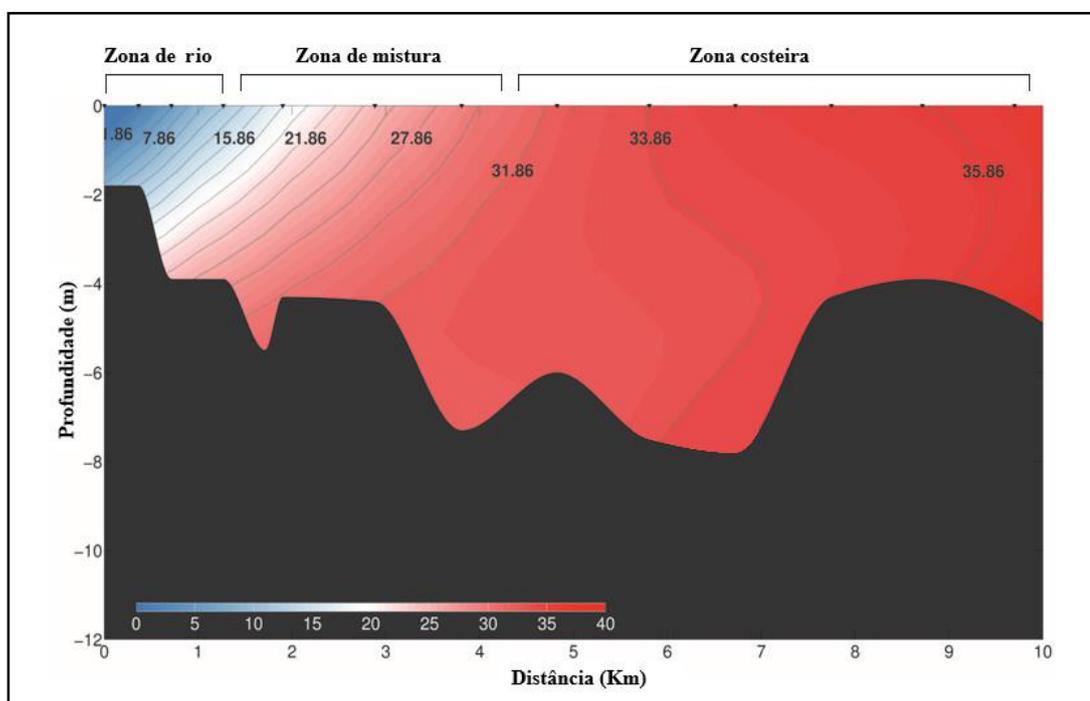
Para selecionar as variáveis explanatórias que explicam significativamente a distribuição das associações dos táxons fitoplanctônicos na área de estudo, foi realizada a Análise de Redundância Canônica (RDA), com teste de permutação de Monte Carlo para testar a significância das variáveis explicativas e sua relação com a comunidade fitoplanctônica. O conjunto de dados da matriz fitoplanctônica foi transformado mantendo a distância de Hellinger, pois reduz a importância de táxons muito abundantes. A partir de então, foi feita a correlação de Pearson para relacionar as variáveis biológicas com as co-variantes das variáveis ambientais significativas. As análises estatísticas foram realizadas usando os softwares SPSS (versão 24.0), STATISTIC (versão 10.0), PRIMER (version 6.0), o pacote XLSTAT (versão 5.03) e CANOCO (versão 4.5).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização física do ERP

A salinidade no ERP apresentou um gradiente crescente da zona interna para a zona mais externa do estuário com mínima de  $1,86 \text{ g.Kg}^{-1}$  e máxima de  $35,86 \text{ g.Kg}^{-1}$ . Quanto à estratificação vertical da salinidade, não se constatou diferenças marcantes inferindo ser um estuário verticalmente bem misturado, onde as condições de macromarés são dominantes. Para identificação do padrão espacial, os pontos amostrais foram enquadrados em três zonas baseadas no gradiente de salinidade: zona de rio sobre maior influência fluvial (pontos 1 a 3,  $S \leq 15 \text{ g Kg}^{-1}$ , excepcionalmente durante a estiagem e profundidade  $< 4 \text{ m}$ ), zona de mistura (pontos 4 a 7,  $15 > S < 30 \text{ g Kg}^{-1}$  e profundidade entre 4 a 7 m) e zona costeira sobre maior influência marinha (pontos 8 a 13,  $S \geq 30 \text{ g Kg}^{-1}$  e profundidade entre 4 e 8 m) (Figura 2).

**Figura 2.** Gradiente de salinidade com as respectivas zonas: zona de rio, zona de mistura e zona costeira ao longo do ERP.

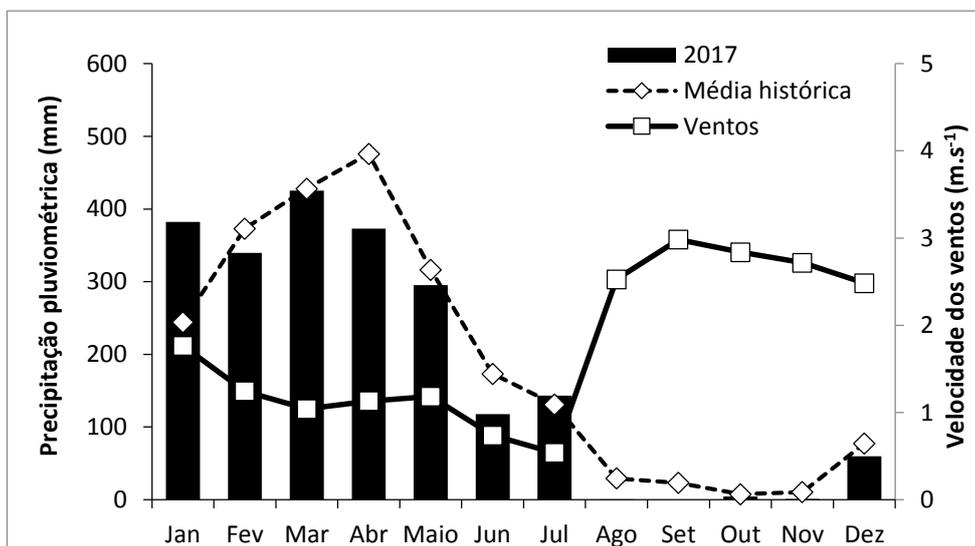


### 4.2 Variáveis meteorológicas e físico-químicas da água

A precipitação pluviométrica total apresentou uma média histórica anual de 2290,2 mm e o ano de 2017 acompanhou a média da série histórica com 2141,8 mm. Os dados

meteorológicos em 2017 revelaram um ciclo sazonal típico para região com dois períodos bem distintos: o período chuvoso abrangendo os meses de janeiro a junho, com maiores precipitações em março (425,2 mm) e menor velocidade dos ventos ( $0,73 \text{ m.s}^{-1}$ ) registrada em junho; e o período de estiagem incluiu os meses de agosto a dezembro com maior velocidade dos ventos registrada em setembro ( $2,98 \text{ m.s}^{-1}$ ), sendo que agosto e setembro não acumularam precipitação. Entre tais períodos, julho foi caracterizado como um período de transição com média pluviométrica de 143,4 mm e velocidade dos ventos de  $0,53 \text{ m.s}^{-1}$  (Figura 3).

**Figura 3.** Média histórica da precipitação pluviométrica mensal (baseado nos últimos 30 anos), precipitação pluviométrica mensal e velocidade dos ventos registradas em 2017.

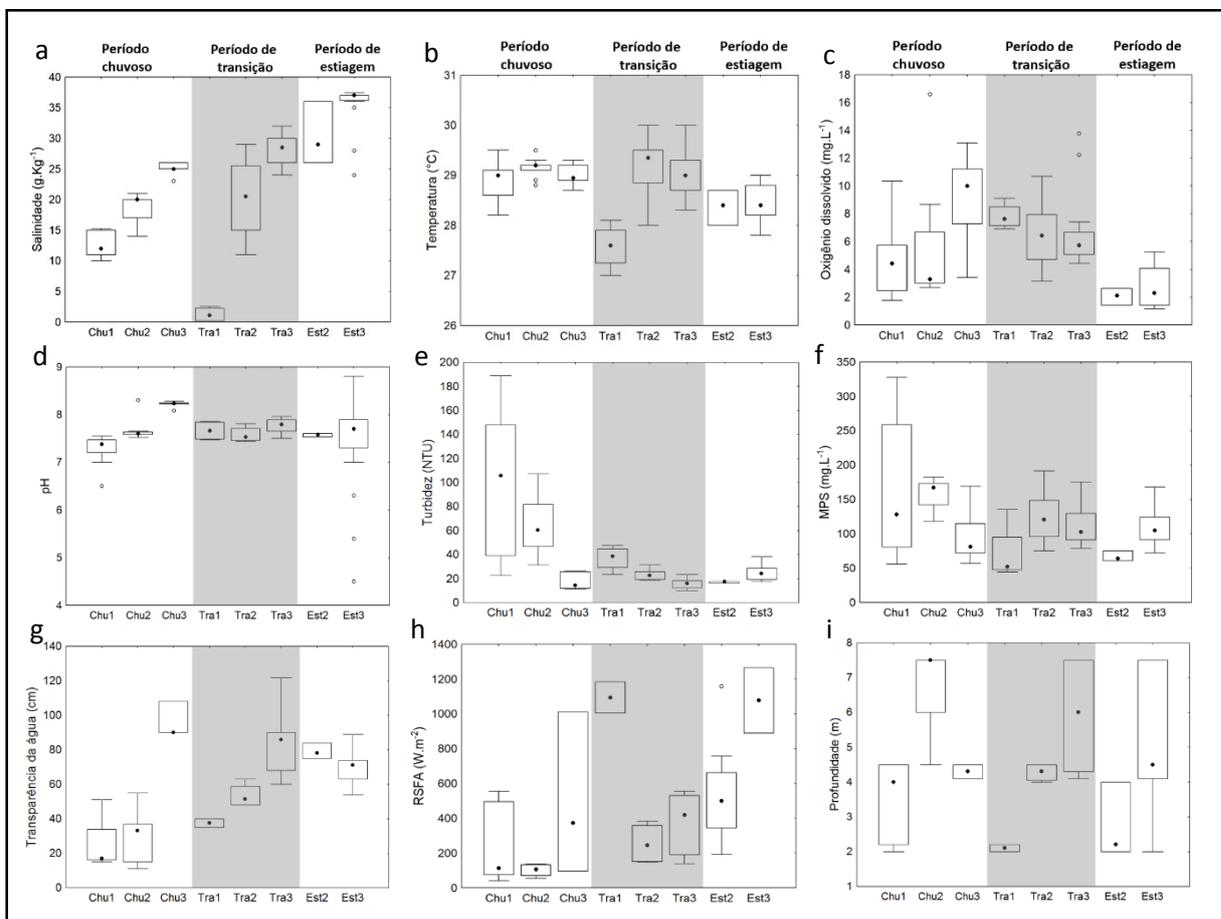


A distribuição sazonal e espacial das variáveis físico-químicas obtidas para o ERP está expressa na Figura 4 e 5, com diferença significativa entre os períodos sazonais ( $p < 0,001$ ) e zonas do estuário ( $p < 0,001$ ) de acordo com a análise PERMANOVA Two-Way. Quanto aos estratos da coluna d'água, apenas MPS, RSFA e silicato apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2).

As três zonas estuarinas foram observadas apenas durante o período chuvoso e de transição, sugerindo uma maior influência costeira durante a estiagem e deslocamento da zona de rio para o interior do estuário (Figura 4 e 5). Diferença significativa sazonal e entre as zonas do estuário foi observada para a salinidade ( $24,72 \pm 10,35 \text{ g.Kg}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ) que apresentou um gradiente horizontal crescente em direção à zona de maior influência costeira

com maiores valores durante a estiagem. No mesmo período, os maiores registros de RSFA ( $442,70 \pm 337,88 \text{ W.m}^{-2}$ ;  $p=0,01$ ) foram registrados na zona de mistura (Figura 4a, h). A temperatura ( $28,77 \pm 0,55 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $p < 0,01$ ) e a transparência da água ( $61,10 \pm 26,86 \text{ cm}$ ;  $p < 0,05$ ) foram significativamente maiores durante o período de transição (Figura 4b, g).

**Figura 4.** Variação sazonal e espacial das variáveis físico-químicas no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira; MPS – Material Particulado em Suspensão; RSFA - Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa.

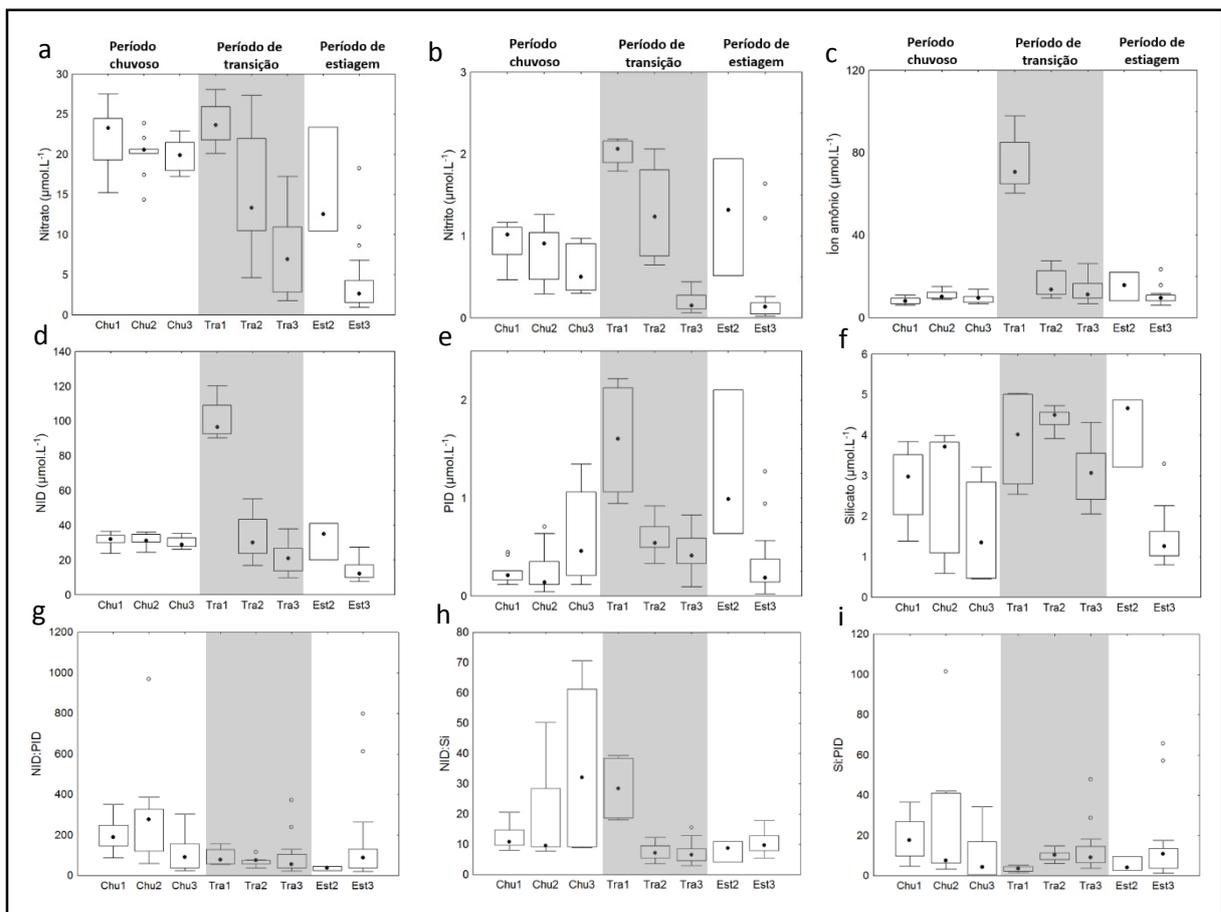


O período chuvoso registrou as maiores concentrações de oxigênio dissolvido na zona costeira ( $5,13 \pm 3,28 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ), não apresentando diferença significativa entre as zonas estuarinas ( $p > 0,05$ ) (Figura 4c). A maior precipitação neste período aumentou os valores de turbidez ( $37,53 \pm 37,67 \text{ NTU}$ ;  $p < 0,001$ ) e MPS ( $119,43 \pm 51,66 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $p < 0,05$ ), os quais foram mais elevados na zona de rio (Figura 4e, f).

A profundidade local ( $4,82 \pm 1,76$  m;  $p < 0,001$ ) apresentou apenas diferença significativa espacial com os menores valores observados na zona de rio (Figura 4i). Os maiores valores de pH ( $7,59 \pm 0,57$ ;  $p < 0,001$ ) foram registrados na zona costeira, no entanto não foi observada diferença significativa sazonal ( $p < 0,05$ ) (Figura 4d).

Quanto aos nutrientes, nitrato ( $12,94 \pm 8,74$   $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ), nitrito ( $0,65 \pm 0,61$   $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ), íon amônio ( $14,75 \pm 15,21$   $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ;  $p < 0,05$ ) e silicato ( $2,61 \pm 1,32$   $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ) apresentaram diferença significativa espacial e sazonal com nítida distribuição ao longo das zonas estuarinas e concentrações mais elevadas na zona mais interna principalmente durante o período de transição (Figura 5a, b, c, f). De acordo com as diferentes formas nitrogenadas que constituem o NID ( $28,35 \pm 19,91$   $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ;  $p < 0,001$ ), íon amônio foi predominante em 58% dos dados, seguido pelo nitrato com 42%.

**Figura 5.** Variação sazonal e espacial dos nutrientes e Razão Redfield no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.



PID ( $0,37 \pm 0,36 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ;  $p=0,002$ ) apresentou apenas variação sazonal significativa com maiores concentrações durante o período de transição na zona mais interna do estuário (Figura 5e). Quanto a Razão Redfield no ERP, a razão NID:PID ( $143,65 \pm 162,14$ ) foi maior que a proporção 16:1 ao longo de todo o estuário definindo o fósforo como fator limitante (Figura 5g).

A razão NID:Si ( $13,60 \pm 12,47$ ) apresentou-se maior que 1 em todos os pontos amostrais indicando limitação por silicato (Figura 5h). Em relação a razão Si:PID ( $14,23 \pm 16,29$ ), 64% dos dados registraram valores maiores que 1 e 36% menor que 1 indicando uma co-limitação por silicato e fósforo, respectivamente (Figura 5i).

**Tabela 2.** Estatística descritiva das variáveis físico-químicas e valores de p para a análise sazonal, entre as zonas do estuário e estratos da coluna d'água para o ERP. Onde: DP – Desvio Padrão; \* valor de  $p < 0,05$ ; - dados não apresentados para o segundo estrato da coluna da água (meio).

Variáveis	Média Geral $\pm$ DP	Sazonal p - valor	Zonas p - valor	Estratos p – valor
Salinidade (g.Kg <sup>-1</sup> )	24,72 $\pm$ 10,35	< 0,001*	< 0,001*	0,928
Temperatura (°C)	28,77 $\pm$ 0,55	< 0,001*	0,017*	0,861
Oxigênio dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	5,13 $\pm$ 3,28	< 0,001*	0,547	0,686
pH	7,59 $\pm$ 0,57	0,584	< 0,001*	0,176
Turbidez (NTU)	37,53 $\pm$ 37,67	< 0,001*	< 0,001*	0,234
MPS (mg.L <sup>-1</sup> )	119,43 $\pm$ 51,66	0,036*	0,107	0,039*
Transparência da água (cm)	61,10 $\pm$ 26,86	0,031*	0,008*	-
RSFA (W.m <sup>-2</sup> )	442,70 $\pm$ 337,88	0,018*	0,010*	<0,001*
Profundidade (m)	4,82 $\pm$ 1,76	0,999	< 0,001*	-
Nitrato ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	12,94 $\pm$ 8,74	< 0,001*	< 0,001*	0,576
Nitrito ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	0,65 $\pm$ 0,61	< 0,001*	< 0,001*	0,358
Íon amônio ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	14,75 $\pm$ 15,21	< 0,001*	0,05*	0,944
NID ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	28,35 $\pm$ 19,91	< 0,001*	< 0,001*	> 0,05
PID ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	0,37 $\pm$ 0,36	0,002*	0,431	0,157
Silicato ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	2,61 $\pm$ 1,32	< 0,001*	< 0,001*	0,003*

### 4.3 Composição e densidade fitoplanctônica no ERP

No ERP, foram identificados 171 táxons divididos em sete divisões taxonômicas, as quais incluíram a divisão Bacillariophyta (74,9%), Miozoa (11,1%), Euglenophyta (5,8%), Cyanobacteria (4,7%), Chlorophyta (1,7%), Charophyta (1,2%) e Ochrophyta (0,6%). Dentre estas, Bacillariophyta foi a mais representativa com 128 táxons, seguido pela divisão Miozoa com 19 táxons (Tabela 3). As diatomáceas foram classificadas quanto as suas estratégias ecológicas, sendo 51 espécies penadas solitárias, 35 cêntricas formadoras de cadeia, 30 cêntricas solitárias e 12 penadas formadoras de cadeia.

**Tabela 3.** Composição fitoplanctônica, ocorrência dos táxons e densidade média ( $\times 10^3$  cel.L<sup>-1</sup>) nos períodos sazonais e zonas no ERP. Onde: C - período chuvoso; T - período de transição; E - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.

Categoria taxonômica	Períodos			Zonas			Dens. média
	C	T	E	1	2	3	
<b>Cyanobacteria</b>							
<i>Komvophoron schmidlei</i>			*		*		2,4
<i>Lyngbya</i> sp.	*	*	*	*	*	*	5,2
<i>Oscillatoria limosa</i>	*			*			2,4
<i>Oscillatoria perornata</i>		*		*			2,4
<i>Oscillatoria</i> sp.			*		*		2,4
<i>Phormidium</i> sp.		*		*			2,4
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	*	*	*	*	*	*	3,0
<i>Spirulina subsalsa</i>	*			*	*		2,4
<b>Euglenophyta</b>							
<i>Euglena acus</i> var. <i>detonii</i>	*			*			2,4
<i>Euglena gracilis</i>	*			*	*	*	118,3
<i>Lepocinclis oxyuris</i>	*	*	*	*	*	*	5,5
<i>Eugleniformis proxima</i>	*	*	*	*	*	*	3,3
<i>Euglena</i> sp.	*	*	*	*	*	*	3,1
<i>Peranema</i> sp.	*	*	*	*	*	*	13,5
<i>Phacus</i> sp.	*	*		*		*	2,4
<i>Trachelomonas hispida</i>	*			*			4,8
<i>Trachelomonas playfairi</i>	*	*		*			3,6
<i>Trachelomonas</i> sp.		*		*			2,4
<b>Miozoa</b>							
<i>Cucumeridinium coeruleum</i>	*	*		*	*		2,4
<i>Gymnodinium galeiforme</i>		*		*			4,8
<i>Gymnodinium mitratum</i>		*		*			4,8
<i>Gymnodinium</i> sp.	*	*		*	*		7,0
<i>Oxytoxum globosum</i>	*	*		*	*		3,2
<i>Oxytoxum</i> sp.		*		*			2,4
<i>Peridinium</i> sp.	*	*	*	*	*		10,4
<i>Peridinium volzii</i>	*			*			4,8
<i>Prorocentrum gracile</i>		*		*			4,8
<i>Prorocentrum micans</i>	*	*	*	*	*		3,6
<i>Protoperidinium compressum</i>	*			*			2,4
<i>Protoperidinium concavum</i>	*	*	*	*	*		6,4
<i>Protoperidinium conicum</i>	*			*			2,4
<i>Protoperidinium leonis</i>		*		*			2,4
<i>Protoperidinium</i> spp.	*	*	*	*	*	*	28,9
<b>Bacillariophyta</b>							
<i>Pyrophacus horologium</i>		*			*	*	2,4
<i>Scripsiella</i> sp.	*	*	*		*	*	11,0
<i>Tripus furca</i>		*			*		2,4
<i>Tripus lineatus</i>		*			*		3,2
<b>Bacillariophyta</b>							
<i>Actinoptychus annulatus</i>	*	*		*	*		2,4
<i>Actinoptychus senarius</i>	*	*	*	*	*	*	15,5
<i>Actinoptychus</i> sp.	*	*	*	*	*	*	4,5
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	*	*	*		*		4,2
<i>Aulacoseira</i> sp.	*	*	*	*	*	*	6,0
<i>Bacillaria paxillifera</i>	*	*	*		*		3,1
<i>Bellerochea horologicalis</i>		*	*		*		4,1
<i>Bellerochea malleus</i>	*	*	*		*		3,0
<i>Biddulphia alternans</i>	*		*	*	*		3,2
<i>Caloneis permagna</i>	*	*		*			2,4
<i>Campylodiscus clypeus</i>	*	*		*	*		2,4
<i>Campylodiscus fastuosus</i>		*		*			2,4
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	*	*		*	*		2,4
<i>Chaetoceros pendulus</i>	*	*		*	*		3,2
<i>Chaetoceros peruvianus</i>		*		*	*		2,4
<i>Chaetoceros subtilis</i> var. <i>abnormis</i>		*		*	*		2,4
<i>Chaetoceros</i> sp.		*	*	*	*		2,4
<i>Climacosphenia</i> sp.	*			*			2,4
<i>Cocconeis placentula</i>	*			*			2,4
<i>Cocconeis scutellum</i>	*	*		*	*		4,0
<i>Cocconeis</i> sp.		*	*	*	*		2,9
<i>Coscinodiscopsis jonesiana</i>	*	*		*	*		2,4
<i>Coscinodiscus centralis</i>	*	*	*	*	*	*	3,3
<i>Coscinodiscus concinnus</i>	*	*		*	*	*	2,9
<i>Coscinodiscus curvatulus</i>	*			*	*		4,8
<i>Coscinodiscus gigas</i>	*			*	*		2,4
<i>Coscinodiscus granii</i>		*		*	*		2,4
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	*	*	*	*	*	*	7,7
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	*	*	*	*	*	*	2,6
<i>Coscinodiscus rothii</i>	*	*	*	*	*	*	2,4

<i>Coscinodiscus</i> sp.	*	*	*	*	2,4	<i>Pleurosigma angulatum</i>	*	*	*	*	*	5,6
<i>Craticula cuspidata</i>	*	*	*	*	*	5,3	<i>Pleurosigma formosum</i>		*		*	2,4
<i>Cyclotella striata</i>	*	*	*	*	*	2,6	<i>Pleurosigma normanii</i>		*		*	4,8
<i>Cyclotella stylorum</i>	*	*	*	*	*	3,3	<i>Pleurosigma</i> sp.	*	*	*	*	3,9
<i>Cyclotella</i> sp.	*	*	*	*	*	14,4	<i>Psammodictyon constrictum</i>	*		*	*	2,4
<i>Cylindrotheca closterium</i>	*	*	*	*	*	77,0	<i>Psammodictyon panduriforme</i>	*		*	*	2,4
<i>Cymbella</i> sp.	*			*	*	3,6	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	*	*	*	*	2,4
<i>Diploneis bombus</i>	*	*	*	*	*	3,7	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	*	*		*	2,4
<i>Diploneis ovalis</i>	*	*	*	*	*	2,8	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	*	*	*	*	3,6
<i>Diploneis splendida</i>	*	*	*	*	*	2,4	<i>Rhaphoneis amphiceros</i>	*	*	*	*	2,9
<i>Diploneis weissflogii</i>	*	*	*	*	*	2,9	<i>Rhizosolenia acuminata</i>		*		*	2,4
<i>Diploneis</i> sp.	*	*	*	*		3,8	<i>Rhizosolenia hebetata</i>		*		*	4,0
<i>Discostella stelligera</i>	*	*		*		2,4	<i>Rhizosolenia setigera</i>	*	*	*	*	4,5
<i>Ditylum brightwellii</i>			*		*	2,4	<i>Skeletonema costatum</i>		*		*	2,9
<i>Encyonema</i> sp.			*		*	2,4	<i>Skeletonema tropicum</i>		*		*	3,0
<i>Entomoneis alata</i>	*	*	*	*	*	26,6	<i>Skeletonema</i> sp.	*		*		2,4
<i>Eupodiscus radiatus</i>	*	*	*	*	*	17,3	<i>Surirella febigeri</i>				*	2,4
<i>Fragillaria</i> sp.	*	*	*	*	*	4,9	<i>Tabularia fasciculata</i>	*			*	2,4
<i>Frustulia rhomboides</i>	*			*		2,4	<i>Terpsinoë americana</i>	*	*	*	*	2,4
<i>Grammatophora marina</i>	*		*	*	*	3,6	<i>Terpsinoë musica</i>	*		*	*	2,4
<i>Grammatophora</i> sp.	*		*			2,4	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	*	*	*	*	2,0
<i>Guinardia delicatula</i>	*	*	*	*	*	3,7	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	*	*	*	*	18,2
<i>Guinardia flaccida</i>	*	*	*	*	*	3,6	<i>Thalassionema</i> sp.	*	*	*	*	2,8
<i>Guinardia striata</i>	*	*		*		5,9	<i>Thalassiosira eccentrica</i>		*		*	2,9
<i>Gyrosigma attenuatum</i>			*		*	2,8	<i>Thalassiosira leptopus</i>	*	*	*	*	3,0
<i>Gyrosigma balticum</i>	*	*	*	*	*	2,4	<i>Thalassiosira lineata</i>	*		*		2,4
<i>Gyrosigma eximium</i>	*	*	*	*	*	2,4	<i>Thalassiosira pacifica</i>	*	*		*	2,4
<i>Halamphora oligotraphenta</i>			*		*	2,4	<i>Thalassiosira plicata</i>	*			*	7,2
<i>Halamphora</i> sp.	*	*	*	*	*	2,9	<i>Thalassiosira rotula</i>	*	*	*	*	105,5
<i>Helicotheca tamesis</i>	*	*		*		4,2	<i>Thalassiosira subtilis</i>	*	*	*	*	9,9
<i>Hemiaulus sinensis</i>	*	*	*	*	*	5,6	<i>Thalassiosira</i> sp.	*	*	*	*	28,6
<i>Lithodesmium undulatum</i>	*	*	*	*	*	4,3	<i>Triceratium favus</i>	*	*	*	*	2,4
<i>Mastogloia baltica</i>	*		*		*	2,4	<i>Trieres chinensis</i>	*	*	*	*	14,0
<i>Melchersiella hexagonalis</i>			*		*	2,4	<i>Trieres mobiliensis</i>	*	*	*	*	2,8
<i>Melosira nummuloides</i>	*	*	*	*	*	2,4	<i>Trieres regia</i>	*	*	*	*	5,7
<i>Navicula clementis</i> var. <i>linearis</i>	*	*	*	*	*	6,2	<i>Tryblionella granulata</i>	*	*	*	*	3,3
<i>Navicula gottlandica</i>	*	*	*	*	*	3,0	<i>Tryblionella hungarica</i>	*		*	*	2,4
<i>Navicula tripunctata</i>	*	*	*	*	*	7,8	<i>Tryblionella punctata</i>	*		*	*	2,4
<i>Navicula</i> spp.	*	*	*	*	*	4,0	<i>Tryblionella</i> sp.	*	*	*	*	3,4
<i>Nitzschia clausii</i>	*		*	*	*	2,4	<i>Tryblionella cocconeiformis</i>	*		*	*	2,4
<i>Nitzschia obtusa</i>	*	*	*	*	*	2,4	<i>Ulnaria capitata</i>	*	*	*	*	2,4
<i>Nitzschia obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i>	*	*		*		2,8	<i>Ulnaria ulna</i>	*	*	*	*	2,4
<i>Nitzschia reversa</i>	*	*	*	*	*	3,6	<i>Zygoceros ehrenbergii</i>	*		*	*	2,4
<i>Nitzschia sigma</i>	*	*	*	*	*	2,4	<b>Ochrophyta</b>					
<i>Nitzschia tryblionella</i>	*		*	*	*	2,4	<i>Dictyocha fibula</i>	*		*	*	2,4
<i>Nitzschia</i> spp.	*	*	*	*	*	3,5	<b>Chlorophyta</b>					
<i>Odontella aurita</i>			*		*	3,0	<i>Chlamydomonas proboscigera</i>			*		
<i>Odontella longicruris</i>	*	*	*	*	*	2,7	var. <i>conferta</i>	*	*			12,0
<i>Odontella turgida</i>	*	*	*	*	*	2,4	<i>Chlamydomonas</i> spp.	*	*	*	*	7,5
<i>Odontella</i> sp.	*	*	*	*	*	3,6	<i>Oocystis lacustris</i>		*		*	3,2
<i>Paralia sulcata</i>	*	*	*	*	*	3,0	<b>Charophyta</b>					
<i>Parlibellus crucicula</i>	*	*	*	*	*	4,3	<i>Cosmarium botrytis</i>	*	*	*	*	3,2
<i>Petrodictyon gemma</i>	*		*	*		2,4	<i>Spirogyra</i> sp.	*		*	*	2,4

A análise de SIMPER revelou o percentual de contribuição das espécies caracterizantes das zonas estuarinas nos diferentes períodos sazonais (Tabela 4). Os resultados mostraram que os grupos referentes a ZC (78,02%) e ZM (71,69%) no período de estiagem apresentaram as maiores similaridades, seguidos por ZM (57,92%), ZC (41,67%) e

ZR (40,60%) no período de transição, e ZC (47,38%), ZM (41,64%), ZR (24,74%) no período chuvoso.

**Tabela 4.** Espécies caracterizantes do fitoplâncton que contribuíram para a média de similaridade dos grupos formados a partir das zonas e períodos sazonais, com percentual de contribuição entre parêntesis. Onde: ZR - zona de rio; ZM - zona de mistura; e ZC - zona costeira.

	Espécies caracterizantes	Densidade média ( $\times 10^3 \text{cel.L}^{-1}$ )	Similaridade média	Contribuição (%)	
Chuvoso	ZR (24,74%)	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	4,8	4,82	19,46
		<i>Coscinodiscus centralis</i>	2,8	2,9	11,7
		<i>Craticula cuspidata</i>	2,0	2,53	10,24
		<i>Trieres chinensis</i>	1,5	2,01	8,11
		<i>Diploneis bombus</i>	2,2	1,49	6
	ZM (41,64%)	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	10,4	11,93	28,65
		<i>Thalassiosira rotula</i>	7,0	4,57	10,98
		<i>Trieres chinensis</i>	7,0	4,33	10,39
		<i>Thalassionema nitzschioides</i>	4,8	3,4	8,17
		<i>Diploneis bombus</i>	3,7	2,57	6,18
	ZC (47,38%)	<i>Trieres chinensis</i>	42,9	23,48	49,56
		<i>Thalassiosira rotula</i>	8,8	5,64	11,9
		<i>Thalassionema nitzschioides</i>	8,0	4,19	8,84
		<i>Lepocinlis oxyuris</i>	8,4	2,95	6,23
		<i>Pleurosigma angulatum</i>	4,8	2,89	6,1
Transição	ZR (40,60%)	<i>Entomoneis alata</i>	19,9	15,68	38,62
		<i>Thalassiosira sp.</i>	10,8	4,8	11,83
		<i>Chlamydomonas spp.</i>	9,0	4,26	10,49
		<i>Parlibellus crucicula</i>	4,8	3,46	8,52
		<i>Nitzschia reversa</i>	4,2	2,58	6,36
		<i>Cyclotella sp.</i>	4,8	2,56	6,31
	ZM (57,92%)	<i>Thalassiosira sp.</i>	88,6	28,57	49,33
		<i>Actinoptychus senarius</i>	22,9	7,26	12,54
		<i>Entomoneis alata</i>	23,2	5,59	9,66
		<i>Cylindrotheca closterium</i>	12,3	4,35	7,51
		<i>Thalassiosira rotula</i>	18,7	4,26	7,35
	ZC (41,67%)	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	38,6	10,08	24,19
		<i>Cylindrotheca closterium</i>	39,0	8,97	21,53
		<i>Thalassiosira rotula</i>	45,3	8,63	20,7
		<i>Thalassiosira sp.</i>	20,3	2,55	6,13
Estiagem	ZM (71,69%)	<i>Thalassiosira rotula</i>	2.247,8	58,95	82,23
		<i>Cylindrotheca closterium</i>	213,4	5,93	8,28
	ZC (78,02%)	<i>Thalassiosira rotula</i>	3.244,1	74,17	95,06

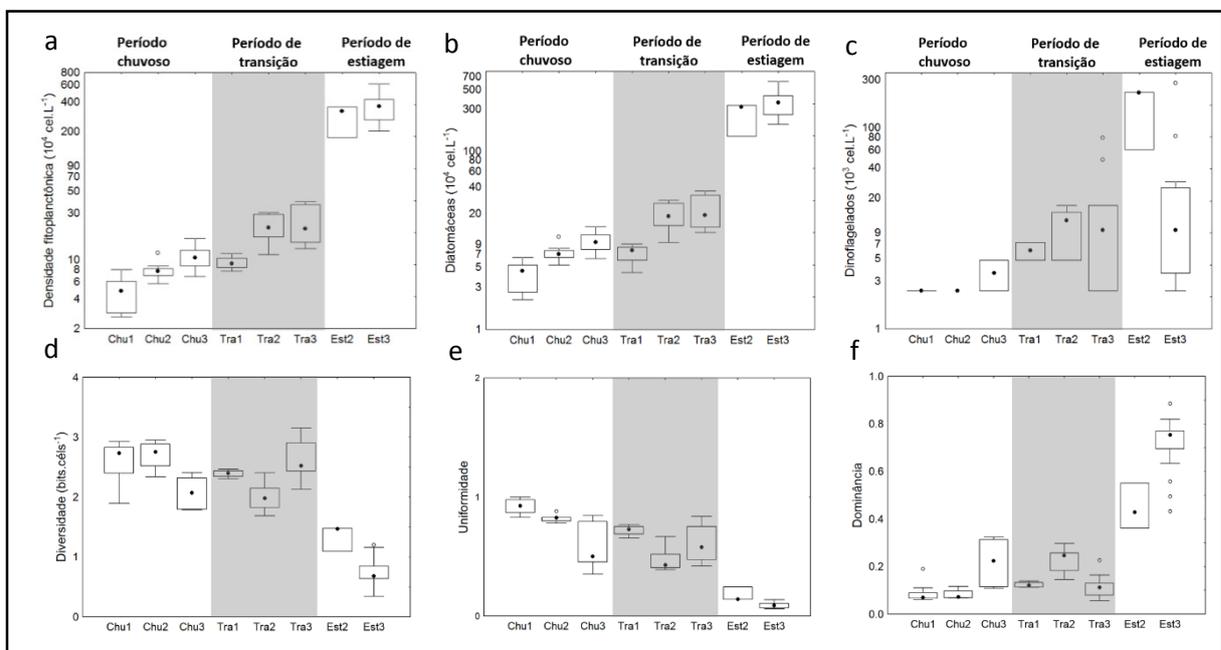
No período chuvoso, a principal espécie responsável pela formação dos grupos relacionados à ZR e ZM foi *Coscinodiscus oculus-iridis* (>19%) e na ZC as espécies caracterizantes foram *Trieres chinensis* (49,56%) e *Thalassiosira rotula* (11,9%). Durante o período de transição, a ZR incluiu principalmente as espécies *Entomoneis alata* (38,62%), *Thalassiosira sp.* (11,83%) e *Chlamydomonas spp.* (10,49%), enquanto que *Thalassiosira sp.* (49,33%) e *Actinoptychus senarius* (12,54%) contribuíram para a formação do grupo

pertencente à ZM. As diatomáceas *Thalassionema nitzschioides* (24,19%), *Cylindrotheca closterium* (21,53%) e *Thalassiosira rotula* (20,7%) apresentaram as maiores contribuições na ZC.

Devido às florações registradas na estiagem, a diatomácea *Thalassiosira rotula* foi a principal espécie caracterizante de ambas as zonas estuarinas, com mais de 80% de contribuição. A análise de ANOSIM confirmou a formação dos grupos fitoplanctônicos quanto à sazonalidade (Global R: 0,749;  $p=0,1\%$ ) e zonas estuarinas (Global R: 0,547;  $p=0,1\%$ ) apresentando diferença significativa entre os mesmos (Apêndice A).

A densidade da comunidade fitoplanctônica apresentou variação significativa entre os períodos sazonais ( $p<0,001$ ) e zonas  $p<0,001$ ) no ERP, com os menores valores registrados no período chuvoso ( $7,2\pm 3,3 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ), seguido pelo período de transição ( $21,4\pm 9,9 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e um aumento significativo durante a estiagem ( $349,2\pm 108,9 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ). Espacialmente, foi observado um gradiente crescente relacionado a influência salina, da zona mais interna do estuário até a zona costeira (Figura 6a).

**Figura 6.** Variação sazonal e espacial da densidade fitoplanctônica e índices ecológicos no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.



As diatomáceas são os organismos dominantes ( $122,3\pm 168,4 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$ ) no ERP, contribuindo com 56-99% da densidade total, seguidas pelos dinoflagelados ( $16,1\pm 48,2 \times 10^3$

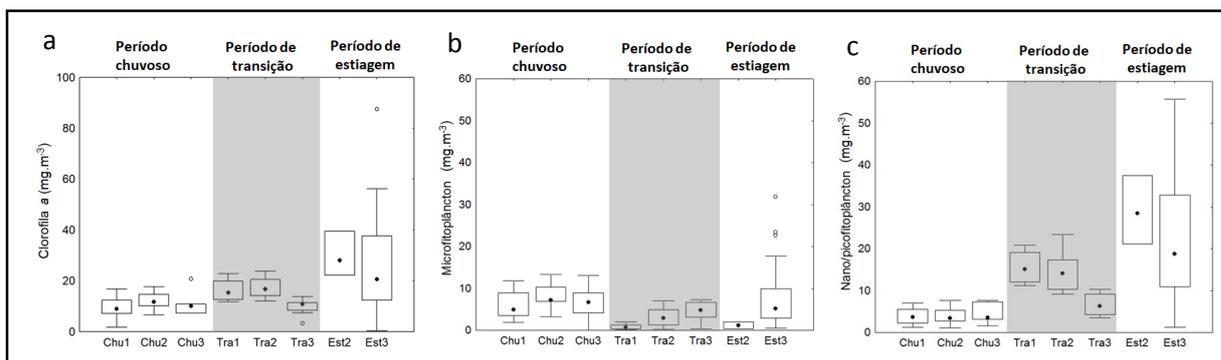
cel.L<sup>-1</sup>), com 2-22% de contribuição e densidades representativas no período de estiagem (Figura 6b, c). A elevada densidade celular observada durante o período de estiagem esteve associada com a floração da diatomácea *Thalassiosira rotula* ( $105,4 \pm 159,3 \times 10^4$  cel.L<sup>-1</sup>) ao longo de todo o estuário.

Dentre os índices ecológicos, a diversidade específica e a uniformidade variaram de média e baixa de acordo com os períodos sazonais ( $p < 0,001$ ) e as zonas estuarinas ( $p < 0,001$ ). Durante o período chuvoso e de transição, foi identificada maior diversidade ( $2,45 \pm 0,36$  bits.cel<sup>-1</sup>) e uniformidade na distribuição dos indivíduos ( $0,69 \pm 0,19$ ). Enquanto que no período de estiagem, a elevada abundância de diatomáceas contribuíram para a diminuição dos índices de diversidade ( $0,82 \pm 0,27$  bits.cel<sup>-1</sup>) e uniformidade ( $0,10 \pm 0,03$ ) (Figura 6d, e). O padrão inverso foi observado para o índice de dominância ( $0,31 \pm 0,27$ ), sendo os maiores valores registrados no período de estiagem (Figura 6f).

#### 4.4 Biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) no ERP

As concentrações de clorofila *a* ( $16,89 \pm 13,07$  mg.m<sup>-3</sup>) apresentaram variação significativa entre os períodos sazonais ( $p < 0,001$ ), com os maiores valores obtidos durante o período de estiagem (Figura 7a). Não observada diferença significativa entre as zonas ( $p > 0,05$ ).

**Figura 7.** Variação sazonal e espacial das concentrações de clorofila *a*, microfitoplâncton e nano/picofitoplâncton no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.

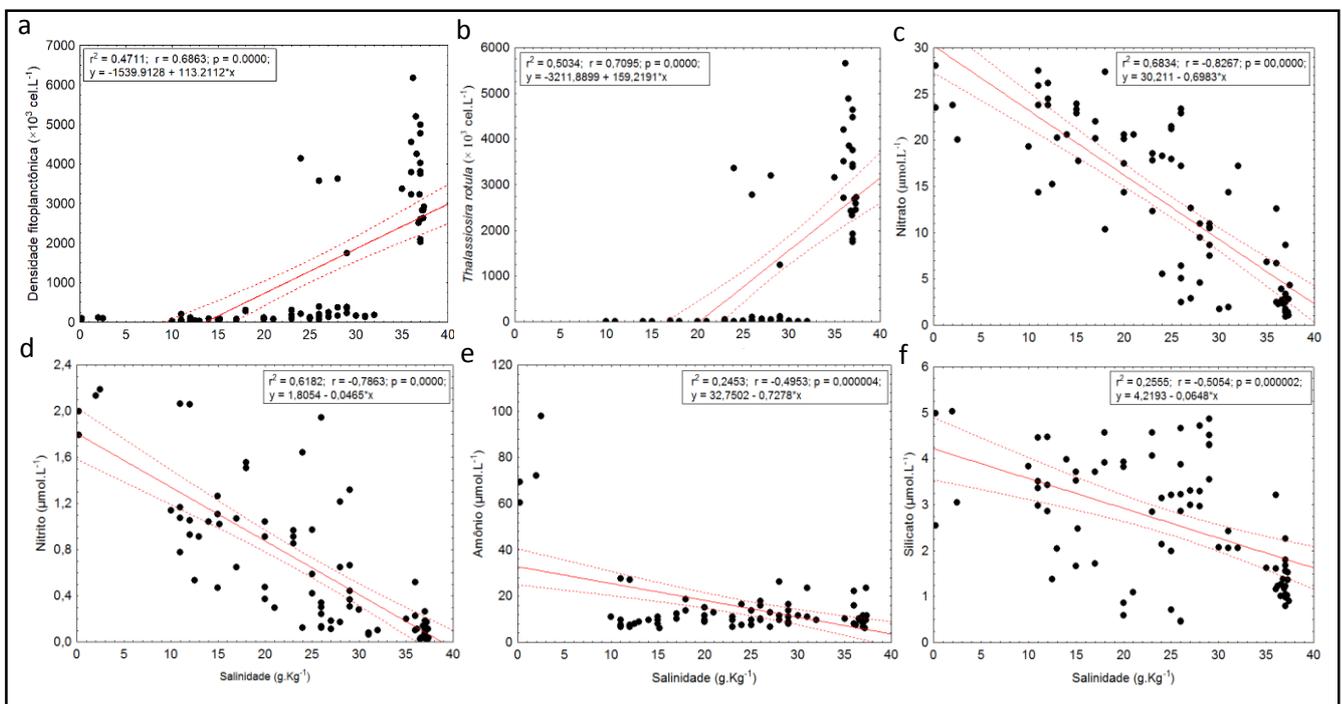


Em relação às frações do fitoplâncton, o nano/picofitoplâncton ( $12,51 \pm 11,48$  mg.m<sup>-3</sup>) foi a fração dominante em 59% dos dados acompanhando a distribuição da clorofila *a* total, seguido pelo microfitoplâncton com 41% que apresentou as maiores médias ( $5,97 \pm 5,40$  mg.m<sup>-3</sup>) no período chuvoso (Figura 7b, c).

#### 4.5 Influência do gradiente de salinidade na distribuição da densidade fitoplanctônica e nutrientes no ERP

Para demonstrar graficamente a distribuição da densidade fitoplanctônica e principais nutrientes influenciados pelo gradiente salino no ERP, foi estabelecida a regressão linear entre a densidade total, densidade da *Thalassiosira rotula*, compostos nitrogenados, silicato e a salinidade (Figura 8).

**Figura 8.** Distribuição da densidade fitoplanctônica, densidade da *Thalassiosira rotula*, compostos nitrogenados e silicato ao longo do gradiente de salinidade no ERP.

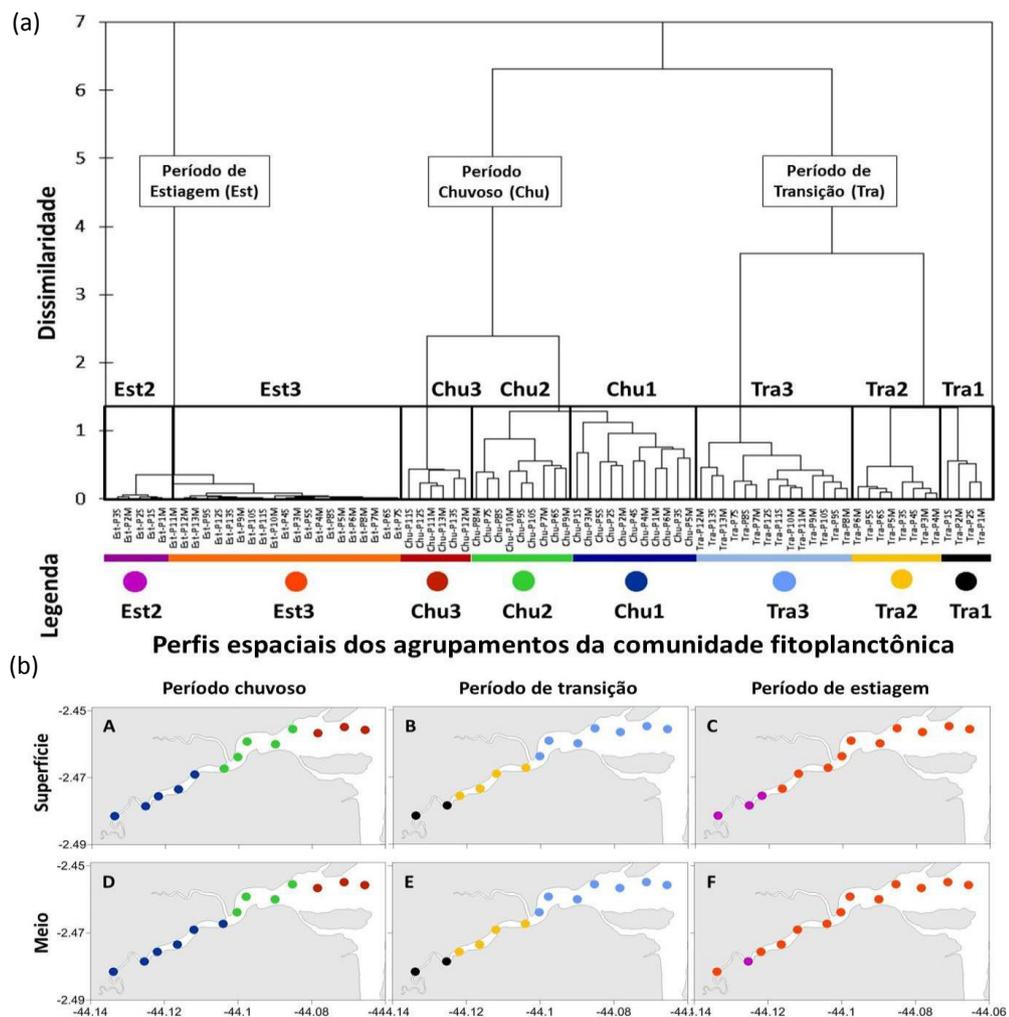


Desta forma, foi observada uma regressão linear positiva entre a densidade fitoplanctônica total com o gradiente salino ( $r=0,68$ ;  $p<0,001$ ) (Figura 8a). A diatomácea *Thalassiosira rotula* acompanhou de forma positiva a variação espacial e temporal da salinidade ( $r=0,70$ ;  $p<0,001$ ) ao longo do estudo (Figura 8b). E em contrapartida, os nutrientes nitrato ( $r= -0,82$ ;  $p<0,001$ ), nitrito ( $r= -0,78$ ;  $p<0,001$ ), amônio ( $r= -0,49$ ;  $p<0,001$ ) e silicato ( $r= -0,50$ ;  $p<0,001$ ) revelaram uma regressão linear negativa com a salinidade, indicando forte influência continental (Figura 8c, d, e, f).

#### 4.6 Estrutura da comunidade fitoplanctônica ao longo do gradiente salino no ERP

A partir da análise de agrupamento, uma distribuição da comunidade fitoplanctônica foi identificada em relação aos períodos sazonais e gradiente salino. Houve a formação de três grandes grupos, os quais tiveram relacionados aos períodos sazonais: período chuvoso (Chu), período de transição (Tra) e período de estiagem (Est) (Figura 9).

**Figura 9.** Síntese das associações fitoplanctônicas ao longo do ERP. (a) Agrupamento das amostras a partir da matriz dos táxons fitoplanctônicos e (b) perfis espaciais dos agrupamentos da comunidade fitoplanctônica durante os períodos sazonais e zonas estuarinas. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; 1 - zona de rio; 2 - zona de mistura; e 3 - zona costeira.



Tais grupos foram divididos em subgrupos de acordo com o gradiente espacial: período chuvoso (Chu1, Chu2 e Chu3), de transição (Tra1, Tra2 e Tra3) e estiagem (Est2 e Est3), com nível de dissimilaridade de 7% (Figura 9a). A partir das associações da comunidade fitoplanctônica, foram elaborados perfis horizontais indicando a localização espacial dos mesmos (Figura 9b).

No período chuvoso, o grupo Chu1 incluiu amostras (11) localizadas na zona interna do estuário sobre maior influência fluvial. Neste grupo, foram observadas as menores densidades fitoplanctônicas ( $4,3 \pm 2,1 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e concentrações de clorofila *a* ( $9,69 \pm 4,29 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Quanto às condições ambientais, o grupo foi caracterizado pelos maiores valores de turbidez ( $97,09 \pm 62,45 \text{ NTU}$ ) e nitrato ( $22,20 \pm 3,65 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e menores salinidades ( $12,51 \pm 1,83 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), PID ( $0,18 \pm 0,08 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e concentrações de amônio ( $8,27 \pm 1,64 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

O grupo Chu2, composto por amostras (9) pertencentes a zona de mistura, apresentou densidade fitoplanctônica com média de  $7,8 \pm 1,7 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$  e clorofila *a* com  $12,34 \pm 3,40 \text{ mg.m}^{-3}$ . A salinidade obteve média de  $18,22 \pm 2,53 \text{ g.Kg}^{-1}$  e em relação aos nutrientes, foram observadas elevadas concentrações de nitrato ( $19,99 \pm 2,71 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e amônio ( $11,08 \pm 2,08 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e baixo PID ( $0,21 \pm 0,19 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

O grupo Chu3 incluiu as amostras (6) localizadas na zona mais externa do estuário sob maior influência costeira. Nessa zona, foram registradas as maiores densidades celulares ( $10,9 \pm 3,5 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) para o período chuvoso e elevadas concentrações de clorofila *a* ( $11,09 \pm 5,0 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Caracterizada por elevada salinidade ( $25 \pm 1,09 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), PID ( $0,48 \pm 0,39 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e baixo silicato ( $1,61 \pm 1,23 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

No período de transição, o grupo Tra1 formado por amostras (4) referentes à zona de rio, apresentou maiores densidades fitoplanctônicas ( $9,3 \pm 1,5 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e concentrações de clorofila *a* ( $16,35 \pm 4,87 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Neste grupo foi registrada a menor salinidade ( $1,22 \pm 1,20 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) e elevadas concentrações dos compostos nitrogenados (NID  $100,87 \pm 13,29 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e fosfatados (PID  $1,27 \pm 0,50 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

O grupo Tra2, composto por amostras (8) pertencentes à zona de mistura, obteve elevadas densidades celulares ( $22,1 \pm 6,9 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e concentrações de clorofila *a* ( $17,37 \pm 4,11 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Foram registradas salinidades intermediárias ( $20,25 \pm 6,71 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), maiores valores de silicato ( $4,41 \pm 0,27 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e menores concentrações dos compostos nitrogenados (NID  $33,34 \pm 12,83 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e fosfatados (PID  $0,47 \pm 0,14 \text{ } \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

O grupo Tra3 incluiu amostras (14) situadas na zona externa do estuário sob maior influência costeira, apresentando densidade celular de  $24,5 \pm 10,4 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$  e concentrações de clorofila *a* de  $10,13 \pm 2,62 \text{ mg.m}^{-3}$ . Em relação as demais zonas, foi caracterizada pelas maiores salinidades ( $28,21 \pm 2,32 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), menor turbidez ( $15,62 \pm 3,87 \text{ NTU}$ ) e um decréscimo significativo nas concentrações de nutrientes (NID  $21,50 \pm 8,77$ ; PID  $0,35 \pm 0,17$  e silicato  $3,08 \pm 0,76 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

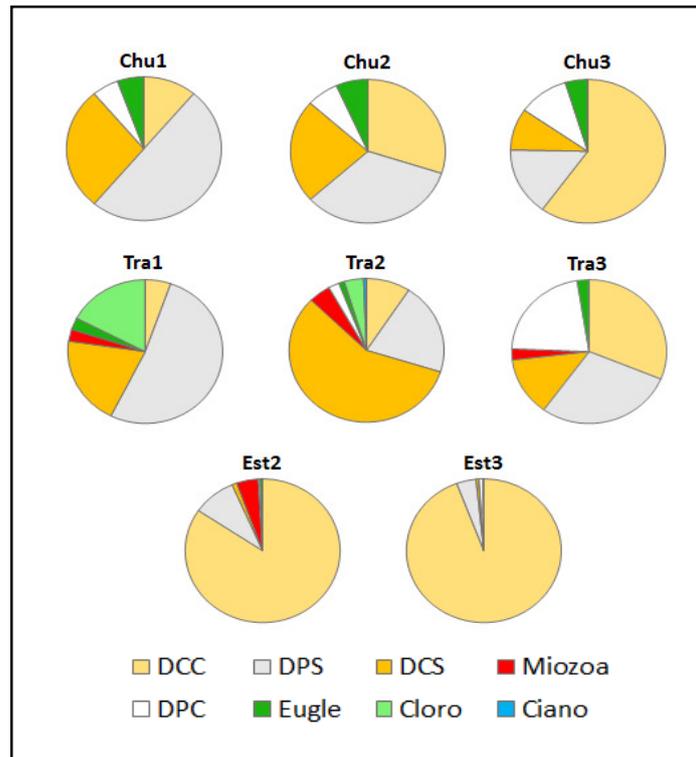
Durante o período de estiagem, os grupos Est2 e Est3 revelaram uma distribuição homogênea formados por amostras (26) sobre maior influência costeira. Estas apresentaram as maiores densidades fitoplanctônicas ( $349,2 \pm 108,9 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e elevadas concentrações de clorofila *a* ( $26,41 \pm 18,45 \text{ mg.m}^{-3}$ ), sendo caracterizados pelos maiores valores de salinidade ( $35,2 \pm 3,79 \text{ g.Kg}^{-1}$ ), baixa turbidez ( $23,54 \pm 5,54 \text{ NTU}$ ), NID ( $16,44 \pm 8,29 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ), PID ( $0,32 \pm 0,37 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e silicato ( $1,76 \pm 1,08 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ).

De forma geral, a comunidade fitoplanctônica apresentou um padrão crescente da densidade celular da zona de rio até a zona costeira do estuário em todos os períodos sazonais. Nos período chuvoso e de transição foi identificada a maior influência continental, fato diferente ocorreu no período de estiagem, onde o regime costeiro influenciou fortemente a distribuição da densidade fitoplanctônica e condições ambientais.

Quanto à distribuição dos grupos taxonômicos, o predomínio das diatomáceas foi observado durante todo o estudo, sendo que no período chuvoso e de transição as espécies penadas solitárias (52-33%) foram mais expressivas na zona mais interna do estuário sobre maior influência fluvial (Chu1, Chu2 e Tra1), enquanto que as zonas mais próximas da costa apresentaram um aumento de espécies cêntricas solitárias e formadoras de cadeia (Chu3, Tra2 e Tra3).

Durante a estiagem, florações de diatomáceas cêntricas formadoras de cadeia (*Thalassiosira rotula*; 84-94%) foram responsáveis pela elevada densidade total, diminuindo a ocorrência dos demais táxons neste período (Figura 10).

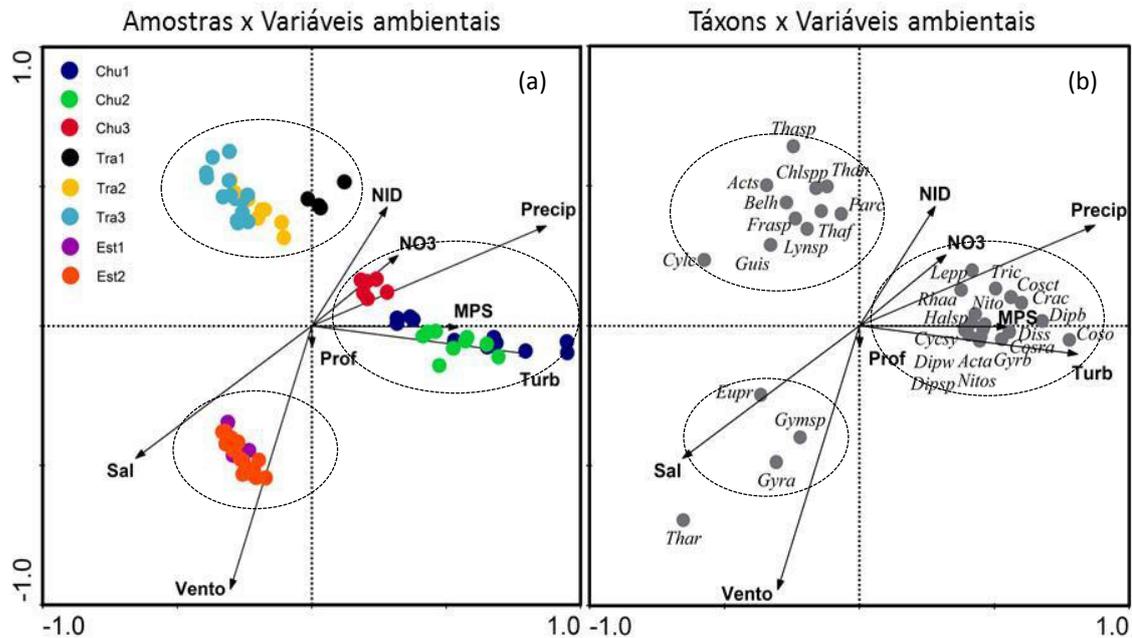
**Figura 10.** Distribuição dos grupos taxonômicos em relação aos períodos sazonais e zonas estuarinas no ERP. Onde: DCC - diatomáceas cêntricas formadoras de cadeia; DCS - diatomáceas cêntricas solitárias; DPC - diatomáceas penadas formadoras de cadeia; DPS - diatomáceas penadas solitárias; Miozoa; Eugle - euglenófitas; Cloro - clorófitas; Ciano - cianobactérias.



#### 4.7 Fatores controladores da comunidade fitoplanctônica no ERP

A Análise de Redundância Canônica (RDA) avaliou a relação entre as variáveis ambientais e os táxons fitoplanctônicos selecionados (Apêndice B) para o ERP, evidenciando a influência sazonal e espacial na distribuição de 8 variáveis significativas ( $p < 0,05$ ) das 19 variáveis testadas, com 47,6% da variação explicada para os dois primeiros eixos (Figura 11 e Tabela 5).

**Figura 11.** Análise de Redundância Canônica (RDA) para as variáveis ambientais e comunidade fitoplanctônica no ERP. (a) Diagrama com a relação das amostras fitoplanctônicas com as variáveis ambientais e (b) diagrama com a relação dos táxons selecionados com as variáveis ambientais. Os códigos das variáveis são expressos na Tabela 5 e dos táxons selecionados no Apêndice B.



**Tabela 5.** Resumo da Análise de Redundância Canônica (RDA) para as variáveis ambientais no ERP.

Variáveis ambientais	Abreviações	Eixo 1 (28,8%)	Eixo 2 (18,8%)	p
Precipitação	Precip	0,85	0,34	0,01
Ventos	Ventos	-0,30	-0,90	0,01
Profundidade	Prof	0,00	-0,07	0,05
Salinidade	Sal	-0,64	-0,45	0,01
Material Particulado em Suspensão	MPS	0,53	0,00	0,01
Turbidez	Turb	0,79	-0,10	0,01
Nitrato	NO3	0,31	0,24	0,01
Nitrogênio Inorgânico Dissolvido	NID	0,27	0,41	0,01

O eixo 1 explicou 28,8% das variâncias dos dados, indicando que as condições ambientais são fortemente influenciadas pela sazonalidade (precipitação), gradiente de salinidade e a disponibilidade de luz (turbidez e MPS). Este agrupou as amostras pertencentes ao período chuvoso (Chu1, Chu2 e Ch3) na porção positiva e as amostras do período de transição (Tra1, Tra2 e Tra3) e estiagem (Est2 e Est3) na porção negativa do eixo (Figura 11a). A precipitação esteve correlacionada positivamente com a turbidez e MPS e inversamente com a salinidade.

Esse cenário influenciou diretamente na distribuição dos táxons, relacionando o período chuvoso com táxons do gênero *Coscinodiscus* (*C. oculus-iridis*, *C. centralis*, *C. radiatus*), *A. annulatus*, *C. stylorum*, *C. cuspidata*, *D. stelligera*, *D. bombus*, *D. weissflogii*, *Diploneis* sp., *G. balticum*, *Halamphora* sp., *N. obtusa*, *R. amphiceros*, *T. chinensis*, *L. oxyuris*, o período de transição com as espécies *Thalassiosira* sp., *Chlamydomonas* spp., *T. nitzschoides*, *A. senarius*, *B. horologicalis*, *Fragillaria* sp., *T. frauenfeldii*, *Lyngbya* sp., *G. striata*, *C. closterium*, e o período de estiagem com *T. rotula*, *E. radiatus*, *G. attenuatum* e *Gymnodinium* sp. (Figura 11b).

O eixo 2, por sua vez, explicou 18,8% da variabilidade dos dados, sendo caracterizado principalmente pela influência dos ventos e a disponibilidade de nutrientes, especialmente pelos compostos nitrogenados. Estes resultados revelaram que a velocidade dos ventos se correlacionou negativamente com as concentrações de nitrato e NID.

Corroborando com a RDA, a correlação de Pearson indicou uma co-variância das variáveis significativas com as demais variáveis, onde a precipitação pluviométrica apresentou correlação negativa com a densidade celular ( $r = -0,75$ ;  $p < 0,001$ ), a espécie *Thalassiosira rotula* ( $r = -0,73$ ;  $p < 0,001$ ), a salinidade ( $r = -0,67$ ;  $p < 0,001$ ), a velocidade dos ventos ( $r = -0,61$ ;  $p < 0,001$ ) e correlação positiva com os táxons do gênero *Coscinodiscus* ( $r = 0,64$ ;  $p < 0,001$ ). Quanto aos dados de biomassa fitoplanctônica, as concentrações de clorofila *a* correlacionaram-se positivamente com o nano/picofitoplâncton ( $r = 0,86$ ;  $p < 0,001$ ), confirmando significativamente ser a porção mais representativa (Apêndice C).

## 5 DISCUSSÃO

A comunidade fitoplanctônica em termos de composição, abundância e biomassa é determinada principalmente pelas condições físicas e ambientais no estuário tropical do rio Paciência, estuário verticalmente bem misturado onde as condições de macromarés são dominantes. Tendo o regime de precipitação, intensidade dos ventos e variação de salinidade como variáveis decisivas para a distribuição do fitoplâncton durante o período de estudo.

Desta forma, a dinâmica do fitoplâncton pode ser influenciada pelas condições meteorológicas (precipitação) (THOMPSON et al., 2015), descargas fluviais e regime de marés (GOES et al., 2014), as quais são intensificadas em ambientes costeiros e estuarinos sendo responsáveis por gradientes de salinidade e disponibilidade de nutrientes (LANE et al., 2007; NCHE-FAMBO et al., 2015).

A sazonalidade no ERP, assim como no norte-nordeste brasileiro, é controlada pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta é considerada um importante processo meteorológico atuante nos trópicos, com sistema de ventos alísios que resulta em dois cenários distintos: as maiores precipitações observadas nos meses de janeiro a maio e precipitação menos intensa nos demais meses do ano (DIAS et al., 2016; FUNCEME, 2016). A variação sazonal exerce forte influência na dinâmica dos organismos autotróficos, corroborando com estudos prévios sobre o fitoplâncton e condições ambientais da costa maranhense (AZEVEDO et al., 2008; RODRIGUES; CUTRIM, 2010; DUARTE-DOS-SANTOS et al., 2017).

A composição, densidade e biomassa fitoplanctônica apresenta distribuição espacial condicionada por um gradiente salino formado pelo regime de precipitação e descarga fluvial do Rio Paciência e seus afluentes, com mudanças graduais devido a dinâmica estuarina. O fitoplâncton caracteriza-se como excelente bioindicador ambiental em ecossistemas costeiros (RIMET; BOUCHEZ, 2012). Uma vez que, seu monitoramento implica em uma técnica de percepção e avaliação de fatores abióticos e bióticos para detectar mudanças ecológicas (LOVETT et al., 2007).

## 5.1 Principais variáveis ambientais determinantes para o fitoplâncton ao longo do gradiente estuarino no ERP

A partir da sazonalidade e da distribuição espacial do fitoplâncton em relação ao gradiente salino, foi identificado três cenários no estuário tropical do rio Paciência: zona de maior influência fluvial, zona de mistura e zona costeira, regidas pelo período chuvoso, de transição e de estiagem. Onde sazonalmente, a densidade e biomassa fitoplanctônica apresentaram um aumento gradual do período chuvoso ao período de estiagem, e espacialmente, esse aumento foi observado da zona interna a zona externa do estuário.

A maior influência da precipitação pluviométrica e descarga fluvial no estuário contribuem para a formação de um gradiente salino (NCHE-FAMBO et al., 2015), sendo que no estuário do rio Paciência tal gradiente foi marcado por três zonas distintas (zona de rio, zona de mistura e zona costeira) principalmente durante o **período chuvoso** e **período de transição**. Em regiões estuarinas tropicais, a salinidade é a principal variável hidrológica, depois das marés, condicionando diretamente os processos geoquímicos e distribuição dos organismos, uma vez a irradiação solar e temperatura apresentam pequena amplitude de variação (CAVALCANTI, 1976; PASSAVANTE, 1979).

Em relação ao gradiente salino, a comunidade fitoplanctônica apresenta distribuição caracterizada por diatomáceas com baixas densidades e biomassa fitoplanctônica nas zonas mais internas do estuário, sobre maior influência continental. Este padrão é determinado pela baixa disponibilidade de luz (elevados valores de MPS e turbidez) decorrente de fatores como maior descarga fluvial e menor tempo de residência da água (LANE et al., 2004; CHOUDHURY; PAL, 2014). Como as concentrações de nutrientes foram elevadas, a luminosidade torna-se um fator limitante para o fitoplâncton (SOETAERT et al., 1994; DOMINGUES et al., 2011).

A disponibilidade de nutrientes se relaciona diretamente com a atividade fitoplanctônica, onde a variabilidade destes compostos (nitrogênio, fósforo e silicato) é condicionada pela assimilação da comunidade autotrófica (EL-GAMMAL et al., 2017) e/ou à diluição desses elementos à medida que se aproxima da desembocadura do estuário (NORIEGA et al., 2005), atuando como indicadores de aporte continental.

Em ecossistemas aquáticos, o nitrogênio, assim como o fósforo, é essencial para o metabolismo e constituição celular (REED et al., 2016; ADAMS et al., 2013). A

disponibilidade de nitrogênio aos demais níveis tróficos é feita através da assimilação pelo fitoplâncton, sendo o nitrato consumido rapidamente por esses organismos, devido ser a forma mais estável e de menor custo energético (MARGALEF, 1978; GREGO et al., 2004). No ERP, o NID apontou o íon amônio como a sua principal forma nitrogenada, relacionando-se com o descarte de esgoto *in natura* indicando poluição recente do ambiente (VON SPERLING, 2005; CARVALHO, et al., 2015).

Vale ressaltar que durante o período de transição, as elevadas concentrações de nitrito ( $>2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) e amônio ( $> 60 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) na zona de rio foram superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 confirmando forte influência urbana sobre o estuário. Dentre suas principais fontes, destaca-se a fixação biológica, aporte orgânico e inorgânico de ecossistemas adjacentes e aporte de efluentes domésticos e industriais não tratados (VON SPERLING, 2005).

O **período de estiagem** apresentou forte influência costeira com valores de salinidade maiores que  $30 \text{ g.Kg}^{-1}$ , evidenciando as zonas mais externas do estuários (zona de mistura e zona costeira) e domínio das diatomáceas. Este período foi caracterizado pelas maiores abundâncias do fitoplâncton ( $> 1 \times 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$ ) e concentrações de clorofila *a* ( $> 20 \text{ mg.m}^{-3}$ ) registradas durante o estudo e baixas concentrações de nutrientes. Quanto às frações do fitoplâncton, diatomáceas cêntricas e formadoras de cadeia contribuíram para o aumento das concentrações do nano/picofitoplâncton, fração dominante da clorofila *a* total.

Este cenário é justificado pela maior salinidade e profundidade da camada fótica, sendo esta última dada pela menor turbidez e MPS (TEIXEIRA et al., 1988), e conseqüentemente maior penetração da RSFA que contribui para o maior desenvolvimento fitoplanctônico e depleção de nutrientes.

A maior disponibilidade de luz e maior tempo de residência da água podem favorecer os processos de eutrofização nas zonas costeiras (LANCELOT; MUYLAERT, 2011), como por exemplo, no estuário de macromaré de Schelde - Europa (MUYLAERT et al., 2009). Florações fitoplanctônicas foram registradas durante a estiagem, estas ocorrem preferencialmente quando a sua taxa de crescimento excede o tempo de residência da água, assim o desenvolvimento do fitoplâncton é inversamente correlacionado com a descarga fluvial (LUCAS et al., 2009).

O aporte continental é determinante para as variações nas concentrações de silicato e fosfato, os quais são nutrientes essenciais para o desenvolvimento das diatomáceas

(BRZEZINSKI et al., 2003). A razão atômica de Redfield, referida como um balanço ideal entre os nutrientes silicato, nitrogênio e fósforo para a produtividade primária (Si:DIN:PID = 16:16:1), indica o potencial de um ou dois nutrientes limitarem o crescimento do fitoplâncton (NEILL, 2005). No ERP, o fitoplâncton é co-limitado pelas concentrações de silicato e PID.

Assim, a comunidade fitoplanctônica, quando em maior disponibilidade de luz, é condicionada à disponibilidade de nutrientes, sendo observada uma depleção desses elementos pelas diatomáceas em direção à zona costeira principalmente durante períodos sobre menor influência fluvial. Resultados similares foram reportados por Aquino et al. (2012), Anjos et al. (2012), Kruk et al. (2014), Madhu et al. (2017).

## 5.2 Variabilidade da comunidade fitoplanctônica no ERP

As diatomáceas foram responsáveis por mais de 75% de contribuição da composição fitoplanctônica durante todo o estudo. A marcada natureza eurialina deste grupo com tolerância às variações de salinidade sustenta sua elevada abundância em águas costeiras e estuarinas (ESKINAZI-LEÇA et al., 2004). O predomínio de diatomáceas tem sido confirmado por estudos realizados em diversos sistemas costeiros e estuarinos do Maranhão (LAVÔR-FERNANDES, 1988a, 1988b; AZEVEDO et al., 2008, RODRIGUES; CUTRIM, 2010; DUARTE-DOS-SANTOS et al., 2017) e em outras partes do mundo (OLLI et al., 2015; CARSTENSEN et al., 2015).

Galego (1992) e Reynolds (2006) ressaltam que a composição do fitoplâncton estuarino é geralmente caracterizada pela dominância de diatomáceas em períodos com elevada concentração de nutrientes e dinoflagelados, em menores concentrações de nutrientes, apresentando forte correlação com a salinidade. O silicato, entre os nutrientes, é utilizado para a formação das frústulas das diatomáceas, destacando-se como importante fator controlador no seu desenvolvimento (MILLER, 2008). Dentro do fitoplâncton, as diatomáceas geram cerca de 40% da produção primária (NELSON et al., 1995), exercendo uma profunda influência sobre a produtividade marinha e no ciclo do carbono, particularmente nos estuários costeiros (ALEXANDER et al., 2015).

Quanto à sua morfologia, as diatomáceas são classificadas em penadas (simetria bilateral ou assimétrica) e cêntricas (simetria radial) (ROUND et al., 1990). O formato

alongado das diatomáceas penadas está geralmente associado à ecologia bentônica por possuírem estruturas especializadas para fixação em substratos; enquanto que, a maioria das diatomáceas cêntricas é planctônica e comum em ambientes marinhos (ARMSTRONG; BRASIER, 2005).

A ocorrência de diatomáceas penadas nas zonas mais internas do estuário, tais como *Craticula cuspidata*, *Diploneis bombus*, *Cylindrotheca closterium* e *Entomoneis alata*, deve-se a influência fluvial ou ação dos ventos e dinâmica das marés que podem ressuspender sedimentos de fundo e microalgas de hábito benthico (CLOERN et al., 2001; SERÔDIO et al., 2012). Já o predomínio das diatomáceas cêntricas (espécies dos gêneros *Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Actinoptychus* e *Trieres*) nas zonas sobre maior influência costeira, é explicado pela sua forma circular que oferece uma relação superfície-volume relativamente superior se comparando com as formas penadas, o que auxilia na sua permanência na coluna da água e redução das taxas de sedimentação (KENNINGTON, 2002; MARGALEF, 1978).

Diatomáceas formadoras de cadeia (e.g. *Thalassiosira rotula*, *Trieres chinenses* e *Thalassionema nitzschioides*), ou grandes células solitárias (e.g. *Coscinodiscus* spp.) são distribuídas globalmente sendo consideradas espécies frequentes e responsáveis por florações em ambientes costeiros (WHITTAKER et al., 2012; CARSTENSEN et al., 2015). Florações de *T. rotula* dominaram a comunidade fitoplanctônica com contribuições superiores a 90%, sendo responsáveis pelas elevadas concentrações de clorofila *a* e indicativo de possíveis alterações ecológicas no ERP. Este predomínio deve-se a sua capacidade adaptativa com alta relação superfície/volume, otimizando a absorção de nutrientes e favorecendo o crescimento rápido em ecossistemas costeiros rasos, turbulentos e ricos em nutrientes (CARSTENSEN et al., 2015; REYNOLDS, 2006).

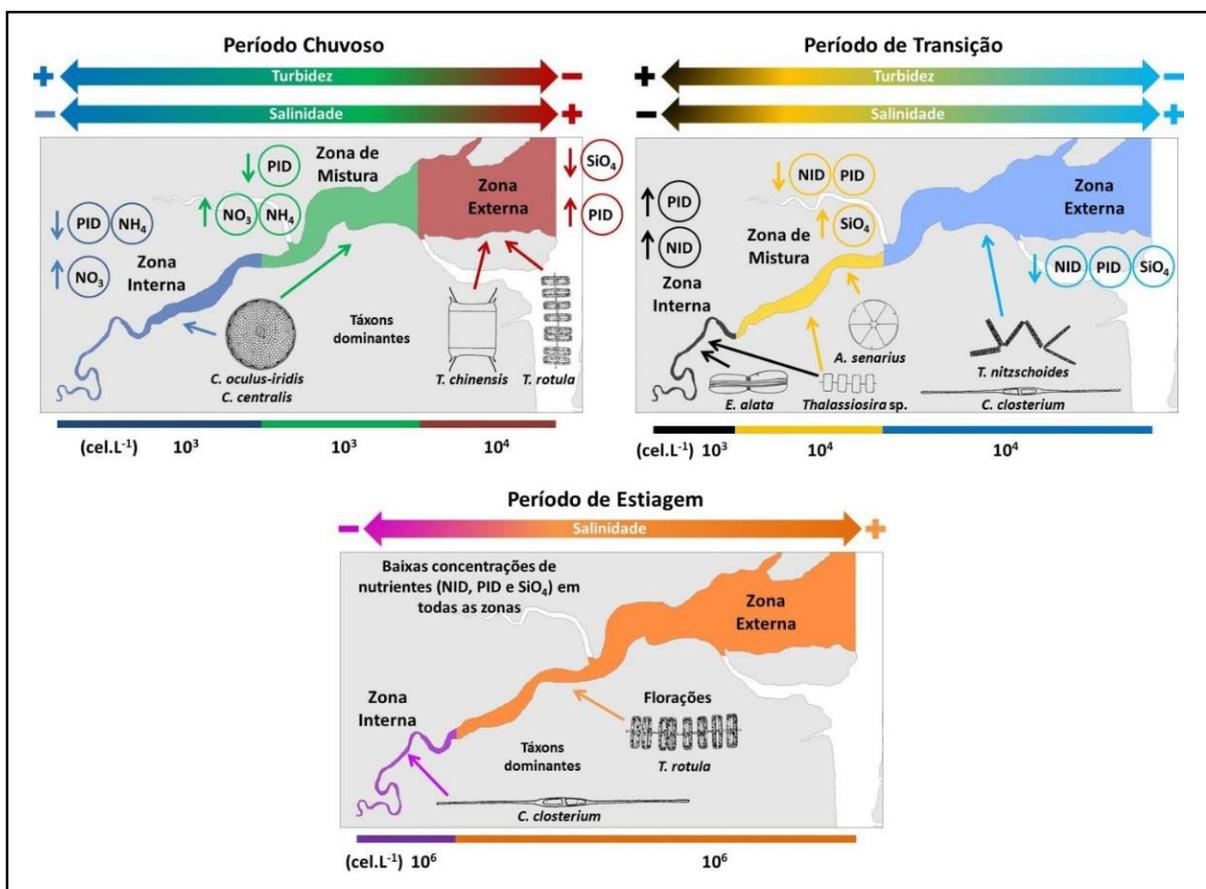
Mudanças graduais na composição e biomassa da comunidade fitoplanctônica são observadas no ERP, correspondendo ao conceito de ecoclina proposto por Attrill e Rundle (2002). Evidências em relação ao ecoclina fitoplanctônico também foram previamente apresentadas por pesquisas desenvolvidas no estuário de macromaré de Schelde, oeste da Europa (MUYLAERT et al., 2009), no delta do Mississippi (LANE et al., 2007), no estuário do rio Suwannee, Estados Unidos (QUINLAN; PHILIPS, 2007), no estuário do rio Chicugo, sudoeste do Japão (AZHIKODAN; YOKOYAMA, 2016), na plataforma continental amazônica, norte do Brasil (LOURENÇO, 2017) e estuários tropicais da Paraíba e Mamanguape, nordeste do Brasil (SANTANA et al., 2018).

## 6 CONCLUSÕES

A estrutura da comunidade fitoplanctônica (composição, distribuição e biomassa) no estuário de macromaré do rio Paciência, apresenta características típicas de ecossistemas estuarinos marcados por um gradiente salino. Onde as condições meteorológicas (regime de precipitação e intensidade dos ventos) e dinâmica de marés foram os principais fatores responsáveis pelas variações de salinidade e nutrientes, determinantes para o desenvolvimento do fitoplâncton.

A partir disso, três cenários relacionados à sazonalidade e distribuição espacial do fitoplâncton são identificados no ERP: zona de maior influência fluvial, zona de mistura e zona costeira, regidas pelo período chuvoso, de transição e de estiagem (Figura 12).

**Figura 12.** Diagrama conceitual dos cenários apresentados pela comunidade fitoplanctônica, indicando as variações das principais variáveis ambientais e espécies caracterizantes das zonas estuarinas durante os períodos sazonais no ERP. As imagens usadas foram retiradas de Tomas (1997) e Cupp (1943).



- ✚ O **período chuvoso e de transição**, sobre maior influência fluvial, apresentaram estratificação horizontal da salinidade evidenciando três zonas estuarinas: zona de rio, zona de mistura e zona costeira. Em ambos os períodos, foi observado um aumento gradual da densidade e biomassa fitoplanctônica da zona mais interna em direção à zona costeira do estuário, influenciado por um gradiente crescente de salinidade, luz e depleção de nutrientes.
- ✚ Quanto à distribuição da comunidade, as condições ambientais favoreceram o domínio de diatomáceas ao longo do estuário, onde no período chuvoso as cêntricas solitárias (*Coscinodiscus* spp.) são as espécies mais representativas da zona de rio e as cêntricas formadoras de cadeia (*Thalassiosira rotula* e *Trieres chinenses*) dominaram a zona costeira. O período de transição destacou a ocorrência de diatomáceas penadas solitárias (*Entomoneis alata*) na zona de rio, cêntricas solitárias na zona de mistura (*Actinoptychus senarius*) e penadas solitárias (*Cylindrotheca closterium* e *Entomoneis alata*) na zona costeira.
- ✚ Já o **período de estiagem**, caracterizado pela maior influência costeira (salinidade > 30 g.Kg<sup>-1</sup>), apresentou um gradiente salino mais homogêneo evidenciando apenas a zona de mistura e zona costeira. Neste período, as florações de *Thalassiosira rotula* (diatomácea cêntrica pequena e formadora de cadeia) foram responsáveis pela elevada biomassa fitoplanctônica e menores concentrações de nutrientes no estuário.

Os cenários identificados são alterados em função das condições meteorológicas e físicas do estuário, com gradiente crescente do fitoplâncton (densidade e biomassa) considerando do período chuvoso ao período de estiagem. Assim, quando a luz não é um fator limitante, a flutuabilidade das concentrações de nutrientes é diretamente relacionada à densidade dos organismos.

Este presente estudo contribui para a compreensão da dinâmica fitoplanctônica influenciada por um gradiente salino em ecossistemas estuarinos, e reforça a importância de seu monitoramento para a identificação de alterações ecológicas no estuário do rio Paciência.

## 7 REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H.; MOCHEL, F. R.; AMORIM, A. J. E. Modelagem da profundidade secchi e da concentração de clorofila a no estuário do Rio Anil, São Luís - MA. **Caminhos da Geografia**, n. 5, São Luís, v. 13, p. 19-40, 2004.

ALEXANDER, H.; JENKINS, B.D.; RYNEARSON, T. A.; DYHRMAN, S. T. Metatranscriptome analyses indicate resource partitioning between diatoms in the field. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 13, p. 2182–2190, 2015.

ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes 3. Oscillatoriales. **Algological Studies**, v. 80, n. 1-4, p. 327-472, 1988.

ANJOS, D. L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; HONORATO DA SILVA, M. Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 40, n. 1, p. 167-184, 2012.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC. 2012

AQUINO, E. P.; FIGUEIRÊDO, L. G. P.; ANJOS, D. L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G. Biomassa fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário tropical do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 1, p. 17-28, 2012.

ARMSTRONG, H.A.; BRASIER, M.D. **Microfossils**. 2 ed. Oxford: Blackwell Publishing. p. 296, 2005.

ATTRILL, M.J.; RUNDLE, S.D. Ecotone or ecocline: ecological boundaries in estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 6, p. 929-936, 2002. <http://dx.doi.org/10.1006/ecss.2002.1036>

AZEVEDO, A.C.G.A.; FEITOSA, F.A.N.; KOENING, M.L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, n. 22, v. 3, p. 870-877, 2008.

AZHIKODAN, G.; YOKOYAMA, K. Spatio-temporal variability of phytoplankton (Chlorophyll-a) in relation to salinity, suspended sediment concentration, and light intensity in a macrotidal estuary. **Continental Shelf Research**, v. 126, p. 15-26, 2016.

BAZIN, P.; JOUENNE, F.; DETON-CABANILLAS, A.F.; PÉREZ-RUZAFÁ, Á.; VÉRON, B. Complex patterns in phytoplankton and microeukaryote diversity along the estuarine continuum. **Hydrobiologia**, v. 726, p.155-178, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-013-1761-9>

BOURRELLY, P. **Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique**. Paris: N. Boubée, 1972.

BRZEZINSKI, M.A.; JONES, J.L.; BIDDLE, K.D.; AZAM, F. The balance between silica production and silica dissolution in the sea: Insights from Monterey Bay California applied to the global data set. **Limnology and Oceanography**, New York, v. 48, n.5, p. 1846–1854, 2003.

CARSTENSEN, J.; CAMACHO, M.S.; DUARTE, C.M.; JENSEN, D.K.; MARBA, N. Connecting the dots: response of coastal ecosystems to changing nutrient concentrations. **Environmental Science & Technology**, 45, 9122–9132, 2011.

CARSTENSEN, J.; KLAIS R.; CLOERN, J. E. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 162, p. 98-109, 2015.

CARVALHO, K. Q.; LIMA, S. B.; PASSIG, F. H.; GUSMÃO, L. K.; SOUZA, D. C.; C. KREUTZ, C.; BELINI, A. D.; ARANTES, E. J. Influence of urban area on the water quality of the Campo River basin, Paraná State, Brazil. **Brazilian Journal Biology**, v. 75, n. 4, p. 96-106, 2015.

CASTRO, A. C. L. Diversidade da assembléia de peixes em igarapés do estuário do rio Paciência (MA – Brasil). **Atlântica**, v. 23, p. 39-46, 2001.

CAVALCANTI, L. B. Caracterização do canal de Santa Cruz (Pernambuco- Brasil) em função dos parâmetros físico-químicos e pigmentos fotosintéticos. **Tese** (Tese de Livre Docência) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 115, 1976.

CHOUDHURY, A. K.; PAL, R. Seasonal Dynamics of Surface Micro Phytoplankton Assemblages in an Understudied Tropical Estuarine Station Along the Bhagirathi–Hooghly Estuary, India. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 84, n. 3, p. 635-647, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s40011-013-0275-6>.

CHRÉTIENNOT-DINNET, M. J.; BILARD, C.; SOURNIA, A. Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnesiophycées, Rhodophycées et Tribophycées In: SOURNIA, A.

(Dir.). **Atlas du phytoplankton marin**. Paris: Editions du Centre National Recherche Scientifique, p. 261, 1990.

CLOERN, J. E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. **Marine Ecology Progress Series**, v. 210, p. 223-253, 2001.

CLOERN, J. E.; FOSTER, S. Q.; KLECKNER, A. E. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. **Biogeosciences**, v. 11, p. 2477-2501, 2014.

CONAMA- **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

CORNWELL, JEFFREY C.; OWENS, MICHAEL S.; BOYNTON, WALTER R.; HARRIS, LORA A. Sediment-Water Nitrogen Exchange along the Potomac River Estuarine Salinity Gradient. **Journal of Coastal Research**, v. 32, n. 4, p. 776-787, 2016.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v.387, 253 -260, 1997.

CURTIS ADAMS, C.; GODFREY, V.; WAHLEN, B.; SEEFELDT, L.; BUGBEE, B. Understanding precision nitrogen stress to optimize the growth and lipid content tradeoff in oleaginous green microalgae. **Bioresource Technology**, v. 131, p. 188-194, 2013.

DIAS, F.J.S.; CASTRO, B.M.; LACERDA, L.D.; MIRANDA, L.B.; MARINS, R.V. Physical characteristics and discharges of suspended particulate matter at the continent-ocean interface in an estuary located in a semiarid region in northeastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 180, p. 258-274, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2016.08.006>

DOMINGUES, R.B.; ANSELMO, T.P.; BARBOSA, A.B. SOMMER, U.; GALVÃO, H.M. Light as a driver of phytoplankton growth and production in the freshwater tidal zone of a turbid estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 91, n. 4, p. 526-535, 2011.

DUARTE-DOS-SANTOS, A. K.; OLIVEIRA, A. L. L.; FURTADO, J. A.; FERREIRA, F. S.; ARAUJO, B. O.; CORREA, J. M.; CAVALCANTI, L. F.; AZEVEDO, A. C. G.; CUTRIM, M.V.J. Spatial and season variation of microphytoplankton community and the correlation with environmental parameters in a hypereutrophic tropical estuary - Maranhão - Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 65, p. 83-99, 2017.

EL GAMMAL, M. A. M.; NAGEEB, M.; AL-SABEB, S. Phytoplankton abundance in relation to the quality of the coastal water – Arabian Gulf, Saudi Arabia. **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 43, p. 275-282, 2017.

ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M.L.; SILVA-CUNHA, M.G.G. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M.F. (eds.) **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Bagaço, p. 353-373, 2004.

FAVERA, J.C.P.; FAINSTEIN, R.; BORGES, H.; MIURA, K.; LEONEL, B.; ORANGE, D.; WITTSTROM, M. **New Exploration Frontiers of Brazil's Atlantic Margin: From Theory to Reality**, Offshore Technology Conference, ISBN 978-1-61399-287-6, p. 11, 2013. <https://doi.org/10.4043/24422-MS>

FONSÊCA, I.L.A.; MOCHEL, F.R. Fitomassa aérea de um manguezal no estuário do Rio dos Cachorros, São Luís, Maranhão, Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 26, p. 17-25, 2016.

FUNCEME, 2016. **Precipitações históricas para o baixo Jaguaribe**. Eletronic Journal. Disponível em: [www.funceme.br/monitoramento/graficosdechuvvas](http://www.funceme.br/monitoramento/graficosdechuvvas). Acesso em: 10 ago. 2016.

GALLEGOS, C.L. Phytoplankton photosynthesis, productivity, and species composition in a eutrophic estuary: comparison of bloom and non-bloom assemblages. **Marine Ecology Progress Series**, v. 81, p. 257-267, 1992.

GOES, J. I.; GOMES, H. R.; CHEKALYUK, A. M.; CARPENTER, E. J.; MONTOYA, J. P.; COLES, V. J.; YAGER, P. L.; BERELSON, W. M.; CAPONE, D. G.; FOSTER, R. A.; STEINBERG, D. K.; SUBRAMANIAM, A.; HAFEZ, M. A. Influence of the Amazon River discharge on the biogeography of phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. **Progress in Oceanography**, v. 120, p. 29-40, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pocean.2013.07.010>.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, p. 213, 1978.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2ed. Verlag Chemie, New York, v. 16, n. 3, p. 581-614, 1983.

GREGO, C. K. S.; FEITOSA, F. A. N.; HONORATO-DA-SILVA, M.; FLORES-MONTES, M. J. Distribuição espacial e sazonal da clorofila a fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista – PE). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 32, n. 2, p. 181-199, 2004.

GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. **AlgaeBase**: World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. Disponível em: <http://www.algaebase.org>. Acesso em: 12 fev. 2017.

KENNIGTON, K. **The environmental applications of diatoms**. In: Haslett, S.K. (ed). Quaternary Environmental Micropalaeontology. London: Arnold. p. 166-184, 202, 2002.

KOROLEFF, K. Determination of phosphorus. In: GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (Eds). **Methods of sea water analysis**. 2ed. Verlag Chemie, Weinheim, v. 9, n. 1, p. 125-39, 1983.

KRUK, C.; MARTÍNEZ, A.; NOGUEIRA, L.; ALONSO, C.; CALLIARI, D. Morphological traits variability reflects light limitation of phytoplankton production in a highly productive subtropical estuary (Río de la Plata, South America). **Marine Biology**, 162, 331–341, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-014-2568-6>

LANCELOT, C.; MUYLAERT, K. Trends in estuarine phytoplankton ecology, in: Wolanski, E. et al. Treatise on Estuarine and Coastal Science: 7. **Functioning ecosystems at the land-ocean interface**. p. 5-15, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00703-8>

LANE, R. R.; DAY JR. J. W.; MARX, B. D.; REYES, E.; HYFIELD, E.; DAY, J. N. The effects of riverine discharge on temperature, salinity, suspended sediment and chlorophyll a in a Mississippi delta estuary measured using a flow-through system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 74, p. 145-154, 2007.

LANE, R.R.; DAY, J.W.; JUSTIC, D.; REYES, E.; DAY, J.N.; HYFIELD, E. Changes in stoichiometric Si, N and P ratios of Mississippi River water diverted through coastal wetlands to the Gulf of Mexico. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 60, p. 1-10, 2004.

LAVÔR-FERNANDES, G. Microfitoplâncton da Baía de São Marcos, São Luís, Maranhão, Brasil. **Gayana, Chile**. v. 45. n. 1-4. p. 265-274. 1988 a.

LAVÔR-FERNANDES, G. O microfitoplâncton do Rio Paciência, Paço do Lumiar, Maranhão. **Boletim Laboratório de Hidrobiologia**, São Luís, v. 8, p. 23-45. 1998 b.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. Developments in Environmental Modelling 20. Elsevier Science. Amsterdam. p. 853, 1998.

LI, J.; JIANG, X.; JING, Z.; LI, G.; CHEN, Z.; ZHOU, L.; ZHAO, C.; LIU, J.; TAN, Y. Spatial and seasonal distributions of bacterioplankton in the Pearl River

Estuary: The combined effects of riverine inputs, temperature, and phytoplankton. **Marine Pollution Bulletin**, v. 125, p. 199-207, 2017.

LOURENÇO, C. B. O fitoplâncton na Zona Costeira Amazônica Brasileira: Biodiversidade, distribuição e estrutura no *continuum* estuário oceano. **Tese** (Doutorado em Ciências-Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, p. 146, 2017.

LOVETT, G.M.; BURNS, D.A.; DRISCOLL, C.T.; JENKINS, J.C.; MITCHELL, M.J.; RUSTAD, L.; SHANLEY, J.B.; LIKENS, G.E.; HAEUBER, R. Who needs environmental monitoring? **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, p. 253-260, 2007.

LUCAS, L.V.; THOMPSON, J.K.; BROWN, L.R. Why are diverse relationships observed between phytoplankton biomass and transport time? **Limnology and Oceanography**, v. 54, p. 381-390, 2009.

MADHU, N.V.; MARTIN, G.D.; HARIDEVI, C.K.; NAIR, M.; BALACHANDRAN, K.K.; ULLAS N. Differential environmental responses of tropical phytoplankton community in the southwest coast of India. **Regional Studies in Marine Science**, v. 16, p. 21-35, 2017.

MARANHÃO. **Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário: estudo hidrológico**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, p. 55, 1998.

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologia Acta**, New Jersey, v. 1, n. 4, p. 493-509, 1978.

MEA. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**, n.d. Island Press, Washington, DC, 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org>. Acesso em: 13 set. 2017

MILLER, C.B. **Biological Oceanography**. 1 ed. Blackwell Publishing, p. 402, 2008.

MIRANDA, B. M.; CASTRO, B. M.; KJERFEVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: EDUSP, p. 411, 2002.

MOCHEL, F.R. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (Org.) **Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação**. 1 ed. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v.1, p. 93-118, 2011.

MUYLAERT, K; SABBE, K; VYVERMAN, W. Changes in phytoplankton diversity and community composition along salinity gradient of the Schelde estuary (Belgium/The Netherlands). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 82,p. 335-340 ,2009.

NCHE-FAMBO, F.A.; U.M. SCHARLER; TIROK, K. Resilience of estuarine phytoplankton and their temporal variability along salinity gradients during drought and hypersalinity. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 158, p. 40-52, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.03.011>

NEILL, M. A method to determine which nutrient is limiting for plant growth in estuarine waters-at any salinity. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, p. 945-955, 2005.

NELSON, D.M.; TRÉGUER, P.; BRZEZINSKI, M.A.; LEYNAERT, A.; QUÉGUINER, B. Production and dissolution of biogenic silica in the ocean: Revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. **Global Biogeochem Cycles**, v. 9, n. 3, p. 359-372, 1995.

NOGALES, B.; LANFRANCONI, M.P.; PIÑA-VILLALONGA, J.M.; BOSCH, R. Anthropogenic perturbations in marine microbial communities. **FEMS Microbiology Review**, v. 35, 275-298, 2011.

NORIEGA, C.D.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J.; GREGO, C.K.S.; SOARES, G.S.S.; SILVA, H.P. Distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com os sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco – Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 38, 5-18, 2005.

OLLI, K.; PAERL, H. W.; KLAIS, R. Diversity of coastal phytoplankton assemblages - Cross ecosystem comparison. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, p. 1-9, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2015.03.015>

PAERL, H. W.; ROSSIGNOL, K L.; HALL, N. S.; PEIERLS, B. L.; WETZ, M. S. Phytoplankton Community Indicators of Short- and Long-term Ecological Change in the Anthropogenically and Climatically Impacted Neuse River Estuary, North Carolina, USA. **Estuaries and Coasts**, v. 33, p. 485-497, 2010.

PASSAVANTE, J. Z. O. Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco). **Tese** (Tese de Doutorado) - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 188, 1979.

PEIERLS, B.L.; HALL, N.S.; PAERL, H.W. Non-monotonic Responses of Phytoplankton Biomass Accumulation to Hydrologic Variability: A Comparison of Two Coastal Plain North Carolina Estuaries. **Estuaries and Coasts**, v. 35, p.1376-1392, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s12237-012-9547-2>

PIELOU, E. C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. **The Journal of Theoretical Biology**, v. 10, p. 370-383, 1966.

QUINLAN, E.L.; PHILIPS, E.J. Phytoplankton assemblages across the marine to low salinity transition zone in a blackwater dominated estuary. **Journal of Plankton Research**, v. 29, p.401-416, 2007.

REED, M.L.; PINCKNEY, J.L; KEPPLER, C.J.; BROCK, L.M.; 1 , SARAH B. HOGAN, S.B.; GREENFIELD, D.I. The influence of nitrogen and phosphorus on phytoplankton growth and assemblage composition in four coastal, southeastern USA systems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 177, p. 71-82, 2016.

REYNOLDS, C. S. **The Ecology of phytoplankton**. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, p. 550, 2006.

RIMET, F.; BOUCHEZ, A. Biomonitoring river diatoms: implications of taxonomic resolution. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 92-99, 2012.

RIOS, L. **Estudos de geografia do Maranhão**. 3. ed. São Luís: Graphis, p. 223, 2001.

RODRIGUES, E. I.; CUTRIM, M. V. J. Relações entre as variáveis físicas, químicas e fitoplanctônicas de três áreas estuarinas da costa Norte do Brasil - São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, Estado do Maranhão. **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza., v. 43, n. 2, p. 45-54, 2010.

ROUBEIX, V.; LANCELOT, C. Effect of salinity on growth, cell size and silification of an euryhaline freshwater diatom: *Cyclotella meneghiniana* Kütz. **Transitional Waters Bulletin**, v. 1, p. 31-38, 2008.

ROUND, F. E.; CRAWFORD, R. M.; MANN, D.G. **The Diatoms Biology e Morphology od the genera**. Cambridge. University Press, p.747, 1990.

SANTANA, R. M. C.; DOLBETH, M.; BARBOSA, J. E. L.; PATRÍCIO, J. Narrowing the gap: Phytoplankton functional diversity in two disturbed tropical estuaries. **Ecological Indicators**, v. 86, p. 81-93, 2018.

SATHICQ, M.B.; GÓMEZ, N.; BAUER, D.E.; DONADELLI, J. 2016. Use of phytoplankton assemblages to assess the quality of coastal waters of a transitional ecosystem: Río de la Plata Estuary. **Continental Shelf Research**, (August), 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2016.08.009>

SCHRANK, A.B.S.; DE ROS, L.F. Diagenetic processes in cretaceous sandstones from

occidental Brazilian Equatorial Margin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 63, p. 1-19, 2015.

SERÔDIO, J.; EZEQUIEL, J.; BARNETT, A.; MOUGET, J.L.; MÉLÉDER, V.; LAVIALE, M.; LAVAUD, J. Efficiency of photoprotection in microphytobenthos: role of vertical migration and the xanthophyll cycle against photoinhibition. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 67, 161-175, 2012.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The Mathematical Theory of Communication**. University of Illinois Press, Urbana, Illinois, p. 125, 1964.

SIN, Y.; LEE, E.; LEE, Y.; SHIN, K. The river-estuarine continuum of nutrients and phytoplankton communities in an estuary physically divided by a sea dike. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 163, p. 279-289, 2015.

SOARES, L. S.; SILVA JUNIOR, M. G.; CASTRO, A. C. L.; SAINT PAUL, U. Comunidade de peixes como indicador de qualidade ambiental de alguns canais de maré do estuário do rio Paciência, São Luís – MA. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 24, n.1, p. 1-12, 2011.

SOETAERT, K.; HERMAN, P.M.J.; KROMKAMP, J. Living in the twilight: estimating net phytoplankton growth in the Westerschelde estuary (The Netherlands) by means of an ecosystem model (MOSES). **Journal of Plankton Research**, v. 16, p. 1277-1301, 1994.

SORIA-PÍRIZ, S.; GARCÍA-ROBLEDO, E.; PAPASPYROU, S.; AGUILAR-BARQUERO, V.; SEGURO, I.; ACUÑA, J.; MORALES, Á.; CORZO, A. Size fractionated phytoplankton biomass and net metabolism along a tropical estuarine gradient. **Limnology and Oceanography**, v. 62, n. S1, p. S309-S326, 2017.

SOUZA-FILHO, P., W., M.; SALES, M. E. DA C.; PROST, M. T. R. DA C.; COSTA, F. R.; SOUZA, L. F. M. DE O. Zona Costeira Amazônica: O cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T. In: SOUZA FILHO, P., W., M.; CUNHA, E. R. S. P. DA; SALES M. E. DA C.; SOUZA, L. F. M. DE O.; COSTA, F. R. (Org.). **Bibliografia da Zona Costeira Amazônica**. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi/Universidade Federal do Pará/Petrobras, p. 401, 2005.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS. T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, v. 167, n. 2, p. 1-205. 1972.

TEIXEIRA, C.; ARANHA, F.J.; BARBIERI, R.; MELO, O.T. Produção primária e clorofila *a* do fitoplâncton e parâmetros físicos e químicos do estreito dos Coqueiros, Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 48, p. 29-39, 1988.

THOMPSON, P.A.; O'BRIEN, T.D.; PAERL, H.W.; PEIERLS, B.L.; HARRISON, P. J.; ROB, M. Precipitation as a driver of phytoplankton ecology in coastal waters: A climatic perspective. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 162, p. 119-129, 2015.

TOMAS C. R. **Identifying marine phytoplankton**. San Diego: Academic Press, p. 858, 1997.

UTERMÖHL, H. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton: methodik. **Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, p. 1-38, 1958.

VILLAFANE, V. E.; REID, F. M. H. Métodos de microscopia para la cuantificación del fitoplancton. In: ALVEAR, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA FILHO, E. C.; SARS, E. (Eds.). **Manual de métodos ficológicos**. Chile: Universidad de Concepción, p. 169-185, 1995.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico das águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 1, p. 243, 2005.

WHITTAKER, K. A.; RIGNANESE, D. R.; OLSON, R. J.; RYNEARSON, T.A. Molecular subdivision of the marine diatom *Thalassiosira rotula* in relation to geographic distribution, genome size, and physiology. **Evolutionary Biology**, v. 12, p. 1-14, 2012. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2148-12-209>

WOOD, E. J. F. **Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas**. Florida: University of Miami Press, p. 143, 1968.

## APÊNDICES

**Apêndice A:** Análise de Similaridade (ANOSIM) para os períodos sazonais e zonas estuarinas no ERP. Onde: Chu - período chuvoso; Tra - período de transição; Est - período de estiagem; ZR - zona de rio; ZM - zona de mistura; e ZC - zona costeira.

---

**ANOSIM – Períodos sazonais****Global R:** 0,749**Nível de significância:** 0,1%

---

Grupos	R estatístico	Nível de significância (%)
Chu x Tra	0,647	0,1
Chu x Est	0,912	0,1
Tra x Est	0,765	0,1

---

**ANOSIM – Zonas estuarinas****Global R:** 0,547**Nível de significância:** 0,1%

---

Grupos	R estatístico	Nível de significância (%)
ZR x ZM	0,262	0,1
ZR x ZC	0,846	0,1
ZM x ZC	0,40	0,1

---

**Apêndice B:** Lista dos táxons fitoplanctônicos do estuário do rio Paciência selecionados para as análises multivariadas, com as divisões e códigos dos táxons correspondentes.

<b>Categorias taxonômicas</b>	<b>Códigos</b>	<b>Categorias taxonômicas</b>	<b>Códigos</b>
<b>Bacillariophyta</b>		<i>Guinardia striata</i>	Guis
<i>Actinocyclus annulatus</i>	Acta	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	Gyra
<i>Actinocyclus senarius</i>	Acts	<i>Gyrosigma balticum</i>	Gyrb
<i>Actinocyclus</i> sp.	Actsp	<i>Gyrosigma eximium</i>	Gyre
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	Astg	<i>Gyrosigma</i> sp.	Gyrsp
<i>Aulacoseira</i> sp.	Aulsp	<i>Halamphora oligotraphenta</i>	Halo
<i>Bacillaria paxillifera</i>	Bacp	<i>Halamphora</i> sp.	Halsp
<i>Bellerochea horologicalis</i>	Belh	<i>Helicotheca tamesis</i>	Helt
<i>Bellerochea malleus</i>	Belm	<i>Hemiaulus sinensis</i>	Hems
<i>Biddulphia alternans</i>	Bida	<i>Lithodesmium undulatum</i>	Litu
<i>Campylodiscus clypeus</i>	Camc	<i>Melosira nummuloides</i>	Meln
<i>Chaetoceros pendulus</i>	Chapn	<i>Navicula clementis</i> var. <i>linearis</i>	Navc
<i>Chaetoceros subtilis</i> var. <i>abnormis</i>	Chas	<i>Navicula gottlandica</i>	Navg
<i>Chaetoceros</i> sp.	Chasp	<i>Navicula tripunctata</i>	Navt
<i>Cocconeis scutellum</i>	Cocs	<i>Navicula</i> spp.	Navspp
<i>Cocconeis</i> sp.	Cocsp	<i>Nitzschia clausii</i>	Nitc
<i>Coscinodiscopsis jonesiana</i>	Cosj	<i>Nitzschia obtusa</i>	Nito
<i>Coscinodiscus centralis</i>	Cosct	<i>Nitzschia obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i>	Nitos
<i>Coscinodiscus concinnus</i>	Coscc	<i>Nitzschia reversa</i>	Nitr
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	Coso	<i>Nitzschia sigma</i>	Nits
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	Cosra	<i>Nitzschia</i> spp.	Nitspp
<i>Coscinodiscus rothii</i>	Cosro	<i>Odontella aurita</i>	Odoa
<i>Coscinodiscus</i> sp.	Cossp	<i>Odontella longicruris</i>	Odol
<i>Craticula cuspidata</i>	Crac	<i>Odontella turgida</i>	Odot
<i>Cyclotella striata</i>	Cycsa	<i>Odontella</i> sp.	Odosp
<i>Cyclotella stylorum</i>	Cycsy	<i>Paralia sulcata</i>	Pars
<i>Cyclotella</i> sp.	Cycsp	<i>Parlibellus crucicula</i>	Parc
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Cylc	<i>Pleurosigma angulatum</i>	Plea
<i>Cymbella</i> sp.	Cymsp	<i>Pleurosigma normanii</i>	Plen
<i>Diploneis bombus</i>	Dipb	<i>Pleurosigma</i> sp.	Plesp
<i>Diploneis ovalis</i>	Dipo	<i>Psammodictyon constrictum</i>	Psac
<i>Diploneis splendida</i>	Dips	<i>Psammodictyon panduriforme</i>	Psap
<i>Diploneis weissflogii</i>	Dipw	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	Psed
<i>Diploneis</i> sp.	Dipsp	<i>Pseudo-nitzschia seriata</i>	Pses
<i>Discostella stelligera</i>	Diss	<i>Rhaphoneis amphiceros</i>	Rhaa
<i>Encyonema</i> sp.	Encsp	<i>Rhizosolenia hebetata</i>	Rhah
<i>Entomoneis alata</i>	Enta	<i>Rhizosolenia setigera</i>	Rhis
<i>Eupodiscus radiatus</i>	Eupr	<i>Skeletonema costatum</i>	Skec
<i>Fragillaria</i> sp.	Frasp	<i>Skeletonema tropicum</i>	Sket
<i>Grammatophora marina</i>	Gram	<i>Terpsinoë americana</i>	Tera
<i>Guinardia delicatula</i>	Guid	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	Thaf
<i>Guinardia flaccida</i>	Guif	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Than

<i>Thalassionema</i> sp.	Thasp	<i>Protoperidinium concavum</i>	Prtcc
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	Thae	<i>Protoperidinium</i> spp.	Prtspp
<i>Thalassiosira leptopus</i>	Thale	<i>Scrippsiella</i> sp.	Scrsp
<i>Thalassiosira pacifica</i>	Thapa	<i>Tripos lineatus</i>	Tril
<i>Thalassiosira plicata</i>	Thapl	<b>Chlorophyta</b>	
<i>Thalassiosira rotula</i>	Thar	<i>Lyngbya</i> sp.	Lynsp
<i>Thalassiosira subtilis</i>	Thas	<i>Planktolyngbya limnetica</i>	Plal
<i>Thalassiosira</i> sp.	Thasp	<i>Chlamydomonas proboscigera</i> var. <i>conferta</i>	Chlp
<i>Trieres chinensis</i>	Tric	<i>Chlamydomonas</i> spp.	Chlssp
<i>Trieres mobiliensis</i>	Trim	<b>Charophyta</b>	
<i>Trieres regia</i>	Trir	<i>Oocystis lacustris</i>	Oocl
<i>Tryblionella granulata</i>	Tryg	<i>Cosmarium botrytis</i>	Cosb
<i>Tryblionella</i> sp.	Trysp	<b>Euglenophyta</b>	
<i>Ulnaria capitata</i>	Uln	<i>Euglena gracilis</i>	Eugg
<b>Miozoa</b>		<i>Euglena</i> sp.	Eugsp
<i>Gymnodinium mitratum</i>	Gymm	<i>Euglenaformis proxima</i>	Eugp
<i>Gymnodinium</i> sp.	Gymsp	<i>Lepocinclis oxyuris</i>	Lepp
<i>Oxytoxum globosum</i>	Oxyg	<i>Peranema</i> sp.	Persp
<i>Oxytoxum</i> sp.	Oxysp	<i>Trachelomonas playfairi</i>	Trap
<i>Peridinium</i> sp.	Persp		
<i>Prorocentrum micans</i>	Prom		

**Apêndice C.** Coeficientes de determinação da correlação de Pearson entre as variáveis ambientais e biológicas no ERP. Onde: Sal - Salinidade; T°C - Temperatura da água; pH; MPS - Material Particulado em Suspensão; Turb - Turbidez; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitrato; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - Nitrito; NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Íon amônio; NID - Nitrogênio Inorgânico Dissolvido; PID - Fósforo Inorgânico Dissolvido; SiO<sub>2</sub><sup>-3</sup> - Silicato; Prec - Precipitação; Vent - Velocidade dos ventos; Prof - Profundidade; Cla - Clorofila *a*; Nano - Nano/picofitoplâncton; Micro - Microfitoplâncton; Dens - Densidade fitoplancônica; *Tha* - *Thalassiosira rotula*; *Cos* - gênero *Coscinodiscus*. Correlação significante ( $r > 0,6$ ;  $p < 0,001$ ) em negrito.

	Sal	T °C	pH	MPS	Turb	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NID	PID	SiO <sub>2</sub> <sup>-3</sup>	Prec	Vent	Prof	Cla	Nano	Micro	Dens	Tha	Ent	Cos	
Sal																						
T °C	0,02																					
ph	-0,01	0,14																				
MPS	-0,12	0,29	-0,05																			
Turb	-0,42	0,09	-0,07	<b>0,75</b>																		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,83</b>	0,07	0,10	0,12	0,39																	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,79</b>	-0,19	0,02	-0,13	0,15	0,71																
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,50	-0,46	0,03	-0,21	-0,06	0,27	0,54															
NID	<b>-0,77</b>	-0,32	0,07	-0,11	0,13	<b>0,66</b>	<b>0,76</b>	<b>0,90</b>														
PID	-0,33	-0,36	0,06	-0,25	-0,16	0,33	0,52	0,58	0,60													
SiO <sub>2</sub> <sup>-3</sup>	-0,51	0,02	-0,02	-0,21	-0,09	0,41	<b>0,65</b>	0,27	0,41	0,27												
Prec	<b>-0,67</b>	0,40	0,11	0,37	0,52	<b>0,73</b>	0,27	-0,09	0,26	-0,11	0,14											
Vent	<b>0,66</b>	-0,37	-0,18	-0,15	-0,13	-0,50	-0,34	-0,28	-0,44	-0,17	-0,53	<b>-0,61</b>	0,00	0,00								
Prof	0,37	0,18	-0,08	0,18	0,03	-0,39	-0,53	-0,30	-0,42	-0,44	-0,22	0,00	0,00	0,48	-0,24							
Cla	0,25	-0,24	0,16	-0,29	-0,22	-0,17	0,07	0,02	-0,06	0,01	-0,02	-0,45	0,58	-0,19	<b>0,86</b>	0,46	0,24					
Nano	0,34	-0,36	0,11	-0,34	-0,28	-0,31	0,07	0,11	-0,05	0,10	-0,01	<b>-0,65</b>	0,24	0,04	0,46	0,24						
Micro	0,17	0,14	0,06	0,06	0,01	-0,07	-0,17	-0,29	-0,26	-0,33	-0,22	0,02	0,24	0,04	0,56	<b>0,67</b>	0,18					
Dens	<b>0,69</b>	-0,43	-0,07	-0,24	-0,26	-0,59	-0,35	-0,18	-0,41	-0,10	-0,44	<b>-0,75</b>	<b>0,89</b>	0,01	0,56	<b>0,67</b>	0,20	1,00				
Tha	<b>0,68</b>	-0,42	-0,07	-0,23	-0,24	-0,59	-0,37	-0,18	-0,41	-0,13	-0,46	<b>-0,73</b>	<b>0,90</b>	0,02	0,56	<b>0,67</b>	0,20	1,00				
Ent	0,04	-0,24	0,01	-0,28	-0,20	0,09	0,44	0,12	0,14	0,43	0,27	-0,40	0,31	-0,39	0,60	<b>0,66</b>	0,09	0,37	0,33			
Cos	-0,39	0,33	-0,03	0,38	0,49	0,46	0,14	-0,16	0,08	-0,27	0,02	<b>0,64</b>	-0,19	0,23	-0,21	-0,38	0,17	-0,33	-0,32	-0,24		



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA  
AV. DOS PORTUGUESES, BACANGA - CEP 65080-805  
SÃO LUÍS - MA - BRASIL  
SITE: WWW.UFMA.BR