



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

AMANDA YUMI OTSUKA

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NA PLATAFORMA
CONTINENTAL AMAZÔNICA E REGIÃO OCEÂNICA DO ATLÂNTICO
TROPICAL**

Recife

2019

AMANDA YUMI OTSUKA

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NA PLATAFORMA
CONTINENTAL AMAZÔNICA E REGIÃO OCEÂNICA DO ATLÂNTICO
TROPICAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Oceanografia, da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de doutor em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa.

Coorientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha.

Coorientador: Prof. Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho.

Recife

2019

- O88e Otsuka, Amanda Yumi.
Estrutura da comunidade Fitoplanctônica na Plataforma Continental Amazônica e região oceânica do Atlântico Tropical / Amanda Yumi Otsuka. – 2019.
85 folhas, il., gráfs., tabs.
- Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa.
Coorientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha.
Coorientador: Prof. Dr. Moacyr Cunha de Araújo Filho.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.
Inclui Referências.
1. Oceanografia. 2. Clorofila *a*. 3. Biovolume celular. 4. Biomassa em carbono. 5. Densidade fitoplanctônica. 6. Grupos Funcionais. 7. Produção primária. I. Feitosa, Fernando Antônio do Nascimento. (Orientador). II. Cunha, Maria da Glória Gonçalves da Silva. (Coorientadora). III. Araújo Filho, Moacyr Cunha de. (Coorientador). IV. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-156

AMANDA YUMI OTSUKA

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NA PLATAFORMA
CONTINENTAL AMAZÔNICA E REGIÃO OCEÂNICA DO ATLÂNTICO
TROPICAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Oceanografia, da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de doutor em Oceanografia.

Aprovada em: 08/02/2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa – Orientador
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão – Titular interno
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo – Titular interno
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Profa. Dra. Enide Eskinazi Leça – Titular externo
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Marcos Honorato da Silva – Titular externo
Colégio de Aplicação – UFPE

AGRADECIMENTOS

Concluindo o desafio do curso de doutorado, chegou o momento de registrar os agradecimentos as pessoas cujas contribuições foram indispensáveis nessa etapa tão importante.

À Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia e ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia, por propiciar suporte estrutural e técnico, permitindo a utilização de todas as suas dependências.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao meu orientador Prof^o Fernando Feitosa, que me acompanha desde a especialização, repassando seus ensinamentos e experiências. Obrigada pela oportunidade, incentivo, confiança, amizade e paciência.

À minha coorientadora Prof^a Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha, que foi essencial nessa etapa da minha vida! Obrigada pelo incentivo diário, apoio, amizade e confiança.

Ao coorientador Prof^o Moacyr Araujo, pela disponibilidade e contribuição nesse trabalho, desde o convite para a participação do projeto Camadas Finas III e V até as publicações.

Aos queridos professores e professoras membros da banca examinadora, Sigrid Neumann Leitão, Enide Eskinazi Leça, Dóris Regina Aires Veleda, Sírleis Rodrigues Lacerda, Pedro Augusto Mendes de Castro Melo e Marcos Honorato da Silva por aceitar participar da defesa. Muito obrigada!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da UFPE pelos ensinamentos. Especialmente à Prof^a Luise Koenig, Prof^o Silvio Macêdo, Prof^o Manuel Flores-Montes, Prof^o Alex Costa.

À Deus e a espiritualidade pela oportunidade de viver esse momento.

À minha mãe, Melzinha (in memoriam). Essa etapa em minha vida, como toda as outras, não seria possível se não fosse o seu esforço, seu apoio e seu amor. Sei que esteve sempre comigo e nos momentos mais difíceis foi a sua lembrança que me fez continuar. Te amo eternamente!

À toda minha família por todo apoio e amor.

À Alysson Leite, que tornou esse momento mais leve. Obrigada por toda a paciência, amor, companheirismo.

Aos amigos do laboratório de fitoplâncton - Labfito, Nane, Marcela, Léo, Nayana, Laisa, Isis, Nize, Pedro pela amizade e todos momentos descontraídos que fizeram o meu dia mais feliz. Especialmente, a Nane que foi indispensável para a conclusão desse trabalho, Marcella que esteve sempre disposta a me ajudar tanto na tese quanto na vida e ao técnico do laboratório Leandro Cabanez por toda ajuda oferecida e sempre com muita paciência.

Ao meu amigo Carlos Noriega por toda ajuda prestada nessa fase e pelo incentivo.

Aos grande e eternos amigos que estiveram comigo nessa caminhada, me apoiando, alegrando e incentivando: Amanda, Aline, Brenda, Janaína, Thayse, Marcella, Keylinha, Josy, Jamersson, Breno, Biu, Felipe, Lucas, Camila.

Aos funcionários do Departamento de Oceanografia da UFPE, em especial Dona Edileuza, André, Tom, Rose, que fizeram minha alegria entre um cafezinho e outro.

Muito obrigada a todos!!

RESUMO

O rio Amazonas contribui com aproximadamente 30% do aporte fluvial na plataforma continental do Oceano Atlântico Equatorial e a interação entre as águas fluviais e oceânicas define as condições que podem influenciar diretamente no crescimento fitoplanctônico, pela combinação da entrada de nutrientes e disponibilidade de irradiância, criando uma zona de transição altamente produtiva. Esse estudo teve como objetivo investigar a distribuição e composição da comunidade fitoplanctônica na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente, como um fator biológico indicativo das condições oceanográficas, evidenciando sua relação com as variáveis abióticas e sob influência da pluma do rio Amazonas. Para tanto, as amostras da água foram coletadas no ano de 2012 e 2014, totalizando 44 e 16 estações de coleta, respectivamente, em duas profundidades (superfície e profundidade máxima de clorofila). Foram coletadas as seguintes variáveis abióticas, os nutrientes inorgânicos dissolvidos, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH. A clorofila *a* fitoplanctônica foi determinada, bem como a produção primária, densidade celular, biovolume celular, biomassa em carbono, abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade e equitabilidade. Como resultados, foram registrados 133 táxons, agrupados nos filos: Bacillariophyta (76%); Cyanobacteria (19,19%); Miozoa (4,30%); Ochrophyta (0,26%) e Haptophyta (0,01%). A cianobactéria filamentosa *Trichodesmium* spp. foi o gênero que obteve maior biovolume e biomassa em carbono. A influência espacial da pluma foi observada a partir da salinidade, que variou entre 28 e 36,75, embora a alta precipitação na região possa também ter contribuído. A produção primária variou entre 0,04 a 18,81 mg C m⁻³ h⁻¹ e a clorofila *a* teve uma concentração entre 0,02 e 1,83 mg m⁻³. Além das análises químicas e biológicas, foi registrado correntes superficiais menos intensas ao longo da costa na direção noroeste e correntes com maior velocidade em direção a leste devido à retroflexão da Corrente Norte do Brasil, comum nessa época do ano. Pode-se descrever grupos funcionais exclusivos da profundidade de superfície e profundidade máxima de clorofila, com grupos composto por espécies de diatomáceas em regiões com a salinidade (<35). Os resultados sugerem que a comunidade fitoplanctônica é influenciada pelas águas salobras provenientes da pluma do rio Amazonas que acaba por atingir e modificar os parâmetros hidrológicos.

Palavras-chave: Clorofila *a*. Biovolume celular. Biomassa em carbono. Densidade fitoplanctônica. Grupos Funcionais. Produção primária.

ABSTRACT

The Amazon river contributes approximately with 30% of the fluvial contribution on the continental shelf of the Equatorial Atlantic Ocean, and the interaction between the fluvial and oceanic waters defines the conditions that can directly influence the phytoplankton growth, by the nutrient intake combination and irradiance availability, creating a highly productive transition zone. This study aimed to investigate the distribution and composition of the phytoplankton community in the Amazon continental shelf and adjacent oceanic region, as an oceanographic conditions biological factor indicative, evidencing its relationship with the abiotic variables and under the influence of the Amazon river plume. For this purpose, water samples were collected in 2012 and 2014, totaling 44 and 16 collection stations, respectively, at two depths (surface and maximum depth of chlorophyll). Abiotic variables were collected, such as dissolved inorganic nutrients, temperature, salinity, dissolved oxygen and pH. Phytoplanktonic chlorophyll was determined, as well as primary production, cell density, cellular biovolume, biomass in carbon, relative abundance, frequency of occurrence, diversity and equitability. As a result, 133 taxa were recorded, grouped in the phyla: Bacillariophyta (76%); Cyanobacteria (19.19%); Miozoa (4.30%); Ochrophyta (0.26%), and Haptophyta (0.01%). The filamentous cyanobacterium *Trichodesmium* spp. was the genus that obtained higher biovolume and biomass in carbon. The spatial influence of the plume was observed from the salinity, which varied between 28 and 36.75, although the high precipitation in the region may also have contributed. The primary production ranged from 0.04 to 18.81 mg C m⁻³ day⁻¹ and chlorophyll *a* had a concentration between 0.02 and 1.83 mg m⁻³. In addition to chemical and biological analyzes, less intense surface currents were recorded along the coast in the northwest direction and currents with greater velocity towards the east due to the retroflexion of the Northern Current of Brazil, common at this time of year. It is possible to describe functional groups exclusive of surface depth and maximum depth of chlorophyll, with groups composed of diatom species in regions with salinity (<35). The results suggest that the phytoplankton community is influenced by the brackish waters from the plume of the Amazon river that eventually reaches and modify the hydrological parameters.

Keywords: Chlorophyll *a*. Cell biovolume. Biomass in carbon. Cell density. Functional Groups. Primary production.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	ESTRUTURA E OBJETIVOS DA TESE	13
2	DINÂMICA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS SOB INFLUÊNCIA DA PLUMA DO RIO AMAZON	14
3	VARIAÇÃO ESPACIAL DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NA PLATAFORMA CONTINENTAL AMAZÔNICA E REGIÃO OCEÂNICA ADJACENTE.....	32
4	CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS E REGIÃO OCEÂNICA ADJACENTE.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A plataforma continental brasileira é do tipo “Atlântica”, compreendendo uma área total de 5.003.397 km², equivalente a 59% território brasileiro emerso. E as regiões mais produtivas desta plataforma são encontradas na região norte, sudeste e sul. Sendo que a plataforma continental norte possui uma extensão máxima de 320 km na foz do rio Amazonas decrescendo para aproximadamente 100 Km. A costa norte possui uma extensão de aproximadamente 1.300 Km e tem sido subdividido em três setores: litoral Guianense, Golfão Amazônico, Litoral Amazônico Oriental (Brandini *et al.*, 1997; Coutinho, 2000; Knoppers, 2002).

A plataforma continental atua como um receptor final de água, materiais e substâncias provenientes do continente, os quais são transportados pela descarga dos rios e estuários. Resultando em uma massa de água flutuante com uma menor densidade do que das águas costeiras denominadas plumas de rio ou plumas fluviais (Kourafalou *et al.*, 1996; Marques *et al.*, 2006).

A interação entre essas águas fluviais e oceânicas define as condições que podem influenciar diretamente no crescimento fitoplanctônico, pela combinação do *input* de nutrientes e disponibilidade de irradiância, criando uma zona de transição altamente produtiva, e sua localização vai variar com intensidade da descarga do rio (Smith Jr e DeMaster, 1996).

O rio Amazonas possui a maior descarga global com média de 120.000 m³ s⁻¹, como também é responsável por contribuir com aproximadamente 30% do fluxo terrestre de água doce para o Oceano Atlântico Norte Tropical (Wisser *et al.*, 2010; Goes *et al.*, 2014). Possui uma pluma que varia de 5 a 25m de espessura, e sua expansão não depende apenas da vazão, mas principalmente da dinâmica de circulação existente em sua plataforma, consequência da direção e velocidade dos ventos (Smith Jr e Russel, 1995; Coles *et al.*, 2013).

A circulação próxima da superfície é caracterizada pela presença da Corrente Norte do Brasil (CNB) e sua componente em subsuperfície a Subcorrente Norte do Brasil, formadas a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (Silveira *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2009). No período de fevereiro a junho, a CNB apresenta um fluxo contínuo ao longo da costa brasileira, no sentido noroeste, e entre julho a janeiro, a migração para norte dos ventos alísios promove a retroflexão da CNB, cruzando a linha do Equador e alimentando a Contra-Corrente Norte Equatorial, entre as latitudes 5°N e 10°N (Flagg *et al.*, 1986; Muller-Karger *et al.*, 1995; Field, 2005; Foster *et al.*, 2007).

Os impactos dessa pluma no oceano incluem no aumento das concentrações de nutrientes que contribuem para o aumento da atividade biológica. A comunidade planctônica apresenta um caráter muito dinâmico, com elevadas taxas de reprodução e perda, respondendo rapidamente às alterações físicas e químicas do meio aquático e estabelecendo complexas relações intra e interespecíficas na competição e utilização do espaço e dos recursos (Valiela, 1995). Sendo assim, o fitoplâncton, responde rapidamente as mudanças do meio, apresentando muitas variedades e formas resultantes de flutuações ambientais particulares e indicando o estado trófico do ambiente (Costa *et al.*, 2004). Por esta razão, algumas espécies desta comunidade são utilizadas como bioindicadores oferecendo um panorama da resposta integrada dos organismos a modificações ambientais.

As variações quantitativas que ocorrem em regiões costeiras e oceânicas permitem comprovar o conceito geral de que em regiões tropicais a produção planctônica está sujeita as condições sazonais do vento e pluviosidade, ou mesmo da ação conjunta dos fatores (Eskinazi-Leça *et al.*, 2004). As características hidrográficas têm implicações imediatas sobre a composição e a biomassa da comunidade fitoplanctônica antes de serem refletidas nos estoques biológicos do topo da teia alimentar onde estão incluídos muitos organismos de interesse comercial (Brandini *et al.*, 1997).

A importância em se determinar a capacidade produtiva de um ecossistema consiste em poder avaliar as suas reais condições de manter todos os níveis da teia trófica, e através da relação biomassa/produção fitoplanctônica é possível ainda classificar o referido ambiente quanto ao seu grau de eutrofização (Passavante e Feitosa, 2004).

Através da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) e da produtividade primária, podemos quantificar a produção local, tornando esse parâmetro um dos mais importantes e indispensáveis para os casos de monitoramento ambiental (Smith, 2007). Os estudos sobre biomassa são relevantes, devido à importância deste pigmento na fotossíntese através da qual é processada a matéria orgânica e liberado o oxigênio (Noriega *et al.*, 2005).

Outro método quantitativo é a medição do biovolume celular e a sua conversão em biomassa em carbono, utilizado para estudar a fisiologia, a dinâmica da comunidade, os ciclos de vida e os fluxos de energia do ambiente (Hillebrand *et al.*, 1999; Sun e Liu, 2003; Vadrucchi *et al.*, 2007). Com a utilização da biomassa em carbono é possível comparar a comunidade fitoplanctônica de diferentes ambientes e avaliar as relações entre os níveis tróficos da teia alimentar (Jakobsen *et al.*, 2015).

Para melhor compreender a estrutura e a flutuação da comunidade fitoplanctônica aliada com a metodologia do biovolume, estão os estudos sobre os grupos funcionais que são

agrupamentos ou associações de espécies que se baseiam em atributos fisiológicos, morfológicos e ecológicos, e que possuem características adaptativas para a sobrevivência e dominância em diferentes ambientes aquáticos (Reynolds, 1997; Kruk *et al.*, 2002; Reynolds *et al.*, 2002).

Analisar a estrutura da comunidade fitoplanctônica utilizando as metodologias quali e quantitativas, são importantes para melhor compreender esses organismos e seu funcionamento dentro do ecossistema, além de serem indicadores eficientes de alterações naturais. Um estudo envolvendo esses parâmetros é necessário para contribuir com novas informações sobre a comunidade fitoplanctônica na região da plataforma continental amazônica e região oceânica do Atlântico Tropical.

Trabalhos na área da plataforma continental do Amazonas com foco na produção e biomassa fitoplanctônica ou os relacionando com fatores hidrológicos já foram realizados por DeMaster *et al.* (1983), Teixeira e Gaeta (1991), Smith Jr e Russel (1995), Nittrouer e DeMaster (1996), Smith Jr e DeMaster (1996), DeMaster e Pope (1996), Santos *et al.* (2007), Santos *et al.* (2008 a,b), Santos e Muniz (2010), e Costa *et al.* (2011).

Porém estudos sobre a composição fitoplanctônica ainda são escassos e pontuais na linha de costa. Souza *et al.*, (2008) estudou microfitoplâncton na Ilha de Canela, Pará. No REVIZEE, Souza *et al.* (2009) trabalharam com microfitoplâncton da plataforma amazônica, na costa do estado do Amapá, Costa *et al.* (2011) realizaram estudo sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no ambiente de praia no litoral da região norte e Matos *et al.* (2012) caracterizaram quali-quantitativamente o fitoplâncton da zona de arrebentação de uma praia amazônica.

Estudos com foco na influência da pluma do rio Amazonas na comunidade fitoplanctônica temos Goes *et al.* (2014), utilizando uma metodologia capaz de discriminar vários tipos de pigmentos na época de maior vazão. Alguns trabalhos foram realizados no foco de analisar a influência das águas de pluma em organismos diazotróficos, capazes de fixar nitrogênio atmosférico e seus efeitos no transporte de carbono, temos: Carpenter *et al.* (2004), Shipe *et al.* (2006), Foster *et al.* (2007), Subramaniam *et al.* (2008) e Yeung *et al.* (2012).

Dentre os trabalhos pretéritos, podemos destacar o projeto AmaSeds (A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study) que realizou estudos multidisciplinares na plataforma continental amazônica, com o objetivo de compreender os processos oceânicos associados ao fluxo de água doce e ao material em suspensão proveniente do Rio Amazonas. Dentre os grupos interdisciplinares estão a oceanografia física, geoquímica da coluna d'água –

incluindo a produtividade primária, transporte de sedimentos, diagênese química associada a biologia bentônica e sedimentologia/estratigrafia (Nittrouer *et al.*, 1991; Coutinho, 2000). Outro projeto que caracterizou a região Norte do Brasil foi REVIZEE que teve como objetivo principal proceder o levantamento dos potenciais sustentáveis de captura dos recursos vivos na zona econômica exclusiva (ZEE).

Este trabalho faz parte de um projeto multidisciplinar intitulado: Camadas Finas III CNB/Pluma do Amazonas e Camadas Finas V, do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ambientes Marinhos Tropicais – INCT-AmbTropic.

1.1 ESTRUTURA E OBJETIVOS DA TESE

De acordo com os objetivos e resultados obtidos ao longo da realização do presente estudo, esta tese foi dividida em três capítulos. Cada capítulo se refere a artigos científicos e seguem as normas da ABNT.

Capítulo 1: “*Dinâmica da produtividade primária e parâmetros oceanográficos sob influência da pluma do Rio Amazonas*”

Este estudo teve como foco analisar a distribuição da clorofila *a* e a produtividade primária na região do Norte do Brasil, avaliando os fatores que influenciam a produtividade primária líquida e os parâmetros ambientais nas águas de pluma e nas águas oceânicas adjacentes, no período de maior extensão espacial da pluma do Rio Amazonas no Atlântico.

Capítulo 2: “*Variação espacial da comunidade fitoplanctônica na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente*”

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a distribuição espacial da comunidade fitoplanctônica ao longo da plataforma continental Norte e região oceânica adjacente, em duas profundidades (superfície e PMC). Relacionando o biovolume celular e biomassa em carbono com os parâmetros hidrológicos que podem condicionar mudanças na estrutura da comunidade.

Capítulo 3: “*Grupos funcionais fitoplanctônico na plataforma continental do Amazonas e região oceânica adjacente*”

Este capítulo tem como objetivo caracterizar as associações fitoplanctônicas e sua relação com as variáveis ambientais e investigar a variação espacial dessas associações na plataforma continental amazônica e região oceânica.

2 DINÂMICA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA E PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS SOB INFLUÊNCIA DA PLUMA DO RIO AMAZONAS

Introdução

A produção primária e as concentrações de clorofila *a* estão sempre em dependência dos efeitos sinérgicos entre os fatores meteorológicos, físicos, químicos e biológicos que limitam ou estimulam a atividade dos organismos planctônicos fotossintetizantes (Andersen, 2006; Smith, 2007). Mudanças ambientais que provocam alterações em parâmetros como luz, temperatura, salinidade, pH e disponibilidade de nutrientes impactam diretamente a biomassa, densidade, estrutura da comunidade e produtividade primária (Eskinazi-Leça e Koenig, 1991).

Os aportes fluviais transportam quantidades significativas de nutrientes afetando especialmente as regiões da plataforma continental, que atuam como um receptor final dessas águas e têm um grande impacto na estrutura da comunidade fitoplanctônica. A estrutura dinâmica resultante deste processo é uma massa de água flutuante com uma menor densidade do que das águas costeiras, chamada de pluma de rio (Kourafalou *et al.*, 1996; Trochimczuk e Schettini, 2003; Dagg *et al.*, 2004; Foster, *et al* 2007).

A bacia hidrográfica do rio Amazonas descarrega cerca de $120,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água doce, como também é responsável por cerca de 30% do fluxo terrestre de água doce para o Oceano Atlântico (Wisser *et al.*, 2010; Goes *et al.*, 2014). Apresenta uma pluma superficial de aproximadamente 3-10m de espessura, que abrange uma área que varia entre $2,31 \times 10^6 \text{ km}^2$ e $5,26 \times 10^6 \text{ km}^2$. Dessa forma, ela influencia significativamente no fluxo de nutrientes, e outros materiais em suspensão, interferindo na biogeoquímica de inúmeros elementos presentes ao longo da plataforma continental (Lentz e Limeburner, 1995; Smith Jr e DeMaster, 1996; Cai *et al.*, 2013; Ibáñez *et al.*, 2016). Devido a essa influência a pluma possui uma estrutura fitoplanctônica diferenciada em relação a região oceânica adjacente, com elevadas concentrações de pigmentos fotossintéticos (Shippe *et al*, 2006).

Trabalhos anteriores no Atlântico Norte Tropical (Smith e DeMaster, 1996; Shippe *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2008, entre outros) relataram que a influência da pluma do Rio Amazonas tem implicações na distribuição da produtividade fitoplanctônica, clorofila *a* e sobre as características hidrológicas na plataforma adjacente e na zona oceânica.

Trabalhos pretéritos no Atlântico Norte Tropical Ocidental (Smith e Russel, 1995; Smith e DeMaster, 1996; DeMaster *et al.*, 1996; Nittrouer e DeMaster, 1996) relataram que a influência da pluma do rio Amazonas têm implicações na distribuição da produtividade

primária, da clorofila *a* e das características hidrológicas da plataforma adjacente e da zona oceânica. Shipe *et al.* (2006), Foster *et al.* (2007) e Subramaniam *et al.* (2008) quantificaram a biomassa fitoplanctônica e a produtividade primária, e relataram uma forte relação do grupo de diatomáceas em águas de plumas (Santos *et al.*, 2008a; Santos *et al.*, 2008b). Andersen *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2008) classificaram através da clorofila *a* como as áreas de influência do rio são eutróficas ($1,67 \text{ mg m}^{-3}$), enquanto Araújo *et al.* (2017) relatou sua influência na comunidade planctônica ao longo do *continuum* Rio Amazonas— Oceano no período de descarga mínima.

Esse estudo teve como foco analisar a distribuição da clorofila *a* e a produtividade primária na região do Norte do Brasil, avaliando os fatores que influenciam a produtividade primária líquida e os parâmetros ambientais nas águas de pluma e nas águas oceânicas adjacentes, no período de maior extensão espacial da pluma do Rio Amazonas no Atlântico.

Materiais e Métodos

Descrição da área de estudo

A área de estudo é caracterizada por apresentar clima tropical úmido (Köppen tipo AF), com pluviosidade alta e constante ($>60 \text{ mm/mês-1}$; $>1500 \text{ mm ano-1}$) e temperatura $>20^\circ\text{C}$. A descarga de água do rio Amazonas varia sazonalmente, com pico de fluxo em maio/junho e vazão mínima em outubro/novembro (Nittrouer *et al.*, 1991; DeMaster e Pope, 1996; Knoppers *et al.*, 2002). Apesar do grande aporte fluvial que interfere no movimento das águas na plataforma, as forçantes físicas como marés, pluviometria e os ventos são fatores determinantes. As correntes de maré atingem velocidades de até 2m/s na mistura das diferentes massas d'água. Os ventos alísios dominantes são mais intensos de dezembro a abril, promovendo o aumento de energia das ondas e modificando o fluxo do Amazonas sobre a plataforma (Souza, 2010).

A plataforma continental Norte possui uma extensão máxima de 320 Km na foz do rio Amazonas (Brandini *et al.*, 1997; Coutinho, 2000; Knoppers *et al.*, 2002). A circulação próxima da superfície é caracterizada pela presença da Corrente Norte do Brasil (CNB), e sua componente em subsuperfície a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB), formadas a partir da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) (Silveira *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2009). No período de fevereiro a junho, a CNB apresenta um fluxo contínuo ao longo da costa brasileira, no sentido noroeste. E entre julho a janeiro, a migração para norte dos ventos alísios promove a retroflexão da CNB, cruzando a linha do Equador e alimentando a Contra-Corrente Norte

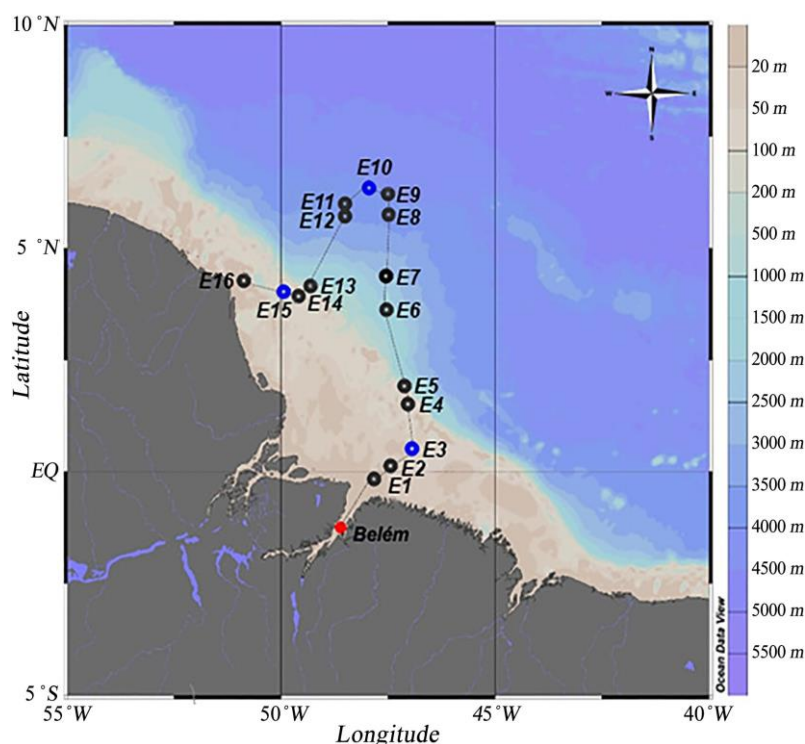
Equatorial (CCNE), entre as latitudes 5°N e 10°N (Flagg *et al.*, 1986; Muller-Karger *et al.*, 1995; Ffield, 2005; Foster, 2007).

Amostragem

Dados da amostra

As coletas foram realizadas na campanha oceanográfica “Camadas Finas V” realizada no mês de setembro/2014, em 16 estações ao longo da plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente, a bordo da embarcação NHO 38 (Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul) pertencente à Marinha do Brasil, em duas profundidades (superfície e PMC – profundidade máxima de clorofila) (Figura 1).

Figura 1. Posicionamento das 16 estações amostradas ao longo do percurso do navio durante o cruzeiro Camadas Finas V (CFV), em setembro de 2014.



Fonte: Amanda Otsuka.

Em cada estação, mediram-se perfis verticais superficiais (até 400 m) de parâmetros hidrodinâmicos, físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros hidrodinâmicos foram determinados através de um Perfilador ADCP de Casco, em quanto que a salinidade, temperatura e profundidade mediram-se utilizando um perfilador CTD Seabird 25. Em paralelo, amostras de água foram coletadas com garrafas Niskin nas duas profundidades selecionadas para a determinação de oxigênio dissolvido, nutrientes, clorofila *a* e produtividade fitoplanctônica.

Pré-processamento dos dados

As análises de oxigênio dissolvido foram aferidas pelo método de Winkler modificado, descrito em Strickland e Parsons (1972); os nutrientes nitrito e nitrato foram analisadas pelo método de Strickland e Parsons (1972) e a amônia, silicato e fosfato, seguindo métodos colorimétricos padrão (Grasshoff *et al.*, 1983).

Para a análise de clorofila *a* total, foram realizadas filtrações utilizando filtros GF/C da Whatman de 47mm de diâmetro. O volume filtrado variou de 1 a 3L dependendo da quantidade de material retido no filtro. Após esse procedimento, foi feita a extração da clorofila *a* na acetona 90% durante 24 horas a -18° C. Duma maneira similar a determinação da clorofila *a* total, determinou se também nas amostras a clorofila *a* correspondente a fração <20 µm. Para este fracionamento, as amostras passaram por uma malha de 20 µm antes da filtração. A biomassa fitoplanctônica foi quantificada através da concentração de clorofila *a* utilizando o método espectrofotométrico da UNESCO (1966) e os cálculos pela equação de Parsons & Strickland (1963), com os resultados expressos em mg m⁻³.

Em cada estação e profundidade de medida, a produtividade fitoplanctônica foi determinada através do método ¹⁴C de Steemann-Nielsen (1952), utilizando uma ampola de NaHCl 10 µCi da Dupont, para cada três frascos borossilicato de 120 ml (uma escuro e dois transparentes) e com incubação simulada a bordo do navio durante 3 horas e a temperatura in-situ. Após a incubação, as amostras foram filtradas à vácuo em filtros GF/F da Whatman de 47 mm de diâmetro. A leitura dos filtros foi processada no cintilador líquido Tri-Carb da Packard do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Os cálculos de produtividade foram baseados em Teixeira (1973), onde considera-se a produtividade primária líquida resultante da subtração da produção bruta e a respiração, e os resultados expressos em mg C m⁻³ h⁻¹ foram posteriormente recalculados para g C m⁻² d⁻¹. O carbono inorgânico dissolvido, preciso para os cálculos de produtividade, foi medido nas mesmas profundidades de coleta e estão apresentados em Lefèvre *et al.* (2017).

Para além dos dados obtidos na amostragem, os dados diários da Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (Huffman *et al.*, 2007) (<http://precip.gsfc.nasa.gov/>; resolução de 0.25°) foram utilizados para estimar a influência da chuva associada a ZCIT na região de amostragem. Os dados da TRMM correspondentes aos dias de amostragem foram interpolados linearmente à posição do navio.

Análise estatística

Para análise estatística, a correlação de Pearson foi utilizada para analisar as relações entre as variáveis. Os cálculos foram realizados utilizando o software PAST versão 3.02.

Resultados

A influência da pluma do Amazonas na salinidade superficial da região amostrada foi notória. A salinidade variou na superfície de 28 (E16) a 36,8 (E2), com média de 34,5 ($\pm 2,73$). Na PMC, os valores variaram entre 35,08 (E16) a 36,07 (E4). Pode-se observar valores menores de salinidade (<35) nas estações 11 a 16 (Figura 2), as demais estações os valores encontrados são típicos de áreas oceânicas.

A média da temperatura foi 27,9°C ($\pm 0,71$) na superfície e 26,7°C ($\pm 1,4$) na PMC. A partir dos perfis de CTD, verifica-se uma termoclina em torno de 80 a 120 m de profundidade (E5 a E9), e nas Estações 10 a 13 foi observado uma termoclina mais rasa, cerca de 10 a 30 m de profundidade (Figura 2).

A partir dos dados de ADCP, foi possível notar correntes superficiais ao longo da costa na direção noroeste, porém com menor intensidade, com valores médios entre 0,30 a 0,44 m s⁻¹ e correntes com maior velocidade em direção a leste, apresentando valores médios entre 1,30 a 1,37 m s⁻¹, na região oceânica entre aproximadamente 6°- 8°N (Figura 3).

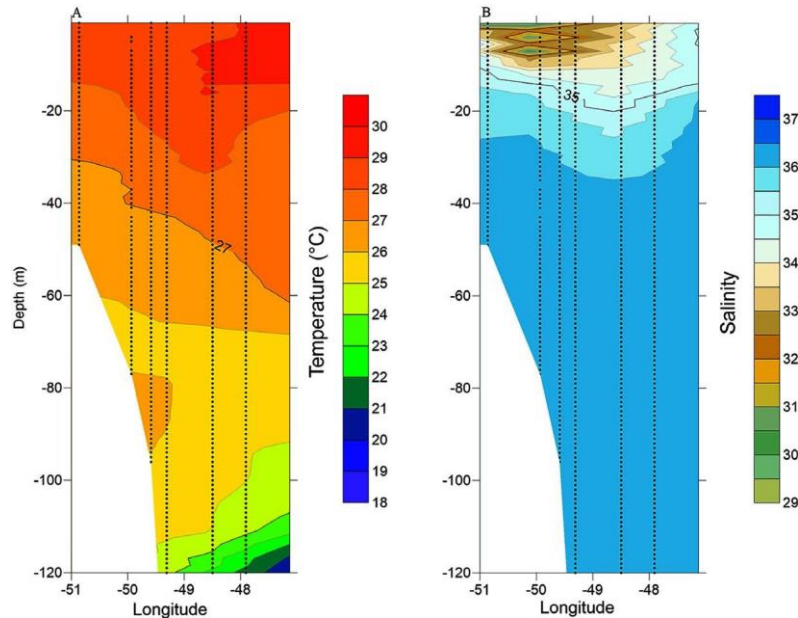
A concentração de material particulado em suspensão (MPS) foi maior na superfície, nas primeiras estações (1-5), com o máximo de 4,95 mg L⁻¹ (E1) e média de 2,17 mg L⁻¹ ($\pm 1,41$).

O oxigênio dissolvido, na superfície, variou entre 3,46 mg L⁻¹ (E13) a 6,46 mg L⁻¹ (E16) com média de 4,83 mg L⁻¹ ($\pm 0,68$). Na PMC, a variação foi menor com mínimo de 3,90 mg L⁻¹ (E12) e máximo de 4,88 mg L⁻¹ (E8), apresentando média de 4,7 mg L⁻¹ ($\pm 0,25$) (Figura 4).

Em relação aos nutrientes, o silicato foi o que se destacou com concentrações que variaram entre 0,19 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E6) a 37,20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E16) na superfície com média de 6,7 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 9,19$) (Figura 4). Ainda, o silicato apresentou uma forte correlação negativa com a salinidade. Na PMC a variação foi de 0,37 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E9) a 10,9 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E14) com média de 3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 2,53$). Os valores de NID na superfície variaram entre 0,02 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E5) e 5,24 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E13), com média de 1,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 1,43$), e na PMC a variação foi de 0,02 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E3 e E6) e 7,3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ (E8), com média de 1,5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 1,84$). A média do fosfato na superfície foi de 0,1 ($\pm 0,03$) $\mu\text{mol L}^{-1}$ e na PMC foi de 0,1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,04$). O nitrato foi a

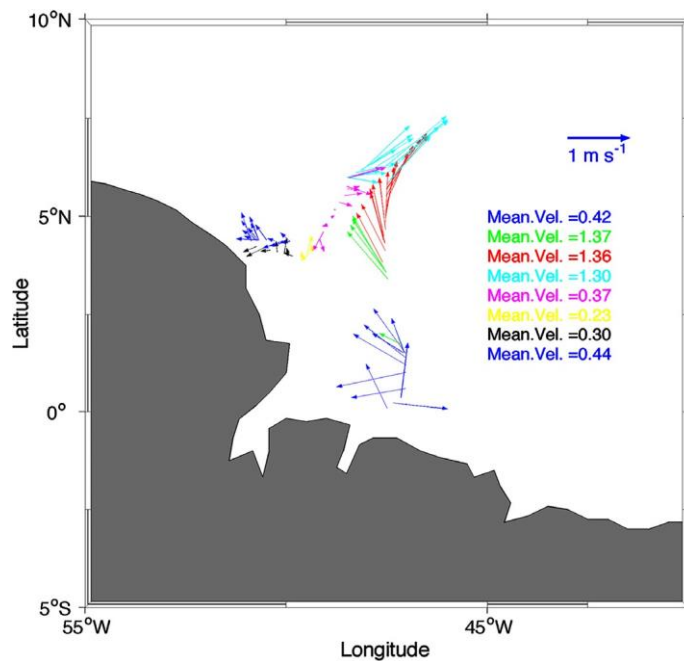
forma dominante dos nutrientes nitrogenados. De um modo geral, os nutrientes nitrogenados e o fosfato apresentaram valores baixos, característicos de ambientes oligotróficos.

Figura 2. Perfis verticais interpolados de (A) temperatura e (B) salinidade de estações de amostragem E10 - E16 durante o cruzeiro CFV, setembro de 2014. Estas estações foram as únicas que apresentaram águas menos salinas na camada superficial.



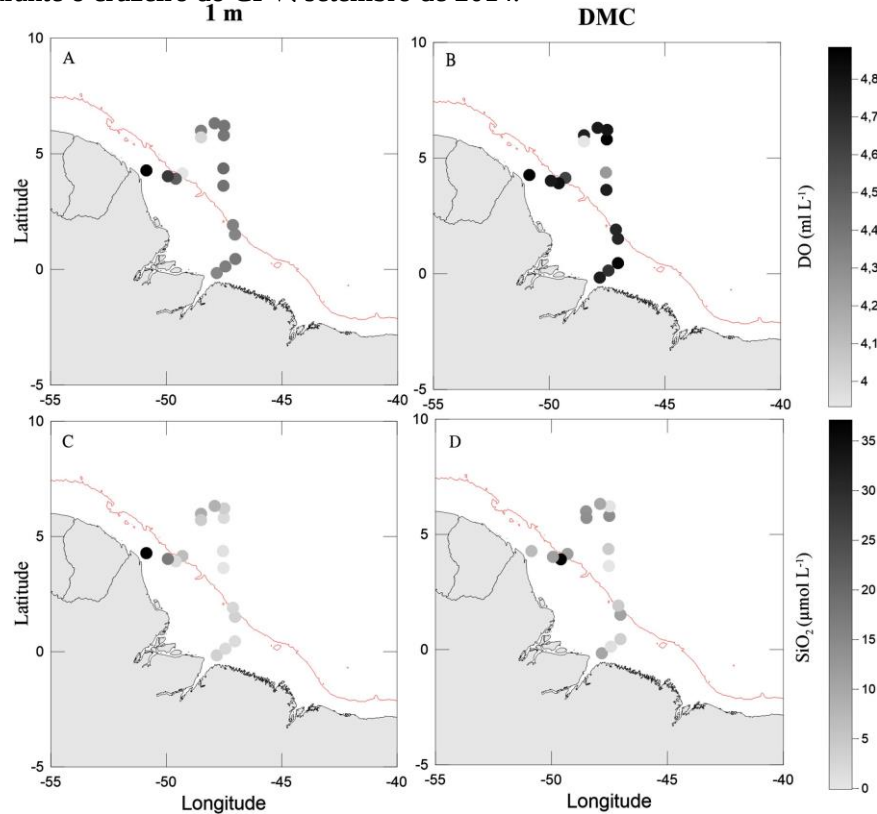
Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 3. Direção e intensidade da circulação da camada superficial medida a bordo durante o cruzeiro CFV, setembro de 2014. Intensidade de velocidade média agrupada na legenda



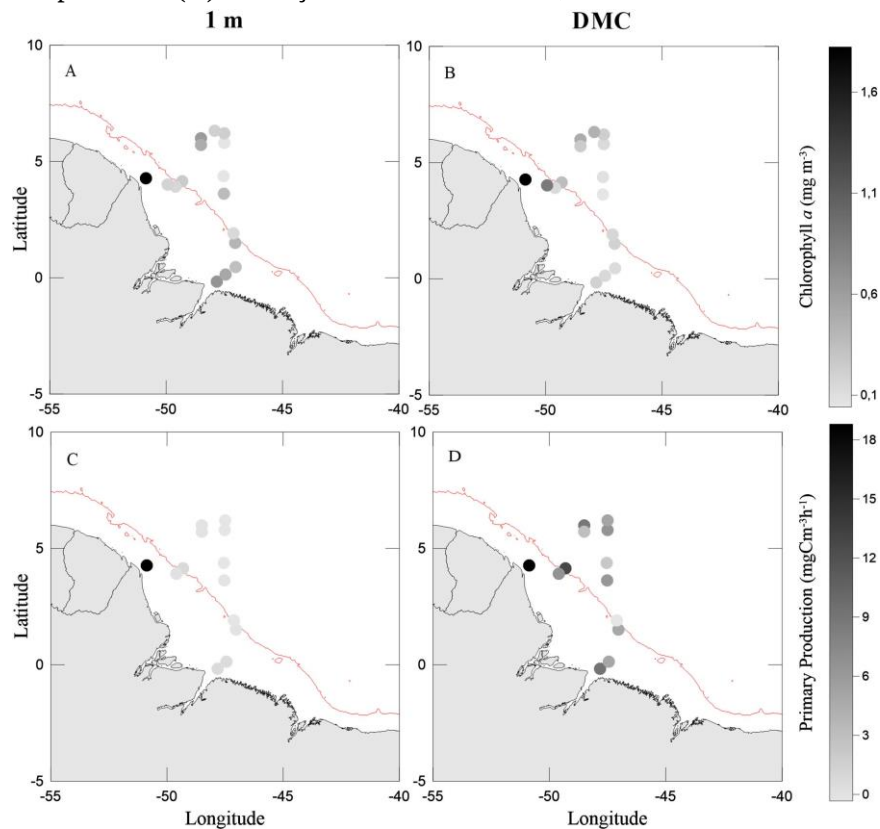
Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 4. Distribuição de (A) OD na superfície, (B) OD na PCM, (C) SiO_2 na superfície e (D) SiO_2 na PCM, durante o cruzeiro do CFV, setembro de 2014.



Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 5. Distribuição de (A) Clorofila a na superfície, (B) Clorofila a em PCM, (C) Produção Primária na Superfície e (D) Produção Primária na PCM, durante o cruzeiro do CFV, setembro de 2014.



Fonte: Amanda Otsuka

A concentração da clorofila *a* total na superfície variou entre 0,07 mg m⁻³ (E7) e 1,83 mg m⁻³ (E16) com média de 0,42 mg m⁻³ ($\pm$ 0,42). Na PMC, variou entre 0,18 mg m⁻³ (E8) e 0,92 mg m⁻³ (E15) com média 0,51 mg m⁻³ ($\pm$ 0,22). A clorofila <20 μ m correspondeu a 51,56% e 63,85% da clorofila *a* total, na superfície e PMC, respectivamente.

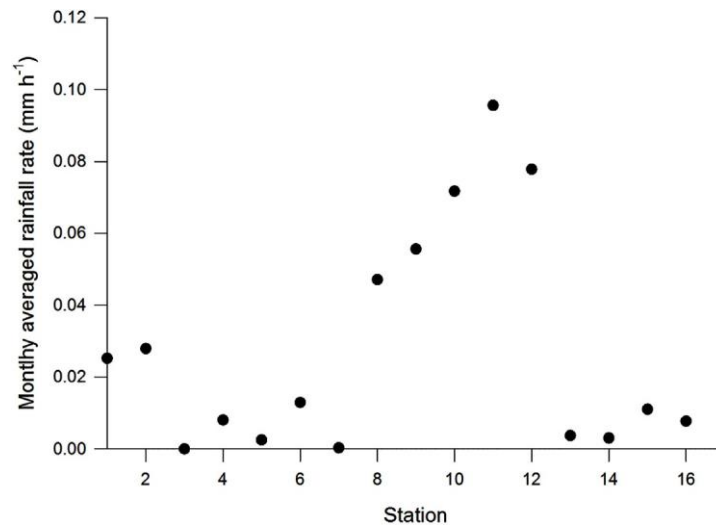
Na estação 16 foi registrado os maiores valores de produção primária, junto com os valores mais elevados de clorofila *a* e silicato. A produtividade teve o máximo de 18,81 mgC m⁻³ h⁻¹, seguido da E13 (1,58 mgC m⁻³ h⁻¹), E1 (1,44 mgC m⁻³ h⁻¹) e E2 (1,44 mgC m⁻³ h⁻¹), todos na superfície. Na PMC, o máximo foi 1,02 mgC m⁻³ h⁻¹ na estação 16, as demais estações estiveram abaixo de 1 mgC m⁻³ h⁻¹. A média de todas as estações amostradas na superfície foi de 2,7 mgC m⁻³ h⁻¹ ($\pm$ 7,68) e 0,4 mgC m⁻³ h⁻¹ ($\pm$ 0,26) na PMC. A produtividade fitoplanctônica correlacionou positivamente com a clorofila *a* total e o silicato. Ainda mais, estes três parâmetros mostraram uma forte correlação negativa com a salinidade superficial (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes de correlação (*r*) entre PP, Cl (clorofila *a*), Salinidade (Sal) e SiO₂. O número de observações (*n*), α , p-valor (*p*) e graus de liberdade (*df*) também são indicados.

	<i>r</i>	<i>n</i>	α	<i>p</i>	<i>df</i>
<i>PP/Chl</i>	0.85				
<i>PP/Sal</i>	-0.74				
<i>PP/SiO₂</i>	0.94	18	0.0	<0.0	99
			5	5	
<i>Chl/SiO₂</i>	0.84				
<i>Sal/SiO₂</i>	-0.72				

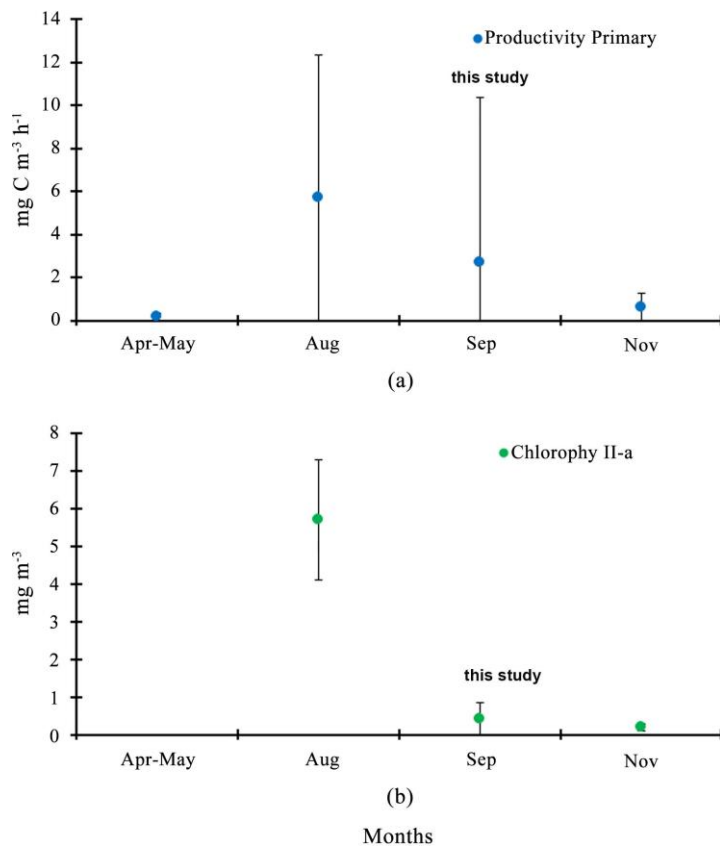
Fonte: Amanda Otsuka

Figura 6. Taxa de precipitação diária obtida a partir do TRMM e interpolada na posição de cada estação de amostragem durante o cruzeiro CFV, setembro de 2014.



Fonte: Amanda Otsuka

Figura 7. Produtividade primária (a) e clorofila *a* (b) observada na região de estudo (média e desvio padrão). Abr-Mai (Teixeira e Tundisi, 1976); Agosto (Shipe *et al.*, 2006); Set (este estudo); Nov (Smith e DeMaster (1996)).



Fonte: Amanda Otsuka

Discussão

As plumas fluviais podem se estender a longas distâncias e são área importantes para a produtividade biológica devido ao seu aporte de nutrientes (Kang *et al.*, 2013). A expansão da pluma do Rio Amazonas não depende apenas da sua vazão volumétrica, mas da dinâmica de circulação existente em sua plataforma, consequência da direção e velocidade dos ventos (Smith Jr e Russel, 1995). No período de fevereiro a junho, a CNB (Corrente Norte do Brasil) apresenta um fluxo contínuo ao longo da costa brasileira, no sentido noroeste. E entre julho a janeiro, a migração para norte dos ventos alísios de sudeste promove a retroflexão da CNB, cruzando a linha do Equador e alimentando a Contracorrente Norte Equatorial (CCNE), entre as latitudes 5°N e 10°N (Flagg *et al.*, 1986; Muller-Karger *et al.*, 1995; Field, 2005; Foster *et al.*, 2007).

No presente estudo, os dados da ADCP destacam correntes de maior intensidade direcionando à leste e incorporando a CCNE. Esse direcionamento ocorre devido a influência da retroflexão da CNB, que neste período, em decorrência do deslocamento da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) mais para o norte, ocasionando a intensificação da corrente (Silveira *et al.*, 1994; Müller-Karger *et al.*, 1995; Schott *et al.*, 1998; Wilson *et al.*, 2002). Padrão semelhante foi relatado por Bourlés *et al.*, (1999), que registrou altas velocidade da corrente CNB, acima de 90 cm s⁻¹, nos primeiros 50 m de profundidade, no mês de setembro. É por causa deste padrão de circulação que a pluma do Amazonas apresenta uma forte sazonalidade na sua distribuição no Atlântico tropical, sendo transportada em direção ao centro do Atlântico tropical durante a segunda metade do ano.

Durante o período de amostragem deste estudo (setembro 2014), a pluma do Amazonas está próxima a sua maior extensão, a pesar de se corresponder com o período de menor evasão do Rio. Assim, as estações 11 a 13 apresentam salinidade superficial significativamente menor a das águas oceânicas adjacentes mesmo estando localizadas muito afastadas da costa (posicionadas entre 4° e 6° N). Nestas estações oceânicas caracterizadas por salinidades relativamente baixas foram observadas uma haloclina e termoclina mais rasas com profundidades aproximadas de 10 a 30 m, corroborando com Shipe *et al.* (2006) que afirmam que nas águas com influência da pluma há uma estratificação e uma haloclina mais rasa. No entanto, a região apresenta uma outra fonte de água doce que pode alterar significativamente a salinidade superficial e gerar uma haloclina e termoclina rasa; a precipitação.

A ZCIT apresenta elevadas precipitações durante todo o ano e durante a campanha apresentada aqui, a ZCIT estava situada na região Norte amostrada. Os dados de precipitação interpolados na posição das estações amostradas mostram que as estações 10, 11 e 12 são as mais afetadas pela precipitação. De acordo com Ibánhez et al., (2016) e Coles et al., (2013), a intensa pluviosidade associada à ZCIT aumenta a extensão das águas salobras superficiais na região, que coincidem espacialmente com a pluma do Amazonas e que pode resultar na sobrestimação da área da pluma em mais do 20% quando estimada só em base na salinidade. O impacto da ZCIT na salinidade da região poderia assim explicar que nas estações 11 e 12 a redução de salinidade observada não é acompanhada pelo aumento das concentrações da produtividade, clorofila *a* e silicato por comparação com as águas oceânicas amostradas.

Os fluxos mostram a direção das correntes ao norte com vetores de menor velocidade (Figura 3), influenciando a distribuição da produtividade fitoplancônica, onde pode-se observar que as estações com maior produtividade foram as primeiras estações (E1 e E2), a E13 correspondente ao limite da plataforma e especialmente a E16, situada na plataforma interna com aproximadamente 400 km de distância da foz, sendo estas duas últimas consideradas águas de pluma.

De acordo com a classificação de Tundisi e Tundisi (1976), no geral as produtividades apresentadas neste estudo são típicas de águas tropicais oligotróficas, com exceção da E16 que se classifica como eutrófica. Padrão semelhante foi registrado por Shipe *et al.* (2006) que encontraram produtividades de entre 0,02 a 0,13 g C m⁻² dia⁻¹ em águas de pluma e 0,02 a 0,12 g C m⁻² dia⁻¹ em águas oceânicas. Em outro trabalho Santos *et al.* (2008), registraram valores ligeiramente superiores, mas não houve diferença significativa entre as águas com diferentes salinidades apresentando produtividades de 0,42 (baixa salinidade), 0,68 (mesohalina) e 0,70 g C m⁻² dia⁻¹ (oceânica).

Pesquisas anteriores como Teixeira e Tundisi (1967), registraram valores entre 0,01 e 0,86 g C m⁻² dia⁻¹ no período de maior vazão do Rio (Abril-Maio). No trabalho de Smith e DeMaster (1996), dividem a área em três zonas baseado na turbidez e salinidade. Eles encontraram concentrações de produtividade na zona com salinidade <32 (zona transição), uma média de 2.61 g C m⁻² dia⁻¹ e em zona oceânica (salinidade >32) 0.81 g C m⁻² dia⁻¹ no período de descarga mínima, para o período de vazão máxima foram registrados valores de 6,91 g C m⁻² dia⁻¹ na zona de transição.

A E16 se diferencia das demais por apresentar valores significativamente elevados de produtividade primária (28,22 mg C m⁻³ h⁻¹), clorofila *a* (1,83 mg m⁻³), silicato (37,20 μmol L⁻¹) e oxigênio dissolvido (6,46 ml L⁻¹), sendo tipicamente água de pluma (salinidade= 28).

Essas concentrações mais elevadas do silicato, favorecem um maior desenvolvimento das diatomáceas em relação aos outros grupos, fato este relatado por Shipe *et al.* (2006). Ademais, o elevado aporte de silicato carregado pela pluma suporta também a associação de diatomáceas com fixadoras de N₂ atmosférico, o que resulta em elevadas taxas de produtividade na pluma (Subramaniam *et al.* 2008), como as encontradas em esta estação.

A clorofila *a* seguiu o mesmo padrão da produtividade fitoplanctônica. De acordo com Smith e DeMaster (1998), para o período de descarga mínima, o mesmo para o presente trabalho, valores semelhantes de 1,5 µg l⁻¹ foram encontrados na zona de transição (salinidade <32) que corresponde a área da E16, estes altos valores são esperados pelo aumento no crescimento fitoplanctônico em função de bruscas variações de transparência da água e disponibilidade de nutrientes.

Nas demais estações com alta salinidade (>35), os valores registrados foram semelhantes ao encontrado por Smith e DeMaster (1996) (*op.cit.*), Shipe *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2008). Para região oceânica, utilizando a classificação de Lalli e Parsons (2006), o ambiente estudado, no período de baixa descarga, foi caracterizado como oligotrófico, com valores ≤0,5 mg m⁻³.

Incluimos uma comparação de diferentes estudos que relataram produtividade primária e clorofila-*a* nesta região (Figura 7). Os valores observados neste estudo estão dentro da faixa de valores relatados por outros autores. O desvio padrão da produtividade primária nos meses de agosto e setembro é alto e pode ser explicado pela ampla região estudada, incluindo estações próximas à costa.

A clorofila <20µm (picoplâncton) correspondeu mais de 50% da clorofila total em quase todas as estações amostradas. De acordo com Ganesella e Saldanha-Corrêa (2008), ambientes oligotróficos, como por exemplo, a zona oceânica tropical, são caracterizados por baixas concentrações de clorofila *a* e geralmente apresentam células de pequeno tamanho (picoplâncton). É importante salientar que o picoplâncton pode se constituir no principal componente do fitoplâncton em alguns locais, permanente ou temporariamente, e esta tendência muitas vezes está relacionada à sua grande capacidade de competir por nutrientes e sua elevada tolerância às variações de condições ambientais (Lourenço and Marques, 2009). A exceção a este padrão geral encontrado é a E16 onde a fração do microfitoplâncton (>20µm) corresponde com 65%.

Nas estações próximas a foz (E1 a E4), há um discreto aumento da concentração de clorofila *a* e produção primária, coincidindo com maiores concentrações de MPS comparado com as estações oceânicas (E5 a E9). Essas estações estão próximas da região costeira para

leste da foz do rio. Esta região costeira é altamente dinâmica e produtiva, com o sistema de manguezal contínuo maior do planeta e submetido a um regime de macro maré semidiurna com amplitudes em torno de 4 a 6m o que pode determinar elevadas taxas de exportação de MPS e nutrientes estimulando a produção primária sobre a plataforma, mesmo sem a participação direta da pluma (salinidade >35) (Gabioux *et al.*, 2005; Gallo e Vinzon, 2005; Santos *et al.*, 2008). Nestas estações, foram medidas elevadas quantidades de material orgânico dissolvido com origem terrestre (Lefèvre *et al.*, 2017), o que sugerem que a exportação de material costeiro para a plataforma contribui também duma maneira significativa para a produtividade primária na região.

Nas restantes estações amostradas, a concentração do MPS foi $< 2 \text{ mg L}^{-1}$ inclusive na E16. O Rio Amazonas carrega uma grande quantidade de material em suspensão, o que limita fortemente a produtividade primária e determina que dominem os processos heterotróficos junto da foz do Rio (Lefèvre *et al.*, 2017). No entanto, e de acordo com Dagg *et al.* (2004), na plataforma há uma redução na turbulência que reduz a capacidade do transporte de materiais em suspensão, aumentando assim a penetração de luz. Outros autores, Santos *et al.* (2008) e Gessner (1962) correlacionaram essas altas taxas de sedimentação com os altos valores de oxigênio, devido ao aumento da transparência da água que acarreta no crescimento do fitoplâncton. O aumento da transparência determina assim as elevadas taxas de produtividade primária como as encontradas em este estudo na estação 16 localizada na plataforma Amazônica e transformam a pluma num sistema autotrófico líquido.

A partir da análise dos dados coletados em setembro de 2014 na campanha oceanográfica “Camadas Finas V”, é possível concluir que, mesmo considerando o período mínimo de vazão do Rio Amazonas, a pluma do Rio Amazonas pode atingir e influenciar os parâmetros oceanográficos da região, incluindo a região $4^\circ - 7^\circ\text{N}$. Isso se deve à presença de retroflexão CNB nessa época do ano, promovida pela migração de ventos. Assim, velocidades mais altas foram medidas mais para o leste na região $4^\circ - 7^\circ\text{N}$ do que para o oeste ao longo da costa. Esse padrão de circulação determina a alta área de influência da bacia amazônica nessa época do ano.

O transporte da pluma amazônica, devido ao padrão local de circulação oceânica, determina a diminuição da salinidade superficial, aumentando o teor de nutrientes, principalmente o silicato, os teores de clorofila *a* e produtividade primária. Esta zona de transição que inclui, dependendo do seu período de descarga, uma área muito significativa da plataforma continental e da zona oceânica, desempenha um importante papel ecológico para a comunidade pelágica, aumentando a capacidade produtiva do sistema. No entanto, os

resultados apresentados aqui também mostram que a exportação de material da costa adjacente é outro determinante da produtividade da região, aumentando a produtividade perto da costa nesta região oceânica oligotrófica.

Conclusões

O objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição dos parâmetros oceanográficos, clorofila *a* e produtividade primária sob a influência da pluma do Rio Amazonas, durante o período de maior extensão da pluma amazônica. As correntes de superfície ao longo da costa foram de menor intensidade na direção noroeste, enquanto as correntes com maior intensidade foram observadas na direção leste, principalmente devido à retroflexão da Corrente Norte do Brasil nesta época do ano. A influência espacial da pluma foi observada na salinidade, embora a alta precipitação na região também possa ter contribuído como fonte de água doce. No entanto, a região amostrada apresentou forte correlação linear negativa do silicato, clorofila *a* e produtividade primária com salinidade. A produtividade primária e a clorofila *a* diminuem seus valores à medida que se afastam da costa.

Os valores de produtividade primária e clorofila *a* observados foram semelhantes aos registrados por estudos anteriores nesta região. Os resultados também sugerem que a exportação de material da região costeira adjacente é um fator determinante da produtividade da região estudada, principalmente devido à extensão geográfica da pluma do Rio Amazonas nesta época do ano.

Referências bibliográficas

ANDERSEN, J. H.; SCHLÜTER, L.; ÆRTEBJERG, G. Coastal Eutrophication: plankton recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of Plankton Research*, v. 28, p. 621-628, 2006.

ARAÚJO, M. et al. A Synoptic assessment of the amazon river-ocean continuum during boreal autumn: from physics to plankton communities and carbon flux. *Frontiers in microbiology*, v. 8, p. 1358, 2017.

BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; CHUCHLA, R. On the Circulation in the Upper Layer of the Western Equatorial Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, v. 104, p. 21. 151-21. 170, 1999

BRANDINI, F. P. et al. *Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisao bibliografica*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/_arquivos/plancto.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2018.

- CAI, W. J.; CHEN, A. C. T.; BORGES, A. Carbon dioxide dynamics and fluxes in coastal waters influenced by river plumes. In: BIANCHI, T. S.; ALLISON, M. A.; CAI, W. L. *Biogeochemical Dynamics at Major River-Coastal Interfaces*. Cambridge, p. 155-173, 2013.
- COLES, V. J. et al. The pathways and properties of the Amazon river plume in the tropical North Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 118, n. 12, p. 6894 - 6913, 2013.
- COUTINHO, P. Oceanografia geológica. In: COUTINHO, p. *Levantamento do Estado da Arte da Pesquisa dos Recursos Vivos Marinhos do Brasil*. Brasília, MMA, SMA -Programa REVIZEE, 2000. p. 75.
- DAGG, M. et al. Transformation of Dissolved and Particulate Materials on Continental Shelves Influenced by Large Rivers: Plume Processes. *Continental Shelf Research*, v. 24, p. 833-858, 2004.
- DAMASTER, D. J.; POPE, R. H. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDs. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 3, p. 263-289, 1996.
- DEMASTER, D.J.; SMITH JR., W.O.; NELSON, D.M.; ALLER, J.Y. Biogeochemical Processes in Amazon Shelf Waters: Chemical Distributions and Uptake Rates of Silicon, Carbon and Nitrogen. *Continental Shelf Research*, v. 16, p. 617-643, 1996.
- FFIELD, A. North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 52, n. 1, p. 137 -160, 2005.
- FLAGG, C. N.; GORDON, R. L; MCDOWELL, S. Hydrographic and Current Observations on the Continental Slope and Shelf of the Western Equatorial Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 16, p. 1412-1429, 1986.
- FOSTER, A. R. et al. Influence of the Amazon River Plume on Distributions of Free-Living and Symbiotic Cyanobacteria in the Western Tropical North Atlantic Ocean. *Limnology and Oceanography*, v. 52, p. 517-532, 2007.
- GABIOUX, M.; VINZON, S. B.; PAIVA, A. M. Tidal Propagation over Fluid Mud Layers on the Amazon Shelf. *Continental Shelf Research*, v. 25, p. 113-125, 2005.
- GALLO, M. N.; VINZON, S. B. Generation of Overtides and Compound Tides in Amazon Estuary. *Ocean Dynamics*, v. 55, p. 441-448, 2005.
- GESSNER, F. Observações sobre o regime do fosfato no rio Amazonas. *Boletim do Museu Pararense Emílio Goeldi*, v. 1, p. 73-83, 1962.
- GIANESELLA, S. M.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P. Variabilidade e distribuição do sêston e da biomassa fitoplancônica. In: Pires-Vanin, A. M. S. *Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião*, Edusp: São Paulo, p. 205-222, 2008.
- GOES, I. J. et al. *Methods of Seawaters Analysis*. Verlag Chemie, Deerfield Beach, Florida, 419. 1983. 419 p.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT M.; KREMLING, K. *Methods of seawaters analysis*, 2nd edition, Deerfield Beach, Florida: Verlag Chemie, 1983. p. 419.

HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 38-55, 2007.

IBÁÑHEZ, J. S. P.; ARAÚJO, M.; LEFÈVRE, N. The overlooked tropical oceanic CO₂ sink. *Geophysical Research Letters*, v. 43, p. 3804-3812, 2016.

IBÁÑHEZ, J.S.P.; DIVERRE, D.; ARAUJO, M.; LEFÈVRE, N. Seasonal and Interannual Variability of Sea-Air CO₂ Fluxes in the Tropical Atlantic Affected by the Amazon River Plume. *Global Biogeochemical Cycles*, v.29, p. 1640-1655, 2015.

KANG, Y. et al. Area of the Global Major River Plumes. *Acta Oceanologica Sinica*, v. 32, p. 79-88, 2013.

KNOPPERS, B. et al. Zona Costeira e Plataforma Continental do Brasil. In: Crespor, R. and Soares-Gomes, A. *Biologia Marinha*, Editora Interciência, Rio de Janeiro. 2002

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Aspectos quantitativos do fitoplâncton na área estuarino de Suape (Pernambuco). In: *Anais 4º Encontro Brasileiro de Plâncton*, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 55-60. 1991.

KOURAFALOU, V. H.; OEY, L. Y.; WANG, J. D.; LEE, T. N. The fate of river discharge on the continental shelf. 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, n. 2, p. 3415-3434, 1996.

LALLI, C. M.; PARSON, T. R. *Biological Oceanography: An Introduction*, Elsevier, Amsterdam, 2006. p. 314.

LEFÈVRE, N. et al. Net Heterotrophy in the Amazon Continental Shelf Changes Rapidly to a Sink of CO₂ in the Outer Amazon Plume. *Frontiers in Marine Science*, v. 4, p. 278, 2017.

LENTZ, S. J.; LIMEBURNER, R. The Amazon River Plume during AMASSEDs: Spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 100, n. 2, p. 2355-2375, 1995.

LOURENÇO, S. O.; MARQUES, N. A. Produção primária marinha. In: *Biologia Marinha*, Interciência, Rio de Janeiro, p. 111-154. 2009.

MULLER-KARGER, F. E.; RICHARDSON, P. L.; MCGILLICUDDY, D. On the offshore dispersal of the Amazon's Plume in the North Atlantic: Comments on the paper by A. Longhurst, "Seasonal cooling and blooming in tropical oceans". *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 42, n. 11-12, p. 2127-2137, 1995.

NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 6, p. 553-573, 1996.

NITTROUER, C. A. et al. AmasSeds: An interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, v. 4, n. 1, p. 3-7, 1991.

PARSONS T. R.; STRICKLAND, J. D. H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophyll a and carotenoids. *Journal of Marine Research*, v. 21, n. 3, p. 155-163, 1963.

SANTOS, M. L. S et al. Nutrient and phytoplankton biomass in the Amazon River shelf waters. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 80, n. 4, p. 703-717, 2008b.

SANTOS, M. L. S. et al. Influence of the Amazon and Pará rivers on water composition and phytoplankton biomass on the adjacent shelf. *Journal of Coastal Research*, v. 24, n. 3, p. 585-593, 2008a.

SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and Pathways of the Upper-Layer Circulation in the Western Tropical Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 1904-1928, 1998

SHIPE, Rebecca F. et al. Diatom biomass and productivity in oceanic and plume-influenced waters of the western tropical Atlantic ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 53, n. 8, p. 1320-1334, 2006.

SILVA, A. C. et al. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amazônica*. v. 39, n. 2, p. 361-370, 2009.

SILVEIRA, I. C. A.; BROWN, W. S.; FLIERL, G. Dynamics of the North Brazil Current Retroflection Region from the WESTRAX Observations. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 28559-28583, 2000.

SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. On the Origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 22501-22512, 1994.

SMITH JR, W. O.; DEMASTER, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 3, p. 291-319, 1996.

SMITH JR.; W. O.; RUSSEL, G. J. Phytoplankton Biomass and Nutrient Distributions in the Amazon River Plume: Environmental Correlates. *Geo-Marine Letters*, v. 15, p. 195-198, 1995.

SMITH, V. H. Using Primary Productivity as an Index of Coastal Eutrophication: The Units of Measurement Matter. *Journal of Plankton Research*, v. 29, p. 1-6, 2007.

SOUZA, D. C. C. *Caracterização morfológica e sedimentar do talude continental (foz do Amazonas)*. 2010. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

STEEMANN-NIELSEN, E. The Use of Radioactive Carbon (C14) for Measuring Organic Production in the Sea. *Journal du Conseil Permanent International pour L'Exploration de el Mer*, v. 18, p. 117-140, 1952.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada*, v. 167, p. 207-211, 1972.

SUBRAMANIAM, A. et al. Amazon River enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 30, p. 10460-10465, 2008.

TEIXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. *Boletim Instituto Oceanográfico Universidade de São Paulo*, v. 22, p. 8-92. 1973.

TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. Primary Production and Phytoplankton in Equatorial Waters. *Bulletim of Marine Science*, p. 884-891, 1967.

TROCHIMCZUK F. A.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação da dispersão espacial da pluma do estuário do rio Itajaí-Açu em diferentes períodos de descarga. *Notas técnicas Facimar*, v. 7, p. 83-96, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. *Ciência e Cultura*, v. 28, p. 864-887, 1976.

UNESCO. *Determination of Photosynthetic Pigments in Sea Water: Report of SCOR-UNESCO, Working Group 17*. Paris: United Nations Education, 1966. p. 69.

WILSON, W. D.; JOHNS, W. E; GARZOLI, S. L. Velocity Structure of North Brazil Current Rings. *Geophysical Research Letters*, v. 29 n. 1273. 2002

WISSER, D. et al. Reconstructing 20th Century Global Hydrography: A Contribution to the Global Terrestrial Network-Hydrology (GTN-H). *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 14, p. 1-24, 2010.

3 VARIAÇÃO ESPACIAL DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA NA PLATAFORMA CONTINENTAL AMAZÔNICA E REGIÃO OCEÂNICA ADJACENTE

Introdução

O rio Amazonas, o maior aporte fluvial global, com uma média de fluxo de água doce equivalente a $120.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, contribuindo com aproximadamente 20% do aporte fluvial na plataforma continental do Oceano Atlântico Equatorial, e apresenta uma pluma superficial que pode exceder 10^6 km^2 , servindo como uma conexão entre a hidrologia continental e o oceano (Cai *et al.*, 2013; Goes *et al.*, 2014; Ibáñez *et al.*, 2016).

A estrutura da comunidade fitoplanctônica é fortemente influenciada pela disponibilidade de nutrientes e consequentemente pela hidrodinâmica local. Sendo assim, a pluma do rio Amazonas suporta estágios sucessionais dentro do gradiente entre águas costeiras ricas às regiões oceânicas oligotróficas (Stukel *et al.*, 2014).

Estudos sobre a comunidade fitoplanctônica no Atlântico Norte Tropical Ocidental relatam a grande influência que a pluma do rio Amazonas exerce nos parâmetros hidrológicos na plataforma continental e zona oceânica adjacente (Smith e DeMaster, 1996; Goes *et al.*, 2014). Outros trabalhos foram realizados com foco na análise da influência das águas de pluma em organismos diazotróficos, capazes de fixar nitrogênio atmosférico e seus efeitos no transporte de carbono (Carpenter *et al.*, 2004; Shipe *et al.*, 2006; Foster *et al.*, 2007; Subramaniam *et al.*, 2008; Yeung *et al.*, 2012).

Esse estudo teve como foco analisar a distribuição espacial da comunidade fitoplanctônica ao longo da plataforma continental Norte e região oceânica adjacente, em duas profundidades (superfície e PMC). Relacionando o biovolume celular e biomassa em carbono com os parâmetros hidrológicos que podem condicionar mudanças na estrutura da comunidade.

Materiais e métodos

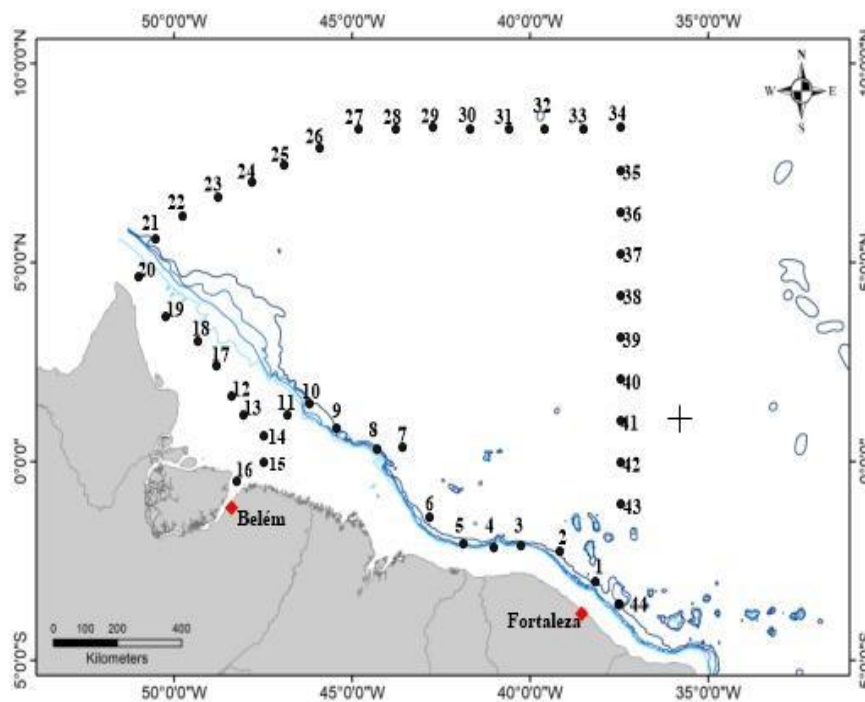
Descrição do local de estudo

A área de estudo abrange a plataforma continental amazônica e área oceânica adjacente. E a amostragem foi realizada em uma campanha denominada Camadas Finas III

(CF3), em outubro/2012, a bordo da embarcação NHo 38 (Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul) pertencente à Marinha do Brasil.

A campanha CF3 acompanhou a Corrente Norte do Brasil (CNB), ao longo da borda setentrional das regiões Nordeste e Norte, englobando a porção anterior a foz do rio (Fortaleza-Belém), a região costeira da plataforma continental Norte até a área de retroflexão da CNB e seguindo sentido leste pela Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) até aproximadamente 38°W, retornando a costa, totalizando em 44 pontos de coleta (Figura 8).

Figura 8. Posição das 44 estações de coleta ao longo do percurso do navio durante a campanha Camadas Finas 3 (CF3), em outubro de 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

O clima da região do Atlântico Equatorial é caracterizado por variabilidade sazonal ocasionada pelo deslocamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que está associada à baixa pressão atmosférica, alta nebulosidade com chuvas associadas e altos índices de umidade atmosférica (Nobre *et al.*, 2009). Durante os meses entre julho a janeiro, predominam os ventos alísios de sudeste, migrando a ZCIT para norte que promove a retroflexão da CNB, cruzando a linha do Equador e alimentando a Contra-Corrente Norte CCNE, entre as latitudes 5°N e 10°N (Flagg *et al.*, 1986; Muller-Karger *et al.*, 1995; Johns *et al.*, 1998; Schott *et al.*, 1998; Ffield, 2005; Foster *et al.*, 2007). E a região norte é caracterizada por apresentar clima tropical úmido (Köppen tipo AF).

Amostragem

As amostras foram coletadas em duas profundidades, 1m (superfície) e profundidade máxima de clorofila (PMC), totalizando 120 amostras.

Em cada estação de amostragem a salinidade, temperatura e profundidade foram medidas utilizando um perfilador CTD Seabird 25. Coletou-se ainda, nas profundidades selecionadas, com garrafas oceanográficas Niskin, amostras para a determinação quantitativa do fitoplâncton e determinação de parâmetros químicos e biológicos.

Para determinar qualitativamente os táxons fitoplanctônico foram realizados arrastos verticais, a partir de 10 m abaixo da profundidade máxima de clorofila até a superfície, com rede de plâncton com abertura de malha de 20 μm , medindo 1 m de comprimento e 30 cm de diâmetro de abertura da rede.

Análises Químicas

Os seguintes parâmetros foram aferidos: oxigênio dissolvido pelo método de Winkler modificado, descrito em Strickland e Parsons (1972); os nutrientes inorgânicos dissolvidos, nitrito e o nitrato pelo método de Strickland e Parsons (1972) e a amônia, silicato e fosfato, seguindo métodos colorimétricos padrão (Grasshoff et al., 1983); e o pH pelo método de Dickson (2007).

Para a análise dos nutrientes nitrogenados foi utilizado o NID, que é a soma do nitrito, nitrato e amônia.

Determinação quantitativa do fitoplâncton

A bordo foram realizadas filtrações de 3,0 L das amostras de água coletadas com garrafas de Niskin, através de filtros GF/F Whatman® de 47 mm de diâmetro. No laboratório, foi realizada a extração da clorofila *a* pelo método espectrofotométrico da UNESCO (1966), onde as leituras foram realizadas no espectrofotômetro Biochrom Libra S6, nos comprimentos de ondas de 630, 645, 665 e 750 nm e os cálculos através da equação de Parsons e Strickland (1963), sendo os resultados expressos em mg/m^{-3} .

Para a determinação da densidade fitoplanctônica, as amostras coletadas foram acondicionadas em frascos de 1L e imediatamente fixadas com Lugol 2%. No laboratório, foram analisadas utilizando um microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT), de acordo com o

método de Utermöhl (1958), utilizando uma cubeta de 50 mL, e os resultados expressos em n° cél L⁻¹.

A identificação dos táxons foi feita através de bibliografia especializada (Wood, 1968; Balech, 1988; Chretiénot-Dinnet *et al.*, 1990; Tomas, 1997; Bérard-Therriault *et al.*, 1999; Hoppenrath *et al.*, 2009) e a classificação taxonômica foi baseada em Guiry e Guiry (2018).

A abundância relativa dos táxons foi calculada de acordo com Lobo e Leighton (1986) e para os resultados obtidos foi adotada a seguinte escala de abundância: Dominante – espécie cuja ocorrência numérica é maior que 50% do número total de indivíduos da amostra; abundante – espécie cuja ocorrência supera o número médio de indivíduos da amostra; raro – espécies cuja ocorrência é inferior ao número médio de indivíduos da amostra.

O cálculo do biovolume total foi baseado na metodologia que utiliza as formas geométricas (Hillebrand *et al.*, 1999; Sun e Liu, 2003; Vadrucci *et al.*, 2007), onde foram medidos todos os organismos dos táxons na objetiva de 40x, exceto as cianobactérias filamentosas, que para facilitar a medição, foram medidas utilizando a objetiva de 10x. Para as medições de cada indivíduo foi atribuída uma forma geométrica, semelhante à sua forma real e em seguida criado um protocolo adaptado baseado nos trabalhos de Sun e Liu (2003) e Vadrucci *et al.* (2007).

A biomassa em carbono (pgC.L⁻¹) foi convertida através das medidas obtidas do biovolume celular (mm³.L⁻¹) utilizando a metodologia descrita por Menden-Deuer e Lessard (2000) e Verity *et al.* (1992) e posteriormente os dados foram transformados para a unidade µgC.L⁻¹. Para extrapolação do carbono orgânico aplicou-se os seguintes fatores de conversão:

$$\text{Cyanobacteria: pgC} = 0.436 \cdot \text{BV}^{0.836}$$

$$\text{Miozoa: pgC} = 0.216 \cdot \text{BV}^{0.936}$$

$$\text{Bacillariophyta: pgC} = 0.288 \cdot \text{BV}^{0.811}$$

Microfitoplâncton

Após os arrastos verticais com a rede, as amostras foram fixadas com Formol a 4% e armazenadas em potes de 250 ml. Na análise, as amostras foram homogeneizadas, sendo retirada uma alíquota de 1,0 mL em lâmina semi-permanente para contagem e identificação dos táxons, utilizando-se o microscópio óptico Zeiss, com aumento de 400x e para identificação foram utilizadas bibliografias específicas.

Foi realizado o cálculo para a abundância relativa (Lobo e Leighton, 1986). A frequência de ocorrência foi baseada no número de amostras nas quais cada táxon ocorreu, em

relação ao número total de amostras analisadas, seguindo os critérios: muito frequente ($\geq 70\%$), frequente ($40\% \geq F \leq 70\%$), pouco frequente ($10\% \geq F \leq 40\%$), e esporádica ($< 10\%$).

Para os cálculos da diversidade específica, foi utilizado o índice de Shannon (1948), que considera o número total de cada espécie na amostra. Com os resultados classificados de acordo com Margalef (1978), em alta diversidade ($5-2,5 \text{ bits.cel}^{-1}$), baixa diversidade ($2,5-1 \text{ bit.cel}^{-1}$) e diversidade muito baixa ($< 1 \text{ bit.cel}^{-1}$).

A equitabilidade será calculada utilizando Pielou (1977), esta varia de 0 a 1; próximo ao 0 a equitabilidade é baixa e acima de 0,5 é considerada significativa e equitativa, o que representa uma distribuição uniforme de todas as espécies na amostra de uma alta equitabilidade.

Para o cálculo desses índices foi utilizado o programa estatístico computacional PRIMER®.

Análises estatísticas

Para verificar se houve diferença significativa entre os dados abióticos, utilizando como fator a espacialidade entre região costeira e oceânica e as diferentes profundidades, foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk e Levene para testar a normalidade e a homocedasticidade dos dados, respectivamente. Posteriormente, foi aplicado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney considerando significativo os valores de $p < 0,05$, utilizando o software STATISTICA 8®.

Também foi realizada a análise de variância permutacional multivariada dos dados PERMANOVA (Anderson, 2001), para testar diferenças significativas entre os parâmetros quantitativos do fitoplâncton e as diferentes profundidades e regiões (costeira e oceânica). Para tal, os dados foram transformados $[\log(x+1)]$ e testados com 999 permutações. Os cálculos foram realizados utilizando o programa computacional Primer 6®.

Foi realizada a análise multivariada - Análise dos Componentes Principais (ACP) com base na matriz de correlação momento-produto de Pearson. Em seguida, foram extraídos o autovetor e o autovalor dos três principais componentes. A fim de observar como os parâmetros bióticos e abióticos se correlacionaram de acordo com a profundidade e entre as regiões costeira e oceânica, foram realizados 4 (quatro) análises: superfície-oceano; superfície-costa; PMC-oceano; PMC-costa. O software computacional utilizado foi o Statistic8®.

Resultados

Parâmetros Físicos

Salinidade

Foi observado um gradiente crescente de salinidade, da área costeira em direção a oceânica, apresentando uma média na superfície de 35.1 (± 2.97), com o máximo de 37.03 e mínimo de 18.18. Na PMC, a média foi de 36.29 (± 0.24), com o valor máximo de 37.03 e mínimo de 35.60 (Figura 9).

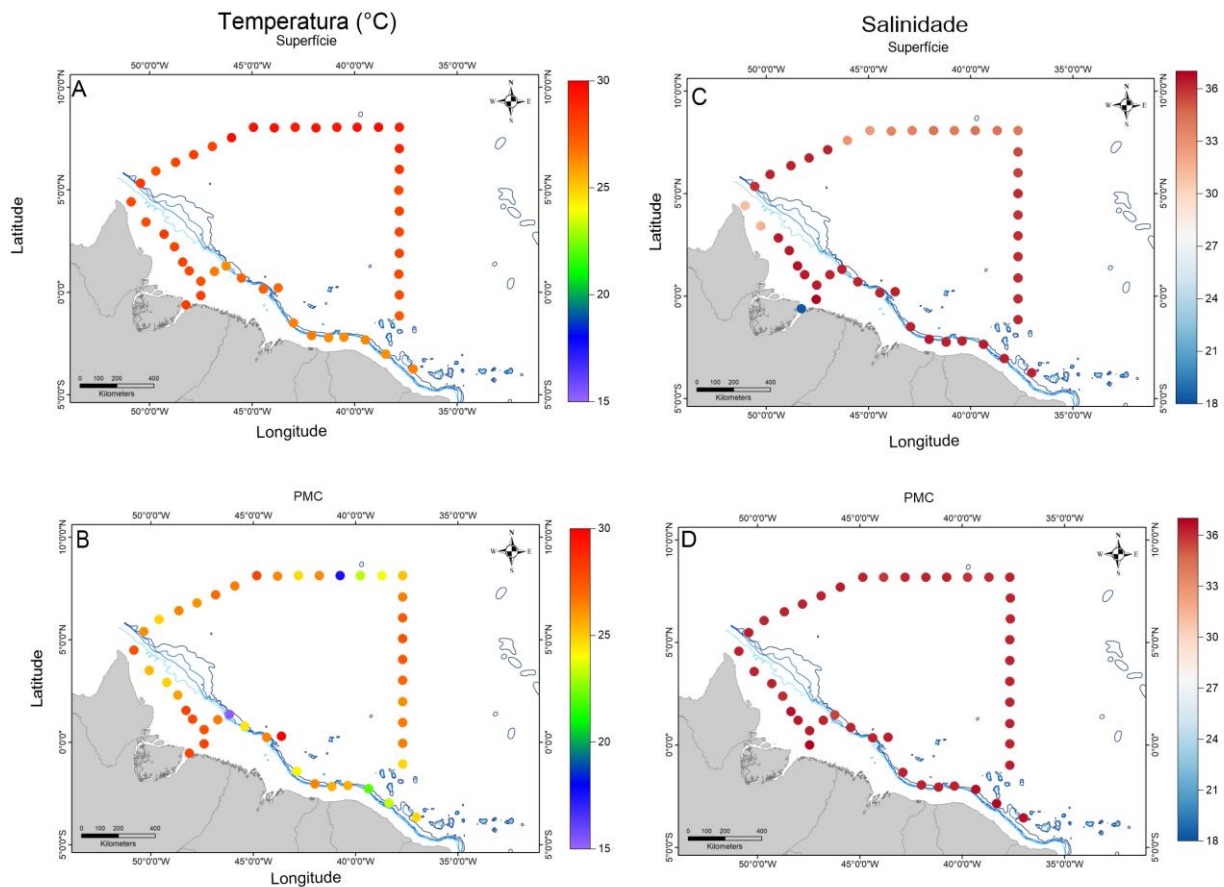
Foram observadas variações de salinidade durante a campanha, nos pontos referentes a da plataforma continental Norte (estação 16) seguindo sentido leste pela Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) até aproximadamente 38°W (até a estação 34) com valores típicos de águas salobras (< 35) e com média de 32.03 (± 4.49). Na região anterior à foz do rio (estações 1 a 15) e na área oceânica (estações 35 a 43) a média dos valores foi de 36.25 (± 0.27) (Tabela 2).

A salinidade apresentou diferença significativa espacialmente com relação a costa-oceano (teste Mann-Whitney, $p = 0,01$) e superfície-PMC (teste Mann-Whitney, $p = 0,04$), com menores valores na superfície e região costeira.

Temperatura

Com relação a temperatura superficial, a média geral foi 27.92°C (± 1.04), com o máximo de 29.68°C e mínimo de 26.19°C. Na PMC, a média foi 25.71°C (± 2.60), com o máximo de 29.94°C e mínimo de 15.27°C (Figura 9; Tabela 2). A temperatura variou significativamente entre as profundidades, com menores valores encontrados na PMC (teste Mann-Whitney, $p = 0,00$).

Figura 9. Distribuição da (A) Temperatura na superfície, (B) Temperatura na PMC, (C) Salinidade na superfície e (D) Salinidade na PMC, durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

Parâmetros Químicos

Oxigênio dissolvido

Os resultados obtidos para o oxigênio dissolvido classificaram a área como saturada em oxigênio, com concentração média de $4,61 \text{ ml L}^{-1}$ ($\pm 0,28$), com mínimo $3,84 \text{ ml L}^{-1}$ e máximo de $5,49 \text{ ml L}^{-1}$ na superfície. Na PMC, a média foi de $4,48 \text{ ml L}^{-1}$ ($\pm 0,38$) com o valor mínimo de $3,01 \text{ ml L}^{-1}$ e máximo de $4,91 \text{ ml L}^{-1}$ (Figura 10; Tabela 2).

pH

O pH da região estudo se manteve sempre alcalino, com média de $8,20$ ($\pm 0,08$) apresentando o valor mínimo de $7,96$ e máximo de $8,34$ (Tabela 2).

Nutrientes inorgânicos

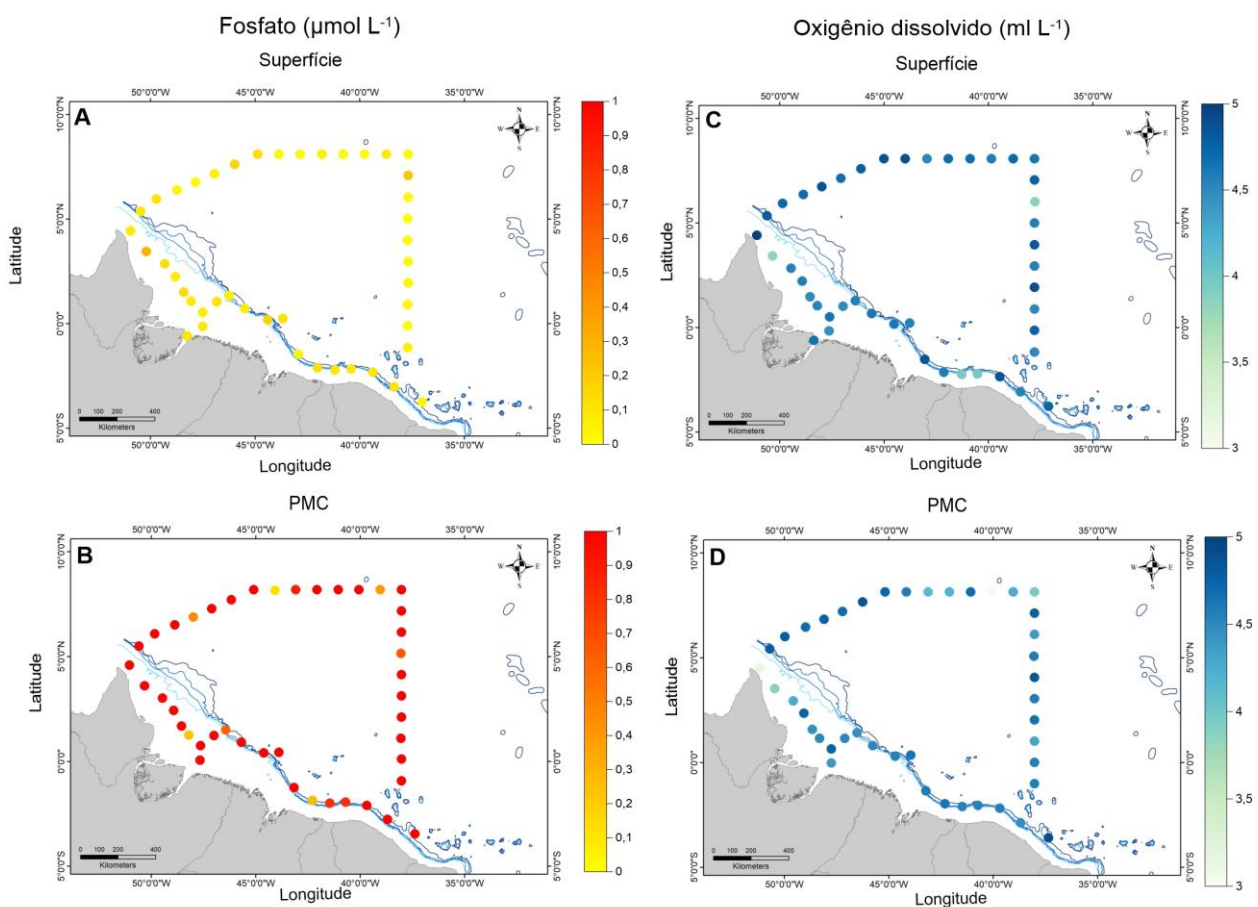
Os nutrientes inorgânicos dissolvidos, de forma geral, estiveram presente no ambiente com baixas concentrações e sendo a forma dominante dos nitrogenados a do nitrato. O componente dominante foi na forma de nitrato. A média desse parâmetro foi de $1,16 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,91$) com mínimo de $0,03 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $4,32 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, na superfície. Na PMC a

média foi $1,65 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,92$) com mínimo de $0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $3,89 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 11; Tabela 2). O NID apresentou variação significativa entre superfície-PMC (teste Mann-Whitney, $p= 0,00$) e costa-oceano (teste Mann-Whitney, $p= 0,03$).

As concentrações de fosfato na superfície, obtiveram uma média de $0,08 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,06$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $0,30 \mu\text{mol L}^{-1}$. Na PMC, a média foi de $0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,11$) com mínimo de $0,02 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $0,74 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 10; Tabela 2). Esse parâmetro apresentou variação significativa tanto entre superfície-PMC (teste Mann-Whitney, $p= 0,03$) e costa-oceano (teste Mann-Whitney, $p= 0,00$) com maiores valores na região oceânica e na profundidade da PMC.

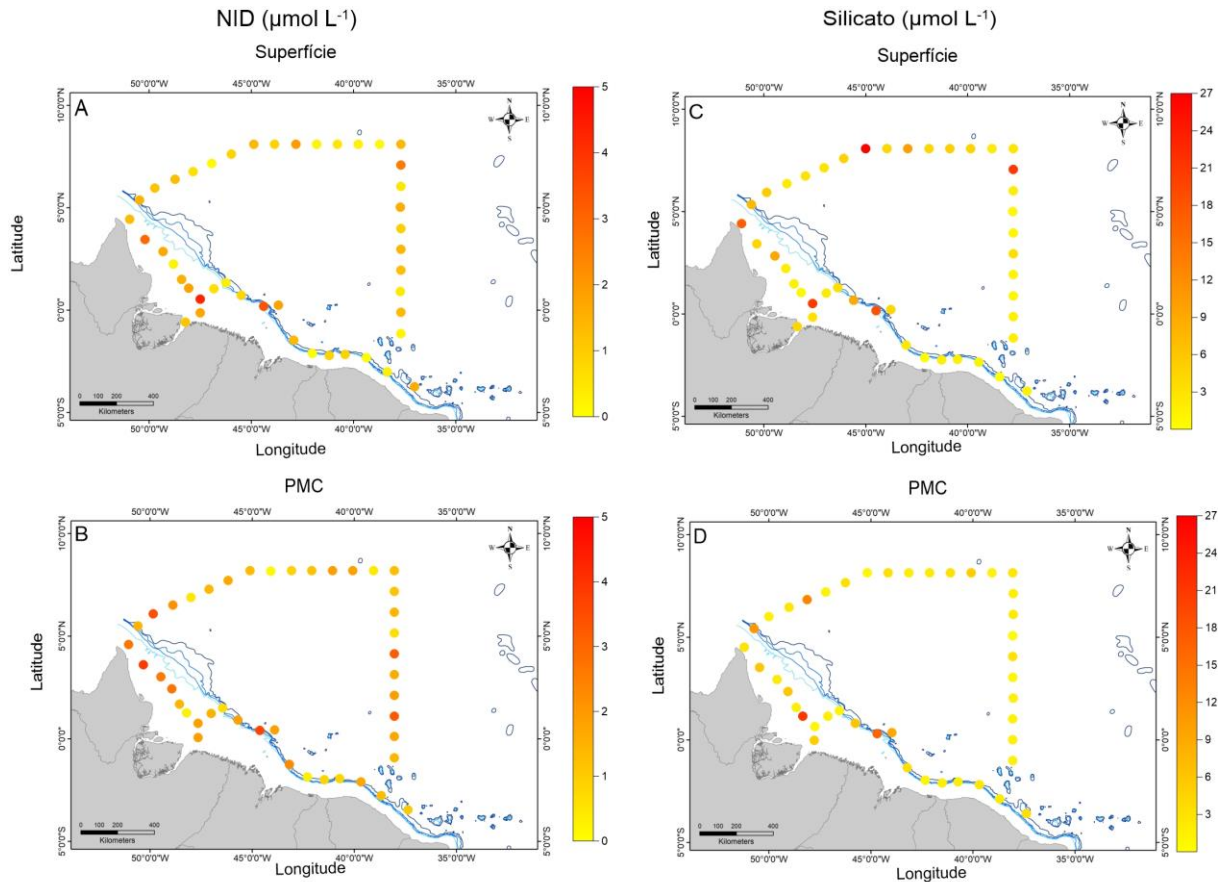
O silicato na superfície, apresentou média de $5,14 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 6,28$) com mínimo de $0,02 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $27,02 \mu\text{mol L}^{-1}$. Na PMC a média foi $3,77 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 4,33$) com mínimo de $0,40 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $21,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 11; Tabela 2).

Figura 10. Distribuição do (A) fosfato na superfície, (B) fosfato na PMC, (C) Oxigênio dissolvido na superfície e (D) Oxigênio dissolvido na PMC, durante a campanha CFIII, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

Figura 11. Distribuição do (A) NID na superfície, (B) NID na PMC, (C) silicato na superfície e (D) silicato na PMC, durante a campanha CFIII, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

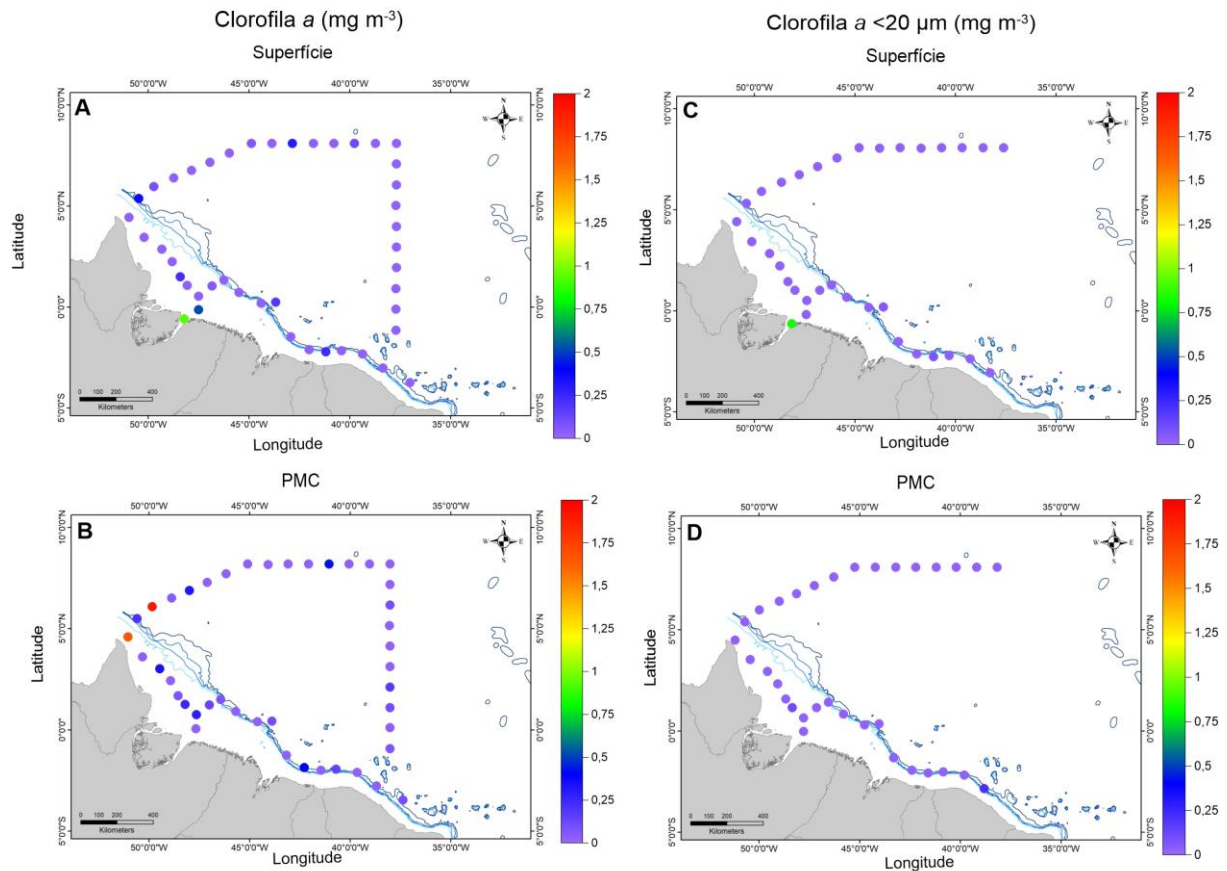
3.3.3. Parâmetros biológicos

Clorofila a

A clorofila *a* total, apresentou uma média de $0,08 \text{ mg.m}^{-3}$ ($\pm 0,16$) com mínimo de $0,02 \text{ mg.m}^{-3}$ e máximo de $0,94 \text{ mg.m}^{-3}$ (estação 16), na superfície. Na PMC, a média foi de $0,17 \text{ mg.m}^{-3}$ ($\pm 0,37$) com mínimo de $0,02 \text{ mg.m}^{-3}$ e máximo de $1,91 \text{ mg.m}^{-3}$ (estação 22) (Figura 12; Tabela 2). A clorofila $a < 20\mu\text{m}$ correspondeu à 44,72% e 14% da clorofila *a* total, na superfície e PMC, respectivamente (Figura 12; Tabela 2).

A clorofila *a* apresentou variação significativa entre as profundidades com maiores valores na PMC (teste Mann-Whitney, $p = 0,02$).

Figura 12. Distribuição da (A) Clorofila *a* total na superfície, (B) Clorofila *a* total na PMC, (C) Clorofila *a* fracionada (<20µm) na superfície e (D) Clorofila *a* fracionada na PMC, durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

Microfitoplâncton

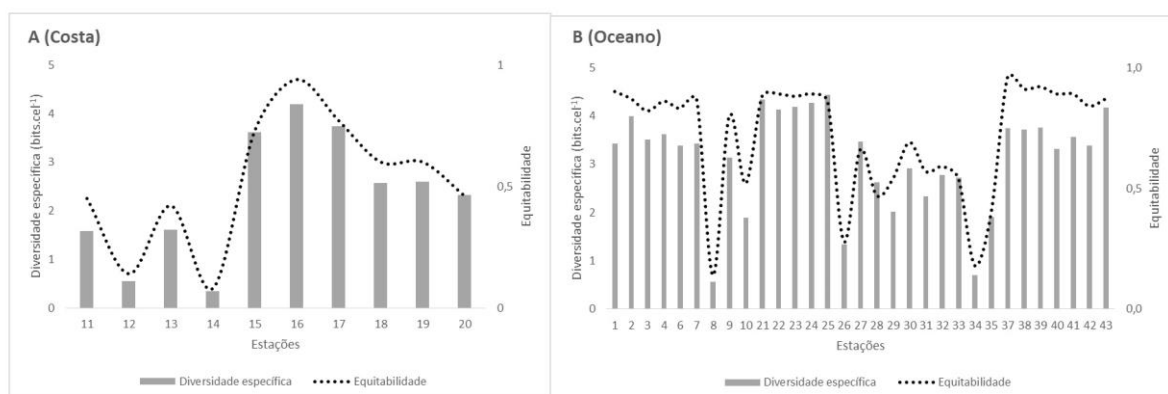
Foram registrados no total 133 táxons, agrupados nos filos: Bacillariophyta (76,27%); Cyanobacteria (19,19%); Miozoa (4,30%); Ochrophyta (0,26%) e Haptophyta (0,01%). A maioria das espécies identificadas ocorreu de maneira esporádica (53,78%), seguida pelas espécies pouco frequentes (37,87%), frequentes (6,06%) e muito frequentes (2,72%) (Tabela 3).

Os táxons muito frequentes foram: *Protoperdinium* spp., *Thalassiosira* sp. e *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström. Os frequentes foram representados por: *Tripes pentagonus* (Gourret) F.Gómez, *Rhizosolenia styliformis* T.Brightwell, *Tripes muelleri* Bory, *Tripes teres* (Kofoid) F.Gómez, *Trichodesmium* spp., *Gonyaulax* spp., *Podolampas palmipes* Stein e *Dictyocha fibula* Ehrenberg.

Os táxons dominantes foram: *Hemiaulus indicus* Karsten, pequenas diatomáceas da classe Mediophyceae, *Richelia intracellularis* J.A.Schmidt e *Trichodesmium* spp.

A equitabilidade apresentou diferença oceano-costa significativa, com maior valor na região oceânica (Figura 13). A diversidade variou de 0,36 bits.cel⁻¹ (estação 14) a 4,44 bits.cel⁻¹ (estação 24) e apresentou média de $2,85 \pm 1,02$ bits.cel⁻¹, seguidos dos dados de equitabilidade, entre 0,08 a 0,96, com média de $0,65 \pm 0,23$.

Figura 13. Índice de diversidade específica (bits.cel⁻¹) e equitabilidade da comunidade fitoplanctônica na região costeira (A) e região oceânica, durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

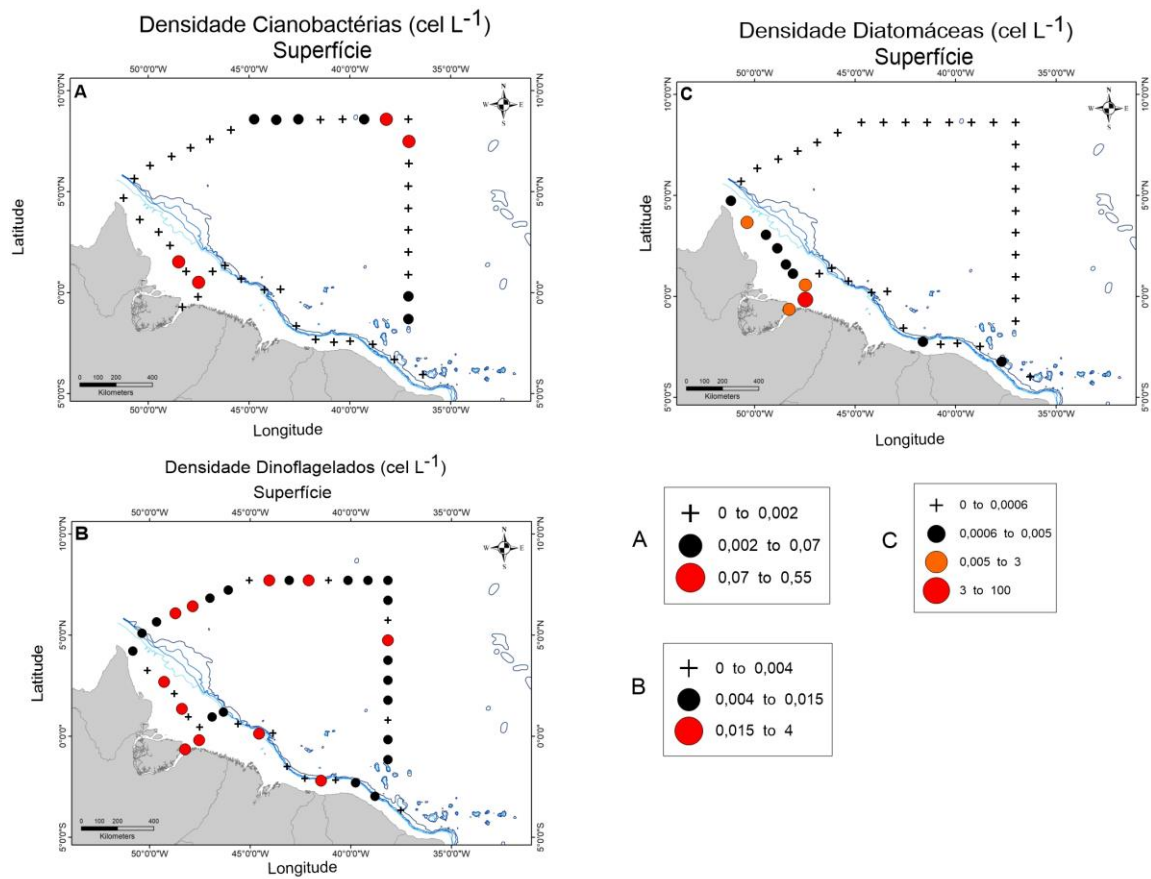
Densidade fitoplanctônica

Em relação à análise quantitativa, foram identificados 67 táxons. A densidade celular, na superfície, teve a seguinte distribuição entre os grupos: 92,90 cél.L⁻¹ de diatomáceas correspondendo a 94%, 4,91 cél.L⁻¹ de dinoflagelados correspondendo a 4,96% do total e 1,01 cél.L⁻¹ correspondendo a 1,02% de cianobactérias da flora planctônica (Figura 14; Tabela 3).

Os maiores valores se concentraram na região costeira, especificamente na estação 15, com 92,26 cél.L⁻¹, e as espécies de maior representatividade foram as pequenas diatomáceas da classe Coscinodiscophyceae e *Aulacodiscus* sp.

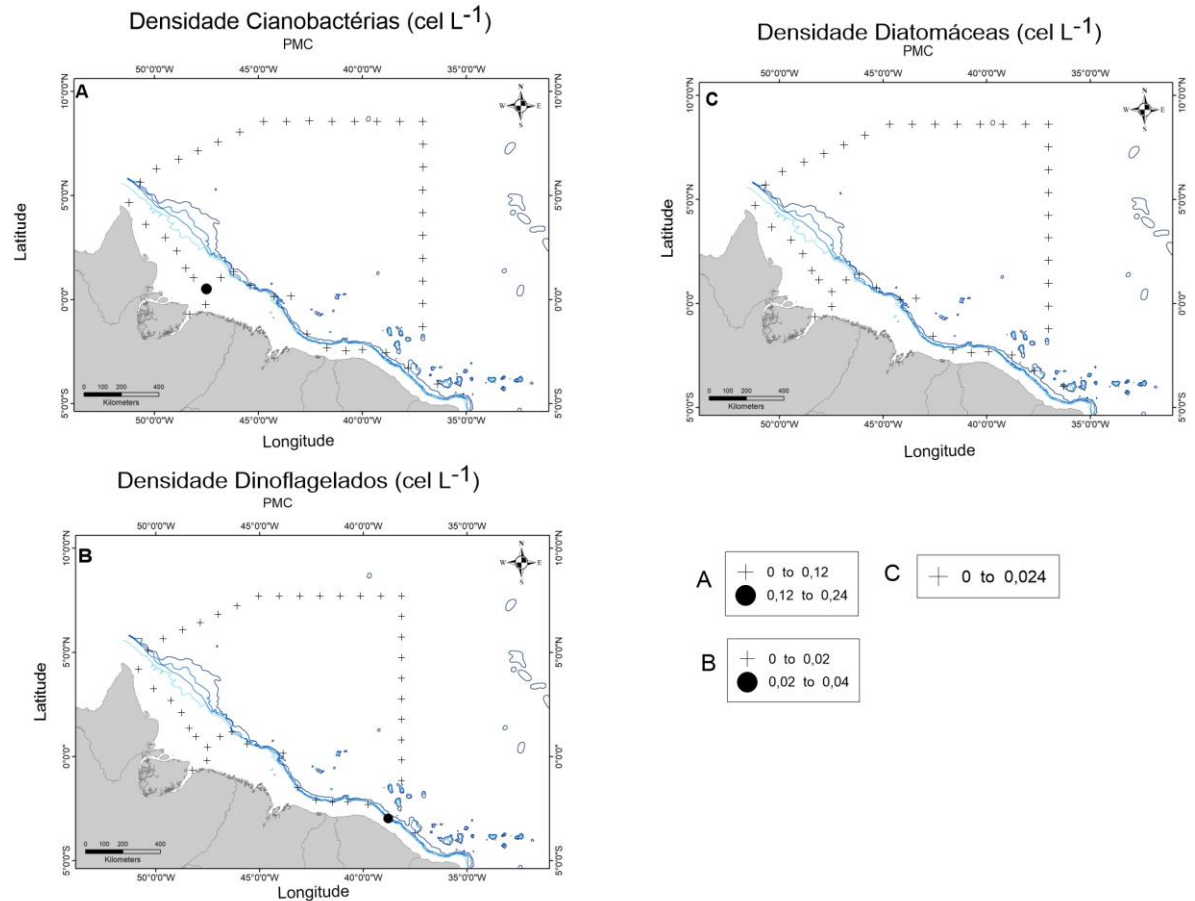
Na PMC, a densidade foi muito menor do que a superfície e a porcentagem de cada grupo é a seguinte: 0,08 cél.L⁻¹ correspondendo a 13,11% de diatomáceas, 0,26 cél.L⁻¹ correspondendo a 42,62% de dinoflagelados e 0,27 cél.L⁻¹ correspondendo a 44,26% de cianobactérias (Figura 15).

Figura 14. Distribuição da densidade celular das cianobactérias (A), dos dinoflagelados (B), das diatomáceas (C), na profundidade de superfície, durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

Figura 15. Distribuição da densidade celular das cianobactérias (A), dos dinoflagelados (B), das diatomáceas (C), na profundidade máxima de clorofila (PMC), durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka

Biovolume celular

O biovolume celular total oscilou entre $5,4 \times 10^{-1} \text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ e $6,6 \times 10^4 \text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ na superfície, sendo $2,5 \times 10^6$ na região oceânica e $2,6 \times 10^5$ na região costeira. Na costa, as estações 12 e 16 apresentaram maiores valores e o grupo das cianobactérias (*Trichodesmium* spp.) e diatomáceas (pequenas diatomáceas pertencentes a classe Coscinodiscophyceae) em maior representatividade, respectivamente (Figura 16). Na região oceânica a estação 35 apresentou maiores valores de *Trichodesmium* spp.

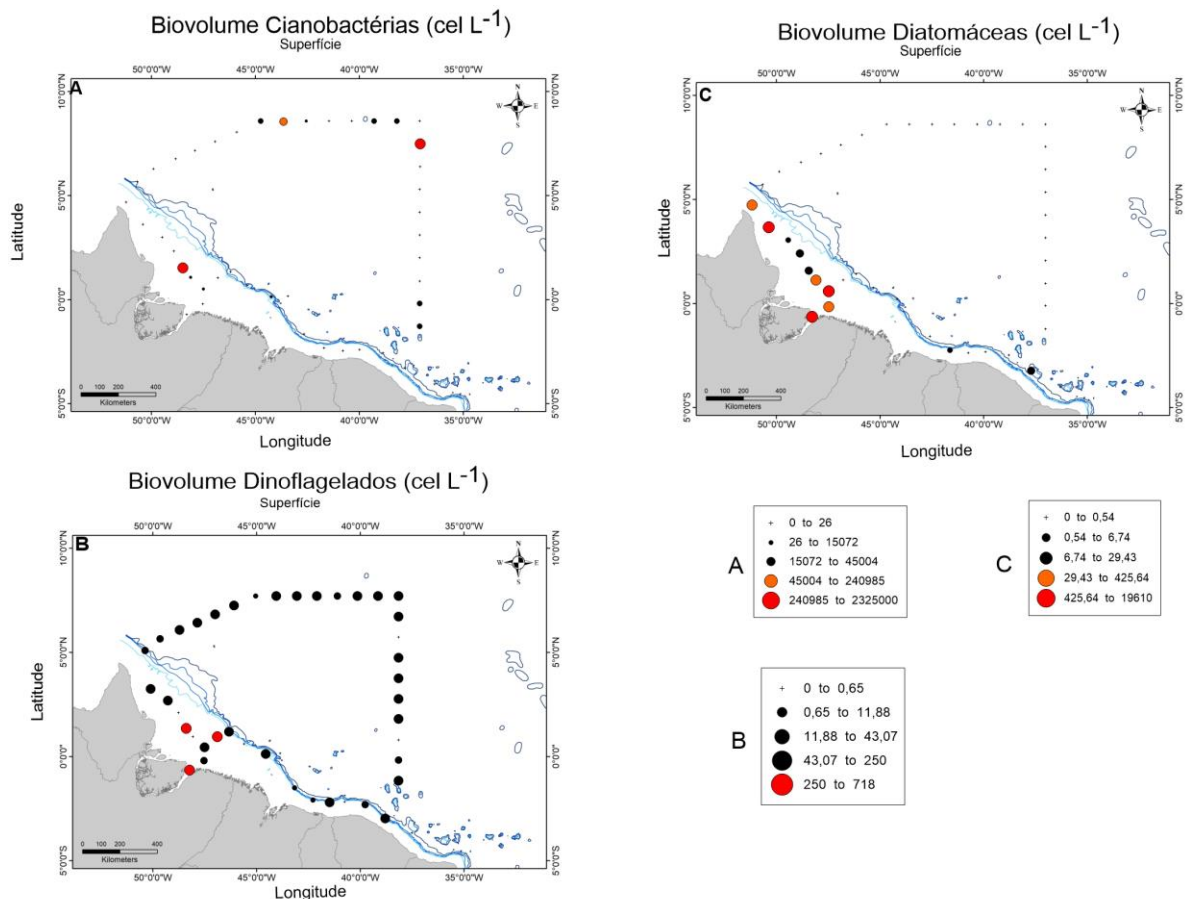
Na PMC, o biovolume variou entre $1,47 \text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$ e $6,92 \times 10^4 \text{mm}^3 \cdot \text{L}^{-1}$, apresentando um valor de $3,9 \times 10^4$ na região oceânica e $4,7 \times 10^3$ na região costeira. Para a costa a estação 14 se destaca com as espécies de *Trichodesmium* spp. e *Rhizosolenia styliformis*. Na região oceânica, tivemos maior representatividade com as cianobactérias, especialmente a estação 28 com *Trichodesmium* spp. (Figura 17).

Os resultados da biomassa em carbono acompanharam aos de biovolume tanto nas profundidades, quanto nas regiões costeiro-oceano, principalmente quanto a representatividade das espécies. Na superfície apresentou média de $9,3 \times 10^9 \mu\text{gC.L}^{-1}$, com o máximo de $2,8 \times 10^6 \mu\text{gC.L}^{-1}$ e mínimo de $7,18 \mu\text{gC.L}^{-1}$. Para região oceânica, a biomassa apresentou média de $10^5 \mu\text{gC.L}^{-1}$ e para região costeira foi de $7 \times 10^4 \mu\text{gC.L}^{-1}$ (Figura 18).

Na PMC a média foi $2,8 \times 10^3 \mu\text{gC.L}^{-1}$, com o máximo de $7,4 \times 10^4 \mu\text{gC.L}^{-1}$ e mínimo de $0,02 \mu\text{gC.L}^{-1}$ (Figura 19). Na região costeira foi observado uma biomassa em carbono de $1,5 \times 10^4 \mu\text{gC.L}^{-1}$ e na oceânica de $10^5 \mu\text{gC.L}^{-1}$.

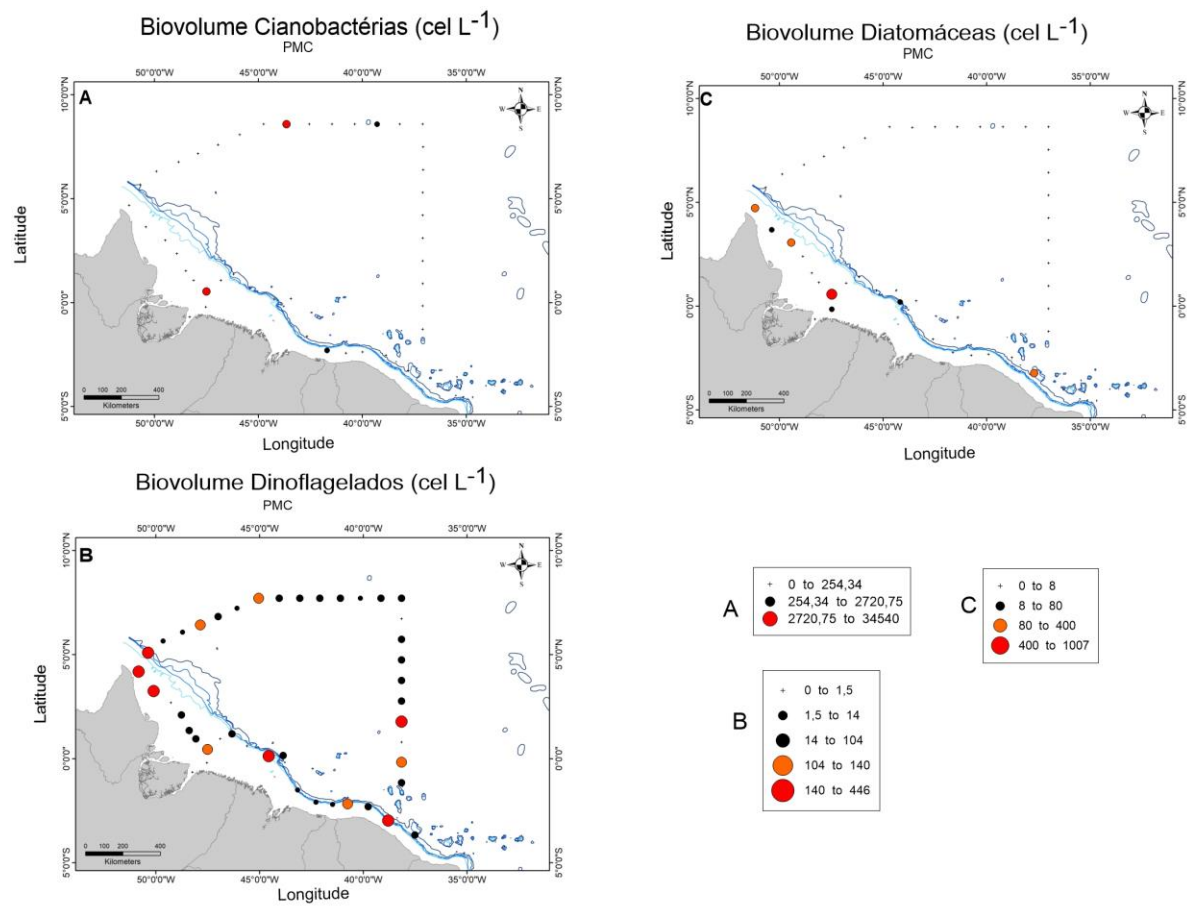
As espécies de *Trichodesmium* spp. foram as maiores produtoras na superfície e na PMC, contribuindo com 84,51% e 85,56% da biomassa total, respectivamente.

Figura 16. Distribuição do biovolume celular das cianobactérias (A), dos dinoflagelados (B), das diatomáceas (C), na profundidade de superfície, durante a campanha CF3, outubro 2012.



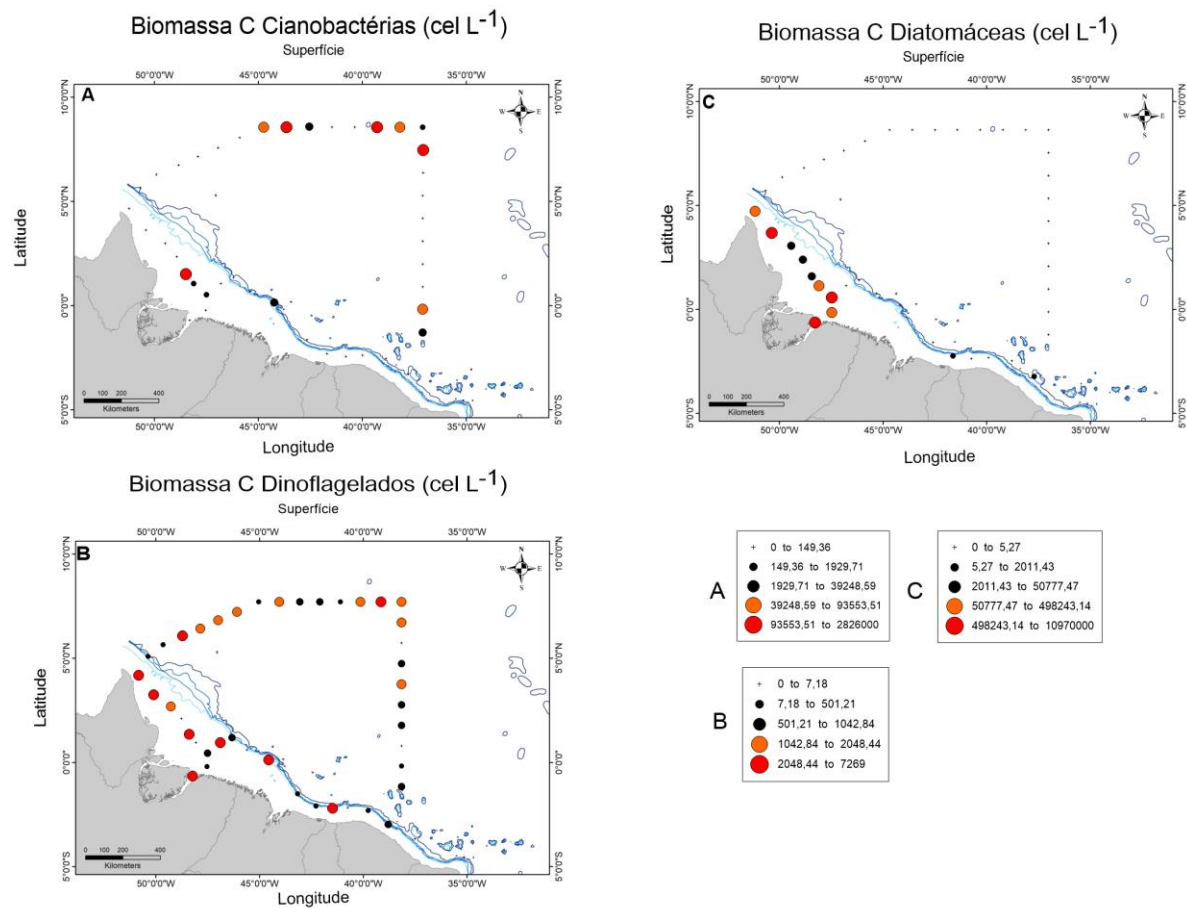
Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 17. Distribuição do biovolume celular das cianobactérias (A), dos dinoflagelados (B) das diatomáceas (C), na profundidade máxima de clorofila (PMC), durante a campanha CF3, outubro 2012.



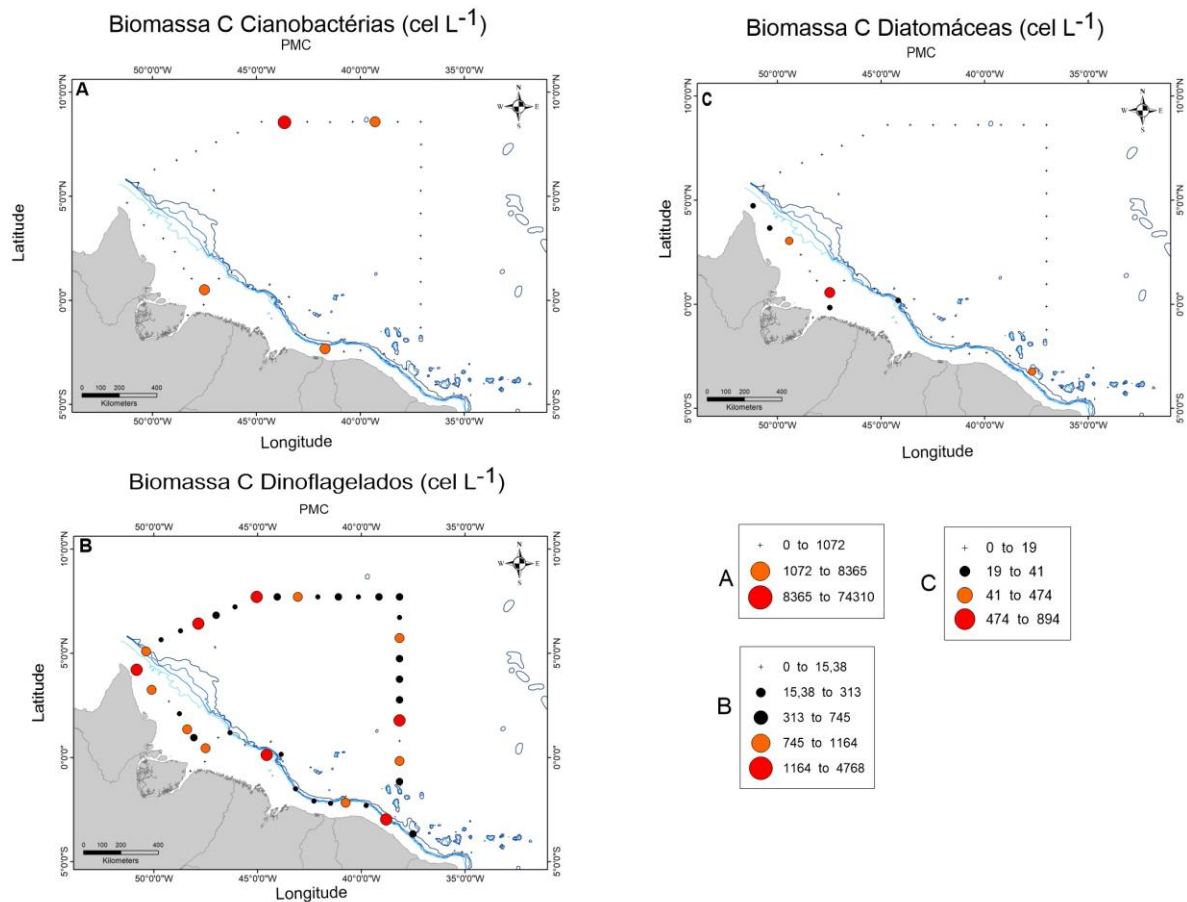
Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 18. Distribuição da biomassa em carbono das cianobactérias (A), dos dinoflagelados (B), das diatomáceas (C), na profundidade de superfície, durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 19. Distribuição da biomassa em carbono das cianobactérias (A), dos dinoflagelados (B), das diatomáceas (C), na profundidade máxima de clorofila (PMC), durante a campanha CF3, outubro 2012.



Fonte: Amanda Otsuka.

PERMANOVA e Análise de Componentes Principais (ACP)

O biovolume celular diferenciou significativamente espacialmente (costa-oceano e superfície-PMC) ($p = 0,00$). A densidade fitoplantônica ($p = 0,00$) e a biomassa em carbono apresentou diferença significativa entre região costeira e oceânica ($p = 0,00$).

De acordo com a ACP (superfície-oceano), as três primeiras componentes explicaram 60,77% da variância dos dados (PC1: 30,90%; PC2: 17,16%; PC3: 12,71%) correlacionando diretamente a densidade das diatomáceas, dinoflagelados e cianobactérias, o biovolume e a biomassa em carbono dos dinoflagelados e cianobactérias, a temperatura, e estes inversamente com a salinidade. Na segunda componente (PC2) os resultados mostraram uma correlação

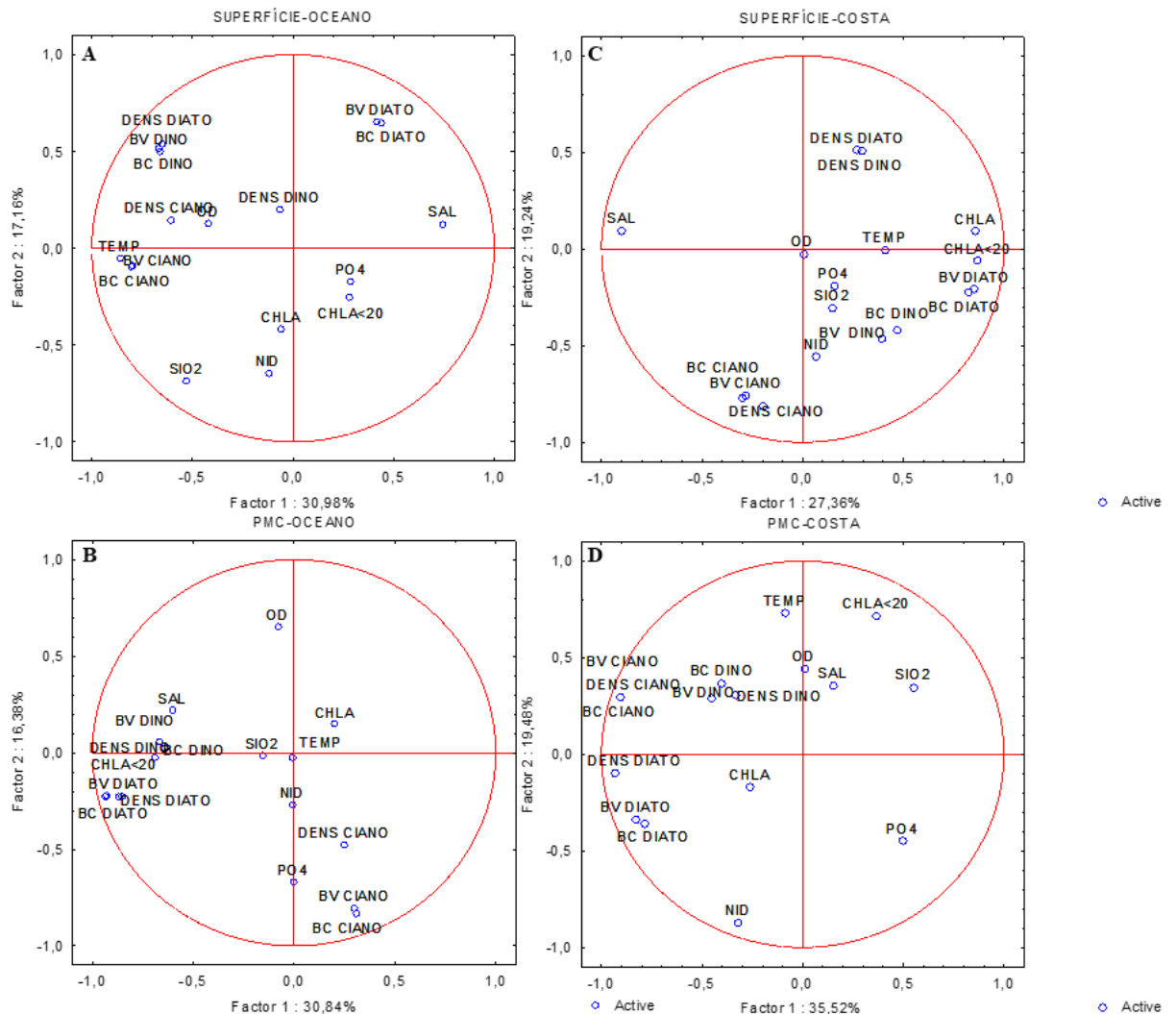
inversa do biovolume e biomassa em carbono das diatomáceas com NID, o silicato. A terceira componente (PC3) não mostrou associações importantes nesta análise (Figura 20).

A ACP (superfície-costa) explicou 63,25% do ordenamento das variáveis (PC1: 27,36%; PC2:19,24%; PC3: 16,65%), correlacionando inversamente a salinidade com a temperatura, a clorofila *a* total e fracionada, e o biovolume e biomassa em carbono das diatomáceas. A PC2 correlacionou diretamente o NID com a densidade, biovolume e biomassa em carbono das cianobactérias. Na terceira componente (PC3) observa-se uma correlação direta da densidade das diatomáceas e dos dinoflagelados e esses correlacionaram-se inversamente com biovolume e biomassa em carbono dos dinoflagelados (Figura 20).

A ACP (PMC-oceano) foi explicou 61,42% (PC1:30,84%; PC2:16,38%; PC3:14,20%) correlacionando diretamente a salinidade com a densidade, o biovolume e biomassa em carbono das diatomáceas e dinoflagelados. Na PC2, a biomassa em carbono e o biovolume das cianobactérias correlacionou diretamente com o fosfato e inversamente com oxigênio dissolvido. Na PC3 houve uma correlação inversa entre a densidade das cianobactérias com o NID (Figura 20).

A ACP (PMC-costa) obteve 73,97% de explicação (PC1: 35,52%; PC2: 19,48%; PC3:18,97%) onde a densidade, biovolume e biomassa em carbono das diatomáceas e cianobactérias correlacionaram inversamente com o silicato. PC2 a clorofila fracionada esteve inversamente correlacionada com o NID e na PC3 a densidade, biovolume e biomassa em carbono dos dinoflagelados correlacionaram-se inversamente com o oxigênio dissolvido (Figura 20).

Figura 20. Análise das Componentes Principais (ACP) A) região oceânica na superfície, B) região oceânica na PMC, C) região costeira na superfície e, D) região costeira na PMC, com todas as variáveis medidas ao longo do percurso do navio durante CF3, outubro 2012. Legenda: DENS=densidade; BC= biomassa em carbono. BV= biovolume celular; DIATO= diatomácea; CIANO= cianobactérias; DINO= dinoflagelado; TEMP= temperatura; SAL= salinidade; OD= oxigênio dissolvido; CHLA= clorofila *a*



Fonte: Amanda Otsuka

Discussão

A produtividade do oceano Atlântico Equatorial Ocidental está sob influência de diversos fatores hidrológicos, sendo o maior deles o rio Amazonas e as correntes que carregam e distribuem sua pluma para o oceano, influenciando nos parâmetros biogeoquímicos (Stukel *et al.*, 2014).

Nesse estudo, a comunidade fitoplanctônica apresenta um maior número de táxons do grupo das diatomáceas, seguido das cianobactérias e dinoflagelados. Com relação a

distribuição da comunidade pode-se observar que a região oceânica está mais equitativa e com alta diversidade específica comparando com a região costeira, fato este comumente encontrado em regiões tropicais devido às condições ambientais relativamente estáveis, como foi observado por Barton *et al.* (2010) ao analisar um modelo global da diversidade do fitoplâncton marinho.

Observa-se maior frequência (97,7%) do dinoflagelado *Protoperidinium* spp., como foi relatado por Souza *et al.* (2009) na Ilha de Canela (PA) onde foi registrado que os dinoflagelados apresentam maior ocorrência e diversidade nas estações oceânicas e na plataforma continental norte, e atribui a maior diversidade desse grupo em relação às diatomáceas em ambientes oceânicos por estarem mais adaptados a elevados valores de salinidade e baixa concentração de nutrientes. Koenig e Lira (2005) e Silva-Cunha *et al.* (2018) também observaram uma maior diversidade e ocorrência de dinoflagelados na plataforma continental e áreas oceânicas da região Nordeste. Este fato deve estar diretamente associado a pequena faixa de plataforma continental nessa região do Brasil e a pequena contribuição dos rios que nela deságuam, diferentemente da região Norte do Brasil. E na região sul, Islabão e Odebrecht (2011) observaram maior riqueza das espécies de dinoflagelados do gênero *Protoperidinium* na região com influência do Río de la Plata.

Na região costeira, foi observada uma nítida mudança na estrutura da comunidade fitoplanctônica influenciada pelas águas salobras (salinidade <35), onde a presença do grupo das diatomáceas foi evidente nas duas profundidades. Na estação 16, próxima da foz do rio, houve um maior concentração de pequenas diatomáceas cêntricas (92,90 cél.L⁻¹). A ACP (superfície-costa) ratifica essa influência da salinidade correlacionando-a diretamente com o biovolume celular e biomassa em carbono deste grupo e com a clorofila *a*.

De acordo com Stukel (2004) essa correlação não reflete qualquer resposta biológica à salinidade e sim na importância dos processos físicos de diluição para as concentrações de nutrientes e plâncton na pluma. Sendo assim, a pluma exerce influência na biomassa e na composição taxonômica do fitoplâncton, como foi observado neste trabalho e por Subramaniam *et al.* (2008), que também observaram essa mudança ao longo da pluma do rio Amazonas, da foz para o oceano, com a presença das diatomáceas em estações com salinidades mais baixas.

Com relação a composição da flora na região costeira, destacam-se as estações 15 a 20, onde as espécies *Hemiaulus indicus*, *Trichodesmium* spp., *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle, pequenas diatomáceas da classe Mediophyceae, *Fragilaria* sp., *Ditylum brightwellii* (T.West) Grunow, *Thalassionema frauenfeldii* (Grunow) Tempère &

Peragallo e *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve estiveram presentes. Souza *et al.* (2008 e 2009) também relatam que as espécies *Ditylum brightwellii*, *Thalassionema frauenfeldii* e *Skeletonema costatum* foram muito frequentes nessa mesma região e Subramaniam *et al.* (2008) relataram que nas estações de baixa salinidade dominou as diatomáceas costeiras, como *Skeletonema costatum* e *Pseudonitzschia* sp., espécies que possuem preferência por águas tipicamente estuarinas

As estações 11 a 14 tiveram uma baixa equitatividade e baixa diversidade específica, devido a presença de espécies dominantes, como *Trichodesmium* spp. (estações 11 e 12), *Rhizosolenia styliformis* e *Richelia intracellularis* (estação 13) e *Hemiaulus indicus* (estação 14). A propagação da pluma amazônica no Atlântico tropical também é conhecida por apoiar a fixação significativa de N₂ por meio de associações de diatomáceas-diazotróficas (DDA), que representam a principal via de sequestro de carbono dentro dela (Yeung *et al.*, 2012).

Goes *et al.* (2014) na mesma área, também relataram a presença do gênero diazotrófico *Hemiaulus* em águas mesohalina. Subramaniam *et al.* (2008) observaram que as espécies DDA contendo as cianobactérias simbióticas *Richelia* spp. constituíram 28% da biomassa nas estações mesohalina e 2% nas estações oceânicas. De acordo com Stukel (2004) as taxas de crescimento de algumas DDA serão mais elevados próximos a foz do rio e diminuirão ao longo do gradiente de salinidade, como foi observado no presente estudo.

A diferença na estrutura da comunidade fitoplanctônica ao longo da amostragem foi confirmada pela PERMANOVA, o biovolume celular apresenta diferença entre região costeira e oceânica e entre as profundidades, já a densidade celular apresenta diferença entre a região costeira e oceânica.

Na região costeira e oceânica, nas profundidades de superfície e PMC, as cianobactérias obtiveram maior biovolume, provavelmente por serem coloniais e filamentosas, superestimando seus valores de biovolume e biomassa em carbono, sendo este grupo considerado responsável pela elevação da biomassa microfitoplanctônica, como sugerido por Gallon *et al.* (1996) e Capone *et al.* (1997).

De acordo com Carpenter *et al.* (2014) o gênero *Trichodesmium* é predominante na composição fitoplanctônica no Atlântico Norte tropical Central, geralmente encontrado nas margens da pluma, em águas com concentrações baixas de nitrato e silício.

Nas estações oceânicas (27 a 35), localizadas na Contracorrente Norte Equatorial, registrou-se um maior biovolume e biomassa de *Trichodesmium* spp. Este fato pode estar associado a proximidade dessas estações a ZCIT, que de acordo com Ibánhez *et al.*, (2016) e Coles *et al.*, (2013), neste período está associada à intensa pluviosidade, aumentando a

extensão das águas salobras na região, resultando na superestimação da pluma do Amazonas em mais de 20%. No entanto, esta redução de salinidade não é acompanhada pelo aumento das concentrações da clorofila *a* e silicato. A ACP da região oceânica-superfície confirma essa influência de água salobra ao correlacionar inversamente a biomassa e o biovolume das cianobactérias com a salinidade.

Na mesma área de estudo, Subramaniam *et al.* (2008) relataram que o *Trichodesmium* spp. foi o diazotrófico dominante e que o rio Amazonas desempenha um importante papel no aumento da produção primária na região mais afastada da plataforma continental, proporcionando uma fonte nova de nitrogênio, influenciando assim na bomba biológica.

Nas estações próximas a foz do rio, as espécies de diatomáceas *Aulacodiscus* sp. e *Rhizosolenia styliformis* tiveram o segundo maior biovolume nas duas profundidades. Nessas estações registrou-se um aumento nas concentrações de nutrientes, principalmente de silicato, que provavelmente proporcionou o seu desenvolvimento. De acordo com Sabetta *et al.* (2005) células maiores são características de áreas com elevadas concentrações de nutrientes dissolvidos.

A maior contribuição em termos de biomassa em carbono, tanto em profundidade quanto nas regiões costeiras e oceânicas, foi de *Trichodesmium* spp. Carpenter *et al.* (2004) relatam que a espécie mais comum no Oceano Atlântico Norte tropical é o *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont.

Segundo Lugomela *et al.* (2002) a variação morfológica do gênero *Trichodesmium* correlaciona-se com a disponibilidade de nutrientes, com espécies filamentosas mais robustas sendo encontradas em áreas mais distantes da costa e que a espécie *Trichodesmium thiebautii* está melhor adaptada a locais com menor movimentação e menor teor de sais nutritivos. Fato esse corroborado por Koenig e Oliveira (2009), que classificaram *Trichodesmium thiebautii* como espécie chave pela frequência e dominância no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, sendo o responsável pelo aumento da produtividade primária, principalmente nas estações com baixas concentrações de nutrientes.

Na região costeira, na profundidade de superfície, a segunda maior contribuinte em termos de biomassa foi a diatomácea *Aulacodiscus* sp. correlacionada diretamente com a clorofila *a*, temperatura e baixa salinidade que provavelmente favoreceram o seu crescimento. Felip e Catalan (2000) sugeriram que a relação entre esses dois estimadores de biomassa deve ser entendida como um fenômeno relacionado à sucessão de espécies induzida por mudanças ambientais, que no presente trabalho seria a influência das águas de pluma.

Com relação aos valores de clorofila *a* no geral, segundo a classificação de Lilli e Parsons (2006) a área está caracterizada como oligotrófica ($\leq 0.5 \text{ mg m}^{-3}$), e os valores registrados foram semelhantes ao encontrado por Smith e DeMaster (1996), Shipe *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2008).

O aumento na concentração de clorofila *a*, foi observado nas estações 16 (superfície), 20 e 22 (PMC), sendo a primeira localizada na foz do rio, e as demais na zona oceânica, com teor superior a $1,5 \text{ mg m}^{-3}$. Smith e DeMaster (1998), relataram valores semelhantes aos encontrados nessas estações. Este aumento nos teores é esperado pelo crescimento fitoplanctônico em função de bruscas variações de transparência da água e disponibilidade de nutrientes.

Vale ressaltar que esse pico subsuperficial da clorofila *a*, na profundidade de PMC, apesar de ser uma faixa estreita na coluna d'água, exerce uma importância ecológica de grande dimensão, por suportar parte da comunidade de organismos consumidores primários que se encontram acima e abaixo dela.

O grupo dos dinoflagelados esteve bem distribuído ao longo das estações e com o maior valor de densidade, porém os valores de biovolume e biomassa em carbono foram menores em comparação com outros grupos. Segundo Borges (2016), em espécies com menor tamanho e células em estágios iniciais de desenvolvimento, o valor do biovolume celular é menor quando comparado com o valor das células maiores. No entanto, essas células pequenas em tamanho, mas com densidades mais elevadas, são importantes para a contribuição da biomassa em carbono. A ACP (superfície-costa) correlaciona inversamente a densidade dos dinoflagelados com seu biovolume e biomassa em carbono, corroborando com esse fato.

Conclusão

A comunidade fitoplanctônica apresentou uma variação espacial, que foi fortemente influenciada pela pluma do rio Amazonas, ocorrendo táxons do grupo das diatomáceas na região costeira, principalmente com a presença de diatomáceas diazotróficas, e na região oceânica ocorrência de dinoflagelados e cianobactérias.

A espécie que mais contribuiu para o biovolume total e biomassa em carbono nas duas profundidades e regiões, foi o *Trichodesmium*, spp, que atua como organismo diazotrófico, sendo importante para o aumento da produtividade em ambientes oligotróficos.

A salinidade destacou-se entre os parâmetros abióticos, por correlacionar inversamente com a maioria dos fatores biológicos, indicando a presença de águas de origem continental.

O silicato foi o nutriente inorgânico dissolvido que apresentou maior concentração, correlacionando inversamente com o biovolume e biomassa em carbono das diatomáceas na região oceânica, ressaltando a dependência desses organismos com esse nutriente.

Foi possível concluir que a pluma do rio Amazonas e as correntes atuantes nesse período, juntamente com a retroflexão da CNB, são responsáveis pela expansão da mesma, influenciando na estrutura da comunidade fitoplancônica, com o aumento do biovolume e biomassa em carbono e a ocorrência de organismos diazotróficos.

Tabela 2. Valores dos parâmetros abióticos analisados. Os intervalos são exibidos (mínimo) média (máximo), nas profundidades de superfície (SUP) e profundidade máxima de clorofila (PMC), nas regiões costeira e oceânica.

PARÂMETROS	SUP.		PMC.	
	Oceano	Costa	Oceano	Costa
TEMPERATUR A (°C)	(26,19) 27,98 (29,68)	(26,49) 27,74 (28,32)	(15,27) 25,39 (29,94)	(24,74) 26,74 (28,17)
SALINIDADE	(31,05) 35,37 (36,51)	(18,18) 34,18 (37,03)	(35,60) 36,25 (36,91)	(36,05) 36,44 (37,03)
FOSFATO ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	(0,01) 0,07 (0,22)	(0,02) 0,11 (0,30)	(0,01) 0,11 (0,74)	(0,03) 0,13 (0,27)
SILICATO ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	(0,01) 5,21 (27,02)	(0,79) 4,92 (20,81)	(0,40) 3,35 (16,65)	(0,86) 5,35 (21,04)
NID ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	(0,03) 0,98 (3,35)	(0,22) 1,77 (4,32)	(0,12) 1,84 (10,82)	(0,23) 1,91 (3,89)
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (ml L^{-1})	(1,58) 1,73 (1,87)	(1,58) 1,70 (1,75)	(3,01) 4,47 (4,85)	(3,86) 4,49 (4,91)
CLOROFILA <i>a</i> (mg m^{-3})	(0,02) 0,05 (0,36)	(0,02) 0,19 (0,94)	(0,02) 0,18 (1,91)	(0,02) 0,14 (0,34)
CLOROFILA <20 μm (mg m^{-3})	(0,02) 0,02 (0,07)	(0,02) 0,11 (0,83)	(0,02) 0,03 (0,21)	(0,02) 0,03 (0,11)

Fonte: Amanda Otsuka.

Tabela 3. Táxons fitoplanctônico presentes na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente

Cyanobacteria	<i>Prorocentrum gracile</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i> ▲
<i>Lyngbya</i> sp.▲	<i>Prorocentrum lima</i>	<i>Cymatosira belgica</i> ▲
<i>Oscillatoria</i> spp.	<i>Prorocentrum mexicanum</i>	<i>Ditylum brightwellii</i> ▲
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Fragilaria</i> sp.▲
<i>Trichodesmium</i> sp.	<i>Prorocentrum rostratum</i>	<i>Guinardia cylindrus</i> ▲
<i>Trichodesmium thiebautii</i> ▲	<i>Prorocentrum</i> spp.	<i>Guinardia flaccida</i> ▲
Haptophyta	<i>Protoperidinium cassum</i>	<i>Guinardia striata</i> ▲
<i>Umbilicosphaera sibogae</i> ▲	<i>Protoperidinium divergens</i> ▲	<i>Hemiaulus hauckii</i> ▲
Ochrophyta	<i>Protoperidinium granii</i> ▲	<i>Hemiaulus indicus</i>
<i>Dictyocha fibula</i> ▲	<i>Protoperidinium latissimum</i> ▲	<i>Hemiaulus sinensis</i> ▲
Miozoa	<i>Protoperidinium obtusum</i> ▲	<i>Hemiaulus</i> sp.▲
<i>Corythodinium</i> sp.*	<i>Protoperidinium ovum</i>	<i>Hemiaulus membranaceus</i> ▲
<i>Corythodinium tessellatum</i>	<i>Protoperidinium</i> spp.	<i>Leptocylindrus danicus</i> ▲
Dinophyceae	<i>Pyrocystis lunula</i> ▲	<i>Lithodesmium undulatum</i> ▲
<i>Dinophysis exigua</i>	<i>Pyrocystis robusta</i>	Mediophyceae▲
<i>Dinophysis rotundata</i> *	<i>Pyrophacus horologium</i> ▲	<i>Melosira</i> sp.▲
<i>Dinophysis schuettii</i>	<i>Pyrophacus</i> sp.▲	<i>Navicula</i> sp.
<i>Dinophysis</i> sp.	<i>Pyrophacus steinii</i> ▲	<i>Nitzschia longissima</i> ▲
<i>Diplopelta globula</i> *	<i>Scrippsiella</i> sp.	<i>Nitzschia sigma</i> ▲
<i>Diplopsalis</i> sp.▲	<i>Triadinium polyedricum</i>	<i>Nitzschia</i> sp.
<i>Gonyaulax polygramma</i>	<i>Tripes candelabrum</i>	<i>Odontella aurita</i> ▲
<i>Gonyaulax</i> sp.*	<i>Tripes declinatus</i>	<i>Odontella obtusa</i> ▲
<i>Gonyaulax spinifera</i>	<i>Tripes furca</i>	<i>Odontella sinensis</i> ▲
<i>Gonyaulax</i> spp.▲	<i>Tripes fusus</i> ▲	<i>Paralia sulcata</i> ▲
<i>Gonyaulax striata</i>	<i>Tripes horridus</i> *	<i>Planktoniella sol</i> ▲
<i>Gymnodinium</i> sp.*	<i>Tripes kofoidii</i>	<i>Pleuro-gyrosigma</i> spp.▲
<i>Heterocapsa triquetra</i> ▲	<i>Tripes lineatus</i> ▲	<i>Podocystis adriatica</i> ▲
<i>Histioneis cymbalaria</i> *	<i>Tripes macroceros</i> ▲	<i>Proboscia alata</i> ▲
<i>Histioneis milneri</i> ▲	<i>Tripes massiliensis</i> ▲	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> ▲
<i>Histioneis oxypteris</i> *	<i>Tripes pentagonus</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.
<i>Histioneis striata</i> *	<i>Tripes pulchellus</i> ▲	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> ▲
<i>Ornithocercus magnificus</i>	<i>Tripes teres</i>	<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i> ▲
<i>Ornithocercus quadratus</i> *	<i>Tripes contortus</i> ▲	<i>Rhizosolenia hebetata</i> ▲
<i>Ornithocercus</i> spp.▲	<i>Tripes muelleri</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> ▲
<i>Ornithocercus steinii</i> ▲	<i>Tryblionella compressa</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i> ▲
<i>Ornithocercus thumi</i> *	Bacillariophyta	<i>Rhizosolenia</i> sp.
<i>Oxytoxum constrictum</i> *	<i>Amphora</i> sp.▲	<i>Rhizosolenia styliformis</i> ▲
<i>Oxytoxum elegans</i> ▲	<i>Asterionellopsis glacialis</i> ▲	<i>Richelia intracellularis</i>
<i>Oxytoxum longiceps</i> *	<i>Asterolampra marylandica</i> ▲	<i>Skeletonema costatum</i> ▲
<i>Oxytoxum milneri</i> ▲	<i>Aulacodiscus</i> sp.	<i>Surirella</i> sp.▲
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	<i>Aulacoseira distans</i> ▲	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> ▲
<i>Oxytoxum scolopax</i>	Bacillariophyceae	<i>Thalassionema nitzschioides</i> ▲
<i>Oxytoxum</i> spp.	<i>Bacteriastrium delicatulum</i> ▲	<i>Thalassiosira eccentrica</i> ▲
<i>Oxytoxum turbo</i> *	<i>Brockmanniella brockmannii</i> ▲	<i>Thalassiosira leptopus</i> ▲
<i>Phalacroma doryphorum</i> ▲	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> ▲	<i>Thalassiosira</i> sp.▲
<i>Phalacroma rapa</i> ▲	<i>Chaetoceros peruvianus</i> ▲	<i>Trachyneis</i> sp.
<i>Phalacroma rotundatum</i> ▲	<i>Chaetoceros</i> sp.▲	<i>Triceratium</i> sp.
<i>Podolampas bipes</i> var. <i>reticulata</i> ▲	<i>Coscinodiscus centralis</i> ▲	<i>Trieres mobiliensis</i> ▲
<i>Podolampas palmipes</i>	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Trieres regia</i> ▲
<i>Podolampas spinifera</i>	<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> ▲	<i>Tryblionella compressa</i> ▲
<i>Preperidinium meunieri</i>	<i>Cyclotella melosiroides</i> ▲	<i>Tryblionella hantzschiana</i> ▲
<i>Prorocentrum balticum</i> ▲	<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Tryblionella punctata</i> ▲

▲ = Exclusivo de rede * = Exclusivo de garrafa

Fonte: Amanda Otsuka.

4 CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO AMAZONAS E REGIÃO OCEÂNICA ADJACENTE

Introdução

Os grupos funcionais se referem a agrupamentos de espécies que respondem a determinadas condições ambientais, por possuir características adaptativas para sobrevivência em diferentes ambientes (Reynolds *et al.*, 2002).

Por apresentar um caráter muito dinâmico, a comunidade planctônica responde rapidamente às alterações físicas e químicas do sistema aquático, considerando a tolerância ou a sensibilidade das espécies (Valiela, 1995; Brasil e Huszar, 2011). O grupo fitoplanctônico, como estratégia, apresenta muitas variedades e formas resultantes dessas flutuações ambientais particulares (Costa *et al.*, 2004).

Sendo assim, o estudo de associações funcionais é de importância para o estudo do fitoplâncton destacando-se: (1) compreensão do funcionamento dos ecossistemas de forma mais simplificada, (2) a comparação entre os diversos ambientes aquáticos, (3) possibilidade de identificar padrões espaciais e sazonais na distribuição da comunidade, (4) respostas à eutrofização (Burliga, 2010; Zhu *et al.*, 2013).

A metodologia dos grupos funcionais é amplamente utilizada em estudos ecológicos permitindo uma análise dos diferentes ecossistemas aquáticos mundiais (Kruk *et al.*, 2017).

A informação sobre o uso de grupos funcionais em estuários e ecossistemas costeiros ainda é escassa (Smayda e Reynolds, 2003). No Brasil, as pesquisas se concentram principalmente em ecossistemas de água doce, como lagos (Huszar e Reynolds, 1997; Melo e Huszar, 2000; Bovo-Scomparin e Train, 2008), reservatórios (Bouvy *et al.*, 2003; Lopes *et al.*, 2005; Moura *et al.*, 2007; Borges *et al.*, 2008; Dantas *et al.*, 2008; Fonseca e Bicudo, 2008; Becker *et al.*, 2009), lagoas costeiras (Alves-de-Souza *et al.*, 2006), estuários (Costa *et al.*, 2009) e muito pouco na plataforma continental (Moser *et al.*, 2014). Na região norte encontra-se os trabalhos de Huszar e Reynolds (1997) e Lobo *et al.* (2018) em lagos da planície de inundação amazônica, no entanto, há uma lacuna com relação aos grupos funcionais da flora planctônica na área da plataforma continental e região oceânica.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar as associações fitoplanctônicas e sua relação com as variáveis ambientais e investigar a variação espacial dessas associações na plataforma continental amazônica e região oceânica.

Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo abrange a plataforma continental amazônica e área oceânica adjacente, a plataforma apresenta um extenso delta submarino e está situada entre o Cabo Orange (4°N) e o Turiaçu (2°S), com a profundidade da quebra de plataforma variando entre as isóbatas de 75 e 115m (Neto e Silva, 2004; Lourenço, 2016). Nela, deságua o rio Amazonas, que possui a maior vazão fluvial global, respondendo por aproximadamente 15% a 20% da entrada de água doce no oceano Atlântico Equatorial (Coles *et al.*, 2013). Tornando uma importante conexão entre a hidrologia continental e o oceano, e conseqüentemente, sua pluma apresenta um grande impacto nas áreas adjacentes através do fornecimento de águas com baixa salinidade e menor transparência, além de sedimentos, nutrientes e carbono orgânico dissolvido (Coles *et al.*, 2013; Cao *et al.*, 2016).

O clima da região é caracterizado por variabilidade sazonal ocasionada pelo deslocamento latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que está associada à baixa pressão atmosférica, alta nebulosidade com chuvas associadas e altos índices de umidade atmosférica (Flagg *et al.*, 1986; Muller-Karger *et al.*, 1995; Johns *et al.*, 1998; Stramma e Schott, 1999; Ffield, 2005; Foster, 2007). E a dinâmica de correntes superficiais é caracterizada pela Corrente Norte do Brasil (CBN) e os ventos alísios, são considerados os principais fatores de alto dinamismo local (Neto e Silva, 2004; Fontes *et al.*, 2011).

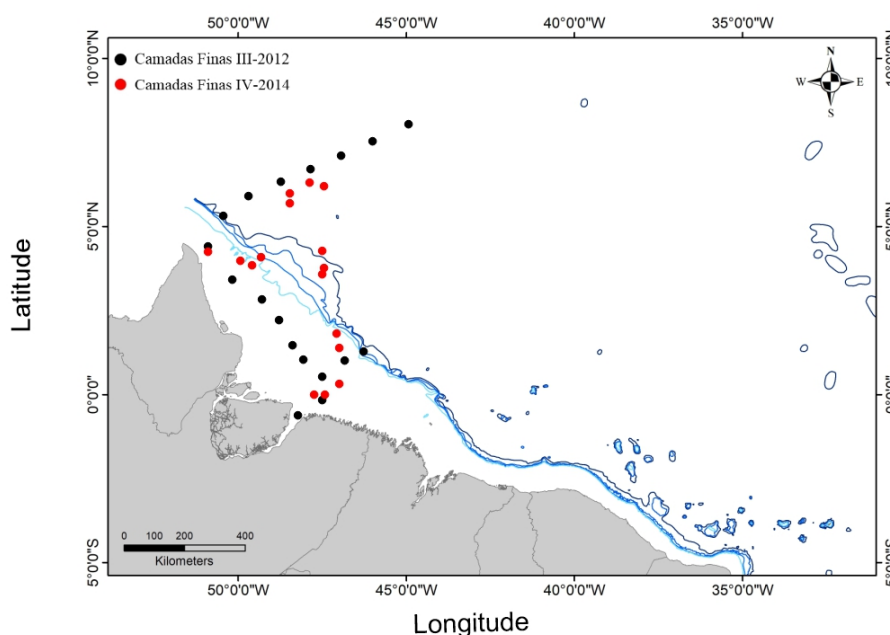
4.2.2. Amostragem e análise dos parâmetros abióticos

A amostragem foi realizada em uma campanha denominada Camadas Finas III (CFIII) e Camadas Finas V (CFV), em outubro/2012 e setembro/2014, respectivamente, a bordo da embarcação NHo 38 (Navio Hidroceanográfico Cruzeiro do Sul) pertencente à Marinha do Brasil, totalizando em 34 pontos de coleta (Figura 21).

No total foram coletadas 68 amostras, sendo 34 amostras na superfície e 34 amostras na profundidade máxima de clorofila (PMC). Foi utilizado um Perfilador CTD Seabird 2 para a medição da salinidade, temperatura e profundidade. Para os demais parâmetros químicos e biológicos, a coleta foi realizada através de garrafas oceanográficas de Niskin.

Os nutrientes, nitrito e o nitrato foram medidos através do método de Strickland e Parsons (1972); a amônia, o silicato e o fosfato, de acordo com os métodos colorimétricos (Grasshoff *et al.*, 1983).

Figura 21. Amostragem das estações de coleta ao longo do percurso do navio durante a campanha Camadas Finas III e V, em outubro de 2012 e setembro de 2014, respectivamente.



Fonte: Amanda Otsuka.

Amostragem e análise do fitoplâncton

Para as análises quantitativas, as amostras foram acondicionadas em frascos de 1L e imediatamente fixadas com Lugol 2%. No laboratório, foram analisadas utilizando um microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT), de acordo com o método de Utermöhl (1958), utilizando uma cubeta de 50 mL. A densidade fitoplanctônica foi expressa em cél L^{-1} .

Para a identificação dos táxons foi utilizada bibliografia especializada (Wood, 1968; Balech, 1988; Chreti  not-Dinnet *et al.*, 1990; Tomas, 1997; Bérard-Therriault *et al.*, 1999; Hoppenrath *et al.*, 2009) e a classifica  o taxonômica foi baseada em Guiry e Guiry (2018).

O cálculo do biovolume total (BV) foi baseado na metodologia que utiliza as formas geométricas (Hillebrand *et al.*, 1999; Sun e Liu, 2003; Vadrucchi *et al.*, 2007), onde foram medidos todos os organismos na objetiva de 40x, exceto as cianobactérias filamentosas, que para facilitar a medi  o, foi utilizada a objetiva de 10x.

As espécies que contrib  iram com >5% do biovolume total foram agrupadas em associa  es funcionais de acordo com Reynolds *et al.* (2002), Padisák *et al.* (2009) e Smayda e Reynolds (2003) com base nas suas características morfológicas, fisiológicas e ecológicas.

Para a análise da clorofila *a*, foram realizadas filtra  es de 3,0 L das amostras de água coletadas, através de filtros GF/F Whatman   de 47 mm de diâmetro. No laboratório, foi

realizada a extração da clorofila *a* pelo método espectrofotométrico da UNESCO (1966) e os cálculos através da equação de Parsons e Strickland (1963), sendo os resultados expressos em mg.m^{-3} .

Para a análise qualitativa da composição fitoplanctônica, foram realizados arrastos verticais, a partir de 10 m abaixo da profundidade máxima de clorofila até a superfície, com rede de plâncton com abertura de malha de 20 μm , medindo 1 m de comprimento e 30 cm de diâmetro de abertura da rede. Após coletadas, as amostras foram fixadas com formol a 4% e armazenadas em potes de 250 ml. Na análise, as amostras foram homogeneizadas, sendo retirada uma alíquota de 1,0 mL em lâmina semi-permanente para contagem e identificação dos táxons, utilizando-se o microscópio óptico Zeiss, com aumento de 400x e para identificação foram utilizadas bibliografias específicas.

Análise estatística

Para verificar se houve diferenças significativas entre os dados abióticos utilizando como fator a profundidade (superfície x PMC) foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente, para testar a normalidade e a homocedasticidade dos dados. Posteriormente, foi aplicado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney considerando significativo os valores de $p < 0,05$, utilizando o software STATISTICA 8®.

Foi utilizado a análise multivariada, Análise dos Componentes Principais (ACP) com base na matriz de correlação momento-produto de Pearson. Em seguida, foram extraídos o autovetor e o autovalor dos três principais componentes. Utilizou-se essa análise para observar como os grupos formados e os parâmetros abióticos se correlacionaram de acordo com a profundidade, para isso foi utilizado o software computacional Statistic8®.

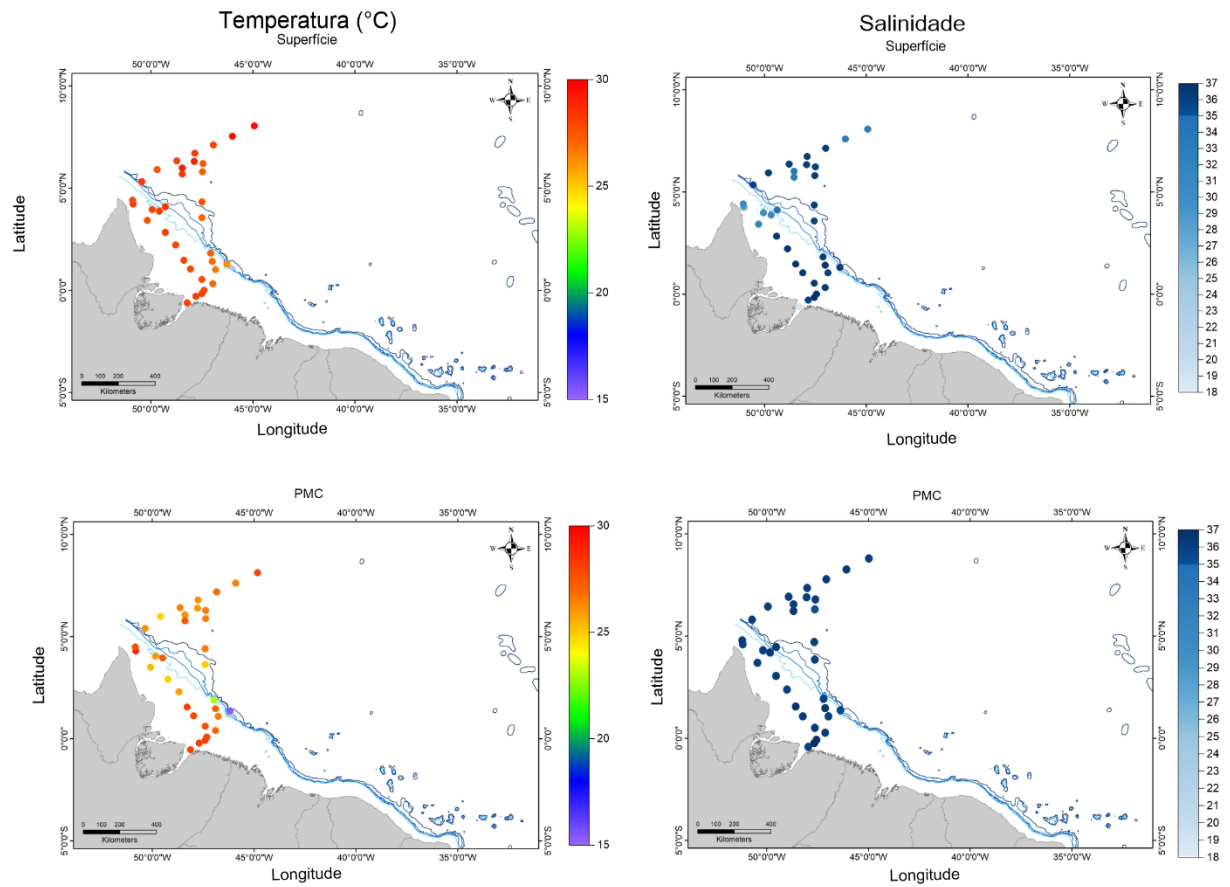
Resultados

Variáveis ambientais

Salinidade

A média da salinidade na superfície foi de $34,47 \pm 3,7$, com o máximo de 37,03 e mínimo de 18,18. Na PMC, a média foi de $36,24 \pm 0,3$, com o valor máximo de 37,03 e mínimo de 35,17. Foram observadas variações de salinidade durante a campanha, nos pontos referentes a área costeira da plataforma continental Norte, seguindo sentido leste pela Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) com valores típicos de águas salobras (< 35) e com média de $32,03 (\pm 4,49)$ (Figura 22). A salinidade não apresentou diferença significativa espacial entre superfície-PMC (teste Mann-Whitney, $p = 0,24$).

Figura 22. Distribuição da Temperatura na superfície e na PMC, Salinidade na superfície e na PMC, durante a campanha CFI e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.

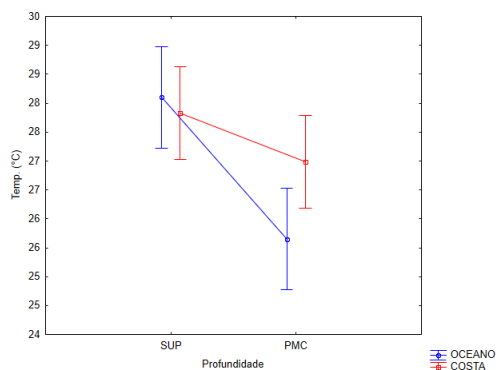


Fonte: Amanda Otsuka.

Tempertaure

Com relação a temperatura superficial, a média geral foi 27,95°C ($\pm 0,75$), com o máximo de 29,59°C e mínimo de 26,21°C. Na PMD, a média foi 26,38°C ($\pm 2,35$), com o máximo de 29°C e mínimo de 15,27°C (Figura 22). A temperatura variou significativamente entre as profundidades, com menores valores encontrados na PMD (teste Mann-Whitney, $p=0,00$) (Figura 23).

Figura 23. Distribuição da temperatura na região costeira e oceânica e nas profundidades de superfície e PMC.



Fonte: Amanda Otsuka.

Nutrientes inorgânicos

A amônia apresentou média de $0,14 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,15$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $0,59 \mu\text{mol L}^{-1}$, na superfície. Na PMC a média foi $0,12 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,16$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $0,81 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 24).

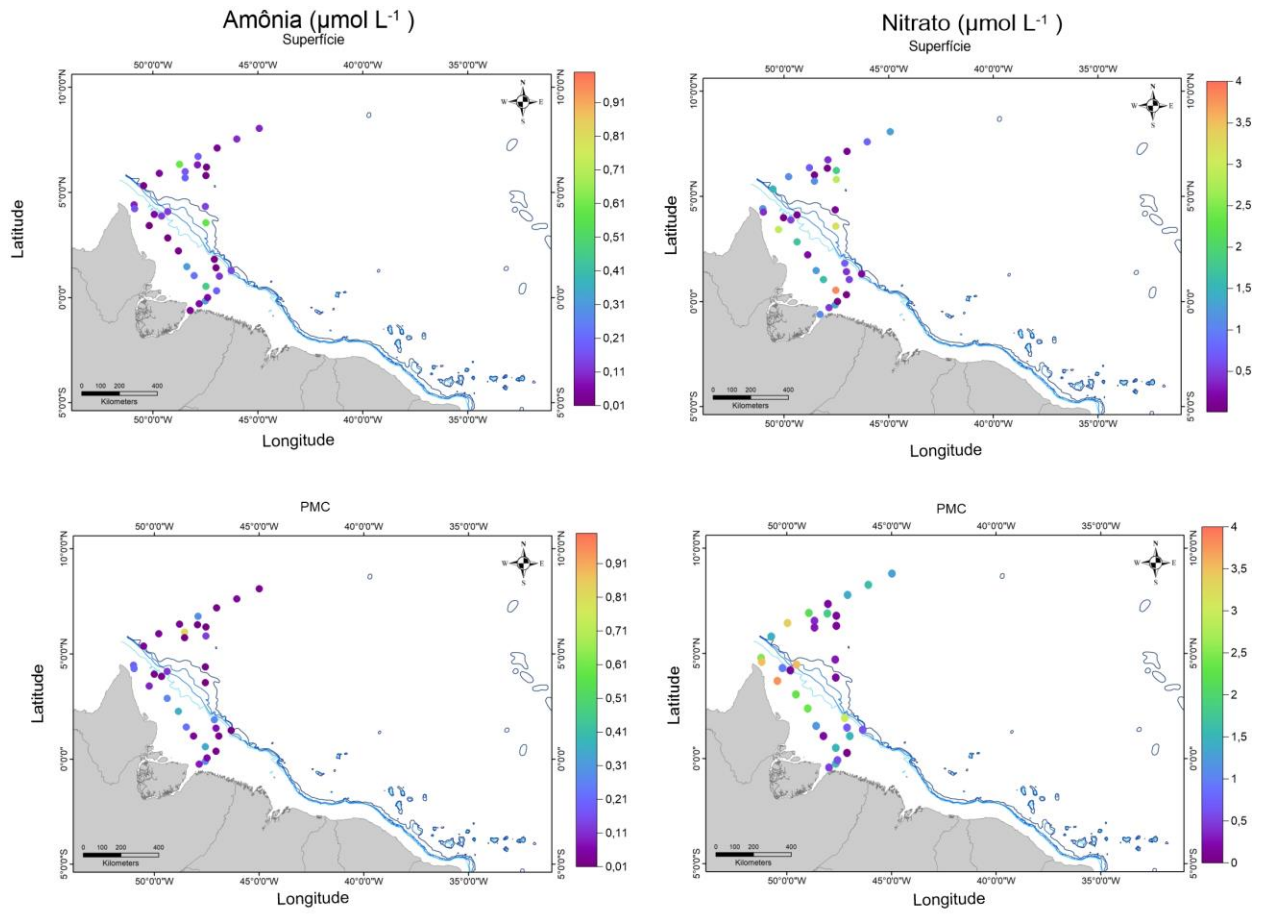
A média do nitrato na superfície foi de $0,98 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,99$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $3,85 \mu\text{mol L}^{-1}$, na PMC a média foi de $1,36 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,11$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $3,79 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 24).

Os nutrientes nitrogenados não apresentaram variação significativa entre superfície-PMC (teste Mann-Whitney, amônia $p=0,11$, nitrato $p=0,40$).

As concentrações de fosfato na superfície apresentaram uma média de $0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 0,10$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $0,44 \mu\text{mol L}^{-1}$. Na PMC, a média foi de $1,48 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 1,18$) com mínimo de $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $3,86 \mu\text{mol L}^{-1}$. Esse parâmetro não apresentou variação significativa entre superfície-PMC (teste Mann-Whitney, $p=0,16$).

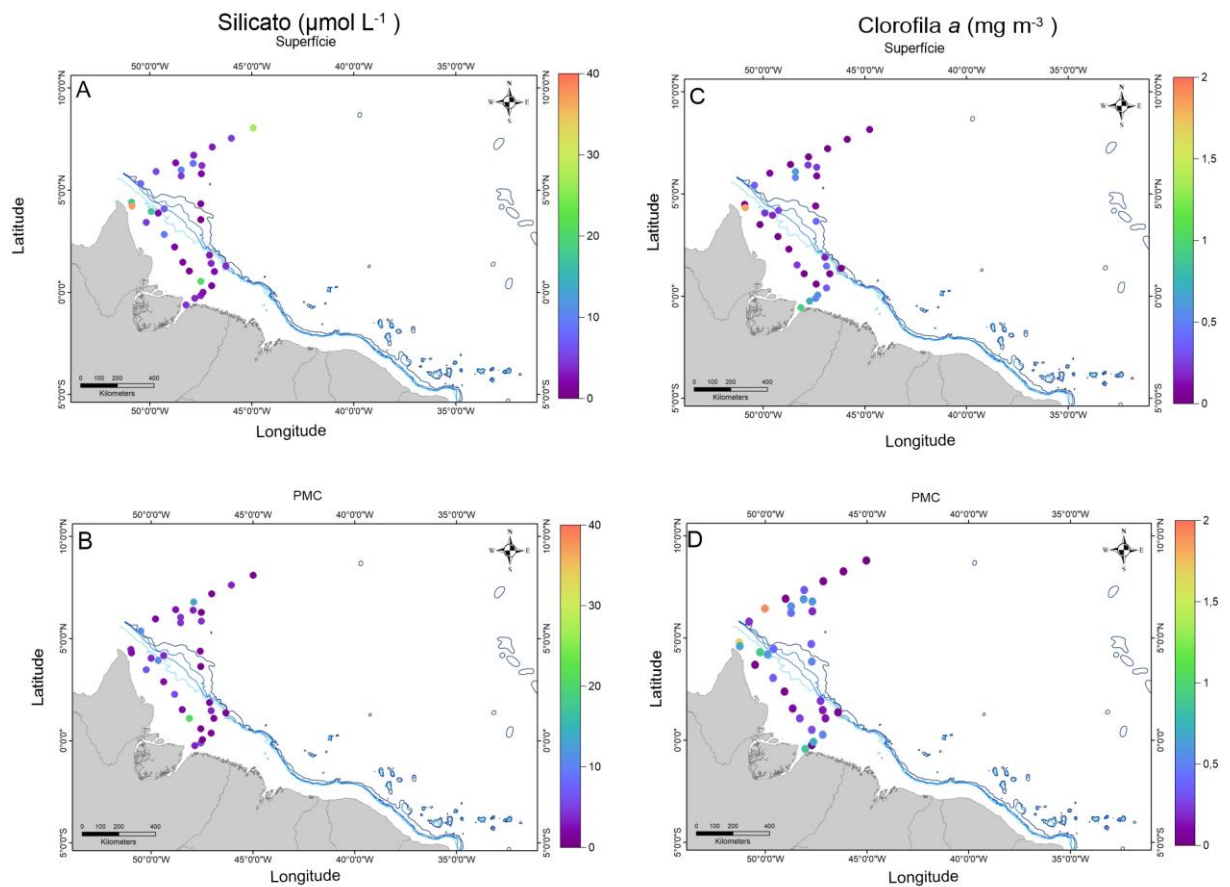
O silicato na superfície, apresentou média de $6,69 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 8,14$) com mínimo de $0,18 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $37,20 \mu\text{mol L}^{-1}$. Na PMC a média foi $3,91 \mu\text{mol L}^{-1}$ ($\pm 4,35$) com mínimo de $0,21 \mu\text{mol L}^{-1}$ e máximo de $21,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Figura 25). Esse parâmetro não apresentou variação significativa entre superfície-PMC (teste Mann-Whitney, $p=0,64$).

Figura 24. Distribuição da Amônia na superfície e na PMC e Nitrato na superfície e na PMC, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 25. Distribuição da Silicato na superfície e na PMC e Clorofila *a* na superfície e na PMC, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



Fonte: Amanda Otsuka.

Fitoplâncton

Foram registrados, qualitativamente, 158 táxons para área, agrupados nos filos: Bacillariophyta (92,11%); Cyanobacteria (6,62%); Miozoa (1,20%); Ochrophyta e Haptophyta (0,04%).

Ao analisar quantitativamente o fitoplâncton, registrou-se no total, 81 táxons pertencentes a três categorias taxonômicas (Bacillariophyta, Miozoa, Cyanobacteria) na área estudada. Dentre esses, 45 táxons descritores do fitoplâncton foram distribuídos em três grupos taxonômicos, cianobactérias (1 táxon), diatomáceas (9 táxons) e dinoflagelados (35 táxons).

O biovolume celular variou de $3,2$ a $2,3 \times 10^5 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$, com média de $4,9 \times 10^3 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$, na superfície. E na PMC, a variação foi de $1,43$ a $10^3 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$, com média de $3,74 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$. Esse parâmetro apresentou diferença significativa entre a superfície e a PMC (Teste Mann-Whitney, $p=0,44$).

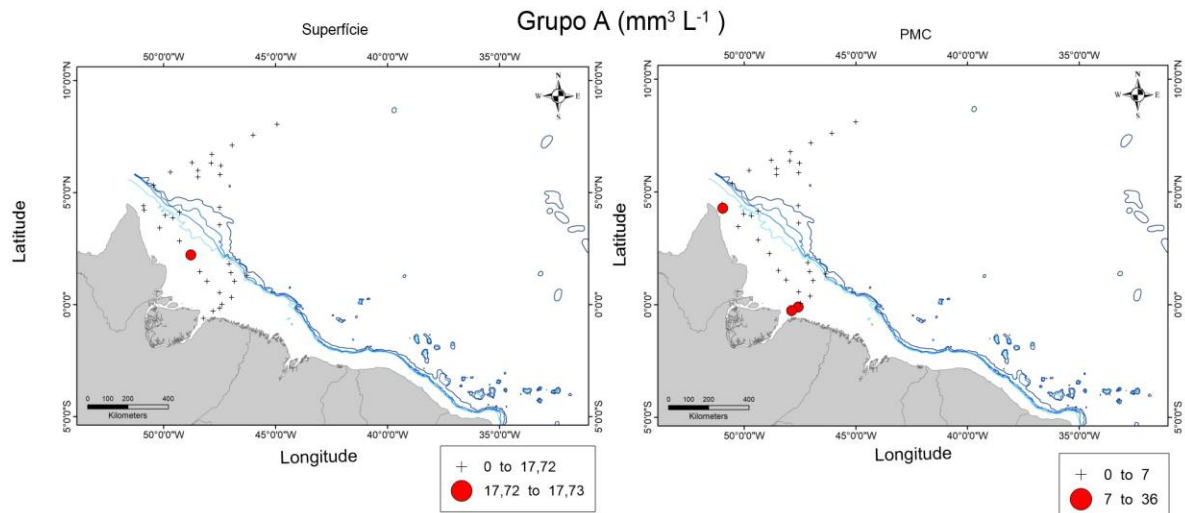
Foram formados 10 grupos funcionais (A, D, MP, S2 II, III, VI, VII, VIII, IX), distribuídos em duas profundidades. Destes, foram três grupos de diatomáceas (A, D, MP) (Figura 26; Figura 27; Figura 27), um de cianobactérias (S2) (Figura 28) e seis de dinoflagelados (II, III, VI, VII, VIII, IX). Os grupos funcionais fitoplanctônicos ocorreram, com uma ou mais espécies contribuindo para sua composição (Tabela 4).

A superfície foi caracterizada pela associação D composta pelas diatomáceas (*Trachyneis* sp., *Hemiaulus indicus* Karsten, *Aulacodiscus* sp., *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg, *Coscinodiscus* sp. e *Thalassionema frauenfeldii* (Grunow) Tempère & Peragallo), enquanto os grupos III (*Ceratium horridum* (Cleve) Gran, VII *Dinophysis rotundata* Claparède & Lachmann, *Dinophysis schuetti* G.Murray & Whitting) (Figura 29), IX (*Pyrocystis robusta* Kofoid) e MP (*Navicula* sp.) caracterizaram a PMC. Os demais grupos ocorreram com representantes nas duas profundidades (Tabela 4).

Os grupos A (*Cyclotella* sp. e *Rhizosolenia* sp.), D e MP foram predominantemente costeiros, enquanto os grupos II *Prorocentrum balticum* (Lohmann) Loeblich III, *Prorocentrum mexicanum* Osorio-Tafall, *Prorocentrum gracile* F.Schütt, *Prorocentrum* sp., *Diplopelta globula* (Abé) Balech, *Diplopelta* sp., *Diplopeltopsis minor* Pavillard, *Podolampas palmipes* Stein, *Oxytoxum curvicaudatum* Kofoid, *Oxytoxum scolopax* F.Stein, *Oxytoxum sceptrum* (F.Stein) Schröder, *Oxytoxum turbo* Kofoid, *Oxytoxum* spp., *Prorocentrum micans* Ehrenberg, *Scripsiella* sp. e *Corythodinium* sp.) e VI (*Protoperidinium conicoides* (Paulsen) Balech, *Protoperidinium divergens* (Ehrenberg) Balech, *Protoperidinium ovum* (J.Schiller) Balech, *Protoperidinium* spp., *Protoperidinium brevipes* (Paulsen) Balech e *Protoperidinium cassum* (Balech) Balech) foram predominantemente oceânicos (Tabela 4).

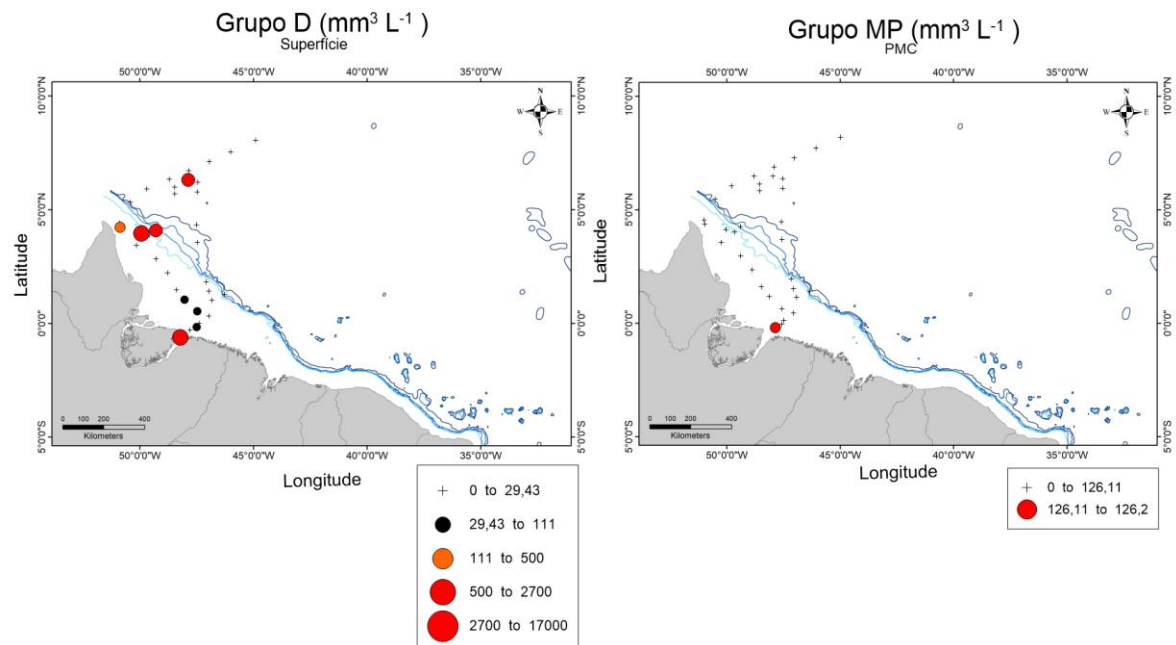
A clorofila *a* total, apresentou uma média de $0,27 \text{ mg.m}^{-3}$ ($\pm 0,36$) com mínimo de $0,02 \text{ mg.m}^{-3}$ e máximo de $1,83 \text{ mg.m}^{-3}$ (estação 16), na superfície. Na PMC, a média foi de $0,41 \text{ mg.m}^{-3}$ ($\pm 0,44$) com mínimo de $0,02 \text{ mg.m}^{-3}$ e máximo de $1,91 \text{ mg.m}^{-3}$ (Figura 25). A clorofila *a* não apresentou variação significativa entre as profundidades (teste Mann-Whitney, $p=0,02$).

Figura 26. Distribuição do biovolume celular do Grupo A, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



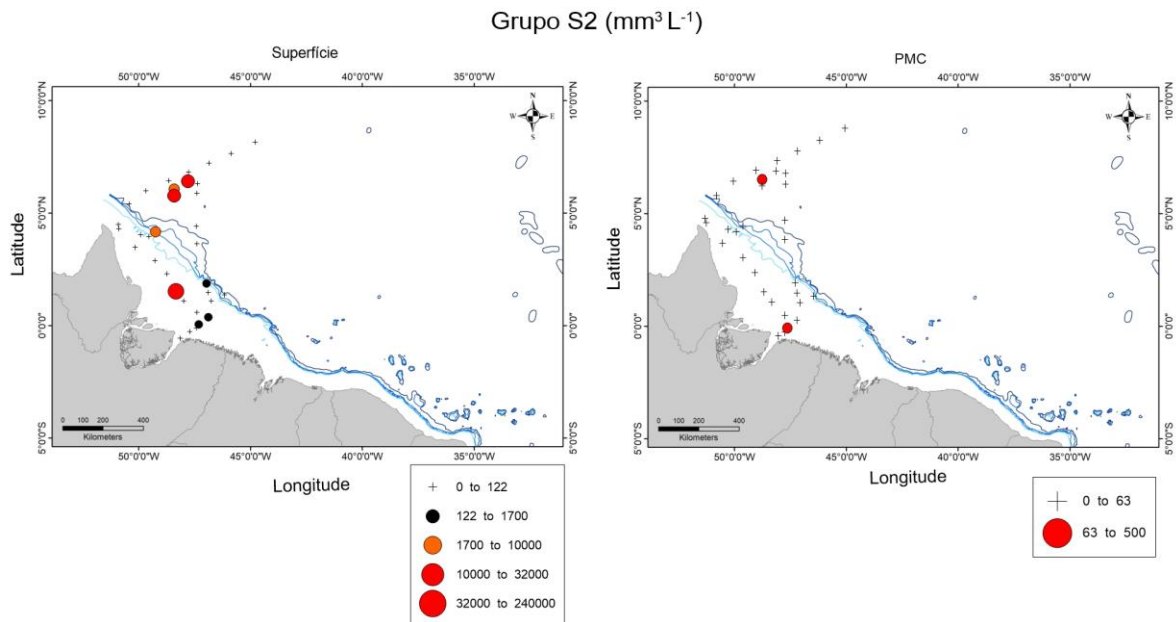
Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 27. Distribuição do biovolume celular dos Grupo D – superfície; Grupo MP – PMC, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



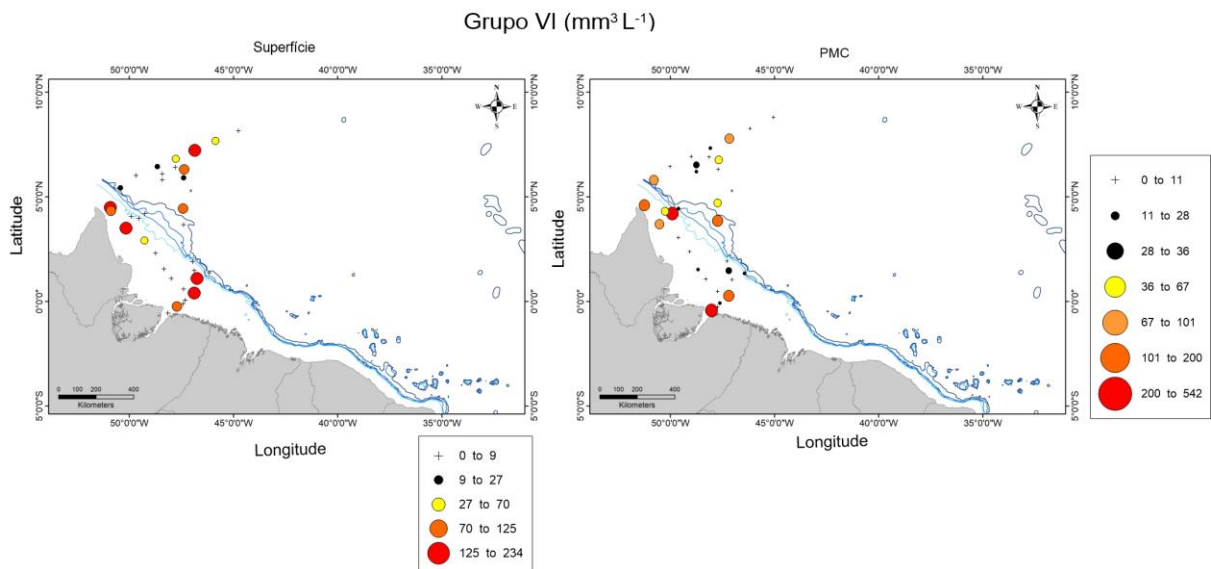
Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 28. Distribuição do biovolume celular do Grupo S2, na superfície e PMC, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 29. Distribuição do biovolume celular do Grupo VI, na superfície e PMD, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.

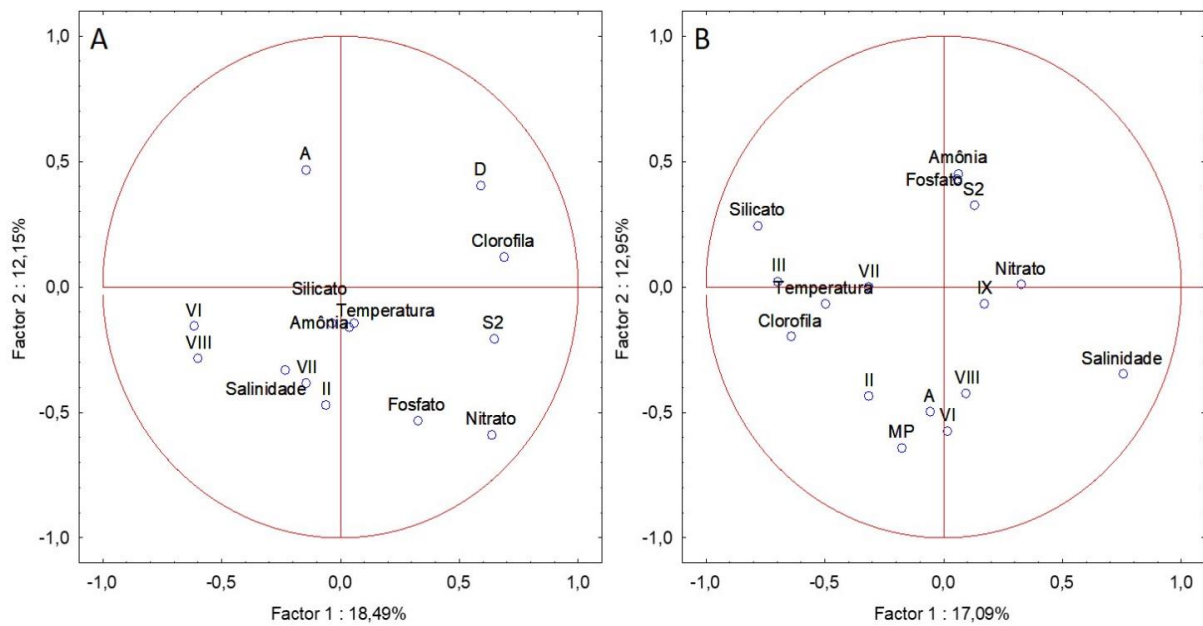


Fonte: Amanda Otsuka.

De acordo com a ACP da superfície, as três primeiras componentes explicaram 42,28% da variância dos dados (Figura 30). A PC1 (18,49%) correlacionou diretamente os grupos S2 e D com a amônia e clorofila *a*, e inversamente com os grupos VI e VIII. A PC2 (12,15%) não mostrou associações importantes entre os parâmetros envolvidos na análise, enquanto a PC3 (11,64%) correlacionou inversamente a salinidade com o silicato. Essa análise mostra a influência de águas mesohalinas responsáveis por transportar material de origem terrestre aumentando a concentração de nutrientes no ambiente, e consequentemente a produtividade.

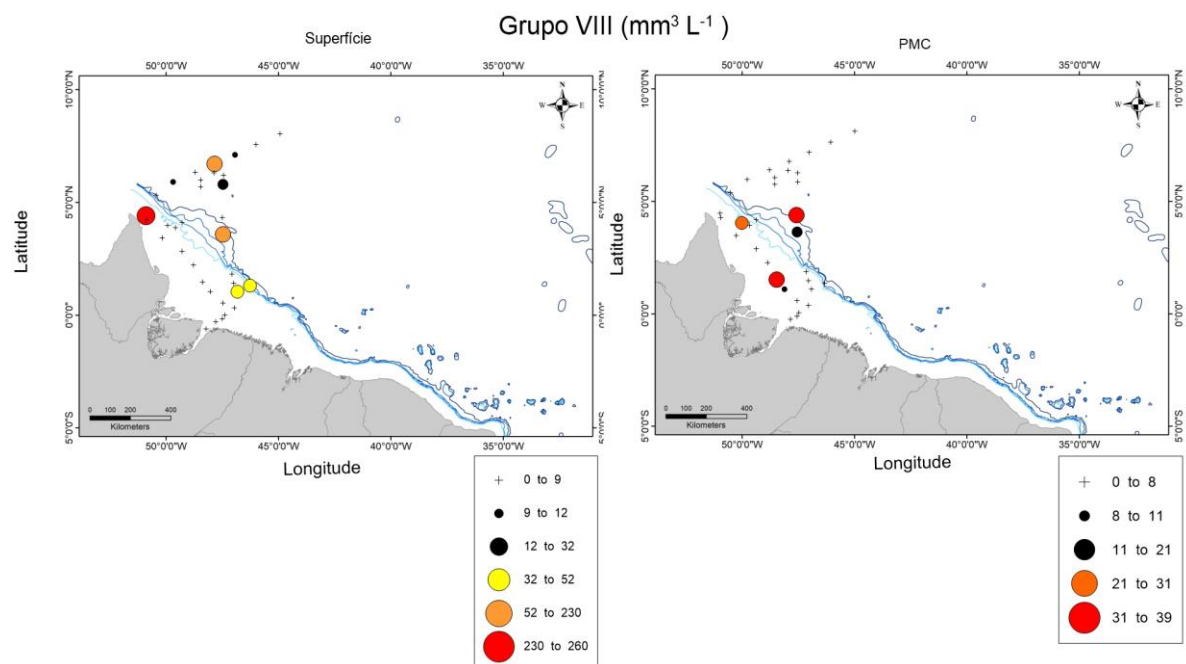
A ACP referente a profundidade da PMC teve uma explicação de 42,06% da variação dos dados (Figura 30). A PC1 (17,09%) correlaciona o grupo III diretamente com a temperatura, silicato e clorofila *a* e inversamente com a salinidade. A PC2 (12,95%) apresenta correlação direta entre os grupos VI e MP enquanto a PC3 (12,02%) correlaciona diretamente o grupo A com amônia e nitrato. A profundidade PMC foi também influenciada pela salinidade e pode-se observar o grupo II formado por dinoflagelados do gênero *Ceratium* agrupado mais na região oceânica. O grupo VI de *Protoperidinium* e o grupo MP composto por *Navicula* sp. coincidem com maior biovolume $343,80 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$ e $126,11 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$, respectivamente, na mesma estação, na foz do rio. O grupo A formado por *Cyclotella* sp. e *Rhizosolenia* sp. estão relacionados aos nutrientes amônia e nitrato que estão em maiores concentrações na PMC e região costeira.

Figura 30. Análise das Componentes Principais (ACP) A) Superfície, B) PMC, com todas as variáveis medidas ao longo do percurso do navio durante CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



Fonte: Amanda Otsuka.

Figura 31. Distribuição do biovolume celular do Grupo VII, na superfície e PMC, durante a campanha CFIII e CFV, outubro 2012 e setembro 2014, respectivamente.



Fonte: Amanda Otsuka.

Discussão

A abordagem dos grupos funcionais do fitoplâncton na plataforma continental do Amazonas e região oceânica adjacente mostra relação com as variações ambientais e com a distribuição nas profundidades de superfície e PMC, e também em relação costa-oceano.

A maioria dos estudos sobre grupos funcionais fitoplanctônico estão mais concentrados em ambientes de água doce e em alguns em estuários. Porém, de acordo com Smayda e Reynolds (2001) as espécies marinhas partilham as estratégias adaptativas fitoplâncton de água doce, transcendendo o efeito seletivo que as diferenças na salinidade do habitat têm na seleção de espécies e organização comunitária.

Como relatado por Stukel (2004) em seu trabalho na pluma Amazônica, a salinidade não reflete na resposta biológica propriamente dita, mas na importância dos processos físicos de diluição para as concentrações de nutrientes e plâncton na pluma. Sendo assim, a pluma exerce influência no biovolume e composição taxonômica do fitoplâncton.

O resultado da ACP indica que as associações funcionais do presente estudo foram reguladas pela presença de águas salobras (salinidade <35) ao longo do *continuum* costa-oceano. Isso pode ser observado através da presença dos grupos funcionais de diatomáceas predominantemente na costa e os grupos de dinoflagelados predominantemente nas regiões oceânicas. Fato este, devido às características inerentes de cada grupo em relação à disponibilidade de nutrientes e tolerância à variação de salinidade.

A categorização de Reynolds (1997) a partir do modelo de estratégias C-R-S, seguiu a abordagem de grupos funcionais de fitoplâncton, com espécies pertencentes a grupos taxonômicos distintos, porém convergindo em uma mesma estratégia ecológica. A estrategista-C é composta por espécies pequenas, com crescimento rápido, conseguem viver em altas concentrações de nutrientes e luminosidade, sendo características de ambientes eutróficos e estáveis. A estrategista-R formadas por organismos unicelulares e coloniais alongados, filamentosos, possuem alta relação superfície/volume, preferem condições de baixa luminosidade e temperatura, são mais competitivas em ambientes mesotróficos. E as estrategista-S são espécies constituídas de grandes organismos, com baixa relação superfície/volume, sendo características de ambiente oligotrófico e estáveis (Burliga, 2010).

De acordo com Smayda e Reynolds (2003), as espécies de estratégias C, S e R são claramente reconhecíveis entre as formas de vida dos dinoflagelados distribuídos ao longo *continuum* costa-oceano, nas concentrações de nutrientes. Neste trabalho destacam-se os Grupos VI (gênero *Protoperidinium*) e Grupo VIII (Figura 31) compostos diversas espécies

de dinoflagelados que correlacionaram inversamente com a amônia e clorofila *a*. Dentre o grupo VIII estão presentes as espécies *Ceratocorys horrida* Stein e *Tripos furca* (Ehrenberg) F.Gómez, classificadas por Mooser (2014) como R-estrategista e S-estrategista, respectivamente, a *C. horrida* foi encontrada na plataforma continental do Rio de Janeiro em uma área mais afastada da costa. A *T. furca* foi a responsável pelo maior biovolume nesse grupo ($259.37 \text{ mm}^{-3} \text{ L}^{-1}$) e está localizada na região com características baixa salinidade ($\text{sal}=31$) e alta concentração de silicato ($16,9 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$), de acordo com Mooser (2014) essa espécie esteve associada a altas concentrações de silicato e salinidade <35 .

Na superfície, os grupos S2 e D foram relacionados positivamente com a amônia e a clorofila *a*, pode estar associado a preferência dos organismos para assimilar esse nutriente nitrogenado (Schmidt, 1982; Carstensen *et al.*, 2015) e também pelo tamanho das células das espécies que compõem esses grupos. São espécies que apresentaram biovolume significativo na área estudada e de acordo com Sabetta *et al.* (2005) um maior tamanho das células está relacionado às áreas com elevadas concentrações de nutrientes dissolvidos. Fato este corroborado por Araújo *et al.* (2017) em seu trabalho na região amazônica (plataforma continental e oceânica) que correlaciona o grupo das diatomáceas com a clorofila *a*.

O grupo D é composto por diatomáceas é encontrado em águas ricas em nutrientes, como afirma Reynolds *et al.* (2002). Esse grupo também foi registrado por Costa *et al.* (2009) no estuário do rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro). Enquanto o grupo S2 é caracterizado por águas quentes e frequentemente alcalinas (Padisák *et al.*, 2009), composto exclusivamente por espécies de *Trichodesmium* spp.

Os dinoflagelados e principalmente o *Trichodesmium* spp. se concentram nas estações localizadas próximas da região da retroflexão e no início da Contracorrente Norte Equatorial (NECC), caracterizada como oligotrófica, porém com a presença de águas salobras (<35). De acordo com Ibáñez *et al.* (2016), existe uma alta correlação entre a precipitação e a salinidade na região da pluma, e essa relação pode afetar $> 16\%$ da área da pluma do Rio Amazonas.

Na profundidade de PMC, destaca-se o Grupo III composto por dinoflagelados do gênero *Ceratium*, e está localizado nas estações oceânicas. Koenig e Lira (2005) corrobora com esse fato relatando que esse gênero está adaptado a ambientes mais estáveis e com baixas concentrações de nutrientes, e que esta estratégia de vida, representa um estágio de sucessão avançado correlacionado com um certo grau de heterotrofia e o desenvolvimento de mecanismos contra o “grazing” e predadores.

Na região costeira, na profundidade intermediária, o grupo A (*Cyclotella* sp. e *Rhizosolenia* sp.) está correlacionado pela ACP diretamente com a amônia e nitrato. Estão situadas, principalmente, em duas estações, uma na foz do rio e a outra próxima a retroflexão com o valor da salinidade superficial = 28. Esta região costeira é altamente dinâmica e produtiva, onde foram encontradas elevadas quantidades de material orgânico dissolvido com origem terrestre (Lefèvre *et al.*, 2017), o que sugerem que a exportação de material costeiro para a plataforma contribui também de uma maneira significativa para a produtividade primária na região.

A área de estudo mostra uma distribuição complexa da comunidade fitoplanctônica devido, em grande parte, à interação de forçantes físicas responsáveis por expandir a pluma amazônica para o oceano (Smith Jr e Russel, 1995). No entanto, a superfície da plataforma continental é caracterizada principalmente pela presença dos grupos funcionais compostos por diatomáceas, e na região oceânica pelos grupos constituídos pelos dinoflagelados e *Trichodesmium* spp. As associações fitoplanctônicas na profundidade da PMC estão mais representadas pelos grupos compostos por dinoflagelados.

Com base nos resultados e considerações, conclui-se que os descritores ambientais utilizados na presente pesquisa revelaram a importância da atuação da pluma do rio Amazonas e da dinâmica local na distribuição dos diversos atributos do fitoplâncton. Estes foram os principais fatores que condicionaram os parâmetros ambientais estudados na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente.

Tabela 4. Grupos funcionais do fitoplâncton identificados na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente. Legenda: BV= Biovolume. Continua...

Códon	Espécies	Grupo taxonômico	Profundidade	BV total (mm ⁻³ L ⁻¹)	BV médio por grupo (mm ⁻³ L ⁻¹)	Ocorrência
A	<i>Cyclotella</i> sp.	Bacillariophyta	Sup	17.72	1.69	costa
			PMC	97.44		
	<i>Rhizosolenia</i> sp.	Bacillariophyta	Sup	3.3 x 10 ²		costa
			PMC	10 ³		
D	<i>Aulacodiscus</i> sp.	Bacillariophyta	Sup	8.2 x 10 ³	5 x 10 ²	costa
	<i>Trachyneis</i> sp.	Bacillariophyta	Sup	29.43		costa
	<i>Hemiaulus indicus</i>	Bacillariophyta	Sup	90.07		costa
	<i>Coscinodiscus centralis</i>	Bacillariophyta	Sup	1.6 x 10 ⁴		costa
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	Bacillariophyta	Sup	10 ³		oceano
	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	Bacillariophyta	Sup	4.1 x 10 ²		costa/oceano
II	<i>Prorocentrum balticum</i>	Miozoa	PMC	1,9 x 10	1.2 x 10 ³	costa
	<i>Prorocentrum mexicanum</i>	Miozoa	PMC	10		oceano
	<i>Prorocentrum gracile</i>	Miozoa	PMC	1.4 x 10		oceano
	<i>Prorocentrum</i> sp.	Miozoa	SUP	5.51		oceano
	<i>Diplopelta globula</i>	Miozoa	Sup	10 ²		costa/oceano
			PMC	10 ²		
	<i>Diplopelta</i> sp.	Miozoa	Sup	4 x 10		costa
			PMC	3.3 x 10		
	<i>Diplopetopsis minor</i>	Miozoa	Sup	7.2 x 10 ³		costa/oceano
			PMC	3.6 x 10 ²		
	<i>Podolampas palmipes</i>	Miozoa	Sup	6.5 x 10		costa/oceano
			PMC	2.2 x 10 ²		
	<i>Oxytoxum curvicaudatum</i>	Miozoa	Sup	1.8 x 10		oceano
			PMC	1.2 x 10		
	<i>Oxytoxum scolopax</i>	Miozoa	Sup	7.6		oceano
			PMC	2.9 x 10		
	<i>Oxytoxum sceptrum</i>	Miozoa	Sup	3.27		costa
	<i>Oxytoxum turbo</i>	Miozoa	PMC	2.94		oceano
	<i>Oxytoxum</i> spp.	Miozoa	PMC	5.83		oceano

Tabela 4. Grupos funcionais do fitoplâncton identificados na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente. Legenda: BV= Biovolume Continuação

II	<i>Prorocentrum micans</i>	Miozoa	Sup	2.5 x 10		oceano
	<i>Scropsiella sp.</i>	Miozoa	Sup	1.9 x 10 ²		oceano
	<i>Corythodinium sp.</i>	Miozoa	PMC			oceano
III	<i>Ceratium lineatum</i>	Miozoa	PMC	2.2 x 10	1.36	costa
	<i>Ceratium horridum</i>	Miozoa	PMC	7 x 10		oceano
IX	<i>Pyrocystis robusta</i>	Miozoa	PMC	3.9 x 10	1.58	oceano
MP	<i>Navicula sp.</i>	Bacillariophyta	PMC	1.2 x 10 ²	1.85	costa
S2	<i>Trichodesmium spp.</i>	Cyanobacteria	Sup	2.9 x 10 ⁵	4.4 x 10 ³	costa/oceano
			PMC	10 ³		
VI	<i>Protoperidinium conicoides</i>	Miozoa	PMC	9.7 x 10	5.2 x 10	costa/oceano
	<i>Protoperidinium divergens</i>	Miozoa	PMC	5.2 x 10 ²		costa/oceano
	<i>Protoperidinium ovum</i>	Miozoa	PMC	1.6 x 10		costa/oceano
	<i>Protoperidinium spp.</i>	Miozoa	Sup	1.2 x 10 ³		costa/oceano
			PMC	1.4 x 10 ³		
	<i>Protoperidinium brevipes</i>	Miozoa	Sup	8.4 x 10		costa
	<i>Protoperidinium cassum</i>	Miozoa	Sup	1.6 10 ²		costa/oceano
			PMC	2.7 x 10		
VII	<i>Dinophysis rotundata</i>	Miozoa	PMC	3.9 x 10		oceano
	<i>Dinophysis schuetti</i>	Miozoa	PMC	1.2 x 10		oceano
	<i>Dinophysis sp.</i>	Miozoa	Sup	1.9 x 10		costa/oceano
			PMC	1.8 x 10 ²		
VIII	<i>Ornithocercus magnificus</i>	Miozoa	PMC	2.5 x 10	3.82	costa
	<i>Tripos furca</i>	Miozoa	SUP	2.5 x 10 ²		costa
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	Miozoa	Sup	3.1 x 10		oceano
	<i>Gonyaulax polygramma</i>	Miozoa	SUP	8.2 x 10		oceano
	<i>Gonyaulax sp.</i>	Miozoa	Sup	10 ²		costa/oceano
			PMC	6.9 x 10		
	<i>Ceratium pentagonum</i>	Miozoa	PMC	3.8 x 10		costa
	<i>Ceratocorys horrida</i>	Miozoa	Sup	1.2 x 10 ²		oceano

Fonte: Amanda Otsuka.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse estudo demonstram como a dinâmica que atua sobre a plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente, no período de maior expansão da pluma do rio Amazonas, influenciam nos parâmetros físico-químicos e na distribuição e estrutura da comunidade fitoplanctônica, com o aumento do biovolume e biomassa em carbono e a ocorrência de organismos diazotróficos.

No período estudado, as correntes de superfície ao longo da costa foram de menor intensidade na direção noroeste, enquanto as correntes com maior intensidade foram observadas na direção leste, principalmente devido à retroflexão da Corrente Norte do Brasil nesta época do ano.

A influência espacial da pluma foi observada através da salinidade, embora a alta precipitação na região também possa ter contribuído como fonte de água doce. No entanto, a região amostrada apresentou correlação inversa da salinidade com alguns parâmetros abióticos e principalmente com os parâmetros biológicos, produtividade primária e clorofila *a*, que diminuem suas concentrações à medida que se afastam da costa, indicando a atuação de águas de origem continental.

A comunidade fitoplanctônica apresentou uma variação espacial, que foi fortemente influenciada pela pluma do rio Amazonas, ocorrendo táxons do grupo das diatomáceas na região costeira, principalmente com a presença de diatomáceas diazotróficas, e na região oceânica com a ocorrência de dinoflagelados e cianobactérias. Destaca-se o *Trichodesmium* spp., como gênero que mais contribuiu em termos de biovolume total e biomassa em carbono nas duas profundidades e regiões.

A superfície da plataforma continental é caracterizada principalmente pela presença dos grupos funcionais compostos por diatomáceas, e na região oceânica pelos grupos constituídos pelos dinoflagelados e *Trichodesmium* spp. As associações fitoplanctônicas na profundidade da PMC estão mais representadas pelos grupos compostos por dinoflagelados.

Com base nos resultados e considerações, conclui-se que os descritores ambientais utilizados na presente pesquisa revelaram a importância da atuação da pluma do rio Amazonas e da dinâmica local na distribuição dos diversos atributos do fitoplâncton. Estes foram os principais fatores que condicionaram os parâmetros ambientais estudados na plataforma continental amazônica e região oceânica adjacente.

REFERÊNCIAS

- ALVES-DE-SOUZA, C.; GONZÁLEZ, M. T.; IRIARTE, J. L. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. *Journal of Plankton Research*, v. 30, n. 2, p. 1233-1243, 2008.
- ALVES-DE-SOUZA, C.; MENEZES, M.; HUSZAR, L. M. Phytoplankton composition and functional groups in a tropical humic coastal lagoon, Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 20, n. 3, p. 701-708, 2006.
- ANDERSEN, J. H.; SCHLÜTER, L.; ÆRTEBJERG, G. Coastal Eutrophication: plankton recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of Plankton Research*, v. 28, p. 621-628, 2006.
- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analyses of variance. *Austral Ecology*, v. 26, p. 32-46, 2001.
- ARAÚJO, M. et al. A Synoptic assessment of the amazon river-ocean continuum during boreal autumn: from physics to plankton communities and carbon flux. *Frontiers in microbiology*, v. 8, p. 1358, 2017.
- BALECH, E. *Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental*. Madrid: Ministério de Agricultura Pesca y Alimentacion. Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografia, 1988. 310 p.
- BARTON, A. D. et al. Patterns of Diversity in Marine Phytoplankton. *Science*, v. 327, n. 5972, p. 1509-1511, 2010.
- BECKER, V.; CARDOSO, L. S.; HUSZAR, V. L. M. Diel variation of phytoplankton functional groups in a subtropical reservoir in southern Brazil during an autumnal stratification period. *Aquatic Ecology*, v. 43, p. 285-293, 2009.
- BÉRARD-THERRIAULT, L.; POULIN, M.; BOSSÉ, L. *Guide d'identification du phytoplankton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent incluant également certains protozoaires*. Publication special canadienne des sciences halleutiques et aquatiques, 1999. 128 p.
- BORGES, G. C. P. *Descritores da qualidade ambiental do sistema estuarino do Recife (PE): o papel do fitoplâncton*. 2016. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- BORGES, P. A. F.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L. C. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. *Hydrobiologia*, v. 607, p. 63-74, 2008.
- BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; CHUCHLA, R. On the Circulation in the Upper Layer of the Western Equatorial Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, v. 104, p. 21. 151-21. 170, 1999.
- BOUVY, M. et al. Limnological features in Tapacura reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, v. 493, n. 1-3, p. 115-130, 2003.

BOVO-SCOMPARI, V. M.; TRAIN, S. Long-term variability of the phytoplankton community in an isolated floodplain lake of the Ivinhema River State Park, Brazil. *Hydrobiologia*, v. 610, n. 1, p. 331-344, 2008.

BRANDINI, F. P. et al. *Planctologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisao bibliografica*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/revizee/_arquivos/plancto.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2018.

BRASIL, J.; HUSZAR, V. L. M. o papel dos traços funcionais Na Ecologia do fitoplâncton continental. *Oecologia Australis*, v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011.

BURLIGA, A. L. Abordagem de grupos funcionais nos estudos do perifíton e do fitoplâncton. In: FRANCESCHINI, I. M. et al. *Algas: Uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica*. Porto Alegre: Artmed, p. 233-258, 2010

CAI, W. J.; CHEN, A. C. T.; BORGES, A. Carbon dioxide dynamics and fluxes in coastal waters influenced by river plumes. In: BIANCHI, T. S.; ALLISON, M. A.; CAI, W. L. *Biogeochemical Dynamics at Major River-Coastal Interfaces*. Cambridge, p. 155-173, 2013.

CAO, F.; MEDEIROS, P. M.; MILLER, W. L. Optical characterization of dissolved organic matter in the Amazon River plume and the Adjacent Ocean: Examining the relative role of mixing, photochemistry, and microbial alterations. *Marine Chemistry*, v. 186, p. 178-188, 2016.

CAPONE, D. G. et al. *Trichodesmium*, a Globally Significant Marine Cyanobacterium. *Science*, v. 276, n. 5316, p. 1221-1229, 1997.

CARPENTER, E. J.; SUBRAMANIAM, A.; CAPONE, D. G. Biomass and primary productivity of the cyanobacterium *Trichodesmium* spp. in the southwestern tropical North Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 51, n. 2, p. 173-203, 2004.

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.

CHRETIÉNNOT-DINET, M. J.; BILARD, C.; SOURNIA, A. *Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Euglenophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnesiophycées, Rhodophycées et Tribophycées*. Paris, Editions du Centre National Recherche Scientifique. (Atlas du phytoplankton marine 3), 1990.

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

COSTA C. B. et al. Effects of a high energy coastal environment on the structure and dynamics of phytoplankton communities (Brazilian Amazon litoral). *Journal Coastal Research*. Special Issue 64, p. 354-358, 2011.

- COSTA, L. S.; HUSZAR, V. L. M.; OVALLE, A. R. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. *Estuaries and Coasts*, v. 32, p. 508-521, 2009.
- COSTA, M. F.; NEUMANN-LEITÃO, S.; SOUZA-SANTOS, L. p. Bioindicadores da qualidade ambiental. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITAO, S.; COSTA, M. F. (Org.) *Oceanografia: um cenário tropical*. Recife: Bagaço, p. 319-351, 2004.
- COUTINHO, P. Oceanografia geológica. In: COUTINHO, p. *Levantamento do Estado da Arte da Pesquisa dos Recursos Vivos Marinhos do Brasil*. Brasília, MMA, SMA -Programa REVIZEE, 2000. p. 75.
- CUPP, E. D. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bulletin of the Institution of Oceanography*, v. 6, p. 1-237, 1943.
- DAGG, M. et al. Transformation of Dissolved and Particulate Materials on Continental Shelves Influenced by Large Rivers: Plume Processes. *Continental Shelf Research* , v. 24, p. 833-858, 2004.
- DAMASTER, D. J.; POPE, R. H. Nutrient dynamics in Amazon shelf waters: results from AMASSEDS. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 3, p. 263-289, 1996.
- DANTAS, E. W. et al. Temporal variation of the phytoplankton community at short sampling intervals in the Mundaú reservoir, Northeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 22, n. 4, p. 970-982, 2008.
- DEMASTER, D. J. et al. Biogeochemical Processes in Amazon Shelf Waters: Chemical Distributions and Uptake Rates of Silicon, Carbon and Nitrogen. *Continental Shelf Research*, v. 16, p. 617-643, 1996.
- DEMASTER, D. J.; KNAPP, G. B.; NITTROUER, C. A. Biological uptake and accumulation of silica on the Amazon continental shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. 47, p. 1713-1723, 1983.
- FELIP, M.; CATALAN, J. The relationship between phytoplankton biovolume and chlorophyll in a deep oligotrophic lake: decoupling in their spatial and temporal maxima. *Journal of Plankton Research*, v. 22, n. 1, p. 91-105, 2000.
- FFIELD, A. North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 52, n. 1, p. 137 -160, 2005.
- FLAGG, C. N.; GORDON, R. L; MCDOWELL, S. Hydrographic and Current Observations on the Continental Slope and Shelf of the Western Equatorial Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 16, p. 1412-1429, 1986.
- FONSECA, B. M.; BICUDO, C. E. M. Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garcas Pond, Brazil). *Hydrobiologia*, v. 600, n. 1, p. 267-282, 2008.

- FOSTER, A. R. et al. Influence of the Amazon River Plume on Distributions of Free-Living and Symbiotic Cyanobacteria in the Western Tropical North Atlantic Ocean. *Limnology and Oceanography*, v. 52, p. 517-532, 2007.
- FRANCESCHINI, I. M. et al. *Algas: Uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica*. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 332.
- GABIOUX, M.; VINZON, S. B.; PAIVA, A. M. Tidal Propagation over Fluid Mud Layers on the Amazon Shelf. *Continental Shelf Research*, v. 25, p. 113-125, 2005.
- GALLO, M. N.; VINZON, S. B. Generation of Overtides and Compound Tides in Amazon Estuary. *Ocean Dynamics*, v. 55, p. 441-448, 2005.
- GALLON, J. R. et al. *Trichodesmium*, the paradoxical diazotroph. *Algological Studies*, v. 8, p. 215-243, 1996
- GESSNER, F. Observações sobre o regime do fosfato no rio Amazonas. *Boletim do Museu Pararense Emílio Goeldi*, v. 1, p. 73-83, 1962.
- GIANESELLA, S. M.; SALDANHA-CORRÊA, F. M. P. Variabilidade e distribuição do séston e da biomassa fitoplanctônica. In: Pires-Vanin, A. M. S. *Oceanografia de um ecossistema subtropical: Plataforma de São Sebastião*, Edusp: São Paulo, p. 205-222, 2008.
- GOES, I. J. et al. *Methods of Seawaters Analysis*. Verlag Chemie, Deerfield Beach, Florida, 419. 1983. 419 p.
- GOES, J. I. et al. 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.
- GRASSHOFF, K.; EHRHARDT M.; KREMLING, K. *Methods of seawaters analysis, 2nd edition*, Deerfield Beach, Florida: Verlag Chemie, 1983. p. 419.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em: <<http://www.algaebase.org>>. Acesso em: 15 de setembro de 2018.
- HILLEBRAND, H. et al. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, v. 35, p. 403-424, 1999.
- HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. *Marine phytoplankton - Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt*. Kleine Senckenberg-Reihe, 2009. 49 p.
- HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 38-55, 2007.
- HUSZAR, V. L. M.; REYNOLDS, C. S. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brasil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, v. 346, n. 1-3, p. 169-181, 1997.

- IBÁÑHEZ, J. S. P.; ARAÚJO, M.; LEFÈVRE, N. The overlooked tropical oceanic CO₂ sink. *Geophysical Research Letters*, v. 43, p. 3804-3812, 2016.
- IBÁÑHEZ, J.S.P.; DIVERRÈS, D., ARAUJO, M.; LEFÈVRE, N. Seasonal and Interannual Variability of Sea-Air CO₂ Fluxes in the Tropical Atlantic Affected by the Amazon River Plume. *Global Biogeochemical Cycles*, v.29, p. 1640-1655, 2015.
- ISLABÃO, C. A.; ODEBRECHT, C. Dinoflagelados (Peridiniales, Prorocentrales) do microfitoplâncton na plataforma continental e talude do extremo sul do Brasil (inverno, 2005, verão 2007). *Biota Neotropica*, v. 11, n. 3, p. 153-166, 2011.
- JAKOBSEN, H. H. et al. Estimating time series phytoplankton carbon biomass: Inter-lab comparison of species identification and comparison of volume-to-carbon scaling ratios. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 162, p. 143-150, 2015.
- JOHNS, W. E. et al. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, n. 1, p. 103-128, 1998.
- KANG, Y. et al. Area of the Global Major River Plumes. *Acta Oceanologica Sinica*, v. 32, p. 79-88, 2013.
- KNOPPERS, B. et al. Zona Costeira e Plataforma Continental do Brasil. In: Crespor, R. and Soares-Gomes, A. *Biologia Marinha*, Editora Interciência, Rio de Janeiro. 2002
- KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E. Aspectos quantitativos do fitoplâncton na área estuarino de Suape (Pernambuco). In: *Anais 4º Encontro Brasileiro de Plâncton*, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 55-60. 1991.
- KOENING, M. L.; LIRA, C. G. O gênero *Ceratium* Schrank (Dinophyta) na plataforma continental e águas oceânicas do estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, v. 19, n. 2, p. 391-397, 2005.
- KOENING, M. L.; OLIVEIRA, M. S. Estrutura da Comunidade fitoplanctônica no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: VIANA, D. L.; HAZIN, F. H. V.; SOUZA, M. A. C. (Org.). *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. Brasília: SECIRM, 2009. 348 p.
- KOURAFALOU, V. H.; OEY, L. Y.; WANG, J. D.; LEE, T. N. The fate of river discharge on the continental shelf. 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current. *Journal of Geophysical Research*, v. 101, n. 2, p. 3415-3434, 1996.
- KRUK, C. et al. Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. *Freshwater Biology*, v. 62, n. 10, p. 1681-1692, 2017.
- LALLI, C. M.; PARSON, T. R. *Biological Oceanography: An Introduction*, Elsevier, Amsterdam, 2006. p. 314.
- LEFÈVRE, N. et al. Net Heterotrophy in the Amazon Continental Shelf Changes Rapidly to a Sink of CO₂ in the Outer Amazon Plume. *Frontiers in Marine Science*, v. 4, p. 278, 2017.

- LENTZ, S. J.; LIMEBURNER, R. The Amazon River Plume during AMASSEDs: Spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, v. 100, n. 2, p. 2355-2375, 1995.
- LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, v. 22, p. 1-29, 1986.
- LOBO, M. T. M. P. S. B. et al. Morphology-Based functional groups as the best tool to characterize shallow lake-dwelling phytoplankton on an Amazonian floodplain. *Ecological Indicators*, v. 95, p. 579-588, 2018.
- LOPES, M. R. M.; BICUDO, C. E. M.; FERRAGUT, M. C. Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. *Hydrobiologia*, v. 542, n. 1, p. 235-247, 2005.
- LOURENÇO, C. B. *Variabilidade temporal da comunidade fitoplanctônica no continuum estuário-oceano na Plataforma Continental Amazônica*. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, 2016.
- LOURENÇO, S. O.; MARQUES, N. A. Produção primária marinha. In: *Biologia Marinha*, Interciência, Rio de Janeiro, p. 111-154. 2009.
- LUGOMELA, C. et al. *Trichodesmium* in coastal waters of Tanzania: diversity, seasonality, nitrogen and carbon fixation. *Hydrobiologia*, v. 477, p. 1-13, 2002.
- MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica acta*, v. 1, n. 4, p. 493-509, 1978.
- MARQUES, C. W. et al. A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil. In: *Seminário e workshop em engenharia oceânica*, Rio Grande, 2006.
- MATOS, J. B. et al. Caracterização quali-quantitativa do fitoplâncton da zona arrebanção de uma praia amazônica. *Acta Botânica Brasilica*, v. 26, n. 4, p. 979-990, 2012.
- MELO, S.; HUSZAR, V. L. M. Phytoplankton in an Amazonian floodplain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species strategies. *Journal of Plankton Research*, v. 22, n. 1, p. 63-76, 2000.
- MENDEN-DEUER, S.; LESSARD, E. J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms and other protists plankton. *Limnology and Oceanography*, v. 45, n. 33, p. 569-579, 2000.
- MOSER, G. A. O. et al. Phytoplankton spatial distribution on the Continental Shelf off Rio de Janeiro, from Paraíba do Sul River to Cabo Frio. *Hydrobiologia*, v. 728, n. 1, p. 1-21, 2014.
- MOURA, A. N. et al. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. *Acta Botanica Brasilica*, v. 21, n. 3, p. 641-648, 2007.
- MULLER-KARGER, F. E.; RICHARDSON, P. L.; MCGILLICUDDY, D. On the offshore dispersal of the Amazon's Plume in the North Atlantic: Comments on the paper by A.

Longhurst, "Seasonal cooling and blooming in tropical oceans". *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 42, n. 11-12, p. 2127-2137, 1995.

NETO, J. A. B.; SILVA, C. G. Morfologia do fundo oceânico. In: NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004. 279 p.

NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D. J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 6, p. 553-573, 1996.

NITTROUER, C. A. et al. AmasSeds: An interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography*, v. 4, n. 1, p. 3-7, 1991.

NOBRE, C. A. et al. Characteristics of Amazonian Climate: Main Features. In: KELLER, M. et al. *Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Series*, v. 186. Washington, D. C.: American Geophysical Union Books, p. 149-162, 2009.

NORIEGA, C. E. D. et al. Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical - Barra das Jangadas - PE - Brasil. *Tropical Oceanography*, v. 33, n. 2, p. 133-145, 2005.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia*, v. 621, n. 1, p. 1-19, 2009.

PARSONS T. R.; STRICKLAND, J. D. H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophyll a and carotenoids. *Journal of Marine Research*, v. 21, n. 3, p. 155-163, 1963.

PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. Dinâmica da produtividade fitoplanctônica na zona costeira marinha. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITAO, S.; COSTA, M. F. *Oceanografia: um cenário tropical*. Recife: Bagaço, 2004, p. 425-439.

PERAGALLO, H.; PERAGALLO, M. *Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins*. Amsterdam: Asher, 1897-1908. v. 1, 540 p.

PIELOU, E. C. *Mathematical ecology*. New York: Wiley, 1977. 385 p.

PRESCOTT, G. W. *How to know the freshwater algae*. Dubuque: Wm. C. Brown, 1978. 293p.

REYNOLDS, C. S. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of plankton research*, v. 24, n. 5, p. 417-428, 2002.

REYNOLDS, C. S. *Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory*. 9. Oldendorf: Ecology Institute, 1997. 371p.

SABETTA, L. et al. Body size and abundance distributions of nano- and microphytoplankton guilds in coastal marine ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 63, p. 645-663, 2005.

SANTOS, D. H. C.; PASSAVANTE, J. Z. O.; BARROS, D. C. p. Biomassa fitoplanctônica na praia de Candeias, Pernambuco (Brasil): a construção de um quebra-mar como agente transformador. *Boletim Técnico Científico*, v. 15, n. 1, p. 21-29, 2007.

SANTOS, M. L. S et al. Nutrient and phytoplankton biomass in the Amazon River shelf waters. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 80, n. 4, p. 703-717, 2008b.

SANTOS, M. L. S. et al. Influence of the Amazon and Pará rivers on water composition and phytoplankton biomass on the adjacent shelf. *Journal of Coastal Research*, v. 24, n. 3, p. 585-593, 2008a.

SANTOS, M. L. S.; MUNIZ, K. Variação nictemeral de parâmetros abióticos e clorofila a em uma estação oceanográfica na plataforma continental do Amazonas. *Atlântica*, v. 32, n. 2, p. 237-246, 2010.

SCHMIDT, G. Algumas observações sobre a cinética do fitoplâncton marinho: 1. Influência da concentração de nitrato e amônia na velocidade de crescimento e de assimilação desses nutrientes na diatomácea *Phaeodactylum tricornutum* (Bohlin). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 31, n. 2, p. 13-27, 1982.

SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and Pathways of the Upper-Layer Circulation in the Western Tropical Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, v. 28, p. 1904-1928, 1998

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. *Bulletin of System Technology Journal*, v. 27, p. 379-423, 1948.

SHIPE, Rebecca F. et al. Diatom biomass and productivity in oceanic and plume-influenced waters of the western tropical Atlantic ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 53, n. 8, p. 1320-1334, 2006.

SILVA, A. C. et al. Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica. *Acta Amazônica*. v. 39, n. 2, p. 361-370, 2009.

SILVA-CUNHA, M. G. G. et al. *Microalgas: Vegetação invisível a olho nu*. Revista Marseal. Edição Águas Profundas SE/AL. v. 2, n. 1, p. 46-48, 2018.

SILVEIRA, I. C. A.; BROWN, W. S.; FLIERL, G. Dynamics of the North Brazil Current Retroflection Region from the WESTRAX Observations. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 28559-28583, 2000.

SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. On the Origins of the North Brazil Current. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 22501-22512, 1994.

SMAYDA, T. J.; REYNOLDS, C. S. Community assembly in marine phytoplankton: application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. *Journal of Plankton Research*, v. 23, n. 5, p. 447-461, 2001.

SMAYDA, T. J.; REYNOLDS, C. S. Strategies of marine dinoflagellate survival and some rules of assembly. *Journal of Sea Research*, v. 49, n. 2, p. 95-106, 2003.

- SMITH JR, W. O.; DEMASTER, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 3, p. 291-319, 1996.
- SMITH JR.; W. O.; RUSSEL, G. J. Phytoplankton Biomass and Nutrient Distributions in the Amazons River Plume: Environmental Correlates. *Geo-Marine Letters*, v. 15, p. 195-198, 1995.
- SMITH, V. H. Using Primary Productivity as an Index of Coastal Eutrophication: The Units of Measurement Matter. *Journal of Plankton Research*, v. 29, p. 1-6, 2007.
- SOUSA, E. B. et al. Microfitoplâncton de águas costeiras amazônicas: Ilha Canela (Bragança, PA, Brasil). *Acta Botânica Brasílica*, v. 22, n. 3, p. 623-636, 2008.
- SOUSA, E. B. et al. Variação temporal do fitoplâncton e dos parâmetros hidrológicos da zona de arrebentação da Ilha Canela (Bragança, Pará, Brasil). *Acta Botânica Brasílica*, v. 23, n. 4, p. 1084 -1095, 2009.
- SOUZA, D. C. C. *Caracterização morfológica e sedimentar do talude continental (foz do Amazonas)*. 2010. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.
- STEEMANN-NIELSEN, E. The Use of Radioactive Carbon (C14) for Measuring Organic Production in the Sea. *Journal du Conseil Permanent International pour L'Exploration de el Mer*, v. 18, p. 117-140, 1952.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawaters analysis. *Bulletin Fisheries Research B'oard of Canada*, v. 167, p. 207-211, 1972.
- STUKEL, M. R. et al. Top-down, bottom-up and physical controls on diatom-diazotroph assemblage growth in the Amazon River plume. *Biogeosciences*, v. 11, p. 3259-3278, 2014
- SUBRAMANIAM, A. et al. Amazon River enhances diazotrophy and carbon sequestration in the tropical North Atlantic Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 30, p. 10460-10465, 2008.
- SUN, J.; LIU, D. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, v. 25, p. 1331-1346, 2003.
- TEIXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. *Boletim Instituto Oceanográfico Universidade de São Paulo*, v. 22, p. 8-92. 1973.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. Primary Production and Phytoplankton in Equatorial Waters. *Bulletin of Marine Science*, p. 884-891, 1967.
- TEIXERA, C.; GAETA, S. A. Contribution of picoplankton to primary production in estuarine, coastal and equatorial waters of Brazil. *Hydrobiologia*, v. 209, p. 117-122, 1991.
- TOMAS, C. R. *Identifying marine phytoplankton*. San Diego: Academic Press, 1997. 858 p.

TROCHIMCZUK F. A.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação da dispersão espacial da pluma do estuário do rio Itajaí-Açu em diferentes períodos de descarga. *Notas técnicas Facimar*, v. 7, p. 83-96, 2003.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Produção orgânica em ecossistemas aquáticos. *Ciência e Cultura*, v. 28, p. 864-887, 1976.

UNESCO. *Determination of Photosynthetic Pigments in Sea Water: Report of SCOR-UNESCO, Working Group 17*. Paris: United Nations Education, 1966. p. 69.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik: Mit 1 Tabelle und 15 abbildungen im Text und auf 1 Tafel. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Mitteilungen*, v. 9, n. 1, p. 1-38, 1958.

VADRUCI, M. R.; CABRINI, M.; BASSET, A. Biovolume determination of phytoplankton guilds in transitional water ecosystems of Mediterranean Ecoregion. *Transitional Waters Bulletin*, v. 2, p. 83-102, 2007.

VALIELA, I. *Marine ecological processes*. Springer Verlag, New York. , 1995. 686 p.

VERITY, P. G. et al. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. *Limnology and Oceanography*, v. 37, p. 1434-1446, 1992.

WILSON, W. D.; JOHNS, W. E; GARZOLI, S. L. Velocity Structure of North Brazil Current Rings. *Geophysical Research Letters*, v. 29 n. 1273. 2002

WISSER, D. et al. Reconstructing 20th Century Global Hydrography: A Contribution to the Global Terrestrial Network-Hydrology (GTN-H). *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 14, p. 1-24, 2010.

WOOD. E. J. F. *Dinoflagellates of the Caribbean Sea and adjacent areas*. Florida, University of Miami Press, 1968. p. 142.

YEUNG, L. Y. et al. Impact of diatom-diazotroph associations on carbon export in the Amazon River plume. *Geophysical Research Letters*, v. 9, 2012.

ZHU, K.; BI, Y.; HU, Z. Responses of phytoplankton functional groups to the hydrologic regime in the Daning River, a tributary of Three Gorges Reservoir, China. *Science of the total environment*, v. 450, p. 169-177, 2013.