



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA

ALINE LEMOS GOMES

**BIODIVERSIDADE E DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UMA REGIÃO
PORTUÁRIA E INDUSTRIAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO, PARÁ, BRASIL**

BELÉM, PA

2013

ALINE LEMOS GOMES

BIODIVERSIDADE E DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UMA REGIÃO
PORTUÁRIA E INDUSTRIAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO, PARÁ, BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aquática e Pesca.

Orientadora: Profa. Dra. Jussara Moretto Martinelli Lemos. Instituto de Ciências Biológicas/ICB – UFPA.

BELÉM, PA

2013

ALINE LEMOS GOMES

BIODIVERSIDADE E DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UMA REGIÃO
PORTUÁRIA E INDUSTRIAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO, PARÁ, BRASIL

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ecologia Aquática e Pesca.

Orientadora:

Dra. Jussara Moretto Martinelli Lemos
Universidade Federal do Pará

Banca examinadora:

Dra. Maria Luise Koenig
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Rauquílio André Albuquerque Marinho da Costa
Universidade Federal do Pará

Dra. Regina Célia Martins da Silva
EMBRAPA Amazônia Oriental

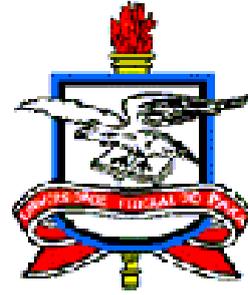
Suplente

Dr. Marcelo Oliveira Lima
Instituto Evandro Chagas

Belém-PA

2013

INSTITUIÇÕES E FONTES FINANCIADORAS



“Esta atividade (obra ou projeto) é resultante de cumprimento de obrigação ambiental assumida pela Imerys Rio Capim Caulim em Termo de Ajustamento de Conduta lavrado perante o Ministério Público Estadual do Pará”

*Dedico à
Deus e à minha família.*

Só uma sociedade bem informada a respeito da riqueza, do valor e da importância da biodiversidade é capaz de preservá-la.

Washington Novaes

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor e consumidor da minha fé, por seu amor e graça que tornou possível a conclusão de mais uma etapa na longa jornada profissional que tenho trilhado.

À minha família (Carlos, Ana Rosa, Ana Carla e Adriana) pelo apoio e confiança que sempre dispensaram a mim, devo a vocês tudo o que conquistei até hoje.

Ao Instituto Evandro Chagas que contribuiu significativamente para execução dessa pesquisa.

Ao projeto “Programa de Monitoramento e Controle em Saúde e Meio Ambiente em Áreas Industriais e Portuárias dos Municípios de Abaetetuba e Barcarena, Estado do Pará”, o qual foi resultante de cumprimento de obrigação ambiental assumida pela Imerys Rio Capim Caulim em Termo de Ajustamento de Conduta lavrado perante o Ministério Público Estadual do Pará, sendo coordenado pelo Dr. Marcelo Oliveira Lima.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) que me concedeu a bolsa de estudo.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, por proporcionar o conhecimento sem o qual não seria possível realizar este trabalho.

A minha orientadora Jussara Moretto Martinelli Lemos, por sua dedicação, paciência, ensinamento e todo o auxílio prestado no desenvolvimento deste trabalho. Meu muito obrigada!

A grande amiga Vanessa Bandeira da Costa, por sua constante preocupação e disponibilidade em ajudar em qualquer situação e pelo empenho como “mãe científica” que a revelam como uma pessoa fantástica cuja amizade é muito valiosa.

Aos amigos do Laboratório de Biologia Ambiental: Javan Quaresma, Raigor Rocha, Bruna Pamplona, João Vítor e Natasha e em especial a Celly Cunha, Samara Pinheiro, Francisco Santos e Álvaro Pinto pelo apoio e grande ajuda durante as coletas de campo e pelos momentos de motivação.

Aos demais pesquisadores, técnicos e colaboradores da SAMAM/IEC que contribuíram e ajudaram de alguma forma para a realização deste trabalho, principalmente durante as coletas.

A Dra. Célia Leite Sant’Anna pelo auxílio na identificação e confirmação das espécies.

À minha turma de Mestrado 2011, pelos inúmeros momentos de alegria e descontração. Grandes amigos que ganhei de presente: Ana Paula Fernandes, Carolina

Borges, Carolina Fidelis, Celly Cunha, Danilsen Pinheiro, Fabiola Seabra, Jeronimo Martins, Marcelo Andrade, Marllen Pallheta, Rafael Diaz e Valdimere Ferreira. Sucesso a todos!

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. **Meu muito obrigada!**

RESUMO

A ausência de informações sobre a comunidade de cianobactérias em regiões estuarinas na Amazônia motivou a realização deste trabalho, cujo objetivo foi conhecer a estrutura da comunidade e correlacionar as variáveis ambientais com a composição e com a densidade destes organismos em um estuário com influência de área portuária e industrial no Estado do Pará, Amazônia brasileira. As coletas foram realizadas de janeiro de 2009 a agosto de 2010, nas marés enchente e vazante em seis drenagens (rios Pará, Arrozal, Murucupi, Dendê, Arapiranga e Arienga), sendo coletadas amostras para análise físico-química, estudo qualitativo (20 µm) e quantitativo das cianobactérias, incluindo quantificação da clorofila-*a*. Para o levantamento taxonômico foram identificadas 37 espécies (30 espécies no Rio Pará e 31 para as demais drenagens) pertencentes às ordens Chroococcales, Oscillatoriales e Nostocales. Dentre estas espécies foram registradas novas ocorrências para a Região Norte e para o Estado do Pará: *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère, *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) G.Cronberg & J.Komárek, *Chroococcus distans* (G.M.Smith) Komárková-Legnerová & Cronberg, *Oscillatoria perornata* Skuja e *Pseudanabaena mucicola* (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe, além dos gêneros *Komvophoron* Anagnostidis & Komárek e *Geitlerinema* (Anagnostidis & Komárek) Anagnostidis. Espécies dos gêneros *Aphanocapsa*, *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Pseudanabaena*, *Komvophoron* e *Merismopedia* destacaram-se em frequência de ocorrência e abundância relativa, sendo que os quatro primeiros gêneros são descritos na literatura como potenciais produtores de toxinas. As Chroococcales constituíram o grupo com maior densidade. Para a região foi observada apenas uma variação temporal da comunidade de cianobactérias (anual para o Rio Pará e mensal nas demais drenagens), demonstrando que o regime pluviométrico influenciou diretamente a dinâmica destes organismos. As correlações confirmaram a influência dos fatores físico-químicos (pH, temperatura, condutividade elétrica, salinidade sólidos totais dissolvidos, nitrogênio amoniacal, demanda bioquímica de oxigênio) sobre a comunidade. Apesar de não ter sido observado o fenômeno das florações, os resultados obtidos com esse estudo servem de alerta aos gestores municipais, uma vez que espécies descritas como potencialmente tóxicas se destacaram em termos de riqueza e densidade, principalmente pelo fato da população do entorno depender quase que exclusivamente dessas águas para a sobrevivência seja para o consumo, recreação e/ou atividade comercial.

Palavras-chave: Diversidade, Ecologia, Chroococcales, Amazônia.

ABSTRACT

Cyanobacteria have received increased attention within the plankton community because many of its genera and species are capable of forming blooms and produce toxins. However, the lack of information about the community of cyanobacteria in estuarine regions in Amazonia motivated this work. The aims of this study is to improve understand the community structure and environmental variables and correlate with the composition and density of these organisms in an estuary with influence port and industrial area in the state of Pará, Brazilian, Amazon. Samples were collected from January 2009 to August 2010, on flood and ebb tides in six drainages at the rivers: Pará, Arrozal, Murucupi, Dendê, Arapiranga and Arienga. Samples being collected for physical and chemical analysis, cyanobacteria qualitative (20 µm) and quantitative study and determination of chlorophyll-a. The taxonomic survey was identified 37 species (30 species in Pará River and 31 for other drainages) belonging to the orders Chroococcales, Oscillatoriales and Nostocales being recorded new records for the Northern Region and the State of Pará: *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère, *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) G.Cronberg & J.Komárek, *Chroococcus distans* (G.M.Smith) Komárková-Legnerová & Cronberg, *Oscillatoria perornata* Skuja e *Pseudanabaena mucicola* (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe, beyond genres *Komvophoron* Anagnostidis & Komárek e *Geitlerinema* (Anagnostidis & Komárek) Anagnostidis. Species of the genus *Aphanocapsa*, *Dolichospermum*, *Microcystis*, *Pseudanabaena*, *Komvophoron* and *Merismopedia* have excelled in frequency of occurrence and relative abundance, of which the first four genera healthy described in the literature as potential toxin producers. The Chroococcales constituted the group with the highest density. For the region we observed only a temporal variation of the cyanobacteria community (annually for the Pará river and monthly in other drainages), demonstrating that the rainfall indirectly influenced the dynamics of these organisms. The correlations confirmed the influence of physicochemical factors (pH, temperature, conductivity, salinity, total dissolved solids, ammonia, biochemical oxygen demand) about the community. Despite not having been observed the phenomenon of blooms, the results obtained from this study serve as a warning to municipal managers, once described as potentially toxic species stood out in terms of richness and density mainly because of the surrounding population depends almost only of those waters for survival, for consumption, recreation, and/or for commercial activity.

Palavras-chave: Chroococcales, Ecology, Diversity, Amazon.

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

Capítulo Geral: BIODIVERSIDADE E DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UMA REGIÃO PORTUÁRIA E INDUSTRIAL NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO, PARÁ, BRASIL.

Figura 1. Número de táxons de cianobactérias identificados para o estado do Pará (Brasil), distribuídos por regiões. Em A: Santarém; B: Oriximiná; C: região do médio Rio Xingu; D: Lago Água Preta; E: Belém/Santa Izabel; F: Foz do Rio Guamá (Baía do Guajará e proximidades); G: Vigia; H: Curuçá e I: Marapanim.....	18
Figura 2. Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de coleta nos municípios de Abaetetuba e Barcarena (Pará, Brasil). RPA: Rio Pará; DEN: Dendê; ARZ: Arrozal; MUR: Murucupi; ARI: Arienga e ARP: Arapiranga. Fonte: Trindade (2011).....	20
Figura 3. Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1999-2008, para região em estudo. Fonte: ANA (2012).....	21
Capítulo 1: BIODIVERSIDADE E VARIAÇÃO INTERANUAL DA DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UM ESTUÁRIO AMAZÔNICO BRASILEIRO.	
Tabela 1. Valores de mediana, média e erro padrão das variáveis físico-químicas do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril/2009, julho/2009, abril/2010 e agosto/2010.....	40
Tabela 2. Resultados da Correlação de Spearman entre a densidade de cianobactérias e as variáveis físico-químicas do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril/2009, julho/2009, abril/2010 e agosto/2010.....	52
Quadro 1. Cianobactérias presentes no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) nos meses de abril/2009, julho/2009, abril/2010 e agosto/2010.....	43
Figura 1. Mapa da área de estudo evidenciando as estações de coleta nos municípios de Abaetetuba e Barcarena (Pará, Brasil). RPA: Rio Pará. Fonte: Trindade (2011).....	36
Figura 2. Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1999–2008 (média histórica) e nos anos de coleta 2009-2010, em Barcarena-PA. (Fonte: ANA, 2012).....	39

Figura 3. Riqueza de espécies de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).....	44
Figura 4. Abundância relativa das espécies de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).....	45
Figura 5. Densidade de cianobactérias mais freqüentes (<i>Aphanocapsa</i> , <i>Merismopedia</i> e <i>Microcystis</i>) e total no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).....	46
Figura 6: Valores de biomassa (<i>clorofila-a</i> $\mu\text{g.L}^{-1}$) do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).....	48
Figura. 7. Diversidade específica (H') e Equitabilidade (J') de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).....	49
Figura 8. Análise de MDS baseada na densidade das espécies de cianobactérias do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril (ABR 1) e julho de 2009 e em abril (ABR 2) e agosto de 2010.....	50
Figura 9. Análise de componentes principais para as variáveis ambientais do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril (ABR 1) e julho de 2009 e em abril (ABR 2) e agosto de 2010.....	51
Capítulo 2: DIVERSIDADE E DENSIDADE DA COMUNIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM PEQUENAS DRENAGENS INFLUENCIADAS POR DEJETOS INDUSTRIAIS E ÁREA PORTUÁRIA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.	
Tabela 1. Variáveis físico-químicas mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico nos meses de janeiro a outubro/2009.....	69
Tabela 2. Correlação de Spearman entre os valores de densidade de cianobactérias e as variáveis físico-químicas e <i>clorofila-a</i> mensuradas no em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico.....	83
Quadro 1. Composição taxonômica das cianobactérias mensuradas em cinco	74

drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico nos meses de janeiro a outubro/2009.....	
Figura 1: Mapa da área de estudo evidenciando as estações de coleta nos municípios de Abaetetuba e Barcarena (Pará, Brasil). ARZ: Arrozal; MUR: Murucupi; DEN: Dendê; ARI: Arienga e ARP: Arapiranga. Fonte: Trindade (2011).....	63
Figura 2: Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1999–2008 e durante o ano de coleta (2009), em Barcarena-PA. (Fonte: ANA, 2012).....	66
Figura 3: Riqueza de espécies de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.....	76
Figura 4. Densidade de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga	78
Figura 5: Valores de biomassa (clorofila- <i>a</i> $\mu\text{g.L}^{-1}$) em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.....	79
Figura 6: Diversidade específica (H') registrada em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.....	81
Figura 7: Equitabilidade (J') registrada em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.....	82
Anexo 2	
Quadro 2: Frequência de ocorrência da comunidade fitoplanctônica do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí no período de fevereiro e julho de 2011.....	101
Anexo 3	
Quadro 2: Frequência de ocorrência da comunidade de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no período de janeiro a outubro de 2009. ARZ: Furo do Arrozal; MUR. Rio Murucupi; DEN. Igarapé Dendê; ARI. Rio Arienga e ARP. Rio Arapiranga.....	104

SUMÁRIO

INSTITUIÇÕES E FONTES FINANCIADORAS	i
DEDICATÓRIA	ii
EPÍGRAFE	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELAS E FIGURAS	viii
SUMÁRIO	xi
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	14
CAPÍTULO GERAL	15
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. GERAL.....	20
2.2. ESPECÍFICOS	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
3.1.1 Região de Barcarena e Abaetetuba.....	21
3.1.1.1 Localização.....	21
3.1.1.2 Clima	22
3.1.1.3 Hidrografia	22
3.1.1.4 Vegetação	23
3.1.1.5 Solos	23
3.1.1.6 Geologia e relevo	24
3.2. DESENHO AMOSTRAL	24
3.3. COLETA DE DADOS	25
3.3.1 Índices Pluviométricos	25
3.3.2 Parâmetros Físico-Químicos	25
3.3.2.1. Campo	25
3.3.2.2. Laboratório	25
3.3.3 Parâmetros Biológicos.....	26
3.3.3.1. Campo	26
3.3.3.2. Laboratório	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
CAPÍTULO 1	34
BIODIVERSIDADE E VARIAÇÃO INTERANUAL DA DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UM ESTUÁRIO AMAZÔNICO BRASILEIRO.....	34
Introdução.....	36
Material e Métodos.....	37
Área de Estudo	37
Coleta das amostras	38
Análise das amostras	38
Análise dos dados.....	39
Resultados	40
Variáveis ambientais	40
Diversidade de Cianobactérias	43
Densidade de Cianobactérias	46
Clorofila- <i>a</i>	48

Diversidade e Equitabilidade	48
Análises Multivariadas	50
Coefficiente de correlação de Spearman	53
Discussão.....	54
Agradecimentos.....	56
Referências	57
CAPÍTULO 2	61
DIVERSIDADE E DENSIDADE DA COMUNIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM PEQUENAS DRENAGENS INFLUENCIADAS POR DEJETOS INDUSTRIAIS E ÁREA PORTUÁRIA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	61
Introdução.....	63
Material e Métodos.....	64
Área de Estudo	64
Coleta e Análise das amostras	65
Análise dos dados.....	66
Resultados	66
Fatores Físico-químicos	67
Composição de espécies de Cianobactérias	74
Densidade de Cianobactérias	78
Clorofila- <i>a</i>	80
Diversidade e Equitabilidade	81
Coefficiente de correlação de Spearman	83
Discussão.....	85
Agradecimentos.....	88
Referências	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
ANEXO 1	92
ANEXO 2.....	101
ANEXO 3.....	104

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi elaborada no formato de artigos denominados de capítulos, seguindo as orientações de formatação do Programa de Pós Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará, iniciando com um capítulo geral introdutório e os outros dois específicos.

O **Capítulo geral** consta de uma breve introdução a respeito da biologia geral das cianobactérias, sua importância ecológica para o ambiente, a necessidade de monitoramento devido ao fenômeno de florações e os principais estudos realizados sobre este grupo para o estado do Pará. Em seguida apresenta os objetivos e a metodologia geral utilizada para a obtenção dos resultados.

O **Capítulo 1** trata da variação interanual da composição, densidade e biomassa da comunidade de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) e verifica se há correlação da densidade das espécies com os fatores físico-químicos estudados.

O **Capítulo 2** aborda a variação espaço-temporal das espécies de cianobactérias em cinco drenagens de uma região portuária e industrial.

Por fim, as considerações finais do trabalho.

CAPÍTULO GERAL

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são zonas de transição entre os ambientes marinhos e de água doce, caracterizados pela constante mistura de águas com diferentes salinidades, presença de um sedimento fino proveniente do mar e do rio e influenciado pelo regime de marés. São ecossistemas complexos por apresentarem características limnéticas e/ou marinhas, hidrodinâmicos, altamente produtivos e importantes do ponto de vista ecológico, econômico e social (McLUSKY e ELLIOTT, 2004; BEGON, TOWNSEND e HARPER, 2006; ODUM, 2008).

Entre os organismos que habitam os ecossistemas estuarinos, encontram-se as cianobactérias, microrganismos procariontes, com estrutura celular e bioquímica semelhante às bactérias Gram-negativas, capazes de realizar fotossíntese e que apresentam como principal pigmento a clorofila-*a* (encontrada em todos os eucariontes), a clorofila-*b* ou a clorofila-*d*, além de outros pigmentos acessórios (SANT'ANNA et al., 2006; LEE, 2008).

Segundo o sistema de classificação proposto por Komárek e Anagnostidis (1999, 2005), a partir de características morfológicas do talo, tipo de divisão celular e produção de células diferenciadas, as cianobactérias pertencem a uma única classe Cyanophyceae, agrupadas em quatro ordens: Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales e Stigonematales (SANT'ANNA et al., 2006). Mais recentemente, com a utilização da biologia molecular e análise ultra-estrutural das células, verificou-se que as cianobactérias heterocitadas (Nostocales e Stigonematales) formam um grupo monofilético, estando agrupadas em uma única ordem (Nostocales) (FRANCESCHINI et al., 2010).

A longa história evolutiva das cianobactérias (datada em 3,5 bilhões de anos) lhes conferiu inúmeras estratégias adaptativas que as capacitou colonizar praticamente todos os ecossistemas do planeta (LEE, 2008). Nesses ambientes, as cianobactérias desempenham um importante papel nos processos funcionais do ecossistema e na ciclagem de nutrientes, através da produção primária de matéria orgânica e da fixação biológica de nitrogênio por algumas espécies. Atuam também nas relações de simbiose com líquens, briófitas, pteridófitas, e angiospermas (LEE, 2008; FERRÃO-FILHO, MOLICA e AZEVEDO, 2009; ESTEVES, 2011).

O crescimento das cianobactérias é regulado principalmente pela luminosidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes. E estas apresentam uma série de adaptações que lhes conferem uma vantagem competitiva sobre outros grupos fitoplanctônicos. Algumas

espécies podem variar sua flutuabilidade em função da irradiância (presença dos aerótopos: vacúolos de gás que facilitam a flutuação), apresentam taxa máxima de crescimento em altas temperaturas (acima de 20° C) e armazenam nitrogênio e fósforo de forma muito eficiente (McQUEEN e LEAN, 1987; FALCONER, 2005; VISSER et al., 2005; LEE, 2008).

Em ambientes eutrofizados, são capazes de formar florações, dominando o ecossistema aquático e conseqüentemente podem ocasionar a redução significativa da riqueza e da diversidade das demais espécies fitoplanctônicas (TUCCI e SANT'ANNA, 2003) e outros grupos de consumidores. Essas florações alteram a qualidade da água, atribuindo odor e aparência desagradável, além de causar danos ecológicos (morte de organismos aquáticos) e para a saúde humana, pois outra característica marcante das cianobactérias é a sua capacidade de produzir certos metabólitos secundários denominados genericamente de cianotoxinas, sendo estas classificadas de acordo com o seu mecanismo de toxicidade em hepatotoxinas, dermatotoxinas e neurotoxinas (SANT'ANNA et al., 2006; CALIJURI, ALVES e SANTOS, 2006).

Em função de suas características, o monitoramento biológico desse grupo além de ser extremamente necessário, também possibilita a avaliação da qualidade da água dos ecossistemas aquáticos, devido às repostas biológicas rápidas que permitem avaliar mudanças no ambiente, sejam estas diária, sazonal e temporal (BRANCO, 1986; PAERL, 2008).

Nesse contexto, pesquisas e programas de monitoramento relacionados à ecologia e taxonomia deste grupo passaram a demonstrar que a ocorrência de florações de cianobactérias nos ecossistemas aquáticos se intensifica no mundo todo, estando globalmente distribuída (MAIER, DANDY e BURCH, 1998; CAETANO et al., 2001; HOYOS, NEGRO e ALDASORO, 2004; OKOGWU e UGWUMBA, 2009; MIHALJEVIC e STEVIC, 2011; BISWAS et al., 2011; WINTER et al., 2011; RODRÍGUEZ, TELL e PIZARRO, 2011; FERRARI et al., 2011).

No Brasil, um dos primeiros trabalhos a relatar a ocorrência das cianobactérias foi o realizado por Drouet (1937, 1938). Florações de cianobactérias já foram registradas em diversas regiões do Brasil, nos estados de Alagoas, São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (PORFIRIO et al., 1999; LAGOS et al., 1999; CONTE et al., 2000; MATTHIENSEN e BARBOSA, 2003 e YUNES et al., 2003). A maior parte desses estudos foi desenvolvida em lagos e reservatórios.

Nos ecossistemas aquáticos amazônicos, mais precisamente na zona costeira paraense, ainda são raros os estudos voltados exclusivamente às cianobactérias visando identificar sua composição florística e correlação com as variáveis ambientais. Para Barbosa et al. (1995),

Aragão (2011) e Sant'Anna et al. (2011), o conhecimento sobre cianobactérias nas cinco regiões do país é desigual, sendo as regiões Sudeste, Sul e Nordeste detentoras do maior número de trabalhos.

Os estudos realizados no estado do Pará, em sua maioria, têm como objetivo central a caracterização da comunidade fitoplanctônica como um todo, seja em termos de riqueza, diversidade e densidade de espécies, sendo poucos os que enfatizam um único grupo desta comunidade, principalmente as cianobactérias, cuja diversidade pode estar sendo subestimada.

Na presente revisão foram incluídos trabalhos que destacam de alguma forma este grupo, seja com a presença de ilustrações, medidas de caracteres morfológicos ou que registrem a ocorrência de cianobactérias. Entre estes estão os estudos feitos na região de Santarém (DROUT, 1938; THOMASSON, 1971; SCHMIDT e UHERKOVICH, 1973; UHERKOVICH, 1976; THOMASSON, 1977; UHERKOVICH, 1981; SCHMIDT, 1982; SÁ et al., 2010), Oriximiná (DROUT, 1938; HUSZAR, 1996), região do médio Rio Xingu (COSTA et al., 2009), Santa Izabel e Belém (DROUT, 1937; 1938) e Lago Água Preta (VIEIRA et al., 2003; 2005; MARTINS-DA-SILVA e BICUDO, 2007; COSTA et al., 2010).

Para regiões estuarinas no estado do Pará, especial atenção tem sido dada à comunidade fitoplanctônica na região da foz do Rio Guamá (Baía do Guajará e proximidades), destacando-se as publicações de (PAIVA et al., 2006; COSTA, 2008; MONTEIRO et al., 2009; SODRÉ et al., 2011). Os demais estudos concentram-se em rios localizados nas outras regiões estuarinas do estado do Pará como em Vigia (CARDOSO, 2009), Curuçá (COSTA, 2010) e Marapanim (SANTANA et al., 2010).

Reunindo todos os trabalhos citados acima, se verifica a ocorrência de aproximadamente 91 táxons de cianobactérias registrados para o estado do Pará, dos quais muitos são reconhecidamente potenciais produtores de toxinas. Tais pesquisas concentram-se principalmente na região de Santarém, mais especificamente no Rio Tapajós, o qual apresenta o maior número de táxons identificados com 37 espécies e quatro gêneros (Figura 1).

Também são reportados dois casos de florações tóxicas para o estado. No Lago Água Preta, os estudos realizados por Vieira et al. (2003, 2005) apontaram a presença de cepas tóxicas de *Radiocystis fernandoi* e *Microcystis viridis*, além da presença de microcistina na água bruta, reportando a primeira floração de cianobactérias tóxicas em águas amazônicas. Destaca-se aqui a importância desse lago, pois é uma das principais fontes de abastecimento da capital paraense, ressaltando-se a importância deste estudo pela proximidade do canal de captação da água potável da cidade às águas circulantes no entorno de regiões portuárias,

industriais e de resíduos sólidos. Mais recentemente, Sá et al. (2010) apontaram a presença de uma floração tóxica no Rio Tapajós ocasionada por espécies dos gêneros *Anabaena* e *Microcystis*.

O levantamento realizado também demonstra que o conhecimento que se tem acerca das cianobactérias para o estado do Pará, em grande parte é em função dos trabalhos publicados nos anos de 1937 a 1982, especificamente para águas continentais. Nos últimos anos poucos trabalhos objetivaram a identificação das cianobactérias, principalmente para os estuários (dos trabalhos citados, muitas das identificações estão em nível de gênero). Além disso, a maioria dos trabalhos de regiões estuarinas não tem como objetivo principal a caracterização taxonômica das cianobactérias, e poucos deles realizaram correlação entre a ocorrência das espécies e os parâmetros ambientais.

Portanto, este trabalho visa identificar a estrutura da comunidade de cianobactérias e verificar a possível correlação da densidade deste grupo frente a alguns parâmetros ambientais para a região de Barcarena e Abaetetuba (Pará, Brasil).

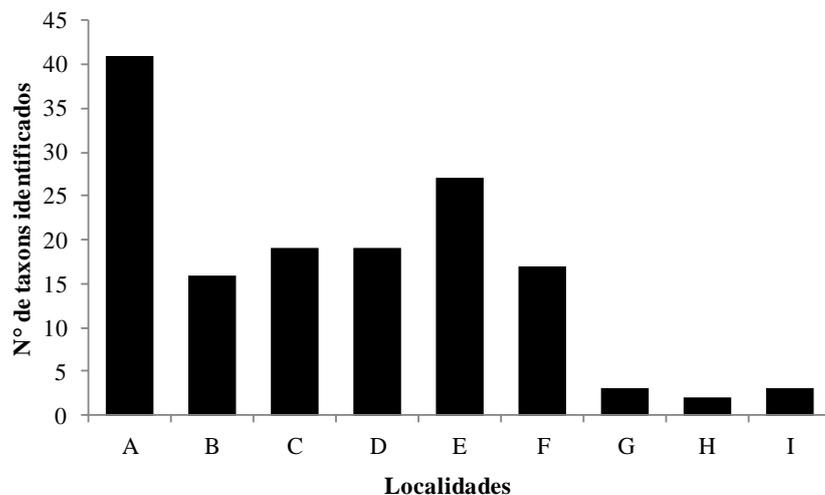


Figura 1. Número de táxons infragenéricos de cianobactérias identificados para o estado do Pará (Brasil), distribuídos por regiões. Em A: Santarém; B: Oriximiná; C: região do médio Rio Xingu; D: Lago Água Preta; E: Belém/Santa Izabel; F: Foz do Rio Guamá (Baía do Guajará e proximidades); G: Vigia; H: Curuçá e I: Marapanim.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Conhecer a estrutura da comunidade de cianobactérias e correlacionar as variáveis ambientais com a composição e com a densidade destes organismos em um estuário com influência de área portuária e industrial no estado do Pará, Amazônia brasileira.

2.2. ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar a composição e densidade das cianobactérias e a biomassa da comunidade fitoplanctônica em diferentes condições de maré (enchente e vazante), locais e meses do ano;
- ✓ Calcular a frequência de ocorrência, abundância relativa, diversidade e equitabilidade das espécies em relação aos períodos chuvoso e menos chuvoso, locais e marés;
- ✓ Avaliar os efeitos dos fatores físico-químicos (pluviosidade, temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, oxigênio dissolvido, turbidez, cor aparente, sólidos totais em suspensão, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, concentrações de nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, fosfato e fósforo total) sobre a composição e na densidade das cianobactérias.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

As coletas foram realizadas nos municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará compreendendo a área industrial e portuária instalada no distrito de Vila do Conde até a sede municipal de Abaetetuba (Figura 2).

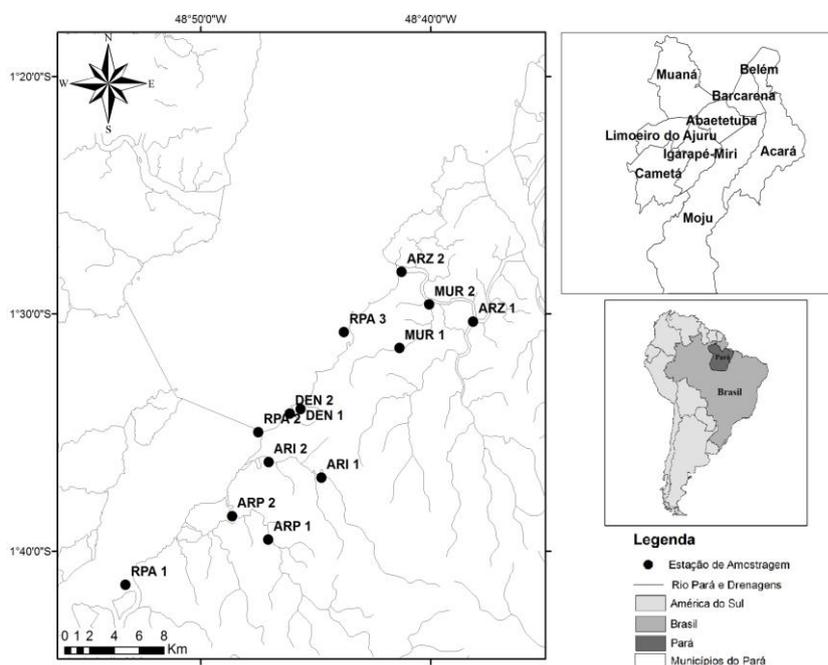


Figura 2. Mapa da área de estudo evidenciando as estações de coleta nos municípios de Abaetetuba e Barcarena (Pará, Brasil). RPA: Rio Pará; DEN: Dendê; ARZ: Arrozal; MUR: Murucupi; ARI: Arienga e ARP: Arapiranga. Fonte: Trindade (2011).

3.1.1 Região de Barcarena e Abaetetuba

3.1.1.1 Localização

O Município de Barcarena pertence à mesorregião metropolitana de Belém, microrregião de Belém, limitando-se ao Sul com os municípios de Moju e Abaetetuba, ao Norte com a Baía do Guajará e o Município de Belém, a Oeste com a Baía do Marajó e a Leste com a Baía de Guajará e o Município de Acará (SOUZA e LISBOA 2005; PARÁ, 2011), Figura 2.

Já o Município de Abaetetuba pertence à mesorregião do Nordeste Paraense e a microrregião de Cametá, limitando-se ao Sul com os municípios de Igarapé Miri e Moju, ao Norte com o Rio Pará e o Município de Barcarena, a Oeste com os municípios de Igarapé Miri, Limoeiro do Ajuru e Muaná e a Leste com o Município de Moju (PARÁ, 2011), Figura 2.

3.1.1.2 Clima

O clima dessa região é quente e úmido do tipo Af (classificação de Koeppen), com temperatura média anual de 26°C, com menores temperaturas médias do ar ocorrendo em fevereiro e mais elevadas em outubro (MORAES et al., 2005; ROCHA et al., 2009).

A precipitação média anual é de 2.300 a 2.800 mm, com o trimestre mais chuvoso correspondente aos meses de fevereiro, março e abril e com o menos chuvoso em agosto, setembro e outubro (Figura 3). Quanto à umidade relativa do ar, esta oscila entre 84,1 e 86,0% (MORAES et al., 2005; ROCHA et al., 2009).

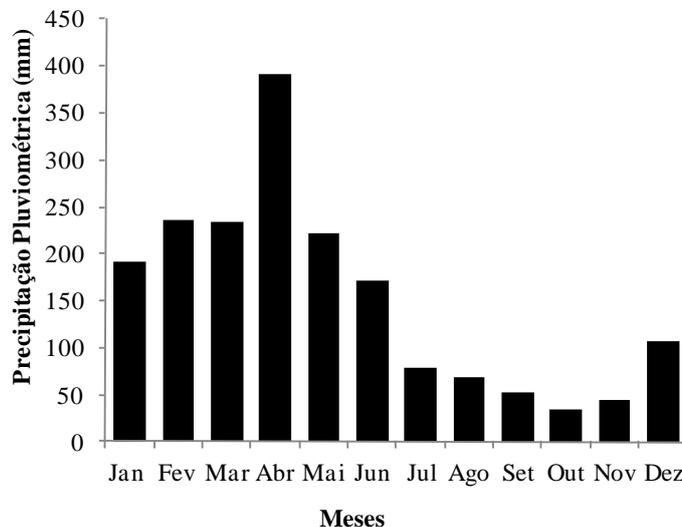


Figura 3. Variações mensais médias da precipitação entre 1999-2008, para região em estudo. Fonte: ANA (2012).

3.1.1.3 Hidrografia

A Baía do Marajó é o principal acidente hidrográfico de Barcarena (PA), que juntamente com outros recursos hídricos (a larga embocadura do Rio Amazonas entre o

Amapá e a Ilha de Marajó; o Estreito de Breves à oeste dessa ilha, os longos trechos da Baía das Bocas; e a leste-nordeste, o Rio Pará, o Baixo Tocantins e a Baía de Marajó), formam o “Golfão Marajoara”. Além destes, destaca-se a presença de furos separando a porção continental da insular e importantes rios para a região como por exemplo o Barcarena e o Moju (PARÁ, 2011). Entre as drenagens estudadas, o Rio Pará, o Furo do Arrozal, os rios Murucupi e Dendê localizam-se neste município (Figura 2).

O principal rio para a região de Abaetetuba é o Rio Pará. Outro rio importante para o município é o Abaeté (PARÁ, 2011), além das drenagens estudadas: os rios Arapiranga e Arienga (Figura 2).

3.1.1.4 Vegetação

A vegetação do entorno de Barcarena é representada pelas seguintes unidades: florestas ciliares e de várzeas, mangue e siriúba ocorrendo nos trechos sob influência de inundações, margeando os grandes rios e as ilhas do Município. Áreas de plantio de espécies agrícolas de subsistência e áreas de regeneração florestal com diferentes estágios de desenvolvimento de floresta secundária podem ser observadas devido à ação dos desmatamentos, responsável pela substituição da cobertura vegetal primitiva de floresta densa (PARÁ, 2011).

Em Abaetetuba, a vegetação original é a floresta hileina de grande porte. Atualmente, devido à ação dos desmatamentos é praticamente inexistente, sendo substituída por florestas secundárias e áreas agrícolas. As espécies ombrófilas latifoliadas e palmeiras (tais como o açaí) constituem a vegetação das áreas de várzea (PARÁ, 2011).

3.1.1.5 Solos

Os solos da porção continental diferem dos encontrados nas ilhas existentes de Barcarena e Abaetetuba. O latossolo amarelo distrófico textura média, o podzol hidromórfico e concrecionário laterítico indiscriminado, distrófico, textura indiscriminada predominam na porção continental enquanto que os solos hidromórficos indiscriminados, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada e hidromórficos gleisados, como o gley pouco húmico e aluvial eutróficos e distróficos, textura indiscriminada predominam nas ilhas (PARÁ, 2011).

3.1.1.6 Geologia e relevo

Sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) estão presentes principalmente na porção continental e do Quaternário nas margens dos rios, constituindo a porção insular dos municípios. Quanto ao relevo, há áreas de várzeas, terraços e tabuleiros, que constituem o Planalto Rebaixado da Amazônia, Baixo Amazonas (PARÁ, 2011).

3.2. DESENHO AMOSTRAL

O delineamento amostral e a localização das estações de amostragem obedeceram à malha proposta pelo projeto intitulado “Programa de Monitoramento e Controle em Saúde e Meio Ambiente em Áreas Industriais e Portuárias dos Municípios de Abaetetuba e Barcarena, estado do Pará”, o qual é resultante do cumprimento de obrigação ambiental assumida pela empresa Imerys Rio Capim Caulim em Termo de Ajustamento de Conduta lavrado perante o Ministério Público Estadual do Pará.

As coletas foram realizadas no período de janeiro de 2009 a agosto de 2010, em seis expedições a campo, nos períodos de maior e menor precipitação, durante as marés de sizígia da lua cheia (enchente e vazante) em seis drenagens: rios Pará e Murucupi, Furo do Arrozal e Igarapé Dendê, localizados nos municípios de Barcarena e rios Arapiranga e Arienga, localizados em Abaetetuba no estado do Pará.

No Rio Pará, foram definidas três estações de amostragem (RPA 1, RPA 2, RPA 3), as quais estão localizadas à montante, em frente e à jusante do complexo industrial, respectivamente, nos meses de abril/2009, julho/2009, abril /2010 e agosto/2010, totalizando 24 amostras quali-quantitativas.

Nas drenagens menores, foram estabelecidas duas estações de amostragem (cabeceira e foz) distribuídas nas drenagens Arrozal (ARZ 1, ARZ 2), Murucupi (MUR 1, MUR 2), Dendê (DEN 1, DEN 2), Arapiranga (ARP 1, ARP 2) e Arienga (ARI 1, ARI 2) nos meses de janeiro/2009, abril/2009, julho/2009 e outubro/2009, totalizando 80 amostras quali-quantitativas.

Em cada local de coleta foram efetuadas medições *in situ* dos fatores físico-químicos, bem como a coleta de água para determinação de alguns fatores abióticos e bióticos (clorofila-*a*, cianobactérias para análise qualitativa e quantitativa), especificados a seguir.

3.3. COLETA DE DADOS

3.3.1 Índices Pluviométricos

Os dados pluviométricos da área de estudo foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA).

3.3.2 Parâmetros Físico-Químicos

3.3.2.1. Campo

Em campo, foi realizada a medição *in situ* das variáveis: temperatura (T°C), pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), salinidade e oxigênio dissolvido (OD) por potenciometria em Sonda multiparamétrica HI 9828 HANNA®, previamente calibrada.

Para a determinação das variáveis físico-químicas: turbidez, sólidos totais em suspensão (STS), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e concentrações de N-nitrito (N-NO₂⁻), N-nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e fosfato (PO₄³⁻), utilizou-se a técnica de imersão do frasco numa profundidade máxima de 30 cm da coluna d'água, em frascos de polipropileno previamente descontaminados com solução de HNO₃ a 10% com capacidade de 1 L e 500 mL, para serem determinadas em laboratório.

Já a transparência da água foi estimada com o uso de um disco de Secchi de 30 cm de diâmetro.

3.3.2.2. Laboratório

As variáveis turbidez, sólidos totais em suspensão (STS) e demanda química de oxigênio (DQO) foram determinadas por Espectrofotometria de UV-VIS, utilizando o equipamento DR 2400 da HACH. Para a obtenção da variável demanda bioquímica de oxigênio (DBO), utilizou-se a técnica de incubação por cinco dias obedecendo aos procedimentos e as recomendações descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2005).

Para análises das concentrações de N-nitrito (N-NO₂⁻), N-nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e fosfato (PO₄³⁻) as amostras foram filtradas com MILLIPORE®

(0,45 μ m) e em seguida determinadas por Sistema de Cromatografia de Íons modelo ICS DUAL 2000 DIONEX, USA.

3.3.3 Parâmetros Biológicos

3.3.3.1. Campo

As amostras destinadas ao estudo qualitativo das cianobactérias foram obtidas com rede de plâncton cônica, malha de 20 μ m, abertura de aro de 38 cm de diâmetro X 110 cm de comprimento e coletor de PVC de 300 mL, através da filtragem de água por arrastos horizontais durante 3 minutos na sub-superfície da água. O material foi fixado em solução de Transeau (BICUDO e MENEZES, 2006) em frascos de polipropileno de 125 mL.

As amostras destinadas ao estudo quantitativo do fitoplâncton foram obtidas através de coleta direta na sub-superfície da coluna d'água, através de recipientes de plástico de 125 e 250 mL e posteriormente fixadas em solução de lugol acético a 0,5%.

As amostras para determinação da clorofila-*a*, também foram obtidas através de coleta direta na sub-superfície da água com garrafas de 300 mL, previamente esterilizadas.

3.3.3.2. Laboratório

As análises qualitativas das cianobactérias foram realizadas através de montagens lâmina-lamínula, observadas em microscópio óptico (Axiostar Plus, Carl Zeiss), com ocular micrometrada e contraste de fase, acoplado a um sistema de captura de imagem (AxioCam MRc5).

A identificação dos organismos foi realizada segundo características morfológicas e morfométricas, quando possível, sendo preparadas no mínimo cinco lâminas com adição de tinta nanquim para evidenciar a presença de mucilagem. Dentre a literatura utilizadas podem ser citados os seguintes trabalhos: Desikachary (1959), Sant'Anna, Bicudo e Pereira (1983), Azevedo e Sant'Anna (1993), Komárek e Anagnostidis (1999, 2005), Komárek e Komárková (2004, 2006), Sant'Anna et al. (2004), Bicudo e Menezes (2006), Joosten (2006), Sant'Anna et al. (2006), Komárek e Zapomelova (2007), Sant'Anna et al. (2007) e Sant'Anna et al. (2012). Já a organização e apresentação dos táxons foi realizada conforme a classificação de Komárek e Anagnostidis (1989, 1999 e 2005). Quando necessário se recorreu ao auxílio de especialistas.

Para a determinação da densidade das cianobactérias, foi utilizado o método de sedimentação de Utermöhl (1958) em um invertoscópio invertido (Axiovert 40c - Carl Zeiss), sob um aumento de 400x, por meio da contagem total das cubetas contendo 5 ou 10 mL.

As células, as colônias e filamentos foram contados como organismos, mas para que os resultados fossem expressos em células/mL, a densidade das cianobactérias foi transformada, multiplicando-se os resultados pelas médias de células encontradas nos primeiros 30 filamentos ou colônias (CHORUS e BARTRAM, 1999).

As amostras destinadas à quantificação da clorofila-*a* foram filtradas com bomba de vácuo e aparato para filtração em microfiltros MILLIPORE[®]. Após cada filtração, os filtros foram guardados em freezer, embalados em envelopes de papel alumínio onde permaneceram até o momento da análise, realizada através do método espectrofotométrico (Espectrofotômetro Hanna modelo D2000).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas), 2012. Intensidade pluviométrica no município de Barcarena/PA. [S.l.: s.n.].

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION & WATER ENVIRONMENT ASSOCIATION, 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.

ARAGÃO, N. K. C. V. **Taxonomia, Distribuição e Quantificação de Populações de Cianobactérias em Reservatórios do Estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil) Recife**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2011.

AZEVEDO, M. T. P.; SANT'ANNA, C. L. New taxa of Oscillatoriaceae (Cyanophyceae) from São Paulo State, Brazil. **Cryptogamic Botany**. v. 3, p. 207-212, 1993.

BARBOSA, F. A. R.; BICUDO, C. E. M.; HUSZAR, V. L. M. Phytoplankton studies in Brazil: community structure variation and diversity. In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, T. M. (eds.) **Limnology in Brazil**, p. 19-36, 1995.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecology: from individuals to ecosystems**. 4th. Oxford: Blackwell, 2006. 738p.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. (org.). **Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil**. 2. Ed. São Carlos: Rima, 2006, 502p.

BISWAS, H.; CROS, A.; YADAV, K.; RAMANA, V. V.; PRASAD, V. R.; ACHARYYA, T.; BABU P.V. R. The response of a natural phytoplankton community from the Godavari

River Estuary to increasing CO₂ concentration during the pre-monsoon period. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. v. 407, p. 284–293, 2011.

BRANCO, S. M. **Poluição: A morte de nossos rios**. 2. ed. São Paulo: Ascetesb, 1983. 166p.

CAETANO, S. M.; MENDES, R.P.; GALVÃO, H.; BARBOSA, A. Cyanobacteria blooms and cyanotoxin occurrence in the Guadiana (SE-Portugal) - Preliminary results. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, v. 4, n. 2, p. 53-59, 2001.

CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A.; SANTOS, A. C. A. **Cianobactérias e Cianotoxinas em Águas Continentais**. São Carlos: Rima, 2006. 118 p.

CARDOSO, F. F. **Dinâmica da comunidade microfitoplanctônica relacionada com os parâmetros físico-químicos do Estuário do Rio Guajará-Mirim (Vigia-PA)**. 2009. 76f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém, 2009.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. **Toxic cyanobacteria water. A guide to their public health consequences, monitoring and management**. London: E e FN Spon, 1999. 416p.

CONTE, S. M.; RABELO, I. M. M.; GIORDANI, A.T.; DEWES, W.; Ocorrência de *Cylindrospermopsis raciborskii* nas bacias hidrográficas dos Rios dos Sinos e Caí, RS. – Brasil. p. 273-274. In: **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre, RS. 521 p. 2000.

COSTA, B. O. **Variação nictemeral do microfitoplâncton em um Estuário do Nordeste Paraense, Brasil**. 2010. 102f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém, 2010.

COSTA, S. D. **Variação espaço-temporal do microfitoplâncton na região da foz do Rio Guamá (Estuário Amazônico), Belém – PA**. 2008. 60f. Dissertação (Ciência Animal). Universidade Federal do Pará. Belém. 2008.

COSTA, V. B.; COSTA, S. D.; CAMARGO, M. As Algas. In: CAMARGO, M.; GHILARDI JR. (Eds.) **Entre a Terra, as Águas e os Pescadores do Médio Rio Xingu - Uma Abordagem Ecológica**. Belém: Eletronorte, 2009. p. 73 -115.

COSTA, V. B.; SOUZA, L. R.; SENA, B. A.; COSTA, S. D.; BEZERRA, M. F. C.; NAKAYAMA, L. Microfitoplâncton do Lago Água Preta, Parque Ambiental de Belém (Pará, Brasil), durante o período chuvoso. **Uakari**, v. 6, n.1, p. 75-86, 2010.

DESIKACHARY. T.V. **Cyanophyta**. New Delhi: ICAR Monographs, 1959. 686p.

DROUET, F. The Brazilian Myxophyceae. **American Journal of Botany**, v. 24, p. 598-608, 1937.

DROUET, F. The Brazilian Myxophyceae. **American Journal of Botany**, v. 25, p. 657-666, 1938.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.

FALCONER, I. R. **Cyanobacterial toxins of drinking water supplies**. USA: CRC Press, Boca Raton, 2005. 279p.

FERRÃO-FILHO, A. S.; MOLICA, R.; AZEVEDO, S. M. F. O. Ecologia, ecofisiologia e toxicologia de cianobactérias. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 225-228, 2009.

FERRARI, G.; PÉREZ, M. C.; DABEZIES, M.; MÍGUEZ, D.; SAIZAR, C. Planktic Cyanobacteria in the Lower Uruguay River, South America. **Fottea**. v. 11, n. 1, p. 225–234, 2011.

FRANCESCHINI, I. M.; BURLIGA, A. L.; REVIERS, B. de; PRADO, J. F.; RÉZIG, S. H. **ALGAS: Uma abordagem filogenética, taxonômica e ecológica**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 332p.

HOYOS, C.; NEGRO, A. I.; ALDASORO, J. J. Cyanobacteria distribution and abundance in the Spanish water reservoirs during thermal stratification. **Limnetica**, v. 23, n.1-2, p. 119-132, 2004.

HUSZAR, V. L. M. Planktonic algae, other than desmids, of three Amazonian systems (Lake Batata, Lake Mussurá and Trombetas River), Pará, Brazil. **Amazoniana**. v. 14, n. 1-2, p. 37-73, 1996.

JOOSTEN, A. M. T. **Flora of the blue-green algae of the Netherlands – The non-filamentous species of inland waters**. Netherlands: KNNV Publishing. Royal Dutch Society for Natural History, 2006. 240p.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4: Nostocales. **Algological Studies**. v. 56, p. 247-345, 1989.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales**. In: Ettl, H.; Gartner, G.; Heynig, H.; Mollenhauer, D (eds), Sußwasserflora Von Mitteleuropa Band 19/1. Stuttgart: Gustav Fisher, 1999. 548p.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. **Cyanoprocaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales**. In: Büdel B.; Krienitz L.; Gärtner G.; Schagerl M. (eds), Sußwasserflora Von Mitteleuropa 19/2. Heidelberg: Elsevier/Spektrum, 2005. 759p.

KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ, J. Taxonomic review of the cyanoprocaryotic genera *Planktothrix* and *Planktothricoides*. **Czech Phycology, Olomouc**. v. 4, n. 1, p. 1-18, 2004.

KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ, J. Diversity of Aphanizomenon-like cyanobacteria. **Czech Phycology, Olomouc**. v. 6, p. 1-32, 2006.

KOMÁREK, J.; ZAPOMELOVA, E. Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus *Anabaena* = subg. *Dolichospermum* – 1. part: coiled types. **Fottea, Olomouc**. v. 7, n. 1, p. 1-31, 2007.

LAGOS, N.; ONODERA, H.; ZAGATTO, P.A.; ANDRINOLO, D.; AZEVEDO, S.M.F.; OSHIMA, Y. The first evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii*, isolated from Brazil. **Toxicon**. v. 37, p. 1359-1373, 1999.

LEE, R. E. **Phycology**. 4th. New York: Cambridge University Press, 2008. 547p.

MAIER, H. R.; DANDY, G. C.; BURCH, M. D. Use of artificial neural networks for modelling cyanobacteria *Anabaena* spp. in the River Murray, South Australia. **Ecological Modelling**. v. 105, p. 257–272, 1998.

MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; BICUDO, C. E. M. Algas planctônicas (exclusive Diatomaceae) do lago Água Preta, município de Belém, estado do Pará. In: GOMES, J. I.; MARTINS, M.; MARTINS-DA-SILVA, R. C. V.; ALMEIDA, S. (Org.). **Mocambo: Diversidade e dinâmica biológica da área de pesquisa ecológica do Guamá (APEG)**. Belém: Embrapa/MG, p. 175-249, 2007.

MATTHIENSEN, A.; BARBOSA, T. C. P.; Fitoplâncton potencialmente nocivo em corpos d'água costeiros utilizados para o consumo humano: dados preliminares da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC, Brasil. In: **IX Congresso Brasileiro de Limnologia, Juiz de Fora, MG**. 2003.

McLUSKY, D. S.; ELLIOTT, M. **The Estuarine Ecosystem ecology, threats and management**. 3rd. New York: Oxford University Press, 2004. 224p.

McQUEEN, D. J.; LEAN, D. R. S. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 44, p. 598–604, 1987.

MIHALJEVIĆ, M.; STEVIC, F. Cyanobacterial blooms in a temperate river-floodplain ecosystem: the importance of hydrological extremes. **Aquatic Ecology** v. 45, p. 335–349, 2011.

MONTEIRO, M. D. R.; MELO, N. F. A. C.; ALVES, M. A. M. S.; PAIVA, R. S. Composição e distribuição do microfítolâncton do rio Guamá no trecho entre Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 4, n. 3, p. 341-351, 2009.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazonica**. v. 35, n. 2, p. 207-214, 2005.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6 Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2008. 928p.

OKOGWU, O.; UGWUMBA, A. O. Cyanobacteria abundance and its relationship to water quality in the Mid-Cross River floodplain, Nigeria. **Revista de Biologia Tropical** v. 57, n. 1-2, p. 33-43, 2009.

PAERL, H. W. Nutrient and Other Environmental Controls of Harmful Cyanobacterial Florações along the freshwater-marine continuum. p. 217-237. In: H.K. Hudnell (ed.). Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: state of Science and Research Needs. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 619, p. 217-213, 2008.

PAIVA, R. S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; MELO, N. F. A. C. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 1, n. 2, p. 133-146, 2006.

PARÁ. Governo do Estado do Pará. Gerência de dados estatísticos do Estado. **Estatística Municipal, Barcarena**, 2011. Disponível em: <http://www.governodopara.pa.gov.br/>. Acesso em: 20 de novembro de 2011.

PARÁ. Governo do Estado do Pará. Gerência de dados estatísticos do Estado. **Estatística Municipal, Abaetetuba**, 2011. Disponível em: <http://www.governodopara.pa.gov.br/>. Acesso em: 20 de novembro de 2011

PORFIRIO, Z.; RIBEIRO, P. M.; ESTEVAN, C. S.; RICARDO, L. S.; SANTANA, A. E. G. Hepatosplenomegaly caused by na extract of Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* bloom collected in the Manguaba Lagoon, Alagoas-Brazil. **Revista de Microbiologia**, v. 30, n. 3, p. 278-285, 1999.

ROCHA, E. J. P.; SOUZA, E. B.; SANTOS, F. A. A.; LOPES, M. N.; SANTOS, D. M.; ROLIM, P. A. M.; NETO, B. S.; MAIA, I. F. **Zoneamento Climático-Zoneamento Ecológico Econômico do Pará (ZEE-PA)**. Belém: Relatório Preliminar. Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, 2009. 27p.

RODRÍGUEZ, P.; TELL, G.; PIZARRO, H. Epiphytic Algal Biodiversity in Humic Shallow Lakes from the Lower Paraná River Basin (Argentina). **Wetlands**. v. 31, p. 53–63, 2011.

SÁ, L. L. C.; VIEIRA, J. M. S.; MENDES, R. A.; PINHEIRO, S. C. C.; VALE, E. R.; ALVES, F. A. S.; JESUS, I. M.; SANTOS, E. C. de O.; COSTA, V. B. Ocorrência de uma Floração de Cianobactérias Tóxicas na Margem Direita do rio Tapajós, no Município de Santarém (Pará, Brasil). **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 1, n. 1, p. 159-166, 2010.

SANT'ANNA, C. L.; BICUDO, R. M. T.; PEREIRA, H. A. S. L. Nostocophyceae (Cyanophyceae) do parque estadual da Ilha do Cardoso, Estado de São Paulo, Brasil. **Rickia**. v. 10, p. 1-27, 1983.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P.; SENNA, P. A. C.; KOMÁREK, J.; KOMÁRKOVÁ. Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 27, n. 2, p. 213-227, 2004.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M. T. P.; AGUJARO, L. F.; CARVALHO, M. C.; CARVALHO, L. R.; SOUZA, R. C. R. **Manual Ilustrado para Identificação e Contagem de Cianobactérias Planctônicas de Águas Continentais Brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência. Sociedade Brasileira de Ficologia-SBFic, 2006. 58p.

SANT'ANNA, C. L.; MELCHER, S. S.; CARVALHO, M. C.; GEMELGO, M. P.; AZEVEDO, M. T. P. Planktic Cyanobacteria from upper Tietê basin reservoirs, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 30, n. 1, p. 1-17, 2007.

SANT'ANNA, C. L.; BRANCO, L. H. Z.; GAMA-JÚNIOR, W. A.; WENER, V. R. Lista de Cyanobacteria do Estado de São Paulo. **Biota Neotropica**. v.11, n. 1, p. 455-495, 2011.

SANT'ANNA, C. L.; TUCCI, A.; AZEVEDO, M. T. P.; MELCHER, S. S.; WERNER, V. R.; MALONE, C. F. S.; ROSSINI, E. F.; JACINAVICIUS, F. R.; HENTSCHEKE, G. S.; OSTI, J. A. S.; SANTOS, K. R. S.; GAMA-JÚNIOR, W. A.; ROSAL, C.; ADAME, G. 2012. **Atlas de cianobactérias e microalgas de águas continentais brasileiras**. Publicação eletrônica, Instituto de Botânica, Núcleo de Pesquisa em Ficologia. Disponível em: <http://www.ibot.sp.gov.br/> Acesso em: 24 de agosto de 2012.

SANTANA, D. S.; PAIVA, R. S.; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. da. Microphytoplankton of the Marapanim Estuary (Pará, Northern Brazil). **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 152-163, 2010.

SCHIMDT, G. W; UHERKOVICH, G. Zur Artenfülle des phytoplanktons in Amazonien. **Amazoniana**, v. 4, n. 3, p. 243-252, 1973.

SCHIMDT, G. W. Primary production of phytoplankton in the three types of Amazonian waters. **Amazoniana**, v. 7, n. 3, p. 335-348, 1982.

SODRÉ, D. K. L.; MATOS, J. B.; COSTA, K. G. da; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. Tide-induced Changes in the Phytoplankton Communities of three Amazon Estuaries (Pará – Northern Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 64, p. 1574-1578, 2011.

SOUZA, A. P. S.; LISBOA, R. C. L. Musgos (Bryophyta) na ilha Trambioca, Barcarena, PA, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 487-492, 2005.

THOMASSON, K. **Amazonian algae**. Bruxelles: Mémoires de l' Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, v. 86, 1971. 127 p.

THOMASSON, K. Two conspicuous desmids from Amazonas. **Botaniska Notiser**, v. 130, p. 41-51, 1977.

TUCCI, A.; SANT'ANNA, C. L. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya e Suba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, São Paulo, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, p. 97-112, 2003.

UHERKOVICH, G. Algen aus den Flüssen Rio Negro und Rio Tapajós. **Amazoniana**. v. 5, n. 4, p. 465-515, 1976.

UHERKOVICH, G. Algen aus einigen Gewässern Amazoniens. **Amazoniana**. v. 7, n. 2, p. 191-219, 1981.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommung der Quantitativen Phytoplankton-Methodik. **Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, p. 1-38, 1958.

VIEIRA, J. M. S.; AZEVEDO, M. T. P.; AZEVEDO, S. M. O.; HONDA, R. Y.; CORREA, B. Microcystin production by *Radiocystis fernandoi* (Chroococcales, Cyanobacteria) isolated from a drinking water reservoir in the city of Belém, PA, Brazilian Amazonic region. **Toxicon-Elsevier**, v. 42, n. 7, p. 709-13, 2003.

VIEIRA, J. M. S.; AZEVEDO, M. T. P.; AZEVEDO, S. M. O.; HONDA, R. Y.; CORRÊA, B. Toxic cyanobacteria and microcystin concentrations in a public water supply reservoir in the Brazilian Amazonia region. **Toxicon-Elsevier**, v. 45, n. 7, p. 901-909, 2005.

VISSER, P. M.; IBELINGS, B. W.; MUR, L. R.; WALSBY, A. E. The ecophysiology of the harmful cyanobacterium *Microcystis*. In: J. Huisman, H.C.P. Matthijs and P.M. Visser (eds.), **Harmful Cyanobacteria**, p. 109-142, 2005.

WINTER, J. G.; DESELLAS, A. M.; FLETCHER, R.; HEINTSCH, L.; MORLEY, A.; NAKAMOTO, L.; UTSUMI, K. Algal blooms in Ontario, Canada: Increases in reports since 1994. **Lake and Reservoir Management**, v. 27, p. 105–112, 2011.

YUNES, J. S.; CUNHA, N. T.; BARROS, L. P.; PROENÇA, L. A. O.; MONTSERRAT, J. M. Cyanobacterial neurotoxins from southern Brazilian freshwater. **Comments on toxicology**, v. 9, p. 103-115, 2003.

CAPÍTULO 1

BIODIVERSIDADE E VARIAÇÃO INTERANUAL DA DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UM ESTUÁRIO AMAZÔNICO BRASILEIRO

Este capítulo foi redigido segundo as normas do periódico Hydrobiologia

BIODIVERSIDADE E VARIAÇÃO INTERANUAL DA DENSIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM UM ESTUÁRIO AMAZÔNICO BRASILEIRO

Resumo – A influência das variáveis ambientais na biodiversidade planctônica é amplamente conhecida. No entanto, a ausência de informações sobre a comunidade de cianobactérias em regiões estuarinas tropicais motivou a realização deste trabalho, cujo objetivo foi investigar a variação espaço-temporal da densidade das cianobactérias relacionada a fatores físico-químicos em um estuário amazônico brasileiro. Para o estudo quali-quantitativo das cianobactérias, para determinação da clorofila-*a* e das variáveis físico-químicas foram coletadas amostras em abril/julho/2009 e abril/agosto/2010. Foram identificadas 30 espécies das ordens Chroococcales, Oscillatoriales e Nostocales. Espécies dos gêneros *Aphanocapsa*, *Dolichospermum*, *Komvophoron*, *Microcystis*, *Pseudanabaena* e *Merismopedia* foram muito frequentes e abundantes ao longo do período estudado. Alguns gêneros encontrados já foram descritos como potenciais produtores de toxina. Cinco espécies e um gênero são de nova ocorrência para a região e o gênero *Geitlerinema* é nova ocorrência para a região costeira do Pará. A maioria das variáveis físico-químicas e biológicas apresentou variação significativa ao longo do período estudado sendo reguladas pelas flutuações de precipitação pluviométrica, as quais foram ratificadas pelas análises multivariadas e as correlações, sendo a dinâmica de cianobactérias foi influenciada principalmente pelos altos valores de pH, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, nitrogênio amoniacal e menor demanda bioquímica de oxigênio.

Palavras-chave: Diversidade, Fitoplâncton, Chroococcales, Amazônia.

Introdução

O estuário amazônico localizado na costa norte do Brasil é considerado um ambiente aquático complexo e de alta produtividade biológica, sendo formado pelos rios Amazonas e Pará (Nittrouer et al., 1991; Santos et al., 2008). O Rio Pará é caracterizado por um ambiente altamente dinâmico, de reduzida salinidade devido à grande descarga de água doce, com influência de marés semidiurnas até vários quilômetros adentro do continente (Gregório & Mendes, 2009).

Na margem direita deste rio encontra-se o maior terminal portuário do Estado do Pará, o Porto de Vila do Conde, além de um complexo industrial, sendo estes implementados nas décadas de 80 e 90 a partir de investimentos governamentais (Lima et al., 2011). Para a região já foram reportados além de acidentes ambientais, florações de cianobactérias da espécie *Microcystis wesenbergii*.

A maioria das cianobactérias ocorre em ambientes de água doce, mas também são componentes naturais dos ecossistemas marinhos e de águas salobras, sendo reportada a ocorrência e dominância através do fenômeno de florações em ambientes estuarinos como o estuário da Lagoa dos Patos (Matthiensen et al., 1999) e estuário dos rios Potamic (Sellner et al., 1988), Neuse (Paerl, 1988), Swan (Rocha et al., 2002) Guadiana (Orr et al., 2004), Ebro (Carrillo et al., 2008) e São Francisco (Lehman et al., 2008).

A ocorrência de florações de cianobactérias nos ecossistemas aquáticos se intensifica no mundo todo. Essas florações são normalmente consequências da eutrofização, sendo resultados de interações complexas entre fatores físico-químicos e biológicos (Reichwaldt & Ghadouani, 2012).

Esse aumento excessivo do número de células causa uma série de danos ecológicos (morte de organismos aquáticos) e da perspectiva de saúde pública, pois podem provocar alteração da qualidade da água (odor e aparência desagradável), tornando águas impróprias para consumo e recreação, além da produção de toxinas por parte de algumas espécies (Mcqueen & Lean, 1987; Falconer, 2005; Visser et al., 2005; Lee, 2008).

Em função de suas características biológicas e potencial risco à saúde humana, o monitoramento biológico deste grupo é extremamente necessário. Apesar do crescente interesse por parte de alguns gestores e da comunidade científica, devido os impactos sobre a qualidade das águas, ainda são considerados raros os estudos voltados exclusivamente às cianobactérias correlacionando com variáveis ambientais em ambientes estuarinos amazônicos. Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar a variação espaço-temporal da

densidade das espécies de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) e sua relação com os fatores físico-químicos.

Material e Métodos

Área de Estudo

O Rio Pará é um conjunto hidrográfico sem nascente própria formado por diversos rios (Tocantins, Guamá e Acará-Moju) (Fig.1). Comunica-se com o Rio Amazonas através dos Furos de Breves e sofre influência da água do mar devido às variações de pluviosidade e a influencia das marés. Possui mais de 300 quilômetros de extensão e cerca de 20 quilômetros de largura média e uma vazão estimada de $10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Santos et al., 2008; Gregório & Mendes, 2009). Este rio estende-se por inúmeros municípios paraenses, dentre eles o município de Barcarena e Abaetetuba, os quais pertencem à mesorregião metropolitana de Belém e do Nordeste Paraense, respectivamente.

O clima dessa região é quente e úmido do tipo Af (classificação de Köppen), com temperatura média anual de 26°C , umidade relativa do ar acima de 80% e precipitação pluviométrica média anual é de 2.300 e 2.800 mm. O trimestre mais chuvoso se dá em fevereiro, março e abril e o menos chuvoso em agosto, setembro e outubro (Moraes et al., 2005).

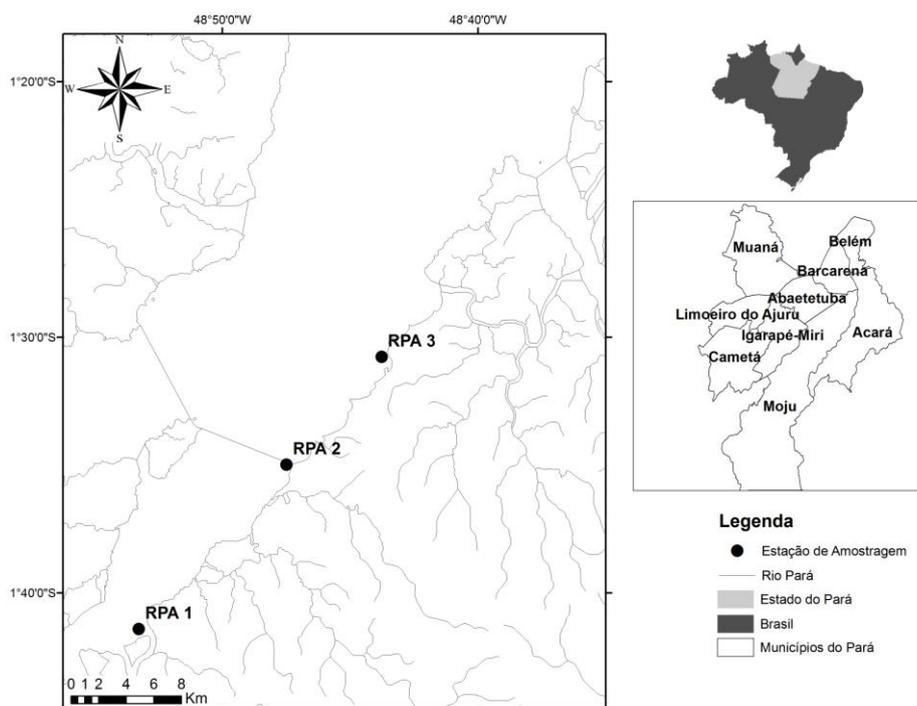


Fig. 1. Mapa da área de estudo evidenciando as estações de coleta nos municípios de Abaetetuba e Barcarena (Pará, Brasil). RPA: Rio Pará. Fonte: Trindade (2011).

Coleta das amostras

As cianobactérias foram coletadas em abril (chuvoso) e julho (menos chuvoso) de 2009 e abril (chuvoso) e agosto (menos chuvoso) de 2010, durante as marés de sizígia (enchente e vazante), em três estações de amostragem distribuídas ao longo do Rio Pará, localizados à montante (RPA 1), em frente (RPA 2) e à jusante (RPA 3) do complexo industrial (Fig. 1), totalizando 24 amostras.

Os dados pluviométricos da área de estudo foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA).

As variáveis temperatura, pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD), salinidade e oxigênio dissolvido (OD) foram obtidos *in situ* através de uma sonda multiparamétrica (HI 9828 HANNA®) e a transparência estimada com um disco de Secchi. Amostras de água foram coletadas para a determinação das variáveis: turbidez, sólidos totais em suspensão (STS), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), N-nitrito (N-NO₂⁻), N-nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e fosfato (PO₄³⁻).

Para o estudo qualitativo das cianobactérias, as amostras foram coletadas utilizando-se rede de plâncton (20µm) e fixadas em solução de transeau. As amostras destinadas ao estudo quantitativo foram coletadas com um recipiente plástico de 250 mL e fixadas com solução de lugol. Para a determinação da concentração de clorofila-*a*, foram coletadas amostras superficiais de água com recipientes plásticos de 300 mL.

Análise das amostras

As variáveis: turbidez, sólidos totais em suspensão (STS) e demanda química de oxigênio (DQO) foram determinadas por Espectrofotometria de UV-VIS (DR 2400 da HACH), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) segundo (APHA et al., 2005) e os íons N-nitrito (N-NO₂⁻), N-nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e fosfato (PO₄³⁻) determinados por Sistema de Cromatografia de Íons (ICS DUAL 2000 DIONEX, USA).

A identificação e nomenclatura das espécies foram realizadas de acordo com a literatura especializada e os organismos mensurados e fotografados. O enquadramento taxonômico realizado segundo Komárek & Anagnostidis (1989, 1999 e 2005). Para a determinação da densidade foram analisados 10 mL de cada amostra, utilizando a técnica de

Utermöhl (1958) e os resultados expressos em células/mL. Já a clorofila-*a* foi analisada através do método espectrofotométrico (Parsons & Strickland, 1963).

Análise dos dados

A frequência de ocorrência dos táxons e a abundância relativa das espécies foram estimadas segundo Mateucci & Colma (1982) e Lobo & Leighton (1986), respectivamente. A diversidade das espécies foi baseada no índice de Shannon (1948) e a equitabilidade segundo Pielou (1977).

A análise de variância unifatorial (ANOVA *one way*) foi utilizada para comparar os fatores físico-químicos, densidade, diversidade, equitabilidade das espécies e as concentrações de clorofila-*a*, nos diferentes meses, períodos sazonais, anos, estações de amostragem e ciclo de marés, atendidos os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk's teste *W*) e a homocedasticidade das variâncias (Cochran & Bartlett). Quando as premissas da ANOVA não foram atendidas, foram aplicadas transformações de $\log x+1$ e raiz quarta ou, alternativamente, aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Após a aplicação da estatística paramétrica e em caso de detecção de diferenças significativas, o teste de comparação múltipla "*post hoc Tukey HSD test*" foi utilizado. No caso da estatística não paramétrica, todas as vezes que a mesma detectou diferenças significativas foi aplicado o teste de comparação múltipla dos *ranks* das médias, baseado no *p*(valor) encontrado. Para todas as análises foi adotado um nível de significância igual a 0,05.

Adicionalmente foram realizadas análises multivariadas: para a análise de MDS (Análise de Ordenação) utilizou-se o cálculo de similaridade de Bray-Curtis (1957), sendo os valores de densidade transformados com $\log (x+1)$. A análise de Similaridade das porcentagens (SIMPER) foi aplicada para indicar quais espécies contribuíram substancialmente para a formação dos grupos definidos pelas análises de cluster e MDS. A ordenação das variáveis abióticas no tempo e no espaço foi feita pela análise de ACP (Análise de componentes principais), sendo os dados padronizados. Para correlacionar a densidade de cianobactérias em relação aos diferentes fatores físico-químicos analisados foi realizada a análise de correlação de Spearman (*r*).

Resultados

Variáveis ambientais

Os índices pluviométricos mensais oscilaram entre 5,7 mm em outubro/2009 (período menos chuvoso) a 637,4 mm em abril/2009 (período chuvoso) (Fig. 2). A precipitação pluviométrica total do ano de 2009 (3144,2 mm) foi maior do que 2010 (2426,3 mm) e do que a média histórica dos últimos 10 anos (1831,2).

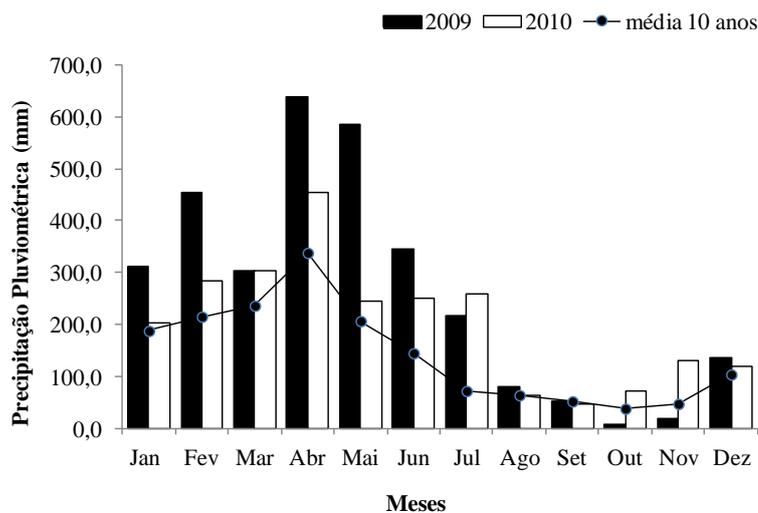


Fig. 2. Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1999–2008 (média histórica) e nos anos de coleta 2009-2010, em Barcarena-PA. Fonte: ANA, (2012).

Os valores da média com os respectivos erros padrão dos diferentes parâmetros físico-químicos são apresentados na Tabela 1. Durante o período estudado não foram observadas diferenças significativas entre as estações de amostragem e os ciclos de maré (enchente e vazante).

Tabela 1. Valores médios e erro padrão das variáveis físico-químicas do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril/2009, julho/2009, abril/2010 e agosto/2010.

Variáveis	Abril 2009		Julho 2009		Abril 2010		Agosto 2010	
	Média	ep	Média	ep	Média	ep	Média	ep
Transparência (cm)	53,33	3,33	58,33	1,67	51,67	3,07	65,00	5,00
Temperatura (°C)	29,39	0,11	29,26	0,12	30,31	0,13	30,74	0,13
pH	6,91	0,07	5,82	0,08	7,52	0,10	7,63	0,12
Salinidade	0,02	0,002	0,01	0,00	0,02	0,003	0,02	0,00
Condut. Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^3$)	37,50	1,06	33,67	0,76	48,50	6,34	50,50	1,38
STD (mg/L)	18,83	0,48	17,00	0,37	24,33	3,15	25,17	0,65
STS (mg/L)	8,17	0,87	9,83	1,82	9,67	2,63	10,83	1,54
Turbidez	8,83	0,83	19,00	1,55	21,00	2,64	16,50	1,38
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,90	0,38	6,59	0,35	6,02	0,28	9,13	0,34
DQO (mg/L)	19,75	1,89	15,17	2,07	13,10	1,13	14,78	1,78
DBO (mg/L)	12,25	1,02	8,67	0,36	6,67	0,88	7,67	0,88
Nitrato (mg/L)	0,17	0,04	0,08	0,01	0,72	0,03	0,63	0,02
Nitrito (mg/L)	0,02	0,01	0,03	0,01	0,003	0,001	<LD*	<LD*
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,03	0,01	0,04	0,003	0,60	0,01	0,51	0,02
Fosfato (mg/L)	0,03	0,002	0,03	0,01	0,19	0,02	0,17	0,02

* Limite de detecção do NO_2^- = 0,002 ppm.

Legenda: STD (Sólidos totais dissolvidos); STS (Sólidos totais em suspensão); DQO (Demanda química de oxigênio) e DBO (Demanda bioquímica de oxigênio).

As variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e todos os íons diferiram significativamente entre os meses e anos.

A temperatura média variou de $29,26 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ (erro padrão) (julho/2009) a $30,74 \pm 0,13^{\circ}\text{C}$ (agosto/2010), com amplitude de variação de $1,48^{\circ}\text{C}$, significativamente maior em abril e agosto/2010 ($F=33,86$; $p<0,05$).

O pH oscilou de ácido a neutro, com médias de $5,82 \pm 0,08$ (julho/2009) a $7,63 \pm 0,12$ (agosto/2010) sendo que em julho foi significativamente menor que abril e agosto/2010 ($H=19,66$; $p<0,05$).

A média da condutividade elétrica oscilou de $33,67 \pm 0,76 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ (julho/2009) a $50,50 \pm 1,38 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ (agosto/2010). Esta variável foi significativamente maior em agosto e menor em abril e em julho/2009 ($H=19,13$; $p<0,05$).

Os sólidos totais dissolvidos apresentaram médias que variaram de $17,00 \pm 0,37 \text{ mg/L}$ (julho/2009) a $25,17 \pm 0,65 \text{ mg/L}$ (agosto/2010), com valores significativamente mais elevados em agosto em relação a abril e julho/2009 ($H=19,39$; $p<0,05$).

Já a demanda bioquímica de oxigênio apresentou médias que oscilaram de $6,67 \pm 0,88 \text{ mg/L}$ (abril/2010) a $12,25 \pm 1,02 \text{ mg/L}$ (abril/2009), com valores significativamente mais elevados em abril/2009 ($F=8,73$; $p<0,05$).

Com relação aos íons, a média de nitrato variou de $0,08 \pm 0,009 \text{ mg/L}$ (julho/2009) a $0,72 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ (abril/2010), com valores significativamente mais elevados em abril/2010 em relação aos meses de abril e julho/2009 ($H=20,29$; $p<0,05$). O nitrito apresentou valores abaixo do limite de detecção do aparelho em agosto/2010, apresentando o maior valor médio $0,03 \pm 0,005 \text{ mg/L}$ em julho/2009, significativamente mais elevado em relação à abril e agosto/2010 ($H=18,12$; $p<0,05$). A média de nitrogênio amoniacal oscilou de $0,03 \pm 0,007 \text{ mg/L}$ (abril/2009) a $0,60 \pm 0,01 \text{ mg/L}$ (abril/2010), também apresentando valores significativamente mais elevados em abril/2010 em relação a abril e julho/2009 ($H=19,03$; $p<0,05$). Já o fosfato apresentou medias que variaram de $0,03 \pm 0,005 \text{ mg/L}$ (julho/2009) a $0,19 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ (abril/2010), com maiores valores registrados em abril e agosto/2010 ($H=17,45$; $p<0,05$).

Quanto à variação anual, a temperatura ($F=78,25$; $p<0,05$), o pH ($H=17,33$; $p<0,05$), a condutividade elétrica ($H=16,39$; $p<0,05$), o STD ($H=16,93$; $p<0,05$), o NO_3^- ($H=17,28$; $p<0,05$), o NH_4 ($H=17,28$; $p<0,05$) e o PO_4^{-3} ($H=17,28$; $p<0,05$) apresentaram padrão similar, tendo sido significativamente mais elevados em 2010, enquanto que a DBO ($F=8,20$; $p<0,05$) e o NO_2^- ($H=17,44$; $p<0,05$) foram maiores em 2009.

Em relação às demais variáveis físico-químicas, a salinidade apresentou variação significativa entre meses ($H=13,85$; $p<0,05$), com abril/2010 significativamente maior que julho/2009, com variação sazonal bem definida ($H=4,00$; $p<0,05$), sendo significativamente mais elevada durante o período chuvoso e entre os anos ($H=13,85$; $p<0,05$), com valores significativamente mais elevados em 2010. A média de julho/2009 foi $0,01 \pm 0,001$, enquanto que para os demais meses foi de 0,02.

O oxigênio dissolvido apresentou médias que oscilaram de $6,02 \pm 0,28$ mg/L (abril/2010) a $9,13 \pm 0,34$ mg/L (agosto/2010), apresentando também uma variação mensal ($F=14,32$; $p<0,05$), sendo os maiores valores registrados em agosto/2010 e durante o período menos chuvoso ($F=4,56$; $p<0,05$).

Águas mais transparentes foram encontradas em agosto ($70,00 \pm 5,00$ cm), enquanto que a menor transparência observada foi de $50,00 \pm 3,07$ cm ocorrendo em abril, ambos durante ano de 2010, apresentando uma variação sazonal definida ($H=6,21$; $p<0,05$), com valores significativamente mais elevados durante o período menos chuvoso.

A média da turbidez variou de $8,83 \pm 0,83$ (abril/2009) a $21,00 \pm 2,64$ (abril/2010), evidenciando valores significativamente menos elevados ($F=13,85$; $p<0,05$) durante abril/2009.

A demanda química de oxigênio apresentou médias que variaram de $13,10 \pm 1,13$ mg/L (abril/2010) a $19,75 \pm 1,89$ mg/L (abril/2009). Os sólidos totais em suspensão apresentaram médias que oscilaram de $8,17 \pm 0,87$ mg/L (abril/2009) a $10,83 \pm 1,54$ mg/L (agosto/2010). Não foram observadas para essas variáveis diferenças significativas em relação aos meses, períodos sazonais, anos, estações de amostragem e ciclo de marés.

Diversidade de Cianobactérias

Ao longo do período estudado, foi registrada a ocorrência de 30 espécies pertencentes às ordens Chroococcales (15 spp.), Oscillatoriales (12 spp.) e Nostocales (3 spp.). Os gêneros *Aphanocapsa* Nägeli e *Microcystis* Kützing ex Lemmermann foram os que apresentaram o maior número de espécies (5) (Quadro 1).

Quadro 1. Cianobactérias presentes no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril/2009, julho/2009, abril/2010 e agosto/2010.

Ordem: CHROOCOCCALES

Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing
Microcystis novacekii (Komárek) Compère
Microcystis protocystis Crow
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek
Microcystis sp.
Aphanocapsa delicatissima West & G.S.West
Aphanocapsa elachista West & G.S.West
Aphanocapsa holsatica (Lemmermann) G.Cronberg & J.Komárek
Aphanocapsa incerta (Lemmermann) Cronberg & Komárek
Aphanocapsa sp.
Merismopedia glauca (Ehrenberg) Kützing
Merismopedia tenuissima Lemmermann
Chroococcus dispersus (Keissler) Lemmermann
Chroococcus distans (G.M.Smith) Komárková-Legnerová & Cronberg
Chroococcus sp.

Ordem: OSCILLATORIALES

Oscillatoria limosa C.Agardh ex Gomont
Oscillatoria perornata Skuja
Oscillatoria sp.1
Oscillatoria sp.2
Pseudanabaena limnetica (Lemmermann) Komárek
Pseudanabaena mucicola (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe
Pseudanabaena sp.
Geitlerinema sp.
Spirulina sp.
Phormidium sp.
Komvophoron sp.1
Komvophoron sp.2

Ordem: NOSTOCALES

Dolichospermum sp.1
Dolichospermum sp.2
 Cianobactéria não identificada

A riqueza específica variou entre cinco (RPA 1 vazante, abril/2009) a 22 espécies (RPA 3, vazante, abril/2010) (Fig. 3). Durante os anos o menor número de espécies ocorreu em 2009 (24 spp.) e o maior em 2010 (27 spp.). Em relação à estação chuvosa foram registradas 28 espécies, enquanto que na estação menos chuvosa foram identificadas 25 espécies.

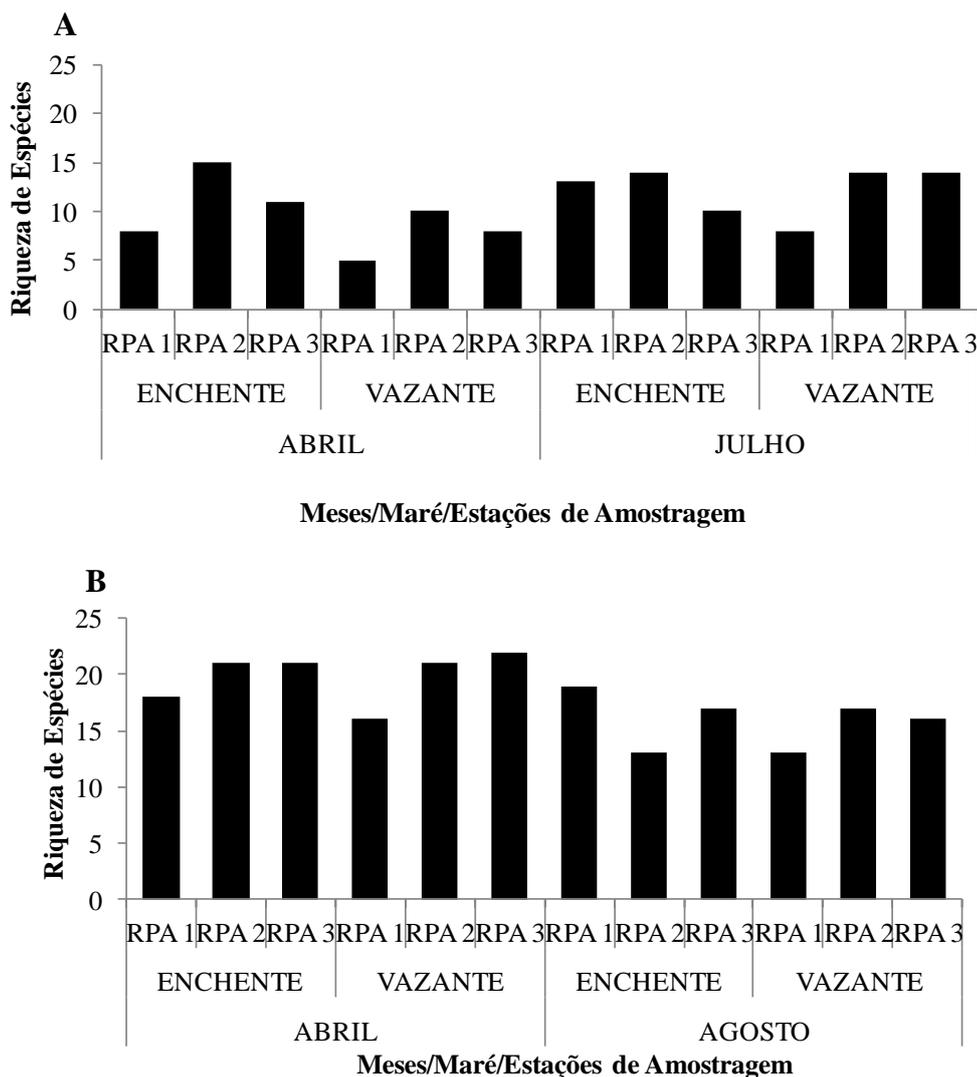


Fig. 3. Riqueza de espécies de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).

Das 30 espécies identificadas, nove ocorreram de forma frequente, oito muito frequentes, sete esporádicas e seis pouco frequentes. As espécies: *Aphanocapsa elachista*, *Dolichospermum* sp.1, *Komvophoron* sp.2, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis protocystis*, *Microcystis wesenbergii*, *Pseudanabaena mucicola* e *Merismopedia tenuissima* se destacaram por serem muito frequentes, sendo a última presente na totalidade.

Em relação à abundância relativa, a espécie *Pseudanabaena mucicola* foi à única cuja abundância oscilou entre dominante, abundante e pouco abundante estando bem representada durante o ano de 2009, enquanto que a espécie *Microcystis protocystis* foi a única cuja abundância oscilou entre abundante e pouco abundante estando bem representada durante o ano de 2010. Já *Aphanocapsa holsatica*, *Aphanocapsa* sp., *Dolichospermum* sp.1, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wesenbergii*, *Microcystis* sp., *Merismopedia tenuissima* e

Pseudanabaena sp. se destacaram por serem pouco abundantes em pelo menos uma estação de coleta (Fig. 4A, 4B).

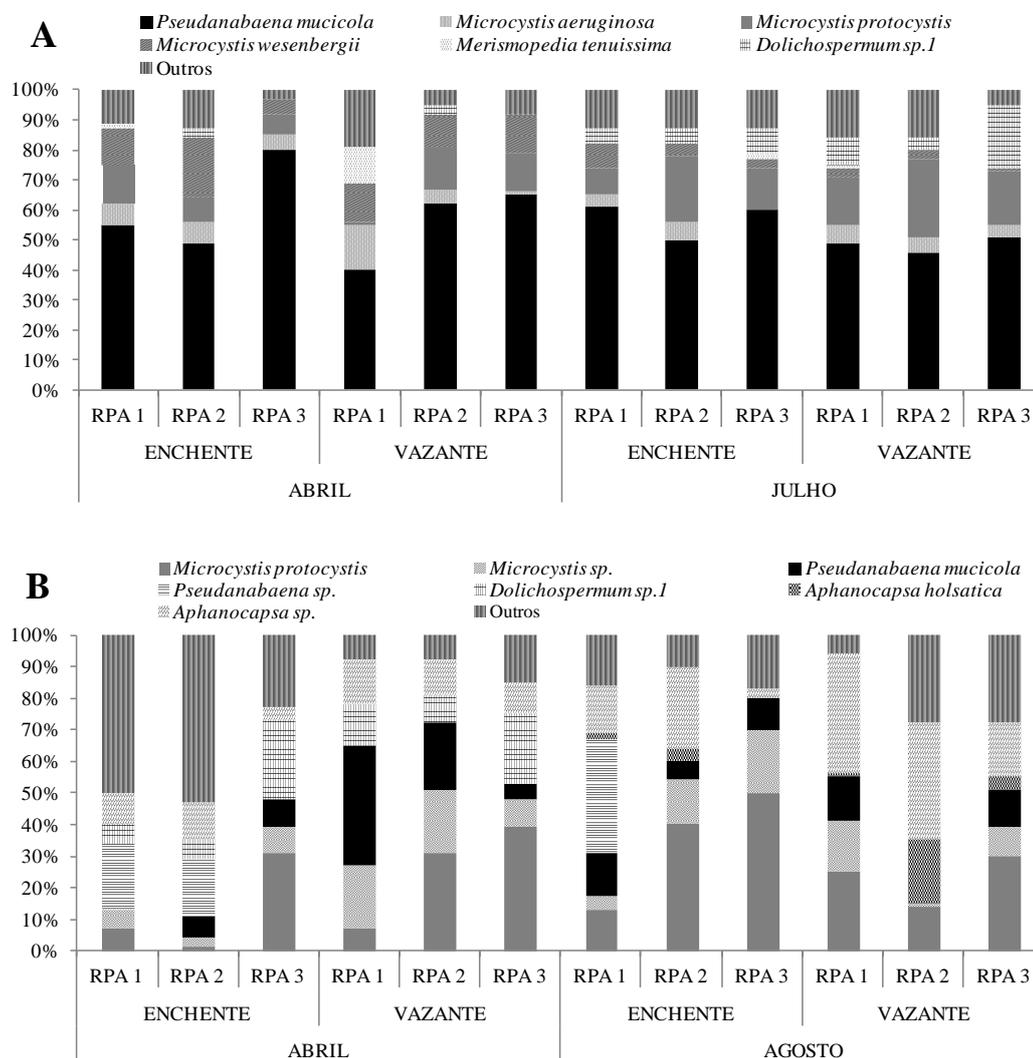


Fig. 4. Abundância relativa das espécies de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).

Densidade de Cianobactérias

A densidade total de cianobactérias variou de $0,06 \times 10^3$ cel/mL em abril/2009 (RPA 1 vazante) a $2,67 \times 10^3$ cel/mL em agosto/2010 (RPA 2 vazante) (Fig. 5A, 5B). A maior densidade ocorreu em agosto/2010 (média= $1508,33 \pm 306,58$ cel/mL), significativamente maior que abril/2009 (média= $203 \pm 54,45$ cel/mL), não diferindo dos outros meses ($H=14,58$; $p<0,05$). Foi observada também uma variação sazonal bem definida ($H=7,36$; $p<0,05$), com maior densidade no período menos chuvoso (média= $1049,91 \pm 206,19$ cel/mL) e os menores no período chuvoso (média= $428,20 \pm 102,49$ cel/mL). Observou-se também uma variação

anual ($H=7,05$; $p<0,05$), com valores significativamente mais elevados no ano de 2010 (média= $1080,86 \pm 208,34$ cel/mL), enquanto que em 2009 a média foi de $397,24 \pm 77,06$ cel/mL.

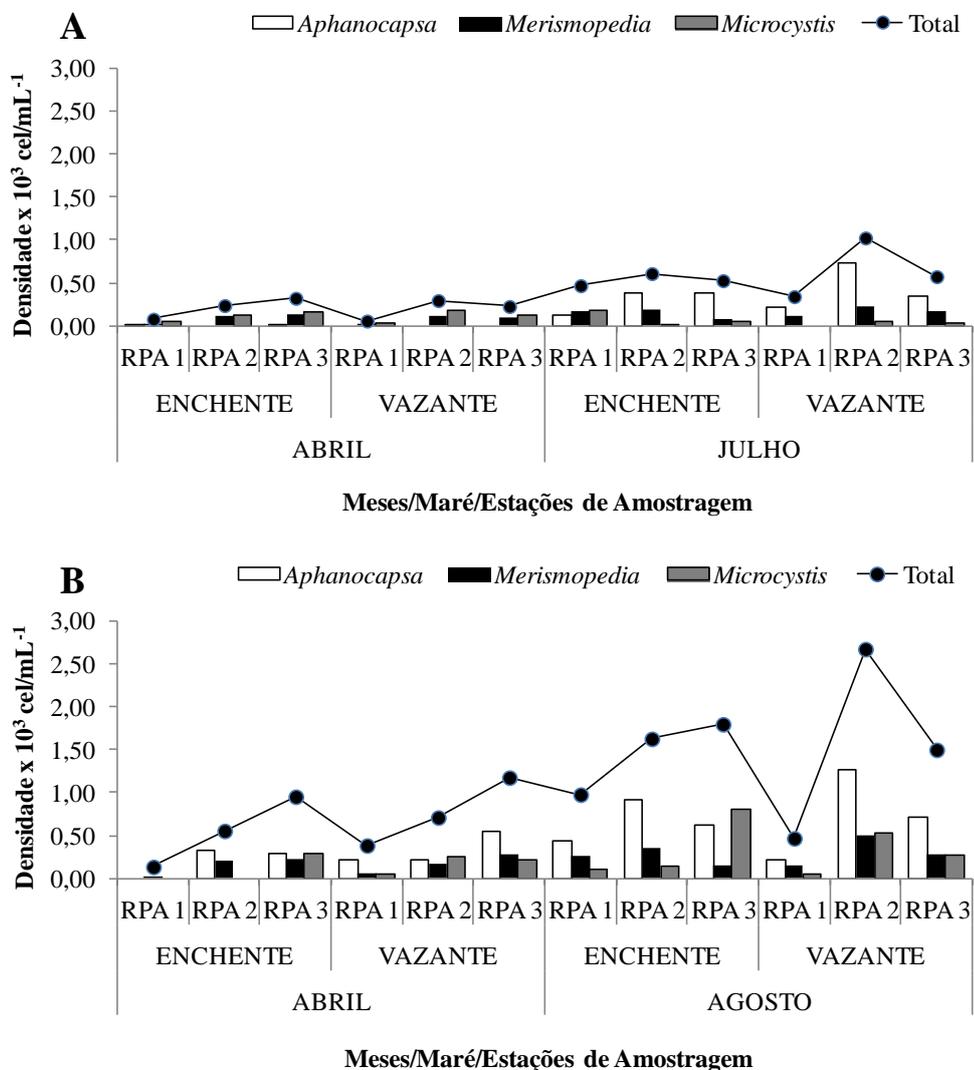


Fig. 5. Densidade de cianobactérias mais frequentes (*Aphanocapsa*, *Merismopedia* e *Microcystis*) e total no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).

Entre os gêneros que mais contribuíram para a densidade total estão *Aphanocapsa* (44,98%) com ausência em abril/2009 (RPA 1, vazante; RPA 2, enchente/vazante e RPA 3, vazante) e abril/2010 (RPA 1, enchente) a $1,27 \times 10^3$ cel/mL em agosto/2010 (RPA 2, vazante).

O segundo gênero mais representativo foi *Merismopedia* (22,96%) que variou de $0,01 \times 10^3$ cel/mL em abril/2010 (RPA 1, enchente) a $0,51 \times 10^3$ cel/mL em agosto/2010 (RPA 2, vazante).

O terceiro mais representativo foi *Microcystis* (21,02%), ausente em abril/2010 (RPA 1 e 2, enchente) a $0,81 \times 10^3$ cel/mL em agosto/2010 (RPA 3, enchente).

Clorofila-*a*

As concentrações de clorofila-*a* oscilaram entre $3,05 \mu\text{g.L}^{-1}$ (RPA 3, enchente) a $18,55 \mu\text{g.L}^{-1}$ (RPA 1, enchente), ambos em abril/2010 (Fig. 6A, 6B).

Foram observadas diferenças significativas desta variável somente em relação às estações de coleta ($H=10,97$; $p<0,05$), sendo a concentração na estação RPA 1 (montante do complexo industrial) (média= $11,33 \pm 2,31 \mu\text{g.L}^{-1}$) significativamente maior que na RPA 3 (jusante do complexo industrial) (média= $4,03 \pm 0,51 \mu\text{g.L}^{-1}$), mas não diferente da RPA 2 (em frente ao complexo industrial).

Diversidade e Equitabilidade

A diversidade (H') do Rio Pará apresentou valor mínimo de $0,87 \text{ bits.cel}^{-1}$ (RPA 1, enchente) e máximo de $3,09 \text{ bits.cel}^{-1}$ (RPA 3 vazante), ambos em abril/2010 (Fig. 7A). Foi observada alta diversidade em 4,17%, diversidade média em 54,17%, baixa diversidade em 37,50% e muito baixa diversidade em 4,17% das amostras.

Os valores de diversidade foram significativamente mais elevados durante o ano de 2010 ($F=12,27$; $p<0,05$) com agosto/2010 ($F=4,50$; $p<0,05$) tendo índice significativamente maior que o de abril e o de julho de 2009.

Em relação à equitabilidade (J'), o menor valor registrado foi de 0,37 (RPA 1 enchente, abril/2010) e o maior foi de 0,94 (RPA 2 vazante, abril/2009) (Fig. 7B).

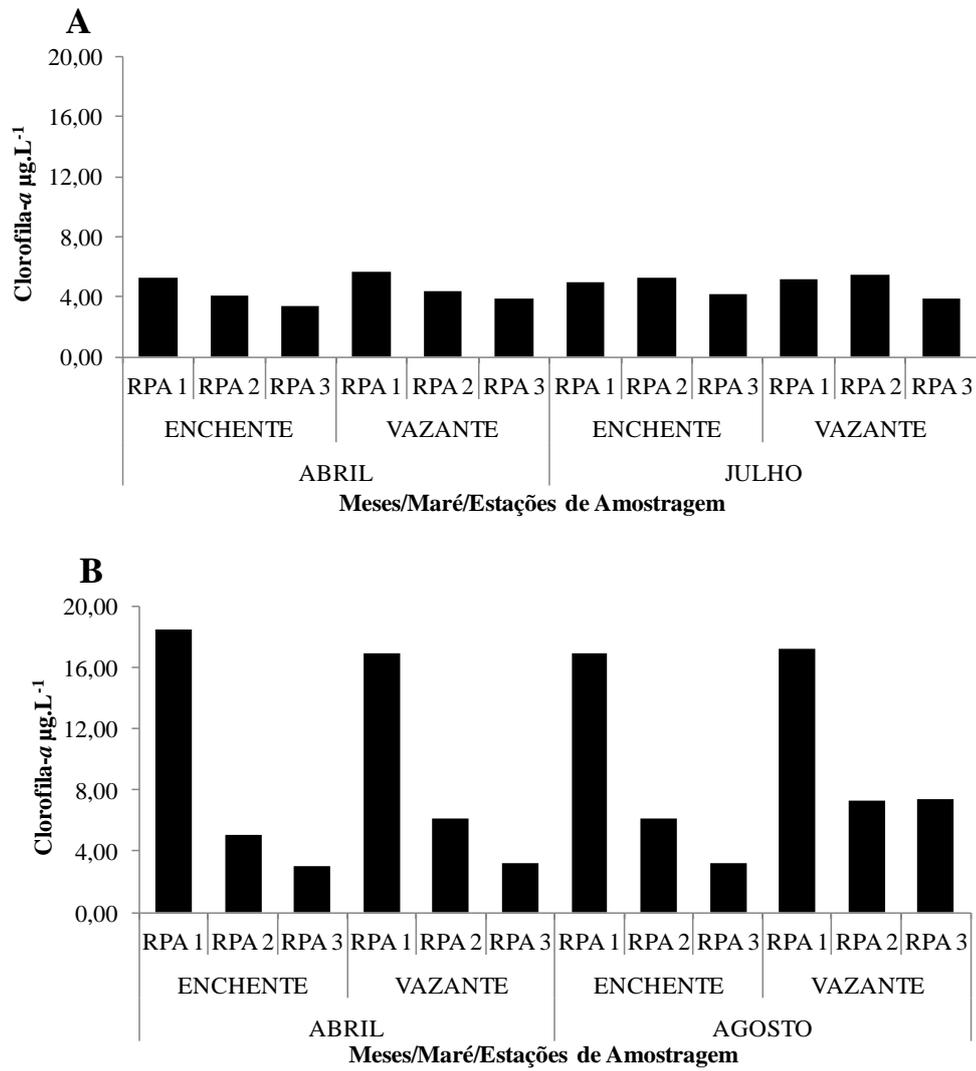


Fig. 6. Valores de biomassa (clorofila-*a* µg.L⁻¹) do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).

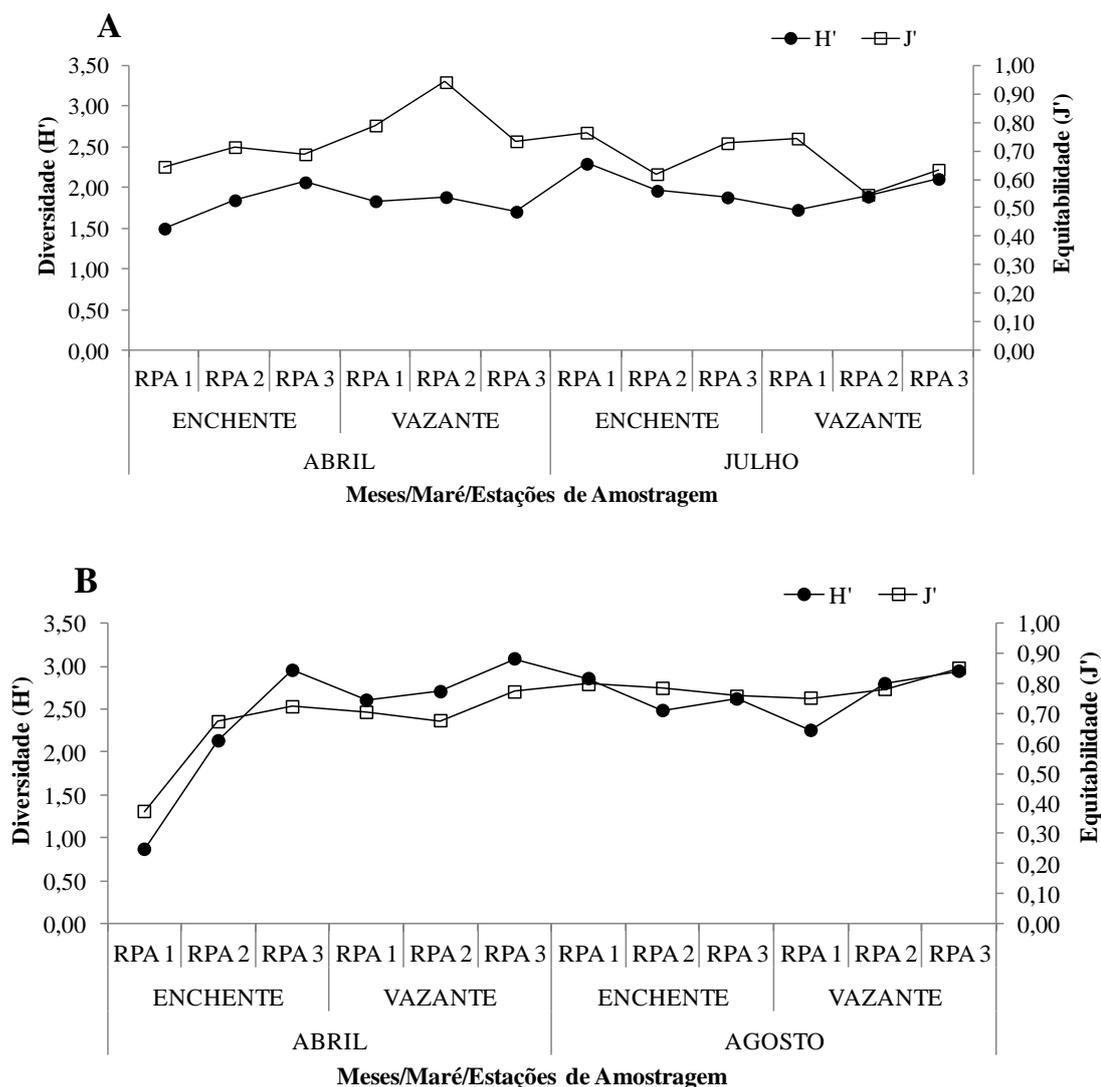


Fig. 7. Diversidade específica (H') e Equitabilidade (J') de cianobactérias no Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril e julho de 2009 (A) e em abril e agosto de 2010 (B).

Análises Multivariadas

A análise de ordenação (MDS) permitiu evidenciar diferenças temporais na estrutura da comunidade de cianobactérias, com a formação de três grupos, com stress de 0,16 (Fig. 8).

O grupo 1 incluiu amostras de abril/2009 (similaridade de 56%), sendo a espécie *Merismopedia tenuissima* (SIMPER (Sim/SD) = 4,89) e *Microcystis wesenbergii* (SIMPER (Sim/SD) = 1,30) as principais responsáveis pela formação deste grupo.

O grupo 2 reuniu amostras de julho/2009 (similaridade de 73,9%), sendo que além da *Merismopedia tenuissima* (SIMPER (Sim/SD) = 10,63), ocorreram *Aphanocapsa elachista*

(SIMPER (Sim/SD) =6,74) e *Aphanocapsa incerta* (SIMPER (Sim/SD) =6,68) como as principais responsáveis pela formação deste grupo.

O grupo 3 reuniu amostras do ano de 2010 com 60,8% de similaridade, apresentando as espécies *Merismopedia tenuissima* (SIMPER (Sim/SD) =5,20), *Pseudanabaena* sp.1 (SIMPER (Sim/SD) =2,82) e *Komvophoron* sp.2 (SIMPER (Sim/SD) =2,07) como as principais responsáveis pela formação deste grupo.

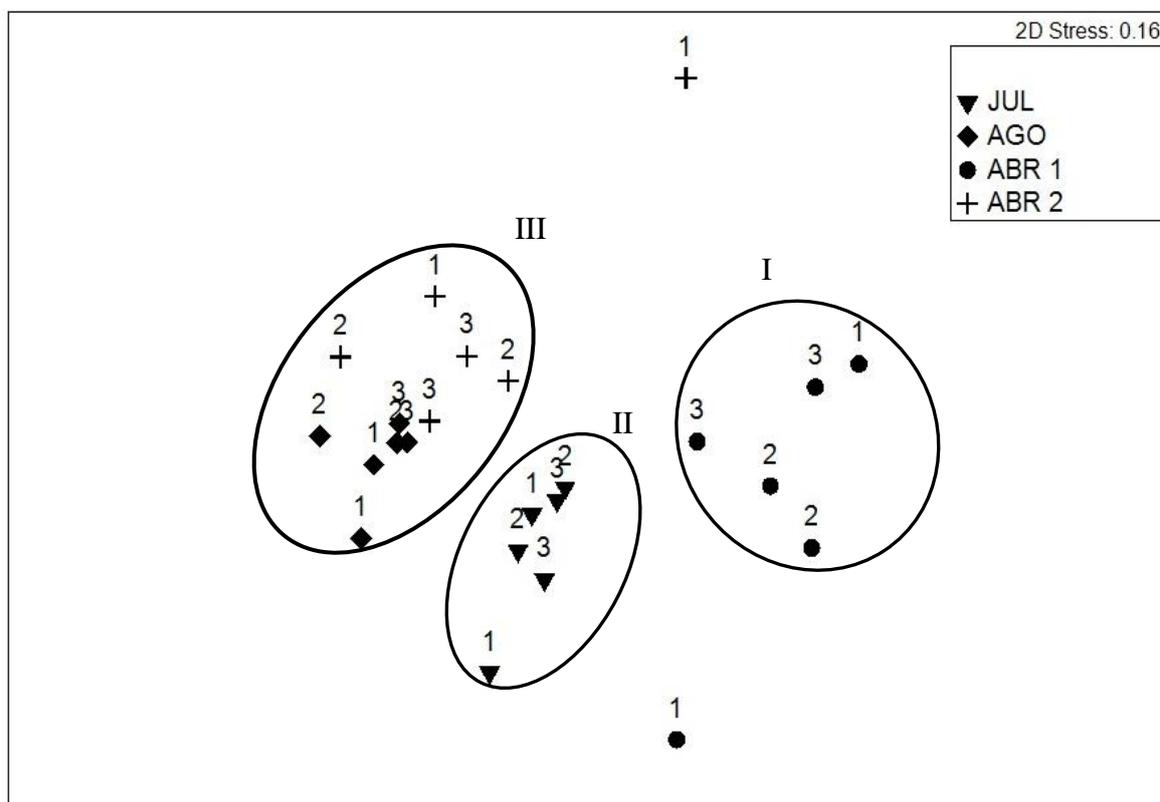


Fig. 8. Análise de MDS baseada na densidade das espécies de cianobactérias do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril (ABR 1) e julho de 2009 e em abril (ABR 2) e agosto de 2010.

A análise de componentes principais (ACP) mostrou que os dois primeiros componentes explicaram juntos (68%) da variação dos dados. O componente 1 foi definido pela variação interanual, uma vez que nitrito (coeficiente: 0,27), demanda bioquímica de oxigênio (coeficiente: 0,24) e demanda química de oxigênio (coeficiente: 0,11) separaram os meses de abril e julho de 2009 dos meses de abril e agosto de 2010.

O componente 2 foi definido pela salinidade (coeficiente: 0,23) e condutividade elétrica (coeficiente: 0,23) e sólidos totais dissolvidos (coeficiente: 0,23) (Fig. 9).

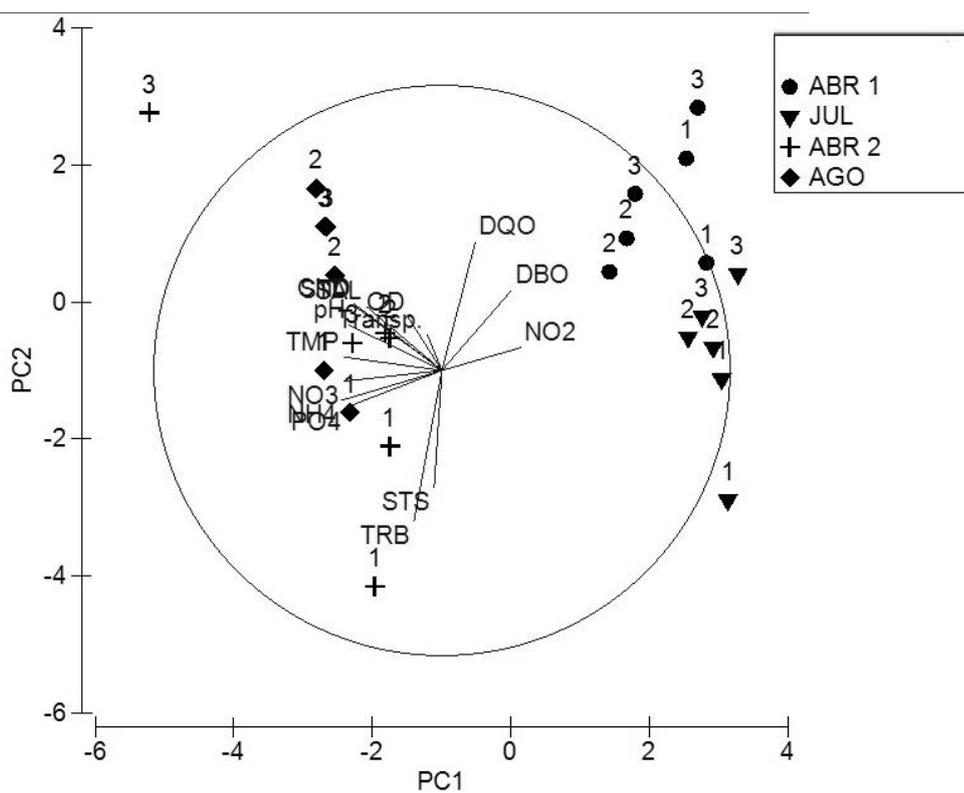


Fig. 9. Análise de componentes principais para as variáveis ambientais do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril (ABR 1) e julho de 2009 e em abril (ABR 2) e agosto de 2010.

Coeficiente de correlação de Spearman

Uma correlação positiva entre a densidade de cianobactérias e a temperatura ($r= 0,66$) a condutividade elétrica ($r= 0,60$), os sólidos totais dissolvidos ($r= 0,60$), o pH ($r= 0,55$) e o nitrogênio amoniacal ($r= 0,45$) foi observada. Houve também uma correlação negativa entre a densidade e a demanda bioquímica de oxigênio ($r= -0,60$) (Tabela 3).

Tabela 2. Resultados da Correlação de Spearman entre a densidade de cianobactérias e as variáveis físico-químicas do Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil) em abril/2009, julho/2009, abril/2010 e agosto/2010.

Densidade e Variáveis	N	Spearman R	t(N-2)	P
Transparência	24	0,579	3,326	0,006
Temperatura	24	0,661	4,133	<0,0001
pH	24	0,547	3,068	0,006
Condutividade elétrica	24	0,603	3,543	0,002
Sólidos totais dissolvidos	24	0,602	3,535	0,002
Sólidos totais em suspensão	24	-0,148	-0,702	0,490
Salinidade	24	0,238	1,148	0,263
Turbidez	24	0,131	0,621	0,541
Oxigênio dissolvido	24	0,403	2,068	0,051
Demanda química de oxigênio	24	-0,056	-0,262	0,796
Demanda bioquímica de oxigênio	18	-0,601	-3,010	0,008
Nitrato	24	0,313	1,546	0,136
Nitrito	16	-0,250	-0,966	0,350
Nitrogênio amoniacal	24	0,445	2,330	0,029
Fosfato	24	0,371	1,876	0,074

Discussão

A precipitação pluviométrica gera perturbações nos corpos d'água, modificando características físicas e químicas, as quais podem influenciar a eutrofização e conseqüentemente possíveis ocorrências de florações de cianobactérias (Reichwaldt & Ghadouani, 2012).

No presente estudo foi possível observar um padrão interanual de chuvas influenciando a maioria das variáveis físico-químicas no estuário do Rio Pará, sendo possível observar além das variações significativas mensais também as anuais, este comportamento também foi encontrado em outros ecossistemas estuarinos amazônicos, em que a precipitação é apontada como um dos principais fatores climatológicos responsáveis pela variação temporal de parâmetros físico-químicos e também dos biológicos como observado nos trabalhos de Costa et al., 2011a; Costa et al., 2011b; Matos et al., 2011 e Pinheiro et al., 2011.

Em relação às cianobactérias, os resultados desse estudo demonstraram que as Chroococcales constituíram o grupo de maior riqueza taxonômica e densidade de organismos no estuário do Rio Pará durante todo o período de estudo. Nesta ordem estão inclusas as formas unicelulares ou coloniais que nunca formam filamentos verdadeiros e que apesar de aparentemente simples, possuem grande complexidade (Komárek & Anagnostidis, 1999; Sant'Anna et al., 2006). Florações tóxicas com espécies pertencentes a essa ordem já foram observadas em diversas regiões estuarinas (Paerl, 1988; Selner, 1988; Matthiensen et al., 1999; Rocha et al. 2002; Lehman et al., 2008; Lehman et al., 2010), sendo que a ocorrência destas espécies no estuário amazônico é um alerta ao potencial risco à saúde humana, sendo esta informação importante para os gestores municipais.

Entre os organismos identificados, *Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Oscillatoria*, *Pseudanabaena* (Oudra et al.; 2002), *Phormidium* (Mez et al., 1997) e *Dolichospermum* já foram descritos como potenciais produtores de toxina. Vale ressaltar que no estuário do Rio Pará, espécies desses gêneros se destacaram em termos de frequência de ocorrência e abundância relativa durante o período de estudo.

Das espécies identificadas *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère, *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) G.Cronberg & J.Komárek, *Chroococcus distans* (G.M.Smith) Komárková-Legnerová & Cronberg, *Oscillatoria perornata* Skuja e *Pseudanabaena mucicola* (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe, além do gênero *Komvophoron* Anagnostidis & Komárek constituem novas ocorrências para a Região Norte, enquanto que o gênero

Geitlerinema Anagnostidis & Komárek, constitui nova ocorrência para as águas do Estado do Pará.

De uma forma geral, foi possível observar que a composição específica e a frequência de ocorrência foram semelhantes entre os anos ou períodos sazonais. No entanto, abundância relativa teve variação anual, sendo *Pseudanabaena mucicola* a espécie que esteve melhor representada em 2009 tendo sua ocorrência sempre associada à mucilagem de outras espécies, entre elas as do gênero *Microcystis*. Já *Microcystis protocystis* esteve melhor representada em 2010 fazendo parte das três espécies consideradas as mais comuns e formadoras de florações no Brasil (Sant'Anna & Azevedo, 2000; Komárek et al., 2002).

No estuário do Rio Pará, observou-se uma relação inversa da densidade planctônica com a precipitação, sendo encontradas as maiores densidades durante o mês, o ano e período sazonal onde foram observadas as menores precipitações. Padrão semelhante a este foi observado por Koenig et al., 2002; Koenig et al., 2003 em uma região portuária em Pernambuco. Porém divergindo do que foi encontrado por Lacerda et al., 2004; Leão et al., 2008; Matos et al., 2011; Costa et al., 2011b em outras regiões estuarinas que observaram uma relação direta da densidade com a maior ocorrência de chuvas.

Durante o período de estudo, este ambiente não foi caracterizado pelo fenômeno das florações, uma vez que os valores observados para densidade estiveram abaixo dos valores preconizados pela resolução CONAMA (357/2005) atualizada na versão resolução CONAMA 430/2011 para águas doces de classe 2, cujo limite é de até 50.000 cel/mL.

Entre os três gêneros (*Aphanocapsa*, *Merismopedia* e *Microcystis*) que mais contribuíram para a densidade encontrada no estuário do Rio Pará *Microcystis* pode ser considerado um dos mais associados a florações no Brasil, as quais causam gosto e odor à água, diminuem a concentração do oxigênio dissolvido e impedem a recreação. Estas podem produzir toxinas denominadas de microcistinas que causam graves problemas hepáticos como o câncer e tumores em humanos e nos organismos aquáticos (Carmichael, 1995).

Contrários aos resultados de densidade, os valores de clorofila-*a* não apresentaram variação anual e nem variação sazonal definida. É importante destacar que este pigmento não é exclusivo deste grupo, sendo o pigmento fotossintético presente em todas as algas (Lee, 2008). Portanto os resultados encontrados parecem refletir a dinâmica da comunidade fitoplanctônica existentes na área de estudo.

Com relação à diversidade das espécies a variação anual encontrada se deve aos elevados valores de densidade apresentados pelos gêneros *Aphanocapsa* e *Merismopedia* que contribuíram para a redução deste índice durante o ano de 2009, enquanto que em 2010 a

densidade das cianobactérias foi composta principalmente por um maior número de espécies pertencendo principalmente aos gêneros *Aphanocapsa*, *Merismopedia*, *Microcystis* e *Pseudanabaena*.

As análises multivariadas (MDS e PCA) ratificaram a existência da variação interanual e as correlações confirmaram que a dinâmica de cianobactérias foi influenciada principalmente pelos altos valores de transparência, temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, nitrogênio amoniacal e menor demanda bioquímica de oxigênio observadas durante 2010. A influência desses fatores sobre a comunidade de cianobactérias já está bem estabelecida na literatura sendo inúmeros os trabalhos que demonstram que muitas espécies estão fisiologicamente adaptadas a essas condições (Reynolds and Walsby, 1975; Branco et al., 2001; Shapiro, 1990; Paerl et al., 2011, Esteves, 2011).

Apesar de não terem sido observadas florações durante o período de estudo, o Estuário do Rio Pará merece um constante monitoramento uma vez que as espécies potencialmente tóxicas foram importantes quali-quantitativamente e que na região a população do entorno depende quase que exclusivamente dessas águas para a sobrevivência, seja para consumo, seja para a captura de recursos pesqueiros para subsistência ou recreação.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Mestrado, ao Instituto Evandro Chagas pela infra-estrutura, à Dra. Célia Leite Sant'Anna pelo auxílio na identificação e confirmação das espécies e ao “Programa de Monitoramento e Controle em Saúde e Meio Ambiente em Áreas Industriais e Portuárias dos Municípios de Abaetetuba e Barcarena, estado do Pará”, o qual é resultante do cumprimento de obrigação ambiental assumida pela empresa Imerys Rio Capim Caulim em Termo de Ajustamento de Conduta lavrado perante o Ministério Público Estadual do Pará.

Referências

- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Association, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Ana (Agência Nacional de Águas), 2012. Intensidade pluviométrica no município de Barcarena/PA. [S.l.: s.n.].
- Branco, L. H. Z.; Necchi, O. J. & Branco, C. C. Z. 2001. Ecological distribution of Cyanophyceae in lotic ecosystems of São Paulo State. *Revista Brasileira de Botânica* 24: 99-108.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA, nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em 09 jan. 2013.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Artigo em PDF. Acesso em 10 jan. 2013.
- Bray, J. R. & J. T. Curtis, 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325-349.
- Carmichael, W. W., 1995. Toxic Microcystis in the environment. In Watanabe, M. F., K. Harada, W. W. Carmichael & H. Fujiki (eds), *Toxic Microcystis*. CRC Press: New York.
- Carrillo, A., P. Huq, M. C. Pérez & J. M. Redondo, 2008. Spatial and temporal variation of picoplanktic cyanobacteria population in a density stratified estuary, and the introduction of a cellular gradient number. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 76: 153-162.
- Costa (a), R. A. M, P. Atique, K. G. Costa & L. C. C. Pereira, 2011. Seasonal and spatial variation in hydrological parameters and microzooplankton communities in an Amazonian estuary. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 64: 354-358.
- Costa (b), V. B., E. B. Sousa, S. C. C. Pinheiro, L. C. C. Pereira & R. M. Costa, 2011. Effects of a high energy coastal environment on the structure and dynamics of phytoplankton communities (Brazilian Amazon littoral). *Journal of Coastal Research, Special Issue* 64: 354-358.
- Esteves, F. A., 2011. *Fundamentos de Limnologia*. 3ed. Rio de Janeiro: Interciência. 826p.
- Falconer, I. R., 2005. *Cyanobacterial toxins of drinking water supplies*. USA: CRC Press, Boca Raton. 279p.
- Gregório, A. M. S. & A. C. Mendes, 2009. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). *Continental Shelf Research* 29: 609-618.
- Koening, M. L., E. Eskinazi-Leça, S. Neumann-Leitão & S. J. Macêdo, 2002. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no Estuário do Rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). *Acta Botanica Brasilica* 16: 407-420.
- Koening, M. L., E. Eskinazi-Leça, S. Neumann-Leitão & S. J. Macêdo, 2003. Impacts of the construction of the Port of Suape on Phytoplankton in the Ipojuca River Estuary, (Pernambuco-Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46: 73-81.

- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4: Nostocales. *Algological Studies* 56: 247-345.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 1999. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales. In: H. Ettl, G. Gartner, H. Heynig, D Mollenhauer (eds), *Süßwasserflora Von Mitteleuropa Band 19/1*. Stuttgart: Gustav Fisher.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 2005. Cyanoprocaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales. In: Büdel B.; Krienitz L.; Gärtner G.; Schagerl M. (eds), *Süßwasserflora Von Mitteleuropa 19/2*. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Komárek, J., M. T. P. Azevedo, J. K. Legnerová, C. L. Sant'Anna & P. A. C. Senna, 2002. Two common *Microcystis* species (Chroococcales, Cyanobacteria) from tropical America, including *M. panniformis* sp.nov. *Cryptogamie Algologie* 23:159-177.
- Lacerda, S. R., M. L. Koenig, S. Neumann-Leitão & M. J. Flores-Montes, 2004. Phytoplankton nyctemeral variation at a tropical River Estuary (Itamaracá – Pernambuco – Brazil). *Brazilian Journal Biology*, 64: 81-94.
- Leão, B. M., J. Z. O. Passavante, M. G. G. Silva-Cunha & M. F. Santiago, 2008. Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 22: 711-722.
- Lee, R. E., 2008. *Phycology*. 4th. New York: Cambridge University Press. 547p.
- Lehman, P. W., G. Boyer, M. Satchwell, S. Waller, 2008. The influence of environmental conditions on the seasonal variation of *Microcystis* cell density and microcystins concentration in San Francisco Estuary. *Hydrobiologia* 600:187–204.
- Lehman, P. W., S. J. Teh, G. L. Boyer, M. L. Nobriga, E. Bass & C. Hogle, 2010. Initial impacts of *Microcystis aeruginosa* blooms on the aquatic food web in the San Francisco Estuary. *Hydrobiologia* 637: 229–248.
- Lima, M. O., E. C. O. Santos, I. M. Jesus, A. C. Medeiros, K. C. F. Faial & C. N. Alves, 2011. Assessment of surface water in two Amazonian rivers impacted by industrial wastewater, Barcarena City, Pará State (Brazil). *Journal of the Brazilian Chemical Society* 22: 1493-1504.
- Lobo, E. & G. Leighton, 1986. Estructuras Comunitarias de las Fitocenosis Planctónicas de los Sistemas de Desembocaduras de Rios y Esteros de la Zona Central de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 22: 1-29.
- Mateucci, S. D. & A. Colma, 1982. La Metodología para el Estudio de la Vegetación. *Collección de Monografías Científicas. Série Biología* 22: 1-168.
- Matos, J. B., D. K. L. Sodré, K. G. Costa, L. C. C. Pereira & R. M. Costa, 2011. Spatial and temporal variation in the composition and biomass of phytoplankton in an Amazonian estuary. *Journal of Coastal Research, Special Issue* 64: 1525-1529.
- Matthiensen, A., J. S. Yunes, & G. A. Codd, 1999. Ocorrência, distribui o e toxicidade de cianobactérias no estuário da lagoa dos Patos, RS. *Revista Brasileira de Biologia*, 59:1-15.
- Mcqueen, D. J. & D. R. S. Lean, 1987. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratios on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44: 598–604.
- Mez, K., K. Beattie, G. Codd, K. Hanselmann, B. Hauser, H. Naegeli & H. Preisig, 1997. Identification of a microcystin in benthic cyanobacteria linked to cattle deaths on alpine pastures in Switzerland. *European Journal Phycology* 32: 111–117.

- Moraes, B. C., J. M. N. Costa, A. C. L. Costa & M. H. Costa, 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica* 35: 207-214.
- Nittrouer, C. A., D. J. Demaster, A. G. Figueiredo & J. M. Rine, 1991. AMASSEDS: an interdisciplinary investigation of a complex coastal environment. *Oceanography* 4: 3-7.
- Orr, P. T., G. J. Jones & G. B. Douglas, 2004. Response of cultured *Microcystis aeruginosa* from the Swan River, Australia, to elevated salt concentration and consequences for bloom and toxin management in estuaries. *Marine and Freshwater Research* 55: 277–283.
- Oudra, B., M. Loudiki, V. Vasconcelos, B. Sabour, B. Sbiyyaa, K. Oufdou & N. Mezrioul, 2002. Detection and quantification of microcystins from cyanobacteria strain isolated from reservoirs and ponds in Morocco. *Environmental Technology* 17: 32–39.
- Paerl, H. W., 1988. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters. *Limnology and Oceanography* 33: 823–847.
- Paerl, H.W., N. S. Hall & E. S. Calandrino, 2011. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of the Total Environment* 409 (10), 1739-1745.
- Parsons, T. R. & J. D. H. Strickland, 1963. Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine Plankton Pigments with Revised Equations of Ascertaining Chlorophyll α and Carotenoids. *Journal of Marine Research* 21: 155-163.
- Pielou, E. C., 1977. *Mathematical Ecology*. New York: Wiley. 385p.
- Pinheiro, S. C. C., N. R. Leite, V. B. Costa, K. G. Costa, L. C. C. Pereira & R. M. Costa, 2011. Spatial-temporal influence of hydrological variables on the diversity and abundance of copepods on an equatorial macrotidal beach (Brazilian Amazon). *Journal of Coastal Research*, 64: 425-429.
- Reichwaldt, E. S. & A. Ghadouani, 2012. Effects of rainfall patterns on toxic cyanobacterial blooms in a changing climate: Between simplistic scenarios and complex dynamics. *Water Research* 46: 1372-1393.
- Reynolds, C. S. & A. E. Walsby, 1975. Water-blooms. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 50 (4): 437-481.
- Rocha, C., H. Galvão & A. Barbosa, 2002. Role of transient silicon limitation in the development of cyanobacteria blooms in the Guadiana estuary, south-western Iberia. *Marine Ecology Progress Series* 228: 35–45.
- Sant’Anna, C. L., M. T. P. Azevedo, L. F. Agujaro, M. C. Carvalho, L. R. Carvalho & R. C. R. Souza, *Manual Ilustrado para Identificação e Contagem de Cianobactérias Planctônicas de Águas Continentais Brasileiras*. Rio de Janeiro: Interciência. Sociedade Brasileira de Ficologia-SBFic.
- Sant’Anna, C. L. & M. T. P. Azevedo, 2000. Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil. *Nova Hedwigia* 71: 359-385.
- Santos, M. L. S., C. Medeiros, K. Muniz, F. A. N. Feitosa, R. Schwamborn & S. J. Macêdo, 2008. Influence of the Amazon and Pará rivers on water composition and phytoplankton biomass on the adjacent shelf. *Journal of Coastal Research* 24: 585–593.
- Sellner, K. G., R. V. Lacouture & K. G. Parlish, 1988. Effect of increasing salinity on a cyanobacteria bloom in the Potomac River Estuary. *Journal of Plankton Research* 10: 49–61.

Shannon, C. E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bulletin of System Tecnology Journal* 27: 379-423.

SHAPIRO, J. 1990. Currents beliefs regarding dominance by blue-greens: the case of the importance of CO₂ and pH. *Verhandlungen des Internationalen Vereinigung für Theoretsche und Angewandte Limnologie* 24: 38-54.

Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommung der Quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie* 9: 1-38.

Visser, P. M., B. W. Ibelings, L. R. Mur & A. E. Walsby, 2005. The ecophysiology of the harmful cyanobaterium *Microcystis*. In: J. Huisman, H.C.P. Matthijs and P.M. Visser (eds.), *Harmful Cyanobacteria*: 109-142.

CAPÍTULO 2

**DIVERSIDADE E DENSIDADE DA COMUNIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM
PEQUENAS DRENAGENS INFLUENCIADAS POR DEJETOS INDUSTRIAIS E
ÁREA PORTUÁRIA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Este capítulo foi redigido segundo as normas do periódico Hydrobiologia

DIVERSIDADE E DENSIDADE DA COMUNIDADE DE CIANOBACTÉRIAS EM PEQUENAS DRENAGENS INFLUENCIADAS POR DEJETOS INDUSTRIAIS E ÁREA PORTUÁRIA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Resumo – Estudos com a comunidade de cianobactérias foram realizados em cinco drenagens de uma Área Portuária e Industrial (Amazônia, Brasil), visando conhecer a biodiversidade, a distribuição espaço-temporal e o efeito de algumas variáveis ambientais sobre a abundância das espécies durante os meses de janeiro e abril (período chuvoso) e julho e outubro (período menos chuvoso). As análises revelaram a ocorrência de 31 espécies com o predomínio da Ordem Oscillatoriales em termos de riqueza e da Ordem Chroococcales (*Aphanocapsa*, *Merismopedia* e *Microcystis*) em frequência de ocorrência e densidade. Foram registradas espécies descritas como potenciais produtoras de toxina, além de novas ocorrências para a região. A densidade de cianobactérias e clorofila-*a* apresentaram apenas variação temporal significativa com valores mais elevados em outubro, coincidindo com períodos de menor precipitação pluviométrica. As correlações mostraram que os valores de densidade estiveram positivamente relacionados com as variáveis temperatura, pH, condutividade elétrica e salinidade e que o regime pluviométrico indiretamente também influenciou na dinâmica desta comunidade.

Palavras-chave: Chroococcales, ecologia, Oscillatoriales, Plâncton.

Introdução

As cianobactérias são importantes produtores primários dos ecossistemas aquáticos, nos quais desempenham um importante papel nos processos funcionais do ecossistema e na ciclagem de nutrientes, através da produção primária de matéria orgânica e da fixação biológica de nitrogênio por algumas espécies diazotróficas (Lee, 2008; Ferrão-Fillho et al., 2009; Esteves, 2011). Exibem uma grande diversidade morfológica, estão presentes em diversos ambientes, sejam estes dulcícolas, salobros, marinhos e terrestres (Sant'Anna et al., 2006; Calijuri et al., 2006) e seu crescimento é associado a interação de um conjunto de fatores, principalmente os ambientais (Reynolds, 1987; Shapiro, 1990).

As cianobactérias têm recebido maior atenção dentro da comunidade planctônica pelo fato de muitos de seus gêneros e espécies serem capazes de formar florações e produzirem toxinas. Ao dominar o ecossistema aquático podem ocasionar a diminuição significativa da riqueza e da diversidade das demais espécies fitoplanctônicas (Paerl et al., 2001) e outros grupos de consumidores, além de alterar a qualidade da água e causar danos para a saúde humana (Sant'Anna et al., 2006; Calijuri et al., 2006; Molica & Azevedo, 2009).

Nos ecossistemas aquáticos amazônicos, mais precisamente no Estado do Pará, já foram reportados casos de florações tóxicas para o Estado Vieira et al. (2003, 2005) e Sá et al., 2010, mas ainda são poucos os estudos voltados exclusivamente à comunidade de cianobactérias, sua composição florística, densidade e correlação com as variáveis ambientais. Fato este que justifica a realização de estudos que visem contribuir para o conhecimento acerca da estrutura da comunidade de cianobactérias na região amazônica.

A área de estudo além de ser região portuária, destaca-se por ser um importante pólo industrial, sendo já reportados acidentes ambientais e casos de florações para região (dados não publicados na literatura científica). Assim, o objetivo deste trabalho é investigar a variação espaço-temporal da densidade das espécies de cianobactérias em drenagens sobre influência industrial e portuária (Arrozal, Murucupi, Dendê, Arapiranga e Arienga) verificando quais fatores abióticos influenciam significativamente a variabilidade na estrutura da comunidade.

Material e Métodos

Área de Estudo

As drenagens: Furo do Arrozal, Igarapé Dendê, rios Murucupi, Arienga e Arapiranga localizam-se na região nordeste paraense (Amazônia, Brasil), mais precisamente na área de influência do complexo portuário e industrial de Vila do Conde, municípios de Barcarena e Abaetetuba.

Essas drenagens são influenciadas pelas condições de marés semidiurnas do Rio Pará, o qual é o principal rio dessa região, apresentando propagação de maré que atinge até vários quilômetros adentro do continente (Gregório & Mendes, 2008).

O clima dessa região é quente e úmido do tipo Af (classificação de Köppen), com temperatura média anual de 26°C, umidade relativa do ar acima de 80% e precipitação pluviométrica média anual é de 2.300 e 2.800 mm. O trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de fevereiro, março e abril, sendo agosto, setembro e outubro o menos chuvoso (Moraes et al., 2005).

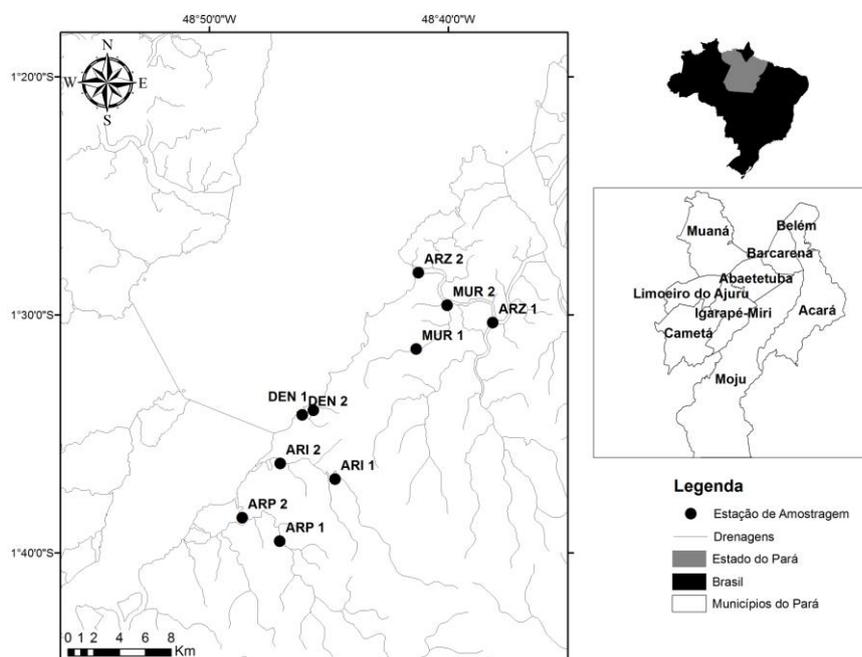


Fig. 1. Mapa da área de estudo evidenciando as estações de coleta nos municípios de Abaetetuba e Barcarena (Pará, Brasil). ARZ: Arrozal; MUR: Murucupi; DEN: Dendê; ARI: Arienga e ARP: Arapiranga. Fonte: Trindade (2011).

Coleta e Análise das amostras

As amostras destinadas às análises físico-químicas da água, quali-quantitativas das cianobactérias e concentração de clorofila-*a* foram coletadas nos período chuvoso (janeiro e abril/2009) e menos chuvoso (julho e outubro/2009), durante as marés enchente e vazante em duas estações de amostragem (cabeceira e foz) distribuídas em cinco drenagens: Furo do Arrozal (ARZ 1, ARZ 2), Igarapé Dendê (DEN 1, DEN 2), rios Murucupi (MUR 1, MUR 2), Arienga (ARI 1, ARI 2) e Arapiranga (ARP 1, ARP 2) (Fig. 1).

Os dados pluviométricos da área de estudo foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA). Os fatores físico-químicos: temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), salinidade e oxigênio dissolvido (OD) foram obtidos *in situ* através de uma sonda multiparamétrica (HI 9828 HANNA®) e a transparência estimada com um disco de Secchi. Amostras de água foram coletadas para a determinação das variáveis: turbidez, sólidos totais em suspensão (STS), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), N-nitrito (N-NO₂⁻), N-nitrato (N-NO₃⁻), nitrogênio amoniacal (N-NH₄) e fosfato (PO₄⁻³). As três primeiras foram determinadas por Espectrofotometria de UV-VIS (DR 2400 da HACH), a DBO segundo (APHA et al., 2005) e os íons determinados por Sistema de Cromatografia de Íons (ICS DUAL 2000 DIONEX, USA).

Para o estudo qualitativo das cianobactérias, as amostras foram coletadas utilizando-se rede de plâncton (20µm) e fixadas em solução de transeau. A identificação e nomenclatura das espécies foram realizadas de acordo com a literatura especializada e os organismos mensurados e fotografados. O enquadramento taxonômico foi realizado segundo Komárek & Anagnostidis (1989, 1999 e 2005).

As amostras destinadas ao estudo quantitativo foram coletadas com recipiente plástico de 125 mL e fixadas com solução de lugol. Para a determinação da densidade foram analisados 5 ou 10 mL de cada amostra, utilizando a técnica de Utermöhl (1958) e os resultados expressos em células/mL.

Para a determinação da concentração de clorofila-*a* foram coletadas amostras superficiais de água com recipientes plásticos de 300 mL e estas foram analisadas através do método espectrofotométrico (Parsons & Strickland, 1963).

Análise dos dados

A frequência de ocorrência dos táxons foi calculada segundo Mateucci & Colma (1982). A diversidade das espécies foi baseada no índice de Shannon (1948) e a equitabilidade segundo Pielou (1977).

A análise de variância unifatorial (ANOVA *one way*) foi utilizada para comparar os fatores físico-químicos, densidade, diversidade, equitabilidade das espécies e as concentrações de clorofila-*a*, nas diferentes drenagens, períodos sazonais, locais de coleta e ciclo de marés, dada a normalidade (Shapiro-Wilk's teste *W*) e a homocedasticidade das variâncias (Cochran & Bartlett). Quando os pressupostos da ANOVA não foram atendidos, foram aplicadas transformações de $\log x+1$ e raiz quarta ou, alternativamente, aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Após a aplicação da estatística paramétrica e em caso de detecção de diferenças significativas, o teste de comparação múltipla "*post hoc Tukey HSD test*" foi utilizado. No caso da estatística não paramétrica, todas as vezes que a mesma detectou diferenças significativas foi aplicado o teste de comparação múltipla dos *ranks* das médias, baseado no *p*(valor) encontrado. Para todas as análises foi adotado um nível de significância igual a 0,05.

A análise de correlação de Spearman (r_s) foi utilizada para verificar se havia correlação significativa da densidade total de cianobactérias com relação aos diferentes fatores físico-químicos.

Resultados

A precipitação pluviométrica oscilou entre 5,7 mm em outubro, a 637,4 mm em abril, evidenciando a ampla variação na precipitação ao longo do ano. Em janeiro, abril (período chuvoso), julho e outubro (período menos chuvoso) os índices foram de 311,1 mm, 637,4 mm, 216,7 mm e 5,7 mm, respectivamente (Fig. 2).

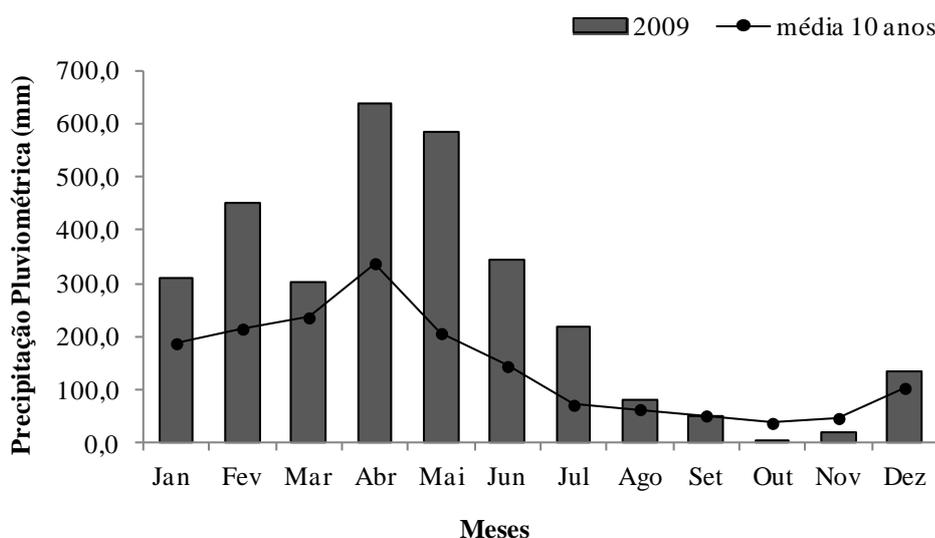


Fig. 2. Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1999–2008 e durante o ano de coleta (2009), em Barcarena-PA. (Fonte: ANA, 2012).

Fatores Físico-químicos

Os valores de média e o respectivo erro padrão dos diferentes parâmetros físico-químicos são apresentados na Tabela 1. Não tendo sido observadas diferenças significativas entre as estações de amostragem, tampouco entre meses.

A transparência da água variou de $0,40 \pm 4,08$ m no Dendê (Abril) a $1,05 \pm 31,75$ m no Arapiranga (outubro). Entre as drenagens, a média desta variável no Arienga diferiu significativamente do Murucupi e do Dendê ($H = 33,74$; $p < 0,05$). A transparência da água no período menos chuvoso foi significativamente mais elevada do que no chuvoso ($H = 6,20$; $p < 0,05$).

A temperatura variou de $25,75 \pm 0,25^\circ\text{C}$ no Arienga (julho) a $29,25 \pm 0,05^\circ\text{C}$ no Arrozal (outubro), com os valores do Arrozal diferindo significativamente do Dendê, Arapiranga e Arienga ($H = 33,80$; $p < 0,05$).

O pH oscilou de $5,21 \pm 0,27$ no Arienga (julho) a $7,04 \pm 0,20$ no Arrozal (janeiro). Entre as drenagens, a média do pH no Arrozal foi significativamente maior que no Arienga e Arapiranga ($F = 4,18$; $p < 0,05$).

A salinidade variou significativamente entre as drenagens, com as médias do Murucupi e Dendê maiores do que em Arienga e em Arapiranga ($H = 44,15$; $p < 0,05$), variando de 0,00 (Arienga, abril/julho e Arapiranga, janeiro e abril) a $0,03 \pm 0,003$ (Murucupi, janeiro e Dendê, julho e outubro).

A média da condutividade elétrica foi de $8,75 \pm 1,60 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ no Arapiranga (abril) e máximo $59,75 \pm 1,31 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ no Dendê (julho), a qual diferiu significativamente do Arienga e Arapiranga ($H = 45,99$; $p < 0,05$).

Assim como a condutividade, os sólidos totais dissolvidos registrados no Dendê diferiram do Arienga e Arapiranga ($H = 42,89$; $p < 0,05$), apresentando o valor mínimo de $5,00 \pm 1,66 \text{ mg/L}$ (Arapiranga, abril) e máximo de $30,50 \pm 0,71 \text{ mg/L}$ (Dendê, julho).

Os sólidos totais em suspensão oscilaram de $3,63 \pm 0,72 \text{ mg/L}$ no Arienga (julho) a $50,25 \pm 15,82 \text{ mg/L}$ no Dendê (abril), apresentando diferenças significativas entre as drenagens, tendo o Arienga menor concentração comparados ao Arrozal, Murucupi e Dendê ($H = 26,74$; $p < 0,05$). Sazonalmente, esta variável no período chuvoso foi significativamente maior do que no menos chuvoso ($H = 5,70$; $p < 0,05$).

A turbidez variou de $14,38 \pm 1,03$ no Arienga (julho) a $64,25 \pm 17,73$ Dendê (abril). Entre as drenagens, a média da turbidez no Arienga diferiu significativamente do Murucupi e Dendê ($H = 17,81$; $p < 0,05$) e entre os períodos sazonais no período chuvoso foram verificados registros significativamente mais elevados do que no menos chuvoso ($H = 7,58$; $p < 0,05$).

O oxigênio dissolvido apresentou valor mínimo de $4,27 \pm 0,30 \text{ mg/L}$ no Dendê (abril) e máximo de $7,32 \pm 0,18 \text{ mg/L}$ no Arienga (outubro), apresentando variação sazonal com os valores do período menos chuvoso significativamente mais elevados do que o do chuvoso ($H = 10,52$; $p < 0,05$).

A demanda química de oxigênio variou de $12,00 \pm 3,32 \text{ mg/L}$ no Arapiranga (julho) a $22,75 \pm 7,29 \text{ mg/L}$ no Arapiranga (abril), sendo significativamente maiores na maré vazante ($H = 7,30$; $p < 0,05$).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) oscilou de $4,00 \pm 0,82 \text{ mg/L}$ no Arapiranga (janeiro) a $11,88 \pm 2,90 \text{ mg/L}$ no Arrozal (abril). Entre as drenagens o Arapiranga diferiu do Arrozal, Murucupi e Dendê ($H = 33,63$; $p < 0,05$). Entre os diferentes ciclos de maré a mediana da DBO na vazante foi significativamente maior ($H = 5,76$; $p < 0,05$).

Em relação aos íons, o nitrato variou de $0,04 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ no Arienga (outubro) a $1,25 \pm 0,31 \text{ mg/L}$ no Murucupi (janeiro) e este diferiu significativamente do Arrozal, Arapiranga e Arienga ($H = 41,68$; $p < 0,05$).

A concentração de nitrito variou significativamente entre as drenagens, sendo maior no Arrozal em comparação com o Dendê, Arienga e Arapiranga, oscilando de $0,004 \pm \text{mg/L}$ (Dendê, outubro; Arienga, janeiro e Arapiranga, outubro) a $0,07 \pm 0,008 \text{ mg/L}$ (Arrozal, janeiro). Entre os períodos sazonais verificou-se que os valores do período chuvoso foram

significativamente mais elevados ($H = 11,36$; $p < 0,05$). Para os ciclos de maré, os valores da vazante foram significativamente mais elevados que o da enchente ($H = 3,95$; $p < 0,05$).

O nitrogênio amoniacal variou de $0,01 \pm 0,004$ mg/L no Murucupi (abril) a $0,28 \pm 0,17$ mg/L também no Murucupi (julho).

O fosfato apresentou valor mínimo de $0,004 \pm 0,0008$ mg/L no Murucupi (outubro) a $0,25 \pm 0,04$ mg/L também no Murucupi (janeiro) e este diferiu significativamente do Arrozal ($H = 26,18$; $p < 0,05$). Entre os períodos sazonais verificou-se que no período chuvoso a concentração deste íon foi significativamente maior ($H = 11,16$; $p < 0,05$).

Tabela 1. Variáveis físico-químicas mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico de janeiro a outubro/2009.

Furo do Arrozal	Janeiro		Abril		Julho		Outubro	
	Média	ep	Média	Ep	Média	ep	Média	ep
Transparência	0,6	0	0,55	2,89	0,6	0	0,6	0
Temperatura	29,4	0,05	28,67	0,29	29	0	29,25	0,75
pH	7,04	0,2	6,28	0,19	6,01	0,26	6,78	0,26
Salinidade	0,02	0,002	0,01	0	0,02	0,003	0,02	0,003
Cond. Elét.	39	5,4	28,5	2,9	35,5	6,28	36	5,49
STD	19,25	2,78	14,5	1,44	27	8,13	17,75	5,49
STS	13,63	0,9	9,75	2,2	8,88	0,66	11,38	1,25
Turbidez	21	2,61	23,63	3,22	20,63	1,3	17,88	2,02
OD	5,73	0,1	6,57	0,37	6,59	0,76	7,48	0,18
DQO	18,25	1,16	18	3,02	19	3,03	18,5	1,24
DBO	9,25	0,25	11,88	2,9	10,38	0,75	9,5	1,17
NO ₃ ⁻	0,11	0,03	0,12	0,009	0,1	0,02	0,08	0,01
NO ₂ ⁻	0,07	0,008	0,03	0,009	0,02	0,003	0,01	0,003
NH ₄	0,05	0,008	0,05	0,006	0,03	0,007	0,03	0,003
PO ₄ ⁻³	0,09	0,02	0,04	0,007	0,04	0,002	0,03	0,005
Rio Murucupi								
Transparência	0,48	7,5	0,44	6,88	0,53	4,79	0,55	2,88
Temperatura	27,87	0,81	27,76	0,68	28	0,58	29,25	0,48
pH	6,66	0,29	6,43	0,31	5,88	0,09	6,4	0,28
Salinidade	0,03	0,003	0,02	0	0,02	0,006	0,02	0,004
Cond. Elét.	53,25	8,29	41,75	1,8	49,5	12,72	46	7,97
STD	26,5	4,35	21	0,71	25	6,36	22,75	4
STS	13,25	0,78	19,5	3,58	11,75	0,63	11,38	0,72
Turbidez	23,75	3,42	33,38	4,7	21,5	0,65	23,5	0,87

Tabela 1. Variáveis físico-químicas mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico de janeiro a outubro/2009. Continuação...

Rio Murucupi	Janeiro		Abril		Julho		Outubro	
	Média	ep	Média	ep	Média	ep	Média	ep
OD	5,24	0,92	4,42	1,29	6,67	0,54	6,58	0,63
DQO	21	2,44	25	7,29	15,5	0,96	17,5	3,61
DBO	11	2,38	9,25	1,8	7,75	1,25	8	1,17
NO ₃ ⁻	1,25	0,31	0,5	0,12	0,24	0,02	0,37	0,17
NO ₂ ⁻	0,04	0,007	0,01	0,0009	0,01	0,002	0,01	0,03
NH ₄	0,22	0,08	0,02	0,009	0,32	0,17	0,05	0,03
PO ₄ ⁻³	0,25	0,04	0,04	0,01	0,01	0,003	0,004	0,0008
Igarapé Dendê								
Transparência	0,44	3,75	0,4	4,08	0,48	2,5	0,58	2,88
Temperatura	27,96	0,5	26,71	0,5	27,5	0,5	28,25	0,25
pH	6,7	0,39	5,59	0,25	6,3	0,26	6,83	0,19
Salinidade	0,02	0,003	0,02	0,003	0,03	0,002	0,03	0,003
Cond. Elét.	51,75	4,55	45	7,22	59,75	1,31	53,75	1,89
STD	26	2,27	22,5	3,57	30	0,71	27	0,91
STS	18,88	5,42	50,25	15,82	7	1,14	14,75	3,44
Turbidez	27,5	6,44	64,25	17,73	14,75	0,6	17,13	2,67
OD	6,9	0,68	4,27	0,3	6,21	0,29	7,21	0,43
DQO	17	3,25	20,75	2,02	15,5	1,26	17,63	1,65
DBO	10	1,81	10,75	1,78	11,25	1,96	9,13	0,83
NO ₃ ⁻	0,17	0,009	0,14	0,05	0,32	0,09	0,36	0,26
NO ₂ ⁻	0,04	0,02	0,01	0,0008	0,004	0,0006	0,004	0,001
NH ₄	0,14	0,07	0,01	0,004	0,13	0,08	0,06	0,03
PO ₄ ⁻³	0,12	0,1	0,03	0,006	0,03	0,005	0,02	0,0003

Tabela 1. Variáveis físico-químicas mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico de janeiro a outubro/2009. Continuação...

Rio Arienga	Janeiro		Abril		Julho		Outubro	
	Média	ep	Média	ep	Média	ep	Média	Ep
Transparência	0,63	4,79	0,63	7,5	0,93	18,87	0,98	21,74
Temperatura	26,57	0,38	26,92	0,69	25,75	0,25	27,75	0,25
pH	5,45	0,4	5,89	0,6	5,21	0,27	6,32	0,36
Salinidade	0,01	0,003	0	0,003	0	0	0,02	0,003
Cond. Elét.	17	3,34	21	5,23	11,25	0,48	32	7,14
STD	8,75	1,55	10,25	2,66	5,75	0,25	15,75	3,75
STS	5	0,54	5,28	1,05	3,63	0,72	8,13	2,65
Turbidez	17,75	3,31	15,75	1,65	14,38	1,03	16,25	1,98
OD	5,48	0,15	6,6	0,16	6,78	0,42	7,32	0,31
DQO	17	2,53	16,75	2,21	14,5	1,55	16	1,08
DBO	7,25	0,75	5,75	0,85	7,75	1,55	4,75	1,11
NO ₃ ⁻	0,08	0,04	0,06	0,003	0,06	0,003	0,04	0,02
NO ₂ ⁻	0,004	0,002	0,01	0,0003	0,01	0,001	0,004	0,0007
NH ₄	0,04	0,007	0,09	0,04	0,02	0,002	0,02	0,002
PO ₄ ⁻³	0,02	0,003	0,02	0,003	0,02	0,002	0,03	0,001
Rio Arapiranga								
Transparência	0,6	4,08	0,68	7,5	1,03	24,62	1,05	31,75
Temperatura	26,8	0,55	26,52	0,58	27	0,71	27,5	0,5
pH	5,46	0,41	5,8	0,47	5,47	0,52	6,33	0,36
Salinidade	0	0,003	0	0,003	0,01	0,003	0,01	0,003
Cond. Elét.	17,25	4,63	8,75	1,6	24,75	7,25	28,75	5,69
STD	8,75	2,43	5,5	1,66	15,25	4,19	14,25	2,81
STS	9,63	1,25	10,63	3,73	7,25	2,67	9,88	2,63

Tabela 1. Variáveis físico-químicas mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico de janeiro a outubro/2009. Continuação...

Rio Arapiranga	Janeiro		Abril		Julho		Outubro	
	Média	ep	Média	ep	Média	ep	Média	Ep
Turbidez	21	1,34	20,13	7,05	14,5	1,4	20	2,48
OD	5,77	0,42	5,85	0,27	5,34	0,39	6,31	0,55
DQO	13,38	1,05	22,75	3,33	12	3,32	15,13	1,72
DBO	4	0,82	5,25	0,63	7,25	1,31	4,75	0,95
NO ₃ ⁻	0,11	0,02	0,11	0,03	0,07	0,02	0,05	0,01
NO ₂ ⁻	0,01	0,002	0,01	0,0004	0,004	0,001	0,004	0,0007
NH ₄	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,002	0,03	0,004
PO ₄ ⁻³	0,01	0,002	0,02	0,002	0,01	0,001	0,01	0,0006

Transparência (m); Temperatura °C; Condutividade elétrica $\mu\text{S}/\text{cm}^3$; STD (Sólidos totais dissolvidos mg/L); STS (Sólidos totais em suspensão); OD (Oxigênio dissolvido mg/L); DQO (Demanda química de oxigênio mg/L); DBO (Demanda bioquímica de oxigênio mg/L); NO₃⁻ (Nitrato mg/L); NO₂⁻ (Nitrito mg/L); NH₄ (Nitrogênio amoniacal mg/L e PO₄⁻³ (Fosfato mg/L); Erro padrão (ep)

Composição de espécies de Cianobactérias

O levantamento taxonômico realizado nas drenagens Arrozal, Murucupi, Dendê Arienga e Arapiranga esteve composto por 31 espécies distribuídas em 16 gêneros, nove famílias, três ordens e uma classe (Quadro 1).

A ordem mais representativa em termos de riqueza foi a Oscillatoriales com 45,2% das espécies identificadas. As famílias mais representativas foram: Pseudanabaenaceae (5 spp.), Phormidiaceae (4 spp.), Oscillatoriaceae (3 spp.) e Borziaceae (2 spp.), destacando-se os gêneros *Oscillatoria*, *Komvophoron*, *Phormidium*, *Planktothrix* e *Pseudanabaena*, com duas espécies cada.

As Chroococcales representadas pelas famílias Merismopediaceae (6 spp.), Microcystaceae (5 spp.) e Chroococcaceae (2 spp.) constituíram o segundo grupo mais importante com 38,7%, sobressaindo-se o gêneros *Aphanocapsa* e *Microcystis* por apresentarem cinco e quatro espécies, respectivamente.

Já as Nostocales estiveram representadas por duas famílias, Nostocaceae (4 spp.) e Scytonemataceae (1 spp.) contribuindo com 16,1% das espécies identificadas destacando-se o gênero *Dolichospermum* com três espécies.

A composição taxonômica não apresentou uma nítida variação sazonal, sendo baixo (7 spp.) o número de espécies exclusivas entre as drenagens, enquanto que o número de espécies comuns foi mais expressivo (24 spp.). Espécies dos gêneros *Geitlerinema*, *Spirulina* e a *Dolichospermum circinalis* foram exclusivas do Arrozal, *Scytonema* sp. exclusiva do Murucupi, enquanto que *Chroococcus* sp. e *Planktolyngbya* sp. só ocorreram no Arienga e *Lyngbya* sp. no Arapiranga (Quadro 1).

A riqueza variou de ausência de cianobactérias (ARI 1 enchente, abril) a 15 espécies (ARI 2 enchente, outubro) (Fig. 3A, 3B, 3C, 3D e 3E), sendo registrado um total 23 espécies para o Arrozal, 22 para o Arienga e o Murucupi, 21 para o Arapiranga e 17 para o igarapé Dendê.

Quadro 1. Composição taxonômica das cianobactérias mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico de janeiro a outubro/2009.

	Arrozal	Murucupi	Dendê	Arienga	Arapiranga
Ordem: Chroococcales					
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> West & G.S. West	X	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa elachista</i> West & G.S. West			X	X	X
<i>Aphanocapsa holsatica</i> (Lemmermann) G. Cronberg & J. Komárek	X	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) Cronberg & Komárek	X	X	X	X	X
<i>Aphanocapsa</i> sp.		X		X	
<i>Chroococcus</i> sp.				X	
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	X	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	X	X	X	X	X
<i>Microcystis protocystis</i> Crow	X	X	X	X	X
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek	X	X	X	X	X
<i>Microcystis</i> sp.	X	X		X	
<i>Radiocystis</i> sp.	X			X	X
Ordem: Oscillatoriales					
<i>Geitlerinema</i> sp.	X				
<i>Komvophoron</i> sp.1	X		X	X	X
<i>Komvophoron</i> sp. 2	X	X	X	X	X
<i>Lyngbya</i> sp.					X
<i>Oscillatoria limosa</i> C. Agardh ex Gomont		X			X
<i>Oscillatoria</i> sp.	X	X	X	X	X
<i>Phormidium</i> sp.1	X	X	X	X	X
<i>Phormidium</i> sp.2	X	X			
<i>Planktolyngbya</i> sp.					X
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek				X	X
<i>Planktothrix</i> sp.				X	X
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	X	X	X	X	X
<i>Pseudanabaena mucicola</i> (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe	X	X	X	X	X
<i>Spirulina</i> sp.	X				

Quadro 1. Composição taxonômica das cianobactérias mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico de janeiro a outubro/2009. Continuação...

	Arrozal	Murucupi	Dendê	Arienga	Arapiranga
Ordem: Nostocales					
<i>Dolichospermum circinalis</i> (Rabenhorst) Walcklin, Hoffmann & Komárek	X				
<i>Dolichospermum</i> sp.1	X	X	X	X	X
<i>Dolichospermum</i> sp.2	X	X			
<i>Scytonema</i> sp.		X			
Cianobactéria não identificada	X	X	X	X	X

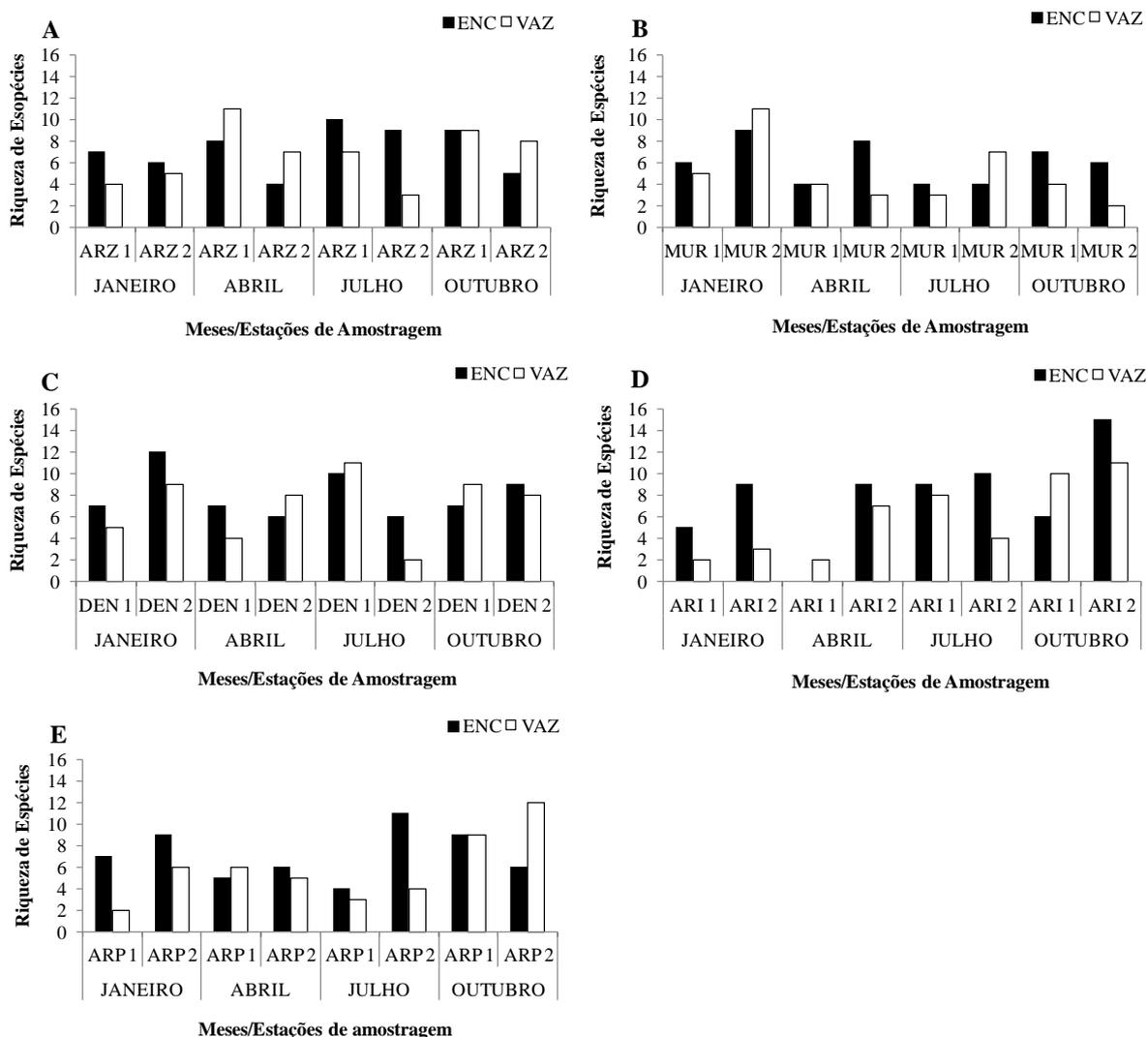


Fig. 3. Riqueza de espécies de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.

A maioria das espécies foi classificada como esporádica seguida pelas espécies pouco frequentes, frequentes e muito frequentes. As espécies *Aphanocapsa holsatica*, *Microcystis protocystis*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis wesenbergii*, *Pseudanabaena limnetica* e *Komvophoron* sp. 2 somadas estiveram em 40% das amostras, enquanto que *Merismopedia* sp. destacou-se por ocorrer em mais de 70%.

Densidade de Cianobactérias

Os valores de densidade variaram de zero (ARI 1 vazante, janeiro; ARI 1 enchente, abril e DEN 2 vazante, julho) a 391,57 cel/mL (ARZ 1 enchente, julho) (Fig. 4A, 4B, 4C, 4D e 4E). Entre as drenagens, o Rio Murucupi apresentou a menor densidade (mediana= 38,75; média= $48,54 \pm 10,41$ cel/mL) enquanto que o Arrozal apresentou o maior valor (mediana = 86,69; média= $104,72 \pm 23,30$ cel/mL).

Não foram observadas diferenças significativas entre as drenagens, períodos sazonais, locais de amostragem e ciclo de marés, sendo observada apenas uma variação mensal ($H=13,02$; $p<0,05$), com abril (mediana= 15,03; média= $27,54 \pm 6,79$ cel/mL) diferindo significativamente de outubro (mediana= 75,39; média= $86,52 \pm 13,64$ cel/mL).

Aphanocapsa Nägeli, *Merismopedia* Meyen e *Microcystis* Lemmermann foram os gêneros mais representados em todo o período de estudo, chegando a 38,56%, 25,41% e 23,22% da densidade total de cianobactérias.

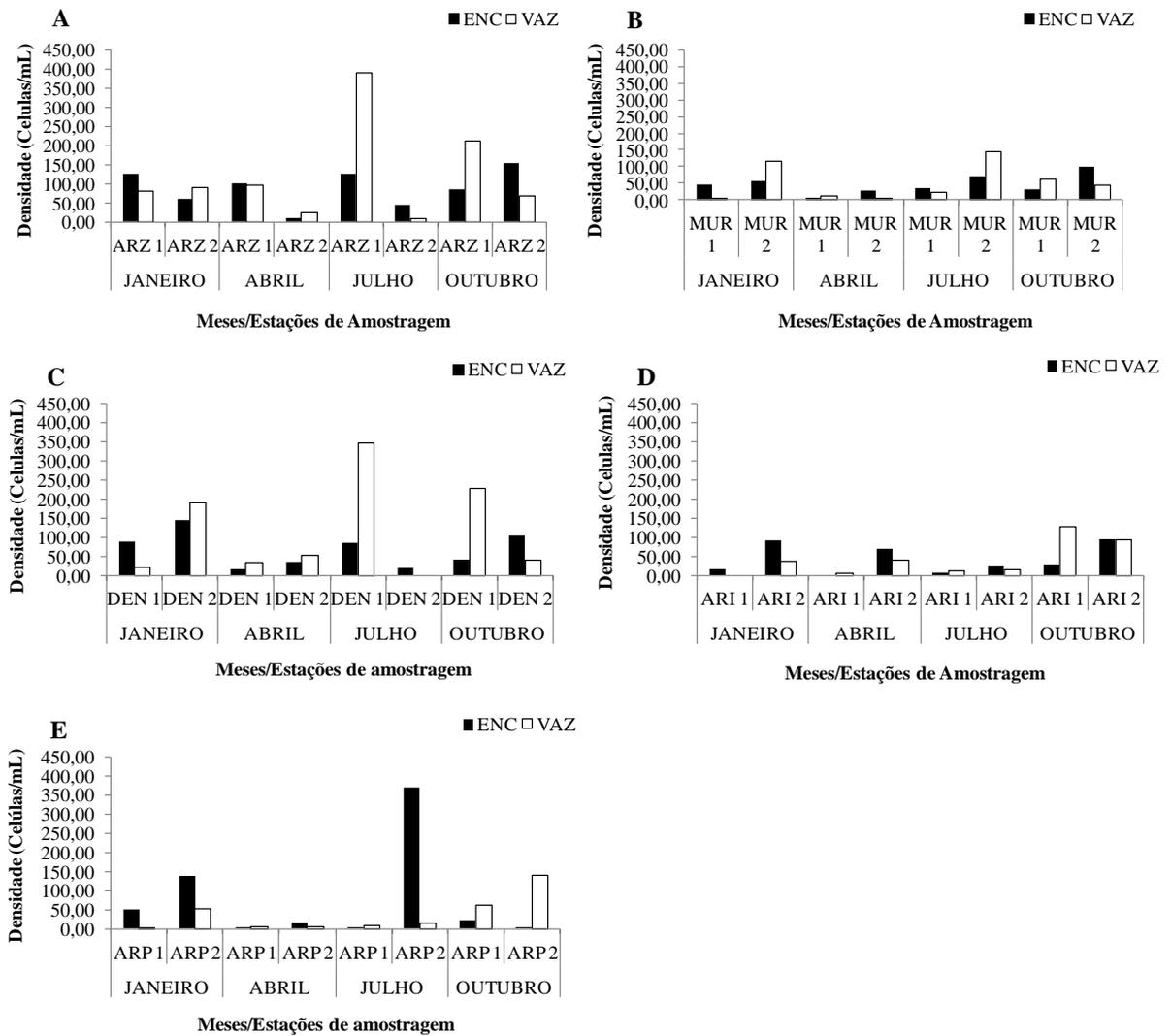


Fig. 4. Densidade de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.

Clorofila-*a*

As concentrações de clorofila-*a* variaram entre 0,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (ARP 1 vazante, julho) a 15,83 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (DEN 2 enchente, abril) (Fig. 5A, 5B, 5C, 5D e 5E). No Arapiranga foi observado o menor valor de clorofila-*a* (mediana= 2,50; média = $3,38 \pm 0,84 \mu\text{g.L}^{-1}$), enquanto que no Dendê foi observado o maior (mediana= 4,59; média = $5,46 \pm 1,07 \mu\text{g.L}^{-1}$).

A clorofila-*a* variou significativamente somente entre os meses ($H= 38,68$; $p < 0,05$) com o maior valor em outubro (mediana= 6,45; média= $6,97 \pm 0,51 \mu\text{g.L}^{-1}$), não havendo diferenças significativas entre as drenagens, períodos sazonais, estações de amostragem e ciclo de marés.

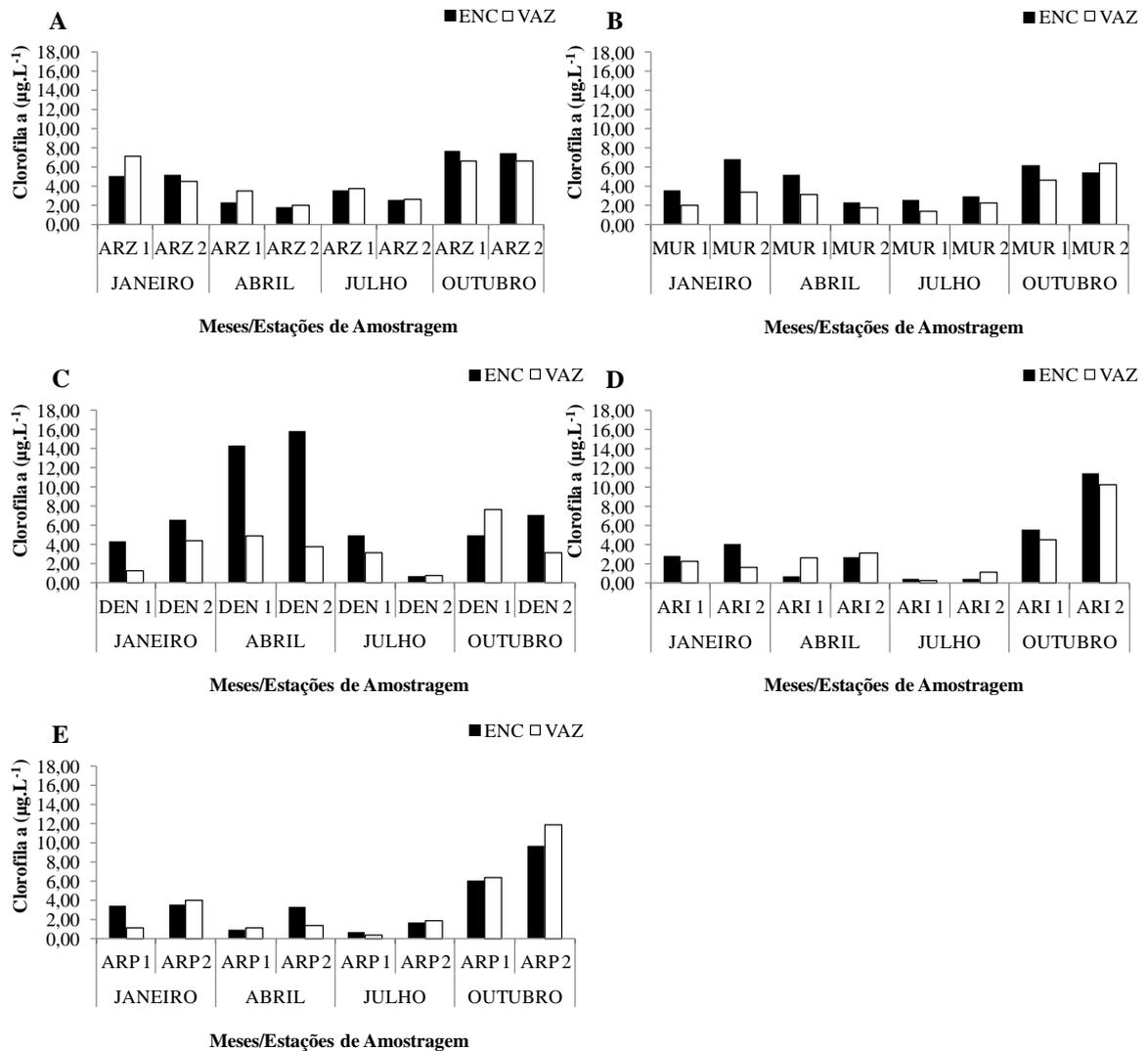


Fig. 5. Valores de biomassa (clorofila-*a* $\mu\text{g.L}^{-1}$) em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.

Diversidade e Equitabilidade

A diversidade (H') nas drenagens Arrozal, Murucupi, Dendê, Arienga e Arapiranga variou de muito baixa a média, com valor mínimo de 0,27 bits.cel⁻¹ (MUR 1 enchente, janeiro) e máximo de 2,48 bits.cel⁻¹ (ARP 1 vazante, outubro) (Fig. 6A, 6B, 6C, 6D e 6E). O Furo do Arrozal apresentou a maior diversidade entre as drenagens (mediana=1,65; média= 1,63 ± 0,11 bits.cel⁻¹) e o Rio Murucupi a menor (mediana= 1,30; média= 1,15 ± 0,13 bits.cel⁻¹).

A diversidade variou sazonalmente ($H= 8,97$; $p < 0,05$), sendo maior no período menos chuvoso (mediana= 1,59; média= 1,58 ± 0,08 bits.cel⁻¹). Das 80 amostras analisadas, 55% foram classificadas com baixa diversidade, 36,25% com diversidade muito baixa e 8,75 com diversidade média.

Em relação à equitabilidade, o menor valor registrado foi 0,17 (MUR 1 enchente, janeiro) e o maior valor foi de 1,00 (ARP 2 vazante, julho) (Fig. 7A, 7B, 7C, 7D e 7E), variando significativamente entre os períodos sazonais ($H= 5,25$; $p < 0,05$), maior no período menos chuvoso.

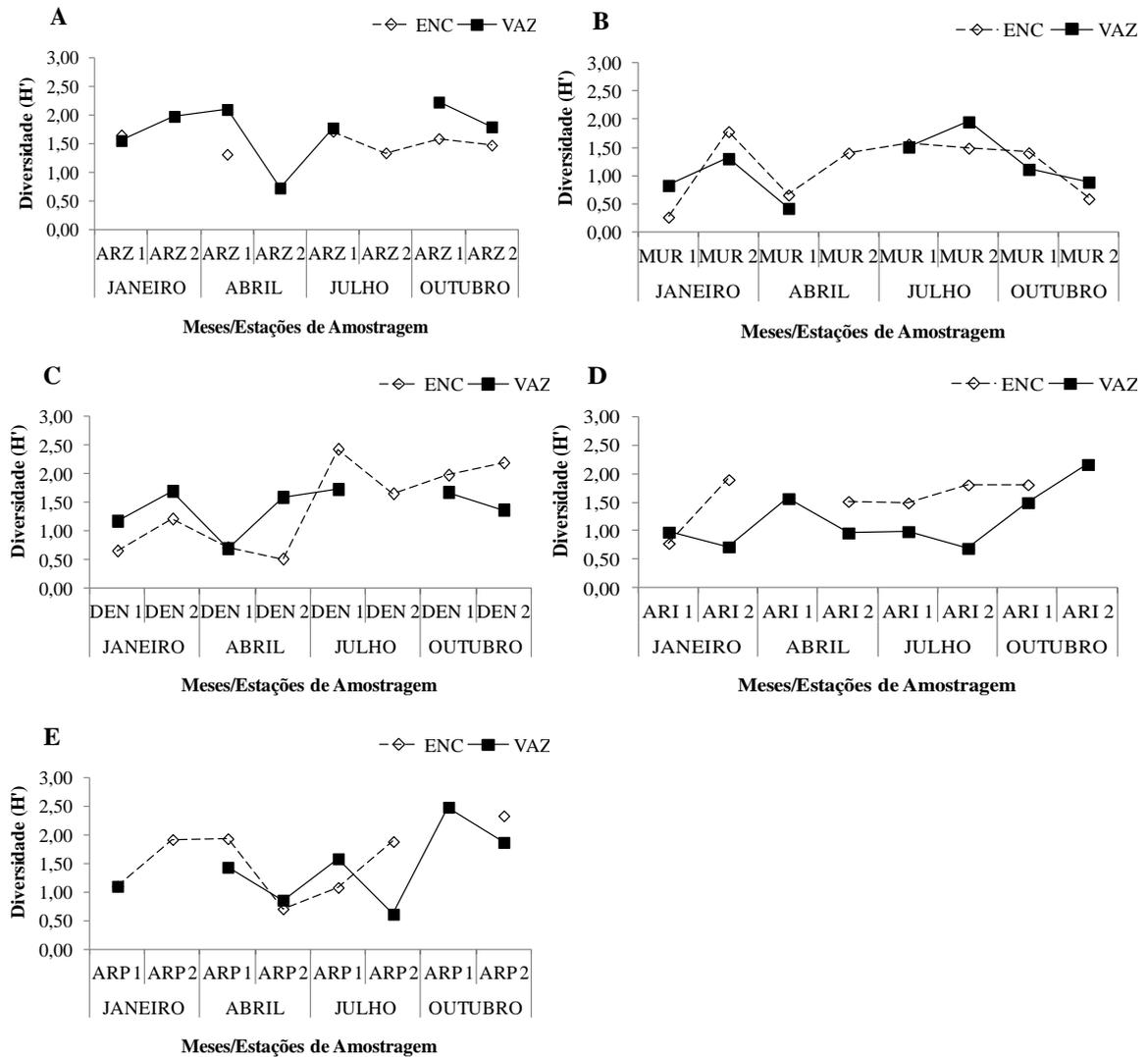


Fig. 6. Diversidade específica (H') registrada em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arianga e E. Rio Arapiranga.

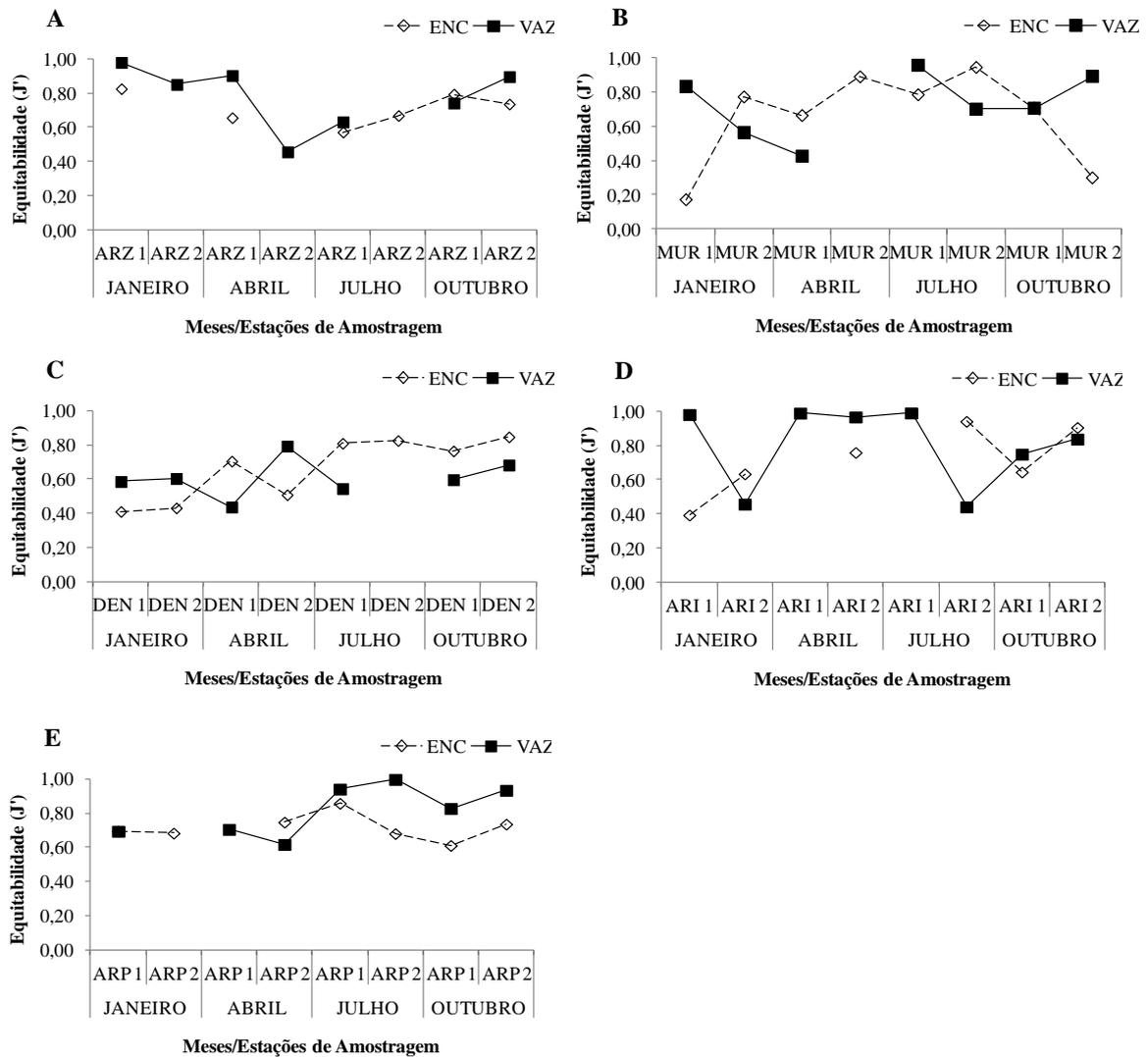


Fig. 7. Equitabilidade (J') registrada em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico. Em A: Furo do Arrozal; B. Rio Murucupi; C. Igarapé Dendê; D. Rio Arienga e E. Rio Arapiranga.

Coeficiente de correlação de Spearman

Houve correlação significativa e positiva entre a densidade de cianobactérias e as variáveis temperatura ($r_s = 0,54$), pH ($r_s = 0,49$), condutividade elétrica ($r_s = 0,22$) e salinidade ($r_s = 0,23$), Tabela 2.

Tabela 2. Correlação de Spearman entre os valores de densidade total de cianobactérias e as variáveis físico-químicas e clorofila-*a* mensuradas em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico.

Densidade e Variáveis	N	Spearman R	t(N-2)	P
Transparência	80	-0,107	-0,954	0,3428
Temperatura	80	0,543	5,715	< 0,0001
Ph	80	0,491	4,982	< 0,0001
Condutividade Elétrica	80	0,223	2,018	0,0470
Sólidos Totais Dissolvidos	80	0,218	1,969	0,0525
Salinidade	80	0,234	2,129	0,0364
Oxigênio Dissolvido	80	0,255	2,328	0,0225
Turbidez	80	0,064	0,567	0,5722
Sólidos Totais em Suspensão	80	0,194	1,749	0,0841
Demanda Química de Oxigênio	80	-0,015	-0,135	0,8933
Demanda Bioquímica de Oxigênio	80	0,178	1,593	0,1151
Nitrato	80	-0,006	-0,057	0,9545
Nitrito	80	0,023	0,204	0,8385
Nitrogênio Amoniacal	80	0,117	1,041	0,3009
Fosfato	80	0,088	0,781	0,4372

Discussão

É amplamente conhecido que a dinâmica temporal e espacial da comunidade fitoplanctônica em regiões estuarinas são normalmente influenciadas por diversos fatores físicos, químicos e biológicos e estes por sua vez são controlados por fatores externos do ecossistema, sendo os mais importantes a ação dos ventos, a radiação solar e a precipitação (Sournia, 1969; Grego et al., 2004). No entanto, este trabalho é pioneiro em abordar pela primeira vez em um estuário amazônico a comunidade de cianobactérias em termos de riqueza de espécies, frequência e densidade associando a densidade deste grupo às variáveis ambientais.

A precipitação pluviométrica da região de estudo durante o ano de 2009 foi atípica, em relação à média histórica dos últimos 10 anos, sendo observado um aumento de cerca de 60, 80 e 200% nos valores mensais de precipitação durante os meses de janeiro, abril e julho, respectivamente, enquanto que em outubro houve uma redução de 80%. O mês de julho é normalmente caracterizado como um mês pertencente ao período menos chuvoso e em função deste evento o padrão sazonal esperado não foi encontrado.

No entanto, observou-se que alguns parâmetros abióticos apresentaram um padrão sazonal bem definido (transparência, sólidos totais dissolvidos, turbidez, oxigênio dissolvido e os íons nitrito e fosfato), mas que a variação espacial, principalmente entre as drenagens, foi a mais significativa neste estudo, estando associada às particularidades locais observadas, como, extensão, largura, profundidade local, sombreamento, transparência da água, vazão e pontos de lançamento de efluentes.

A riqueza de espécies permitiu registrar novas ocorrências para a Região Norte, tais como *Aphanocapsa holsatica* (Lemmermann) G. Cronberg & J. Komárek, *Pseudanabaena mucicola* (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe, além do gênero *Komvophoron* Anagnostidis & Komárek. Enquanto o gênero *Geitlerinema* Anagnostidis & Komárek é nova ocorrência para o Estado do Pará.

Durante todo o período de estudo, espécies representantes da Ordem Oscillatoriales constituíram o grupo de maior riqueza taxonômica, estando inclusas espécies com talo filamentoso, homocitado que aparecem em grande diversidade de habitats e que apresenta muitas espécies potencialmente produtoras de toxina, dos quais os gêneros *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Phormidium* e *Planktothrix* foram observados para a região (Komárek & Anagnostidis, 2005).

Entretanto, entre as espécies registradas a Ordem Chroococcales se destacaram em termos de frequência de ocorrência e densidade, especialmente os gêneros *Merismopedia*, *Aphanocapsa* e *Microcystis* como já observado por Gomes et al. (dados não publicados) para o Estuário do Rio Pará. No Brasil, os dois últimos gêneros são identificados como produtores da hepatotoxina denominada de microcistina, sendo o tipo mais comum de intoxicação envolvendo cianobactérias, que apresentam uma ação mais lenta, podendo causar morte num intervalo de poucas horas a poucos dias (Molica & Azevedo, 2009).

Os valores de densidade da comunidade de cianobactérias estiveram bem abaixo daqueles preconizados pelas resoluções CONAMA 357/2005 e CONAMA 430/2011 para águas de classe 2 que são de até 50.000 cel/mL. O padrão observado indica forte influência da precipitação pluviométrica na densidade da comunidade de cianobactérias, tendo a densidade correlação negativa com o período de chuvas, uma vez que as maiores densidades ocorreram quando houve menor precipitação pluviométrica.

Em relação à clorofila-*a*, a biomassa fitoplanctônica apresentou o mesmo padrão de distribuição da densidade, o que já foi verificado em outras regiões estuarinas brasileiras (Feitosa et al., 1999; Losada et al., 2003; Grego et al., 2004; Azevedo, et al., 2008).

Apenas a diversidade específica e a equitabilidade apresentaram variação sazonal definida em decorrência do domínio de poucas espécies. Os baixos valores de diversidade e equitabilidade durante o período chuvoso foi condicionado pela maior ocorrência de espécies do gênero *Microcystis* e *Aphanocapsa*, período este com elevada turbidez e reduzida transparência da água. É importante ressaltar que espécies desses gêneros apresentam aerótopos que lhes conferem vantagens competitivas, pois possibilitam ajustar sua posição na coluna d'água para o melhor aproveitamento de luz e nutrientes (Reynolds, 1984).

A ausência de variação sazonal das cianobactérias pode estar associada ao comportamento atípico da precipitação pluviométrica ao longo do período estudado, já o padrão de distribuição espacial homogêneo observado deve ter sido ocasionado pela forte hidrodinâmica gerada pelas macromarés amazônicas e à forte influência que o Rio Pará exerce sobre esses os corpos hídricos. Uma vez que entre as espécies citadas para este estudo 23 espécies foram comuns as encontradas por Gomes et al, (dados não publicados) para o Estuário do Rio Pará enquanto que oito espécies foram exclusivas as drenagens estudadas principalmente as dos gêneros *Radiocystis*, *Lyngbya*, *Planktothrix*, *Planktolyngbya* e *Scytonema*, mas já foram citadas para outros ambientes amazônicos

O presente estudo representa um avanço no conhecimento sobre a dinâmica das cianobactérias na região amazônica, o qual gerou informações que poderão nortear estudos

futuros, assim como ações por parte de órgãos ambientais no sentido de ampliar o monitoramento destes organismos na região portuária de Barcarena, especialmente pelas indústrias e gestores portuários ali instalados.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da bolsa, ao Instituto Evandro Chagas pela infra-estrutura, a Dra. Célia Leite Sant'Anna pelo auxílio na identificação e confirmação das espécies e ao “Programa de Monitoramento e Controle em Saúde e Meio Ambiente em Áreas Industriais e Portuárias dos Municípios de Abaetetuba e Barcarena, estado do Pará”, o qual é resultante do cumprimento de obrigação ambiental assumida pela empresa Imerys Rio Capim Caulim em Termo de Ajustamento de Conduta lavrado perante o Ministério Público Estadual do Pará.

Referências

- Ana (Agência Nacional de Águas), 2012. Intensidade pluviométrica no município de Barcarena/PA. [S.l.: s.n.].
- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Association, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th. American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Azevedo, A. C. G., F. A. N. Feitosa & M. L. Koenig, 2008. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplânctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 22 (3): 870-877.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA, nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em 09 jan. 2013.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Artigo em PDF. Acesso em 10 jan. 2013.
- Calijuri, M. C., M. S. A. Alves & A. C. A. Santos, 2006. Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais. São Carlos: Rima.
- Esteves, F. A., 2011. Fundamentos de Limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 826p.
- Feitosa, F. A. N., M. G. G. Silva-Cunha, J. Z. O. Passavante, S. Neumann-Leitão & I. A. Lins, 1999. Estrutura do microfitoplâncton no sistema estuarino do rio Goiana, Pernambuco, Brasil. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco* 27: 15-25.
- Ferrão-Filho, A. S., R. Molicca & S. M. F. O. Azevedo, 2009. Ecologia, ecofisiologia e toxicologia de cianobactérias. *Oecologia Brasiliensis* 13 (2): 225-228.
- Gomes, A. L et al. Biodiversidade e variação interanual da densidade de Cianobactérias em um Estuário Amazônico Brasileiro. In: Gomes, A. L. Biodiversidade e densidade de cianobactérias em uma região portuária e industrial no Estuário Amazônico, Pará, Brasil.

2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará. Belém, 2013.
- Grego, C. K. S., F. A. N. Feitosa, M. Honorato da Silva, & M. J. Flores-Montes, 2004. Distribuição espacial e sazonal da clorofila *a* fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista - PE). *Tropical Oceanography* 32: 181-199.
- Gregório, A. M. S. & A. C. Mendes, 2009. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary (Guajará Bay, Amazon). *Continental Shelf Research* 29: 609-618.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4: Nostocales. *Algological Studies* 56: 247-345.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 1999. Cyanoprocaryota 1. Teil: Chroococcales. In: Ettl, H.; Gartner, G.; Heynig, H.; Mollenhauer, D (eds), *Süßwasserflora Von Mitteleuropa Band 19/1*. Stuttgart: Gustav Fisher.
- Komárek, J. & K. Anagnostidis, 2005. Cyanoprocaryota 2. Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales. In: Büdel B.; Krienitz L.; Gärtner G.; Schagerl M. (eds), *Süßwasserflora Von Mitteleuropa 19/2*. Heidelberg: Elsevier/Spektrum.
- Lee, R. E., 2008. *Phycology*. 4th. New York: Cambridge University Press.
- Losada, A. P. M., F. A. N. Feitosa & I. C. Lins, 2003. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Tamandaré - PE) relacionada com parâmetros hidrológicos. *Tropical Oceanography* 31: 1-29.
- Mateucci, S. D. & A. Colma, 1982. La metodología para el estudio de la vegetación. *Collección de Monografías Científicas. Série Biología* 22: 1-168.
- Molica, R. & S. Azevedo, 2009. Ecofisiologia de cianobactérias produtoras de cianotoxinas. *Oecologia Brasiliensis* 13 (2): 229-246.
- Moraes, B. C., J. M. N. Costa, A. C. L. Costa & M. H. Costa, 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica* 35: 207-214.
- Paerl, H. W., R. S. Fulton, P. H. Mosander, & J. Dyble, 2001. Harmful freshwater algal blooms, with emphasis on Cyanobacteria. *The Scientific World* 1: 76-113.
- Parsons, T. R. & J. D. H. Strickland, 1963. Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine Plankton Pigments with Revised Equations of Ascertaining Chlorophyll α and Carotenoids. *Journal of Marine Research* 21: 155-163.
- Pielou, E. C., 1977. *Mathematical Ecology*. New York: Wiley.
- Reynolds, C. S., 1987. Cyanobacterial water-blooms. *Advances in Botanical Research* 13: 67-143.
- Sá, L. L. C.; J. M. S. Vieira, R. A. Mendes, S. C. C. Pinheiro, E. R. Vale, F. A. S. Alves, I. M. Jesus, E. C. O. Santos & V. B. Costa, 2010. Ocorrência de uma floração de cianobactérias

tóxicas na margem direita do rio Tapajós, no Município de Santarém (Pará, Brasil). Revista Pan-Amazônica de Saúde 1: 159-166.

Sant'Anna, C. L., M. T. P. Azevedo, L. F. Agujaro, M. C. Carvalho, L. R. Carvalho & R. C. R. Souza, Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência. Sociedade Brasileira de Ficologia-SBFic.

Shannon, C. E., 1948. A mathematical theory of communication. Bulletin of System Technology Journal 27: 379-423.

Shapiro, J., 1990. Currents beliefs regarding dominance by blue-greens: the case of the importance of CO₂ and pH. Verhandlungen des Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 24: 38-54.

Sournia, A., 1969. Cycle annual du phytoplankton et de la production primaire dans les mers tropicales. Marine Biology (4): 287-303.

Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommung der Quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie 9: 1-38.

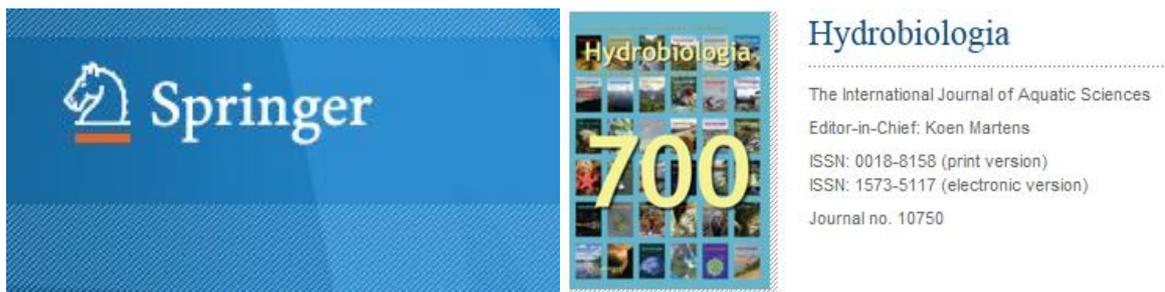
Vieira, J. M. S., M. T. P. Azevedo, S. M. O. Azevedo, R. Y. Honda & B. CORREA, 2003. Microcystin production by *Radiocystis fernandoi* (Chroococcales, Cyanobacteria) isolated from a drinking water reservoir in the city of Belém, PA, Brazilian Amazonic region. Toxicon-Elsevier 42 (7): 709-13.

Vieira, J. M. S., M. T. P. Azevedo, S. M. O. Azevedo, R. Y. Honda & B. Corrêa, 2005. Toxic cyanobacteria and microcystin concentrations in a public water supply reservoir in the Brazilian Amazonia region. Toxicon-Elsevier 45 (7): 901-909.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As flutuações interanuais da precipitação pluviométrica é o fator determinante da biodiversidade e das variações na densidade e na biomassa das cianobactérias na região amazônica brasileira. Do total de 37 espécies encontradas para a região, cinco espécies e um gênero foram reportados pela primeira vez para a área, sendo um gênero nova ocorrência para a região costeira do Pará. Entre as espécies frequentes e abundantes *Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Dolichospermum* e *Pseudanabaena* são potenciais produtores de toxinas, e as duas primeiras, juntamente com *Merismopedia* tiveram maior expressividade em termos de densidade. Não foram reportadas florações durante o estudo, mas os resultados encontrados demonstram a importância de um constante monitoramento da região – uma vez que em outros anos já foram reportados casos de florações – e que espécies potencialmente produtoras de toxinas se destacaram quali-quantitativamente. Os resultados encontrados servem de alerta aos gestores municipais, principalmente pelo fato da população do entorno depender dessas águas para sobrevivência, utilizando-a para consumo, recreação e captura de recursos pesqueiros.

ANEXO 1



http://www.springer.com/life+sciences/ecology/journal/10750?print_view=true&detailsPage=pltc_i_911058

- [About this journal](#)
- [Editorial Board](#)
- [Selected Article](#)
- [Instructions for Authors](#)

Instructions for Authors

Hydrobiologia

General

Hydrobiologia publishes original articles in the fields of limnology and marine science that are of interest to a broad and international audience. The scope of Hydrobiologia comprises the biology of rivers, lakes, estuaries and oceans and includes palaeolimnology and –oceanology, taxonomy, parasitology, biogeography, and all aspects of theoretical and applied aquatic ecology, management and conservation, ecotoxicology, and pollution. Purely technological, chemical and physical research, and all biochemical and physiological work that, while using aquatic biota as test–objects, is unrelated to biological problems, fall outside the journal's scope.

THERE IS NO PAGE CHARGE, provided that manuscript length, and number and size of tables and figures are reasonable (see below). Long tables, species lists, and other protocols may be put on any web site and this can be indicated in the manuscript. Purely descriptive work, whether limnological, ecological or taxonomic, can only be considered if it is firmly embedded in a larger biological framework.

Language

Manuscripts should conform to standard rules of English grammar and style. Either British or American spelling may be used, but consistently throughout the article. Conciseness in writing is a major asset as competition for space is keen.

Editorial Policy

Submitted manuscripts will first be checked for language, presentation, and style. Scientists who use English as a foreign language are strongly recommended to have their manuscript read by a native English–speaking colleague. Manuscripts which are substandard in these respects will be returned without review.

Papers which conform to journal scope and style are sent to at least 2 referees, mostly through a member of the editorial board, who will then act as coordination editor. Manuscripts returned to authors with referee reports should be revised and sent back to the editorial as soon as possible. Final decisions on acceptance or rejection are made by the editor–in–chief. Hydrobiologia endeavours to publish any paper within 6 months of acceptance. To achieve this, the number of volumes to be published per annum is readjusted periodically.

Authors are encouraged to place all species distribution records in a publicly accessible database such as the national Global Biodiversity Information Facility (GBIF) nodes (www.gbif.org) or data centers endorsed by GBIF, including BioFresh (www.freshwaterbiodiversity.eu)

Categories of Contributions

There are four categories of contributions to Hydrobiologia:

- [1.] Primary research papers generally comprise up to 25 printed pages (including tables, figures and references) and constitute the bulk of the output of the journal. These papers MUST be organized according to the standard structure of a scientific paper: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, References, Tables, Figure captions.
- [2.] Review papers, and Taxonomic revisions are long papers; prospective authors should consult with the editor before submitting such a long manuscript, either directly or through a member of the editorial board. Review papers may have quotations (text and illustrations) from previously published work, but authors are responsible for obtaining copyright clearance wherever this applies.

- [3.]Opinion papers reflect authors' points of view on hot topics in aquatic sciences. Such papers can present novel ideas, comments on previously published work or extended book reviews.

Occasionally, regular volumes contain a special section devoted to topical collections of papers: for example, Salt Ecosystems Section and Aquatic Restoration Section.

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink “Submit online” on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Title page

Title Page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 200 words. Abstracts longer than 200 words cannot be uploaded.

The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
 - Use italics for emphasis.
 - Use the automatic page numbering function to number the pages.
 - Do not use field functions.
 - Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
 - Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
 - Use the equation editor or MathType for equations.
 - Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).
- Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.
- [LaTeX macro package \(zip, 182 kB\)](#)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols. Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

Scientific style

Authors are urged to comply with the rules of biological nomenclature, as expressed in the International Code of Zoological Nomenclature, the International Code of Botanical Nomenclature, and the International Code of Nomenclature of Bacteria. When a species name is used for the first time in an article, it should be stated in full, and the name of its describer should also be given. Descriptions of new taxa should comprise official repository of types (holotype and paratypes), author's collections as repositories of types are unacceptable.

Genus and species names should be in italics.

References

References in the text will use the name and year system: Adam & Eve (1983) or (Adam & Eve, 1983). For more than two authors, use Adam et al. (1982). References to a particular page, table or figure in any published work is made as follows: Brown (1966: 182) or Brown (1966: 182, fig. 2). Cite only published items; grey literature (abstracts, theses, reports, etc) should be avoided as much as possible. Papers which are unpublished or in press should be cited only if formally accepted for publication.

References will follow the styles as given in the examples below, i.e. journals are NOT abbreviated (as from January 2003), only volume numbers (not issues) are given, only normal fonts are used, no bold or italic.

- Engel, S. & S. A. Nichols, 1994. Aquatic macrophytes growth in a turbid windswept lake. *Journal of Freshwater Ecology* 9: 97–109.
- Horne, D. J., A. Cohen & K. Martens, 2002. Biology, taxonomy and identification techniques. In Holmes, J. A. & A. Chivas (eds), *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*. American Geophysical Union, Washington DC: 6–36.
- Maitland, P. S. & R. Campbell, 1992. *Fresh Water Fishes*. Harper Collins Publishers, London.
- Tatrai, I., E. H. R. R. Lammens, A. W. Breukelaar & J. G. P. Klein Breteler, 1994. The impact of mature cyprinid fish on the composition and biomass of benthic macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie* 131: 309–320.

Tables

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

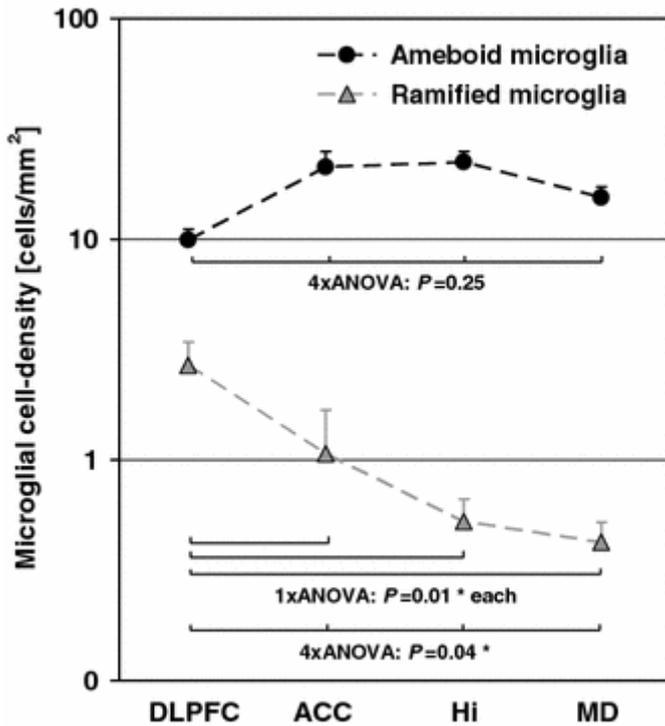
Artwork and Illustrations Guidelines

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork – photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure Submission

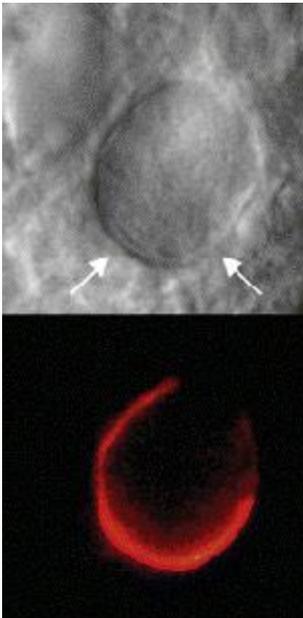
- Supply all figures electronically.
- Indicate what graphics program was used to create the artwork.
- For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.
- Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art



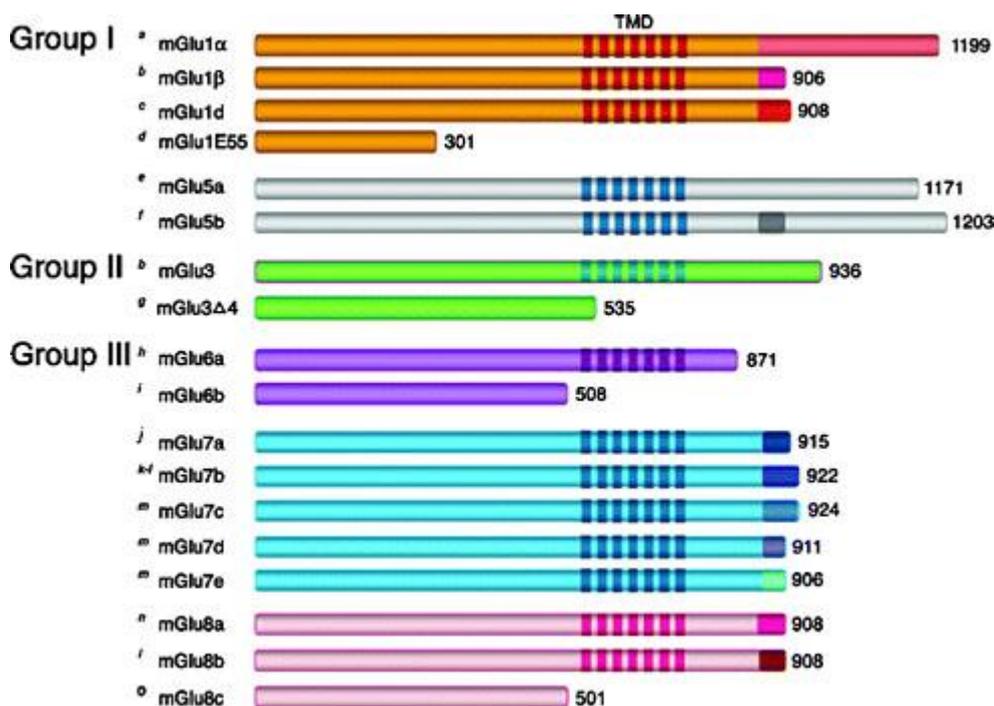
- Definition: Black and white graphic with no shading.
- Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.
- All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.
- Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.
- Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art



- Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.
- If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.
- Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art



- Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.
- Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

- Color art is free of charge for online publication.
- If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.
- If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.
- Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

- To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).
- Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).
- Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.
- Avoid effects such as shading, outline letters, etc.
- Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

- All figures are to be numbered using Arabic numerals.
- Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.
- Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).
- If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

- Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.
- Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.
- No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

- Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.
- Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

- When preparing your figures, size figures to fit in the column width.
- For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.
- For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

- All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)
- Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)
- Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Electronic Supplementary Material

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

- Supply all supplementary material in standard file formats.
- Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.
- To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

- Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and Presentations

- Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.
- A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

- Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.
- If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

- Specialized format such as .pdb (chemical), .wrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

- It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

- If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.
- Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4”.
- Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

- For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

- Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

- The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material
- Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

After acceptance

Upon acceptance of your article you will receive a link to the special Author Query Application at Springer’s web page where you can sign the Copyright Transfer Statement online and indicate whether you wish to order OpenChoice and offprints.

Once the Author Query Application has been completed, your article will be processed and you will receive the proofs.

Open Choice

In addition to the normal publication process (whereby an article is submitted to the journal and access to that article is granted to customers who have purchased a subscription), Springer now provides an alternative publishing option: Springer Open Choice. A Springer Open Choice article receives all the benefits of a regular subscription-based article, but in addition is made available publicly through Springer’s online platform SpringerLink.

- [Springer Open Choice](#)

Copyright transfer

Authors will be asked to transfer copyright of the article to the Publisher (or grant the Publisher exclusive publication and dissemination rights). This will ensure the widest possible protection and dissemination of information under copyright laws.

Open Choice articles do not require transfer of copyright as the copyright remains with the author. In opting for open access, the author(s) agree to publish the article under the Creative Commons Attribution License.

Offprints

Offprints can be ordered by the corresponding author.

Color illustrations

Publication of color illustrations is free of charge.

Proof reading

The purpose of the proof is to check for typesetting or conversion errors and the completeness and accuracy of the text, tables and figures. Substantial changes in content, e.g., new results, corrected values, title and authorship, are not allowed without the approval of the Editor.

After online publication, further changes can only be made in the form of an Erratum, which will be hyperlinked to the article.

Online First

The article will be published online after receipt of the corrected proofs. This is the official first publication citable with the DOI. After release of the printed version, the paper can also be cited by issue and page numbers.

Does Springer provide English language support?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in.

Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.

Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

For Authors from China

文

章在投稿前进行专业的语言润色将对作者的投稿进程有所帮助。作者可自愿选择使用Springer推荐的编辑服务，使用与否并不作为判断文章是否被录用的依据。提高文章的语言质量将有助于审稿人理解文章的内容，通过对学术内容的判断来决定文章的取舍，而不会因为语言问题导致直接退稿。作者需自行联系 Springer推荐的编辑服务公司，协商编辑事宜。

- [理文编辑](#)

•

For Authors from Japan

ジャーナルに論文を投稿する前に、ネイティブ・スピーカーによる英文校閲を希望されている方には、Edanz社をご紹介します。サービス内容、料金および申込方法など、日本語による詳しい説明はエダンズグループジャパン株式会社の下記サイトをご覧ください。

- [エダンズグループ ジャパン](#)

•

For Authors from Korea

영어 논문 투고에 앞서 원어민에게 영문 교정을 받고자 하시는 분들께 Edanz 회사를 소개해 드립니다. 서비스 내용, 가격 및

신청 방법 등에 대한 자세한 사항은 저희 Edanz Editing Global 웹사이트를 참조해 주시면 감사하겠습니다.

- [Edanz Editing Global](#)

•

Developments in Hydrobiology

The book series *Developments in Hydrobiology* reprints verbatim, but under hard cover, the proceedings of specialized scientific meetings which also appear in *Hydrobiologia*, with the aim of making these available to individuals not necessarily interested in subscribing to the journal itself. Papers in these volumes must be cited by their original reference in *Hydrobiologia*. In addition, *Developments in Hydrobiology* also publishes monographic studies, handbooks, and multi-author edited volumes on aquatic ecosystems, aquatic communities, or any major research effort connected with the aquatic environment, which fall outside the publishing policy of *Hydrobiologia*, but are printed in the same format and follow the same conventions. Guest editors of such volumes should follow the guidelines presented above and are responsible for all aspects of presentation and content, as well as the refereeing procedure and the compilation of an index. Prospective editors of special, subject-oriented volumes of *Hydrobiologia/Developments in Hydrobiology* are encouraged to submit their proposals to the editor-in-chief.

- www.springer.com/prod/s/DIHY

ANEXO 2

Quadro 2. Frequência de ocorrência da comunidade de cianobactérias para o Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil), em abril e julho de 2009 e em abril e agosto de 2010.

Táxons	2009												2010									FA	FR			
	Abril						Julho						Abril						Agosto							
	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC			RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ
<i>Microcystis aeruginosa</i>		x	x	x	x	x	X		x		x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	19	79,17
<i>Microcystis novacekii</i>																	x							1	4,17	
<i>Microcystis protocystis</i>	x	x	x		x	x	X	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	21	87,50
<i>Microcystis wesenbergii</i>	x	x	x	x	x	x	X	x	x	X	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	22	91,67
<i>Microcystis sp.</i>													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12	50,00
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>		x	x			x								x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	13	54,17
<i>Aphanocapsa elachista</i>	x	x	x		x		X	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	20	83,33
<i>Aphanocapsa holsatica</i>	x	x			x		X	x					x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	15	62,50
<i>Aphanocapsa incerta</i>							X	x	x	X	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	16	66,67
<i>Aphanocapsa sp.</i>			x			x				X			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	15	62,50
<i>Merismopedia glauca</i>		x																							1	4,17
<i>Merismopedia tenuissima</i>	x	x	x	x	x	x	X	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100,00
<i>Chroococcus dispersus</i>																			x				x		2	8,33
<i>Chroococcus distans</i>											x														1	4,17
<i>Chroococcus sp.</i>													x												1	4,17
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	x	x					X	x	x	X		x		x	x	x	x	x	x	x		x	x		16	66,67
<i>Pseudanabaena mucicola</i>	x	x	x	x	x	x	X	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	22	91,67
<i>Pseudanabaena sp.1</i>		x	x										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	14	58,33
<i>Geitlerinema sp.</i>															x	x	x	x			x			x	6	25,00
<i>Spirulina sp.</i>		x																							1	4,17

Quadro 2. Frequência de ocorrência da comunidade de cianobactérias para o Estuário do Rio Pará (Amazônia, Brasil), em abril e julho de 2009 e em abril e agosto de 2010. Continuação...

Táxons	2009												2010												FA	FR
	Abril						Julho						Abril						Agosto							
	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ	RPA 01 ENC	RPA 02 ENC	RPA 03 ENC	RPA 01 VAZ	RPA 02 VAZ	RPA 03 VAZ		
<i>Oscillatoria limosa</i>							X		x	X	x		x	x	x	x	x	x	x		x				12	50,00
<i>Oscillatoria perornata</i>														x											1	4,17
<i>Oscillatoria</i> sp.1	X	x			x					X		x	x	x	x			x						9	37,50	
<i>Oscillatoria</i> sp.2								x				x						x	x					4	16,67	
<i>Phomidium</i> sp.							X	x	x					x				x		x				6	25,00	
<i>Komvophoron</i> sp.1												x		x	x	x	x	x	x	x				8	33,33	
<i>Komvophoron</i> sp.2		x	x		x	x		x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	20	83,33	
<i>Anabaena</i> sp.1		x	x	x	x		X	x	x			x	x	x	x	x	x	x					x	17	70,83	
<i>Anabaena</i> sp.2								x				x	x	X	x			x		x				9	37,50	
Cianobactéria não identificada							X	x				x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	16	66,67	

ANEXO 3

Quadro 2. Frequência de ocorrência da comunidade de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no período de janeiro a outubro de 2009. ARZ: Furo do Arrozal; MUR. Rio Murucupi; DEN. Igarapé Dendê; ARI. Rio Arienga e ARP. Rio Arapiranga.

Táxons	JAN	ABR	JUL	OUT	FA	FR(%)																
	ARZ				MUR				DEN				ARI				ARP					
<i>Microcystis aeruginosa</i>	x	x	x	x	x				x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	38	47,5
<i>Microcystis protocystis</i>	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	43	53,75
<i>Microcystis wesenbergii</i>		x	x	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x	33	41,25
<i>Microcystis</i> sp.		x						x					x	x							6	7,5
<i>Radiocystis</i> sp.				x									x		x			x		x	5	6,25
<i>Chroococcus</i> sp.													x		x	x					1	1,25
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	x	x		x	x				x	x	x					x	x	x	x	x	6	7,5
<i>Aphanocapsa elachista</i>									x			x				x				x	24	30
<i>Aphanocapsa holsatica</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x	x	6	7,5
<i>Aphanocapsa incerta</i>			x	x			x				x	x				x			x	x	44	55
<i>Aphanocapsa</i> sp.					x	x							x		x	x					16	20
<i>Merismopedia tenuissima</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12	15
<i>Oscillatoria limosa</i>					x		x														69	86,25
<i>Oscillatoria</i> sp.		x	x	x	x	x	x		x	x	x		x		x	x			x	x	4	5
<i>Lyngbya</i> sp.																		x			3	3,75
<i>Phormidium</i> sp.1	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x			x	19	23,75
<i>Phormidium</i> sp.2	x			x	x			x													4	5
<i>Planktothrix agardhii</i>													x		x		x		x		6	7,5
<i>Planktothrix</i> sp.													x								23	28,75
<i>Pseudanabaena limnetica</i>	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4	5
<i>Pseudanabaena mucicola</i>		x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	1	1,25
<i>Geitlerinema</i> sp.			x																		43	53,75
<i>Spirulina</i> sp.			x																	x	31	38,75
<i>Planktolyngbya</i> sp.																	x				1	1,25

Quadro 2. Frequência de ocorrência da comunidade de cianobactérias em cinco drenagens em uma região portuária e industrial no período de janeiro a outubro de 2009. ARZ: Furo do Arrozal; MUR. Rio Murucupi; DEN. Igarapé Dendê; ARI. Rio Arienga e ARP. Rio Arapiranga. Continuação...

Táxons	JAN	ABR	JUL	OUT	FA	FR(%)																
	ARZ				MUR				DEN				ARI				ARP					
<i>Komvophoron</i> sp.1	x								x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	2	2,5
<i>Komvophoron</i> sp.2			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1	1,25
<i>Dolichospermum circinalis</i>		x																			15	18,75
<i>Dolichospermum</i> sp.1		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x	x		x	x	38	47,5
<i>Dolichospermum</i> sp.2	x		x			x	x														4	5
<i>Scytonema</i> sp.						x															27	33,75
Cianobactéria não identificada			x	x				x	x		x	x			x	x				x	1	1,25