

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS**

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA COMO
ALTERNATIVA PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE
BIOLÓGICA DE ÁREAS COM POTENCIALIDADE AQUÍCOLA
ESTABELECIDAS PELO ZONEAMENTO COSTEIRO DO ESTADO
DO MARANHÃO**

**Eliesé Idalino Rodrigues
Dissertação de Mestrado**

SÃO LUÍS

2006

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
SUSTENTABILIDADE DE ECOSISTEMAS**

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA COMO
ALTERNATIVA PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE
BIOLÓGICA DE ÁREAS COM POTENCIALIDADE AQUÍCOLA
ESTABELECIDAS PELO ZONEAMENTO COSTEIRO DO ESTADO
DO MARANHÃO**

ELIESÉ IDALINO RODRIGUES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim.

CO-ORIENTADOR:

Prof. Dr. Odilon Teixeira de Melo.



SÃO LUÍS

2006

Rodrigues, Eliesé Idalino

Estrutura da comunidade fitoplanctônica como alternativa para avaliação da sustentabilidade biológica de áreas com potencialidade aquícola estabelecida pelo Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão. / Eliesé Idalino Rodrigues. – São Luís, 2006.

145 folhas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, 2006.

1. Fitoplâncton – Estuário – Maranhão. 2. Aquicultura. 3 – Zoneamento Costeiro – Maranhão. I. Título.

CDU 577.475 : 556.54 (812.1)

ELIESÉ IDALINO RODRIGUES

**ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA COMO ALTERNATIVA
PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE BIOLÓGICA DE ÁREAS COM
POTENCIALIDADE AQUÍCOLA ESTABELECIDAS PELO ZONEAMENTO
COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO**

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA EM: 28 de novembro de 2006.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim

Orientador

Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFMA

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa

Departamento de Oceanografia da UFPE

Prof. Dr. Antônio Carlos Leal de Castro

Departamento de Oceanografia e Limnologia da UFMA

São Luís

2006

Dedico esta Dissertação

À minha família:

Idalino Francisco Rodrigues (pai)

Maria Joviniana da Paixão Rodrigues (mãe)

Por tudo que sou hoje como pessoa.

Elismar Idalino Rodrigues (irmão)

Elildo Idalino Rodrigues (irmão)

Eliane da Paixão Rodrigues (irmã)

Cledinaldo Borges Leal (irmão-postiço)

Joseph Carvalho (irmão-postiço)

Simplesmente por existirem na minha vida.

Antonia Maria Leal Borges (mãe-postiça)

Francisco Borges Leal (pai-postiço)

*Por tanto amor e carinho com que sempre me
trataram.*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não seria possível se não houvesse a participação e colaboração de vários profissionais e de amigos que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram para a execução do mesmo. A todas estas pessoas, agradeço de coração pelo apoio e colaboração. Em especial agradeço:

- A Deus, por ter me concedido saúde, paz e força para vencer mais uma etapa;
- Ao Prof. Dr. Marco Valério Jansen Cutrim, pela orientação, paciência, pelas valiosas informações científicas, por ter aceitado minha inexperiência e pela amizade;
- Ao Prof. Dr. Odilon Teixeira de Melo, pela co-orientação e pelo apoio com a Química;
- À Profª MSc. Andrea Cristina G. de Azevedo, pelo apoio na realização deste trabalho;
- À FAPEMA pelo financiamento desta pesquisa, e à SEDUC-PI, pela minha liberação;
- Ao Prof. Dr. Fernando Feitosa, pela participação na banca de defesa final;
- Aos meus contatos nos municípios de coleta: Joanete em Cedral, João Mole e Dalva em Cajapió e Basquête, em São José de Ribamar, por todo o apoio proporcionado;
- Aos Profs. Drs. Antônio Carlos Leal de Castro e Miguel Petrere Jr., pela Estatística;
- À Profª Drª Sigrid Neumann Leitão, pela ajuda com a ACP e valiosos ensinamentos;
- Ao Coordenador do curso, Dr. Cláudio Pinheiro, por sempre estar disponível a ajudar;
- Aos Profs. Drs. Paulo Cavalcante e Ricardo Barbieri, pelo apoio às viagens de coleta;
- Aos Profs. Drs. Márcio Vaz, Flávia Mochel e Policarpo, pelas valiosíssimas sugestões;
- Aos motoristas Moleza, Zé Raimundo, Márcio e Marco César, pela companhia;
- A Cledinaldo, Joseph e Evandro, pela companhia e ajuda imensuráveis nas coletas;
- A Heridan, pelo grande apoio dispensado, sobretudo logo que cheguei ao Maranhão;
- A todos os professores que contribuíram para o meu crescimento;
- A Henrique, Rivelino, Anderson, Dulce, Geraldino e Silvinha, pelas valiosas ajudas;
- A Francisca Íris e Nágela Gardênia, pela identificação das microalgas;
- A Daniele Saraiva e Danielle Gonçalves, pelas dicas e sugestões;
- A todos do Labohidro, pela simpatia, em especial a César, Júnior, Floripes e Moacir;
- Aos colegas de turma, pela calorosa recepção e por sempre estarem do meu lado;
- E, finalmente, a todos aqueles que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho e que infelizmente não pude mencionar aqui.

« Na verdade, não são os avanços científicos e industriais que ameaçam o **homem** e a **natureza**, mas sim a maneira errada e inconsciente como a humanidade aplica as suas conquistas tecnológicas. »

Jacques Yves Cousteau

RESUMO

ESTRUTURA DA COMUNIDADE FITOPLANCTÔNICA COMO ALTERNATIVA PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE BIOLÓGICA DE ÁREAS COM POTENCIALIDADE AQUÍCOLA ESTABELECIDAS PELO ZONEAMENTO COSTEIRO DO ESTADO DO MARANHÃO. As áreas estuarinas dos municípios de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, estado do Maranhão, estão situadas entre as latitudes 2° e 3° S e as longitudes 44° e 45° W. Com o intuito de conhecer a biomassa, a ecologia e a composição da flora fitoplanctônica, as variações sazonais e influência das variáveis climáticas e hidrológicas, seis coletas superficiais entre os meses de maio/2005 a abril/2006 foram realizadas para cada uma das três estações amostrais, durante a preamar, período da manhã. Tais estações foram definidas dentro de módulos do Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão considerados como de médio ou muito alto potencial para o cultivo de organismos aquáticos de interesse econômico, considerando os períodos chuvoso (janeiro a junho) e de estiagem (julho a dezembro). Os dados climatológicos foram procedentes das estações meteorológicas localizadas nos municípios de São Luís, Alcântara e Pinheiro. Foram registrados *in situ* dados sobre a profundidade local, a temperatura, a transparência da água e, concomitantemente, coletadas amostras d'água para a análise das variáveis hidrológicas e biológicas. As amostras do microfitoplâncton foram obtidas através de arrastos horizontais superficiais, com rede de comprimento de 1 m, aro de 30 cm e 45 µm de abertura de malha, durante 5 minutos. A biomassa fitoplanctônica (total e fracionada) foi medida através das concentrações de clorofila *a*. Foram identificados 124 táxons, sobressaindo as diatomáceas, com 87,1 % do total de táxons. Destacaram-se, em relação à frequência de ocorrência, as diatomáceas *Cyclotella stilorum*, *Ditylum brightwellii*, *Thalassionema frauenfeldii* e *Thalassiosira subtilis*, com 94% de ocorrência nas coletas e *Actinoptychus annulatus*, *Coscinodiscus centralis*, *Odontella aurita*, *O. mobiliensis* e *Triceratium favus*, frequentes em 89 % das amostras. Os dinoflagelados constituíram o segundo grupo da flora, seguido pelas clorofíceas, cianobactérias e euglenofíceas. O índice de diversidade de Shannon (H') caracterizou os ambientes com graus de média a alta diversidade específica. A transparência da água variou de 12 cm a 130 cm; a temperatura da água (27,8 a 38,5 °C); a salinidade (10,7 a 33,0) variou de ambiente mesoalino a eualino; taxa de saturação do oxigênio dissolvido (61,44 a 160,55 %); o pH manteve-se sempre alcalino, variando de 7,40 a 8,68; nitrato (1,39 a 24,43 µM), fosfato (0,15 a 1,72 µM) e silicato (3,25 a 65,03 µM); biomassa algal de 2,40 a 16,56 mgClorofila.m⁻³, apresentando uma leve sazonalidade com menores concentrações durante o período chuvoso e geralmente com índices elevados, caracterizando o ambiente como eutrófico. Nessas áreas, há sérias limitações químicas e biológicas para a aquíicultura; em São José de Ribamar e Cajapió, a baixa biomassa fitoplanctônica pode ser colocada como inapropriada em determinados períodos do ano, enquanto que, em São José de Ribamar e Cedral, estão presentes algumas espécies com potencialidade tóxica, tais como dois gêneros de diatomáceas (*Nitzschia* e *Pseudo-nitzschia*), os dinoflagelados do gênero *Protoperidinium* e as cianobactérias do gênero *Oscillatoria*. Tais espécies podem se desenvolver com o conseqüente enriquecimento do ambiente com nitrato e fosfato oriundos de atividades aquícolas.

Palavras-chave: Estuário. Fitoplâncton. Aquíicultura. Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão.

ABSTRACT

PHYTOPLANKTONIC COMMUNITY STRUCTURE AS ALTERNATIVE FOR EVALUATION OF BIOLOGICAL SUSTAINABILITY OF THE AQUACULTURAL POTENTIALITY AREAS ESTABLISHED BY THE COSTAL ZONING OF MARANHÃO STATE (BRAZIL). The estuarine areas in São José de Ribamar, Cedral and Cajapió counties, Maranhão State (Brazil), are between 2° e 3° S and 44° e 45° W. Six superficial collections at high tide in morning time were carried out during the period from May/2005 to April/2006 for each sample station to know the phytoplanktonic biomass, ecology and flora composition, seasonal variations and the hydrological and climatic variables. These stations were defined according to the Costal Zoning of Maranhão State, which considered them as medium and high potentiality for aquacultural organisms cultures which are economically important. Two seasonal periods were considered: the wet weather (from January to June) and the dry one (from July to December). Climatological data were taken at meteorological stations at São Luís, Alcântara and Pinheiro counties. *In situ* data about local depth, temperature, water transparency were registered and, concomitantly, water samples were collected for biological and hydrological variables analysis. Microphytoplankton samples were obtained through superficial horizontal drags, with a dragnet of 1 m length, 30 cm ring and 45 µm mesh size, during 5 minutes. The phytoplanktonic biomass (total and size-fractionated) was measured through chlorophyll *a* concentrations. A number of 124 taxa had been identified, mainly diatoms, composing 87,1 % of the total taxa. In relation to occurrence frequency, the most important were the diatoms *Cyclotella stylonum*, *Ditylum brightwellii*, *Thalassionema frauenfeldii* and *Thalassiosira subtilis*, with 94 % of occurrence in the collections and *Actinoptychus annulatus*, *Coscinodiscus centralis*, *Odontella aurita*, *O. mobiliensis* and *Triceratium favus*, frequents in 89 % of the samples. The dinoflagellates constituted the second flora group, followed by Chlorophyceae, Cyanophyceae and Euglenophyceae. Shannon's diversity index (H') characterizes the environments with medium and high specific diversity degrees. The water transparency varied from 12 cm to 130 cm; the water temperature (from 27,8 to 38,5 °C); salinity (from 10,7 to 33,0) varied from mesohaline to euhaline environment; saturation rate of dissolved oxygen (from 61,44 to 160,55 %); pH keep alkaline, varying from 7,40 to 8,68; nitrate (from 1,39 to 24,43 µM), phosphate (from 0,15 to 1,72 µM) and silicate (from 3,25 to 65,03 µM); algal biomass varied from 2,40 to 16,56 mgChlorofila.m⁻³, showing a light seasonality with shorter concentrations during the wet weather and generally with high indices, characterizing the area as an eutrophic environment. In that areas there are serious biological and chemical limitations for aquaculture. In São José de Ribamar and Cajapió, the low phytoplanktonic biomass can be named as inappropriate in some periods of the year, while in São José de Ribamar and Cedral some species with toxic potentiality are presents, as two genera of diatoms (*Nitzschia* and *Pseudo-nitzschia*), dinoflagelates of the genera *Protoperidinium* and cyanobacteria of the genera *Oscillatoria*. Such species can be developed by the consequent environment enrichment with nitrate and phosphate deriving from aquacultural activities.

Key-words: Estuary. Phytoplankton. Aquaculture. Costal Zoning of Maranhão State.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Mapa com as localizações das estações de coleta (01, 02 e 03), na costa maranhense.	29
Figura 2.2 Localização da estação 01 dentro do módulo do Zoneamento Costeiro, no município de São José de Ribamar-MA.	30
Figura 2.3 Localização da estação 02 dentro do módulo do Zoneamento Costeiro, no município de Cedral-MA.	31
Figura 2.4 Localização da estação 03 dentro do módulo do Zoneamento Costeiro, no município de Cajapió-MA.	32
Figura 2.5 Mapa das bacias hidrográficas diretamente relacionadas às estações de coleta.	33
Figura 3.1 Valores de precipitação pluviométrica mensal (mm) para as três estações de coleta, durante o período de 2005 a 2006, média histórica mensal (1961 a 1998) para a ilha de São Luís (SLZ), para cada mês, e a média geral.	44
Figura 3.2 Valores de temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias) em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.	45
Figura 3.3 Valores da temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias) em Cedral, durante o período de 2005 a 2006.	46
Figura 3.4 Valores de temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias) em Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	46
Figura 3.5 Valores da velocidade dos ventos (média e máxima diárias) em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.	47
Figura 3.6 Valores de velocidade dos ventos (média e máxima diárias) em Cedral, durante o período de 2005 a 2006.	47
Figura 3.7 Valores de velocidade dos ventos (média e máxima diárias) em Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	47

	Página
Figura 3.8 Valores da radiação solar (média diária por mês), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	48
Figura 3.9 Valores de alturas de maré (m) no porto de Itaqui durante o período de 2005 a 2006, com a altura máxima e mínima atingidas pela preamar em cada mês e a baixa-mar subsequente.	49
Figura 3.10 Valores de altura da maré (m) em São José de Ribamar, no momento da coleta, comparada com a preamar e a baixa-mar mais próximas, com base em dados da DHN (2004 e 2005).	50
Figura 3.11 Valores de altura da maré (m) em Cedral, no momento da coleta, comparada com a preamar e a baixa-mar mais próximas, com base em dados da DHN (2004 e 2005).	50
Figura 3.12 Valores da altura da maré (m) em Cajapió, no momento da coleta, comparada com a preamar e a baixa-mar mais próximas, com base em dados da DHN (2004 e 2005).	51
Figura 3.13 Valores de transparência da água (cm), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	52
Figura 3.14 Valores de condutividade superficial da água (mS), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió) durante o período de 2005 a 2006.	54
Figura 3.15 Valores da salinidade superficial da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	55
Figura 3.16 Valores registrados para temperatura (°C) do ar e da superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	56

	Página
Figura 3.17 Valores da densidade superficial da água (mg.cm^{-3}), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	57
Figura 3.18 Valores para pH da superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	59
Figura 3.19 Valores de oxigênio dissolvido (ml.L^{-1}) registrados na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	60
Figura 3.20 Valores de saturação de oxigênio dissolvido (%) na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	61
Figura 3.21 Valores para o nitrato (μM) da superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	63
Figura 3.22 Valores obtidos para fosfato (μM) na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	65
Figura 3.23 Valores de silicato (μM) na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	68
Figura 3.24 Valores percentuais da comunidade fitoplanctônica representada por cada divisão de microalgas, em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.	73
Figura 3.25 Frequência de ocorrência das espécies identificadas em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.	74
Figura 3.26 Valores percentuais da comunidade fitoplanctônica representada por cada divisão de microalgas, em Cedral, durante o período de 2005 a 2006.	75

	Página
Figura 3.27 Freqüência de ocorrência das espécies nas amostras da estação de coleta de Cedral, durante o período de 2005 a 2006.	76
Figura 3.28 Valores percentuais da comunidade fitoplanctônica representada por cada divisão de fitoplâncton, em Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	77
Figura 3.29 Freqüência de ocorrência das espécies nas amostras da estação de coleta de Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	78
Figura 3.30 Valores percentuais de composição de cada estação de coleta no que se refere à classificação ecológica (habitat típico de ocorrência) dos táxons fitoplanctônicos.	81
Figura 3.31 Valores percentuais dos táxons que ocorreram durante o período chuvoso e no período de estiagem.	82
Figura 3.32 Valores da precipitação pluviométrica (PRP) e do índice de Shannon (H') para a estação de Cajapió durante o período analisado.	89
Figura 3.33 Valores de quantificação da biomassa fitoplanctônica (mgClorofila.m ⁻³) total, para cada estação de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	91
Figura 3.34 Valores de quantificação da biomassa fitoplanctônica em clorofila <i>a</i> (mg.m ⁻³) total e fracionada, para cada estação de coleta (SJR=São José de Ribamar, CED=Cedral e CAJ=Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	95
Figura 3.35 Percentuais de contribuição do nanofitoplâncton (%) para a biomassa (clorofila <i>a</i>), nas estações de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	96

	Página
Figura 3.36 Densidade fitoplanctônica (contagem de células), em células.L ⁻¹ , para cada estação de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	98
Figura 3.37 Análise Q de agrupamento das três estações amostradas (SJR = São José de Ribamar, CED = Cedral e CAJ = Cajapió) com os dados de contagem, durante o período de 2005 a 2006.	102
Figura 3.38 Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis abióticas e bióticas de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	103
Figura 3.39 Diagrama com os resultados obtidos por meio do tratamento estatístico aplicado aos dados (setas azuis indicam correlação positiva e setas vermelhas representam correlação negativa).	107

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 2.1 Áreas (km ²) das bacias hidrográficas que contribuem diretamente para as estações, calculadas no <i>software</i> “Autodesk Map 2004”.	33
Tabela 3.1 Razão nitrato/fosfato, conforme a estação (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	67
Tabela 3.2 Razão nitrato/silicato, conforme a estação (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.	69
Tabela 3.3 Ecologia dos táxons encontrados em estuários de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	80
Tabela 3.4 Índices de medida da riqueza de espécies (Margalef – S), da equitabilidade (Pielou – J) e da diversidade de espécies (Shannon – H’), para cada estação de coleta, durante 2005 e 2006.	87
Tabela 3.5 Valores da concentração de pigmentos (mgClorofila.m ⁻³), incluindo os pigmentos totais, clorofila <i>a</i> ativa e os feopigmentos <i>a</i> , para o conjunto do fitoplâncton (total) e para o nanofitoplâncton (frac.=fracionada), durante o período de 2005 a 2006, nas estações de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió.	97
Tabela 3.6 Coeficientes parciais (b) de regressão linear múltipla entre biomassa, concentração de nutrientes (nitrato, fosfato, silicato), densidade fitoplanctônica e razão N:P. Regressão significativa, com p = 0,049.	100
Tabela 3.7 Coeficientes parciais (b) de regressão linear múltipla entre a densidade fitoplanctônica, a concentração de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato) e a relação N:P. A regressão foi significativa estatisticamente, com p = 0,001.	100

	Página
Tabela 3.8 Valores do número de células das espécies mais frequentes, presentes em pelo menos 50 % das amostras, em cada uma das estações de coletas, durante o período de 2005 a 2006.	102
Tabela 3.9 Análise dos componentes principais dos táxons fitoplanctônicos com potencialidade tóxica e das variáveis ambientais em São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	104

LISTA DE QUADROS

	Páginas
Quadro 3.1 Sinopse dos táxons identificados nas amostras de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.	70
Quadro 3.2 Comparativo entre as estações amostrais (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), com as variáveis posicionadas na estação onde seus valores foram máximos.	106
Quadro 3.3 Comparativo entre os períodos chuvoso e de estiagem, com as variáveis posicionadas no período onde seus valores foram máximos.	106

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo A	Mapa da zona costeira do Maranhão, sendo a área em azul, separada nos seus 393 módulos, que representa 30 % do total, a porção de influência direta da maré, que foi considerada na elaboração do Zoneamento Costeiro do estado. 125
Anexo B	Mapa dos 393 módulos do Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão classificados conforme as suas potencialidades para a criação de organismos aquáticos. 126
Anexo C	Valores das variáveis climatológicas mensais do período amostrado, para a estação de coleta de São José de Ribamar-MA, e médias pluviométricas históricas (1961 a 1998) da estação meteorológica localizada no município de São Luís-MA. Dados do Laboratório de Meteorologia da UEMA. 127
Anexo D	Valores das variáveis climatológicas mensais do período amostrado, para a estação de coleta de Cedral-MA. Dados do Laboratório de Meteorologia da UEMA. 128
Anexo E	Valores das variáveis climatológicas mensais do período amostrado, para a estação de coleta de Cajapió-MA. Dados do Laboratório de Meteorologia da UEMA. 129

LISTA DE APÊNDICES

	Página
Apêndice A	Valores das variáveis abióticas (hidrológicas) e bióticas do período amostrado, para a estação de coleta de São José de Ribamar-MA, durante o período de 2005 a 2006. 131
Apêndice B	Valores das variáveis abióticas (hidrológicas) e bióticas do período amostrado, para a estação de coleta de Cedral-MA, durante o período de 2005 a 2006. 132
Apêndice C	Valores das variáveis abióticas (hidrológicas) e bióticas do período amostrado, para a estação de coleta de Cajapió-MA, durante o período de 2005 a 2006. 133
Apêndice D	Espécies identificadas nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006. 134
Apêndice E	Valores de contagem das três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006. 139
Apêndice F	Foto da estação de coleta de São José de Ribamar-MA. 142
Apêndice G	Foto da estação de coleta de Cedral-MA. 143
Apêndice H	Foto da estação de coleta de Cajapió-MA. 144
Apêndice I	Foto do tipo de embarcação utilizado durante as coletas. 145

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE QUADROS	
LISTA DE APÊNDICES	
1 INTRODUÇÃO	22
1.1 O ambiente estuarino	22
1.2 A comunidade fitoplanctônica	23
1.3 Gerenciamento costeiro e desenvolvimento sustentável	25
2 METODOLOGIA	29
2.1 Área de estudo	29
2.2 Material e métodos	34
2.2.1 Variáveis abióticas	34
2.2.1.1 Dados climatológicos e de maré	34
2.2.1.2 Variáveis hidrológicas	35
2.2.2 Variáveis bióticas	36
2.2.2.1 Composição qualitativa do fitoplâncton	36
2.2.2.2 Frequência de ocorrência	36
2.2.2.3 Densidade fitoplanctônica (contagem de células)	37
2.2.2.4 Biomassa fitoplanctônica (clorofila <i>a</i>)	38
2.2.2.4.1 Clorofila <i>a</i> funcional ou ativa e feopigmentos <i>a</i>	39
2.2.3 Tratamento numérico dos dados	40
2.2.3.1 Riqueza de espécies (Índice S de Margalef)	40
2.2.3.2 Índice de equitabilidade ou uniformidade de Pielou (J)	41
2.2.3.3 Índice de diversidade específica de Shannon (H')	41
2.2.3.4 Análise de agrupamento	42
2.2.4 Tratamento estatístico dos dados	42

	Página
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO 43
3.1	Dados climatológicos e de maré 43
3.1.1	Precipitação pluviométrica 43
3.1.2	Temperatura do ar 45
3.1.3	Velocidade dos ventos 46
3.1.4	Radiação solar acumulada 48
3.1.5	Alturas de maré 49
3.2	Variáveis hidrológicas 51
3.2.1	Transparência da água 51
3.2.2	Condutividade 53
3.2.3	Salinidade 54
3.2.4	Temperatura superficial da água 55
3.2.5	Densidade da água 56
3.2.6	Potencial hidrogeniônico (pH) 58
3.2.7	Oxigênio dissolvido e percentual de saturação 60
3.2.8	Sais nutrientes 62
3.2.8.1	Nitrato 62
3.2.8.2	Fosfato 64
3.2.8.3	Silicato 67
3.3	Variáveis biológicas 69
3.3.1	Composição florística 69
3.3.1.1	São José de Ribamar 72
3.3.1.2	Cedral 75
3.3.1.3	Cajapió 77
3.3.1.4	Novas espécies encontradas 79
3.3.1.5	Caracterização ecológica da flora 79
3.3.2	Índices específicos 87
3.3.3	Biomassa fitoplanctônica 90
3.3.3.1	Biomassa fitoplanctônica total 90
3.3.3.2	Biomassa fitoplanctônica fracionada 94

	Página	
3.3.3.3	Clorofila <i>a</i> ativa e feopigmentos <i>a</i>	96
3.3.4	Densidade fitoplanctônica	98
3.4	Análise multivariada	100
3.4.1	Regressões entre biomassa (clorofila <i>a</i>), densidade fitoplanctônica e sais nutrientes (nitrato, fosfato, silicato e razão N:P)	100
3.4.2	Associação das amostras com relação aos dados de contagem de células	101
3.4.3	Análise dos Componentes Principais (ACP)	102
3.5	Considerações finais	105
4	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 O ambiente estuarino

Os ecossistemas movimentam matéria e energia, necessárias à manutenção e multiplicação dos organismos que os compõem. A quantidade de energia produzida nesses ecossistemas varia desde os ambientes menos produtivos até os considerados detentores de grande produtividade, tais como os estuários. Um estuário (*aestus*, maré) é um braço de mar que alcança um vale de rio até o limite superior da preamar (FAIRBRIDGE, 1980), podendo ser considerado como zona de transição ou ecótono entre os habitats de água doce e marinho (ODUM, 2004), formando gradientes espetaculares de fatores abióticos e bióticos.

O ambiente estuarino tem como ecossistema típico o manguezal, que cobre 60 a 75 % das costas tropicais (POR & DOR, 1984). No Brasil, os manguezais ocupam uma área aproximada de 13.000 km². Os estados do Maranhão, Pará e Amapá detêm cerca de 50 % da área de manguezais do país (HERZ, 1991 e KJERFVE & LACERDA, 1993). A costa maranhense possui cerca de 5.000 km² de manguezais (MOCHEL et al., 2002), representando, portanto, mais de 38 % dos manguezais brasileiros. Desta forma, tem-se uma idéia aproximada da importância dos estuários localizados no estado do Maranhão, que, no entanto, são pouco conhecidos cientificamente (MELO & MOCHEL, 2002).

Para HOME & GOLDMAN (1994), os estuários contam com alguns fatores que os tornam, salvo raras exceções que ocorrem geralmente em zonas temperadas, ambientes com alta produtividade, tais como: (1) a entrada de nutrientes oriundos de fontes alóctones, por ação das ondas, das marés e do aporte fluvial; (2) a mistura da água doce com a água do mar, que causa floculação de partículas maiores usadas pelo zooplâncton e bentos filtradores; (3) a grande ciclagem de nutrientes, facilitada pelo aquecimento da água rasa sobre a lama escura; (4) a reciclagem, acelerada pela ação das ondas, do material alóctone recebido; (5) o tamponamento de temperatura exercido pelo mar adjacente.

A avaliação da produção de matéria orgânica é de fundamental importância na geração de informações sobre a capacidade suporte e o potencial sustentável de um estuário (SANTOS, 2002).

Um dos trabalhos de grande relevância, neste sentido, foi o de PAIVA (1981), no qual os recursos marinhos e estuarinos da costa norte do Brasil (Pará, Maranhão e Amapá) foram avaliados, revelando um potencial de produção de aproximadamente 67,5 mil t/ano para peixes costeiros e 20 mil t/ano para peixes oceânicos. Esses dados são da produção secundária, que depende do potencial dos produtores primários presentes nesses ambientes, como a comunidade fitoplanctônica, que mostra claramente maior predomínio nas áreas costeiras em relação às oceânicas.

1.2 A comunidade fitoplanctônica

As três unidades de produtores de sistemas estuarinos e costeiros compreendem os organismos microscópicos planctônicos, os microscópicos e macroscópicos fotoautótrofos bentônicos e as plantas vasculares macrófitas (TRANCOSO, 2002). A importância de cada um desses componentes depende de cada região, sendo que, em locais onde as macrófitas têm dificuldade para se estabelecerem, há uma elevação do papel da fotossíntese realizada pelas algas (POR & DOR, 1984). A abundância do fitoplâncton, que constitui a base energética para outros níveis tróficos, regula a produtividade biológica desses ambientes (CHIU, 1994).

Os organismos fitoplanctônicos, por possuírem pequenas dimensões e rápido crescimento, respondem mais rapidamente às perturbações do meio, sendo excelentes indicadores da qualidade ambiental (DAY-JR. et al., 1989; BUSKEY, 1993).

As comunidades fitoplanctônicas que habitam as áreas estuarinas sofrem os mais variados impactos, inclusive os oriundos da implantação de empreendimentos aquícolas, em processo de expansão, o que demonstra um enorme interesse humano sobre o potencial aquático.

Porém, grande parte do mar é *semi-deserto* e não produzirá muito alimento sem dispendiosos *subsídios de energia*. (...) A crescente evidência ecológica adverte o homem para a necessidade de considerar os oceanos como uma parte integral do seu sistema global de suporte de vida, e não como um inerte *depósito de*

abastecimentos que está ali meramente para ser utilizado (ODUM, 2004). É importante salientar, no entanto, que embora talvez o mar e os estuários não sejam a solução para a grande carência protéica das populações humanas, é inegável o crescimento da aqüicultura. Porém, cultivo implica alguma forma de intervenção no processo de criação que otimize a produção, como um estoque regular, alimentação, proteção contra predadores, etc.

O momento da alimentação dos estágios larvários se configura nos maiores riscos de incrementar exageradamente os nutrientes do ambiente aquático. CARPENTER et al. (1998) citam, como principal consequência desse aumento de sais nutrientes (P e N), a eutrofização, atualmente comum inclusive em estuários. Os autores colocam as principais implicações do processo de eutrofização, que pode incluir o crescimento exagerado de populações de microalgas tóxicas, com efeitos de intoxicação direta dos demais seres ou anoxia emergente da depleção de oxigênio por parte de algas e outros organismos mortos na superfície da água.

O surgimento de microalgas tóxicas como consequência de atividades ligadas à aqüicultura pode ser observado, dentre outros, por MACINTOSH & PHILLIPS (1992), PAEZ-OSUNA et al. (1998) e HUSSAR et al. (2004). Segundo este último autor, o acúmulo de resíduos metabólicos nos tanques e viveiros de piscicultura é inevitável, sendo as fezes eliminadas pela população de peixes uma das principais fontes desses resíduos orgânicos nos sistemas aqüiculturais. Os fertilizantes utilizados no cultivo de organismos aquáticos, notadamente os dejetos de suínos, possuem a capacidade de aumentar as concentrações de nitrogênio e fósforo na água, pois cerca de 30% do alimento fornecido é indigerível, saindo, portanto, nas fezes (NUNES, 2002, *apud* HUSSAR et al., 2004). A amônia livre é diretamente tóxica aos peixes e o nitrito está associado a doenças como a meta-hemoglobinemia (VON-SPERLING, 1998, *apud* HUSSAR et al., 2004).

Inúmeros são os trabalhos envolvendo o fitoplâncton estuarino na costa brasileira; a maioria, entretanto, apenas se refere à composição florística. Na região Sul, destacam-se os trabalhos de ROSA (1982), MOREIRA-FILHO & VALENTE-MOREIRA (1984) e ARAÚJO et al. (1989). No Nordeste, os estudos com o fitoplâncton foram iniciados por PASSAVANTE (1979), em Pernambuco, destacando-se nesse estado, depois dele, outros como ESKINAZI-LEÇA et al. (1984), SILVA-

CUNHA et al. (1989), MAIA (1995), KÖENING et al. (2002) e FEITOSA et al. (2004). Em Alagoas, há, dentre outros trabalhos, o de MELO-MAGALHÃES et al. (2004). Na região Norte, sobressaem-se os de CARMONA et al. (2003) e SIMITH et al. (2003).

No que se refere a estudos com biomassa do fitoplâncton estuarino no Nordeste, destacam-se os realizados em Pernambuco, como os de ESKINAZI-LEÇA et al. (1980), PASSAVANTE & KÖENING (1984), FERNANDES (1997), SANTOS-FERNANDES (1997), FEITOSA et al. (1999), LOSADA (2000), BRANCO (2001), BASTOS (2002 e 2006), HONORATO-DA-SILVA (2003), GREGO (2004), LACERDA (2004) e BASTOS et al. (2005). Nos estuários sergipanos, dentre outros estudos, destaca-se o de SOUZA & COUTO (1999).

No entanto, há uma carência de publicações no Maranhão em relação a outros estados da região Nordeste. A maioria dos trabalhos publicados que se referem à comunidade fitoplanctônica trata somente de sua taxonomia, destacando-se, em áreas não-estuarinas, os de LABOHIDRO (1983, 1985, 1986 e 1987), ESKINAZI-LEÇA et al. (1985), OLIVEIRA et al. (1986), LAVÔR-FERNANDES (1987 e 1988a), BRAGA (1990), ARAÚJO et al. (1998) e CARDOSO (2000). Com relação a trabalhos de quantificação de biomassa, existem os de ARAÚJO (2000), MARTINS (2001) e GOMES (2002).

No que diz respeito a áreas estuarinas do Maranhão, os trabalhos com fitoplâncton são ainda mais escassos, elencando-se os trabalhos de composição florística realizados por LABOHIDRO (1980 e 1994), LAVÔR-FERNANDES (1988b e 1990), MOREIRA-FILHO et al. (1999), MACÁU (2003) e MOREIRA (2003), dentre outros. Estudos de biomassa fitoplanctônica em estuários maranhenses foram realizados apenas por TEIXEIRA (1973), TEIXEIRA et al. (1988), EWERTON (2001) e ALCÂNTARA (2004), sendo que apenas MOREIRA et al. (2001) trabalharam com microalgas potencialmente tóxicas.

1.3 Gerenciamento costeiro e desenvolvimento sustentável

As zonas costeiras constituem aproximadamente 10 % da superfície total dos oceanos, nela incluindo-se, dentre outros ambientes, todos os mares interiores e os estuários (DELGADO-NORIEGA & ASTORGA-ESPAÑA, 2005). Com o intuito de

proteger os recursos naturais da ação predatória das populações humanas, há alguns anos, tem-se visto uma iminente preocupação com essas áreas. O gerenciamento costeiro integrado surgiu da necessidade de se administrar os recursos naturais da zona costeira de forma sustentável.

No Brasil, o gerenciamento costeiro, cujos primeiros esforços ocorreram na década de 1970, está institucionalizado no nível nacional e estadual, caracterizando-se como um sistema com complexa estrutura e dinâmica que tem evoluído através de uma miríade de processos e controles de natureza política, econômica, institucional, ecológica, administrativa e espacial (ASMUS & KITZSMANN, 2004).

Para criar, em curto prazo, um verdadeiro Sistema de Apoio ao Planejamento e Gerenciamento Estratégico, e para dar subsídio a políticas de desenvolvimento sustentável e em conformidade com as exigências legais e políticas nacionais já citadas, foi desenvolvido o Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão. Tal programa, por falta de outros estudos técnicos preliminares, delimitou a zona costeira maranhense, conforme o volume e propagação da água da maré, abrangendo 71 municípios (divisórias municipais do IBGE para 2001). Destes, os 48 municípios submetidos à ação direta do ambiente marinho, que perfizeram 22.587 km² (30 % do total) foram incluídos total ou parcialmente para a aplicação do zoneamento, que dividiu a zona costeira maranhense em 393 módulos. Tais módulos foram definidos de acordo com a abrangência espacial relacionada aos fenômenos de marés e a conformação geomorfológica da costa (Anexo A).

A classificação dos módulos ocorreu sob vários aspectos, inclusive conforme o seu potencial para criação de organismos aquáticos. No que se refere a essa classificação, procedeu-se a atribuição de notas e pesos às variáveis selecionadas (primárias, secundárias e terciárias), de acordo com sua maior ou menor importância na implantação e/ou operação do empreendimento. Desta forma, foram consideradas: (1) variáveis primárias (ambientais e legais proibitivas), às quais foi atribuído peso 6, a salinidade, a capacidade de renovação hídrica, o percentual de áreas planas, a distância de captação de água, e o percentual de abrangência de Áreas de Preservação Permanente (APP); (2) variáveis secundárias (legais restritivas), com peso 4, o percentual de abrangência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); e (3) variáveis terciárias (logística e potencial de conflito), às quais foi dado peso 2. O somatório geral das categorias de

análise permitiu classificar o potencial dos módulos, que seguiu as seguintes considerações: acima de 150 (potencial muito alto - PMA), de 125 a 150 (alto potencial - AP), 100 a 125 (médio potencial - MP), 75 a 100 (baixo potencial - BP) e abaixo de 75 (potencial muito baixo - PMB) (Anexo B).

Embora os estudos feitos durante o Zoneamento Costeiro no tocante à determinação de áreas com potencialidade para criação de organismos aquáticos tenham dado todo um mapeamento das variáveis abióticas da costa maranhense, faltou-lhes a análise das variáveis bióticas, como a produtividade, biomassa e densidade fitoplanctônicas das águas, bem como uma avaliação qualitativa, com a descrição da biota presente, inclusive a identificação das microalgas com potencialidade tóxica. Portanto, além de uma necessidade de colaborar com o Zoneamento Costeiro, é preciso gerar mais informação sobre o primeiro elo da cadeia alimentar aquática da costa maranhense.

A preocupação com questões relativas ao desenvolvimento sustentável, que pode ser resumido como um meio termo entre a manutenção dos recursos naturais e os interesses humanos, entra nesse cenário como princípio fundamental, testemunhado, nas duas últimas décadas, como uma emergência que domina o discurso científico. A implantação de uma política voltada para o zoneamento de áreas costeiras corrobora, de forma substancial, com esse princípio. A grande importância deste trabalho, desta forma, é a realização do levantamento de algumas variáveis bióticas, a fim de poder avaliar biologicamente a capacidade suporte dessas áreas na produção de organismos aquáticos.

Estudos de conhecimento de base envolvendo a composição da comunidade fitoplanctônica precisam ser processados antes da implantação de empreendimentos aquícolas. Identificar suas possíveis conseqüências na costa maranhense torna-se, assim, um pré-requisito para uma avaliação do potencial sustentável dessa área, relacionando-se com a avaliação, por meio de variáveis biológicas, de áreas consideradas como de médio e grande potencialidade na instalação de projetos aquícolas; tal avaliação se configura na meta final do presente trabalho, que tem como objetivo principal avaliar as áreas de grande potencialidade à produção de organismos aquáticos, indicadas pelo Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão, no que se refere à estrutura da comunidade e biomassa fitoplanctônica.

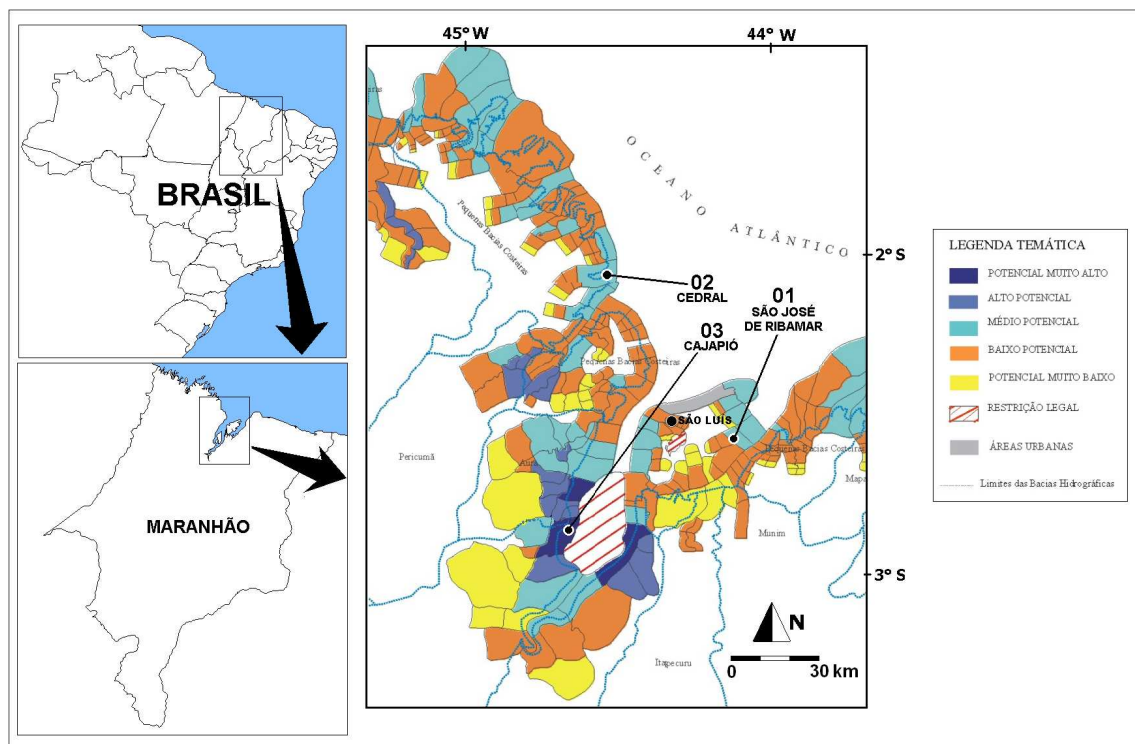
Os objetivos específicos foram: (a) avaliar a biomassa dos organismos autotróficos planctônicos em alguns pontos da costa maranhense; (b) comparar a biomassa e densidade das algas do fitoplâncton de uma região menos antropizada (estações 02 e 03) com outra que já se encontra em estágio avançado de antropismo (estação 01); (c) comparar as diferentes taxas de biomassa fitoplanctônica, bem como sua densidade, ao longo dos dois períodos sazonais (chuvoso e de estiagem); (d) descrever a composição da comunidade do fitoplâncton, inclusive averiguando a existência de microalgas potencialmente tóxicas; (e) correlacionar as variáveis bióticas com as abióticas; (f) testar possíveis fragilidades dos estuários estudados no que se refere às características de nutrientes inorgânicos.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo, para fins comparativos, foi composta por pontos estratégicos planejados conforme os resultados obtidos pelo Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão, que os define como áreas de médio ou muito alto potencial para a criação de organismos aquáticos. Para maior precisão espacial, todas as estações de coleta foram estabelecidas através da utilização do GPS (Global Positioning System) – Figura 2.1.

Conforme a precipitação pluviométrica, foi considerado como período chuvoso o que vai de janeiro a junho, e como período de estiagem, de julho a dezembro.



Fonte: Adaptado do Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão (2003).

FIGURA 2.1 - Mapa com as localizações das estações (01, 02 e 03), na costa maranhense.

a) Estação 01 – Localizada a $2^{\circ} 34' 15''$ S e $44^{\circ} 01' 00''$ W, na Baía de São José, na costa leste do município de São José de Ribamar, ilha de São Luís, a 32 km da capital, em frente à praia da Boa Viagem, na microrregião Aglomeração Urbana de São Luís. Para efeitos comparativos do presente estudo, esta é considerada a estação com maior grau de influência antrópica. O Zoneamento Costeiro coloca a área como um médio estuário, por não apresentar salinidade oceânica (eurialina), sendo os valores mínimos no inverno de 5.000 ppm e a máxima, no verão, de 25.000 ppm. Tem como influências principais a água do mar e a dos rios Itapecuru e Munim, sendo a influência secundária exercida pelas pequenas bacias da costa leste da ilha, sobretudo a do rio Jeniparana, localizado a sul da praia da Boa Viagem. Segundo SILVA et al. (2006), seu clima é tropical úmido, com maior precipitação pluviométrica entre os meses de janeiro e junho, quando atinge 2.083 mm^3 . O período seco é mais intenso nos meses de setembro a novembro. A temperatura oscila entre 24°C e 30°C . Predominam ventos alísios que sopram durante todo o ano. O módulo do Zoneamento Costeiro onde se encontra esta estação foi classificado como de médio potencial para a criação de organismos aquáticos (Figura 2.2).

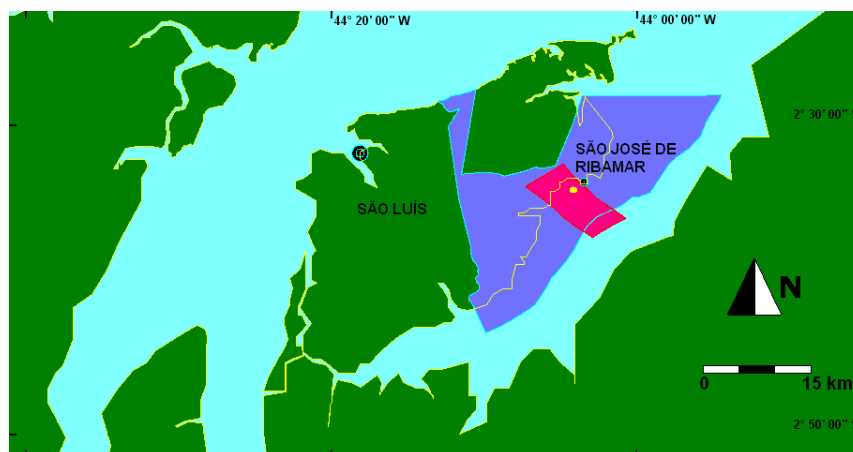


FIGURA 2.2 – Localização da estação 01 dentro do módulo do Zoneamento Costeiro, no município de São José de Ribamar-MA.

b) Estação 02 – Situada a $2^{\circ} 00' 57''$ S e $44^{\circ} 30' 13''$ W, ao sul do município de Cedral-MA (pertencente à área das Reentrâncias Maranhenses), localizado nas Pequenas Bacias Costeiras, próxima à localidade de Outeiro, em frente à barra do Calhau, a cerca de 450 km, por terra, da capital São Luís, na microrregião Litoral

Ocidental Maranhense. A área recebe diretamente influência marinha e do rio Gepuba, que separa os municípios de Cedral e Guimarães, na Baía de Cumã. A área é considerada pelo Zoneamento Costeiro como plataforma interior, por a influência do mar ser predominante, apresentando salinidade mínima no inverno de 25.000 ppm (eurialina, oceânica) e a máxima no verão de 35.000 ppm. De acordo com os dados do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (EMBRAPA, 2001), o clima na região, situada na transição entre o super-úmido da Amazônia e o semi-árido do nordeste, caracteriza-se como quente semi-úmido tropical de zona equatorial. A precipitação pluviométrica está na faixa de 1.820 mm a 1.900 mm anuais e a temperatura anual costuma variar de 16 a 38 °C, sendo a média 26 °C. Segundo MINER (1980, *apud* EMBRAPA, 2001), na região, os ventos alísios de nordeste dominam durante o período chuvoso, enquanto que os alísios de sudeste dominam durante o período de estiagem. Ainda conforme EMBRAPA (2001), tais ventos na região apresentam velocidade média na ordem de 0,8 m.s⁻¹ e 3,6 m.s⁻¹, podendo ser classificados, segundo a escala de Beaufort como bafagem a brisa leve; essa velocidade aumenta a partir de julho, com ventos moderados nos picos de velocidade (meses de setembro a novembro). O módulo do Zoneamento Costeiro onde se encontra esta estação foi classificado como de médio potencial para a criação de organismos aquáticos (Figura 2.3).

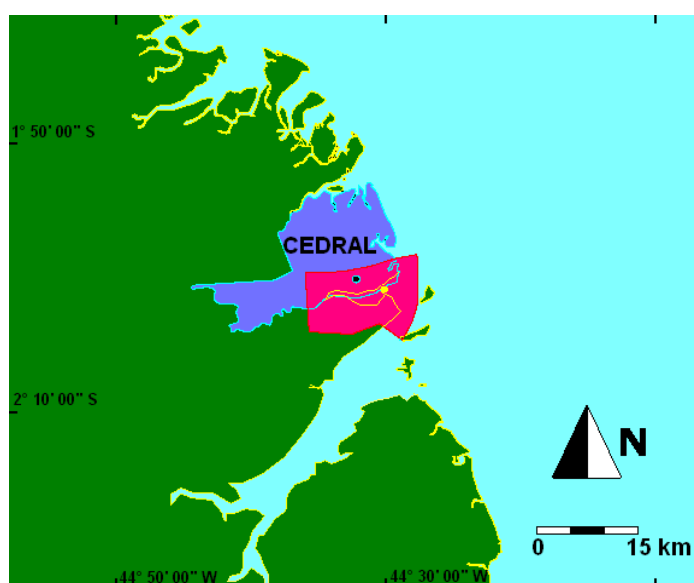


FIGURA 2.3 – Localização da estação 02 dentro do módulo do Zoneamento Costeiro, no município de Cedral-MA.

c) Estação 03 – Localizada a $2^{\circ} 53' 32''$ S e $44^{\circ} 38' 54''$ W, na saída do igarapé Cajapió, que separa os municípios de Cajapió-MA e São João Batista-MA, localizados na Bacia do Pindaré, pertencente à região da Baixada Maranhense, em frente à ilha Seca e à ilha dos Caranguejos, na Baía de São Marcos, a 298 km, por terra, da capital São Luís, na microrregião Litoral Ocidental Maranhense. Conforme o Zoneamento Costeiro, tal como a estação 01, a área é de médio estuário. A estação recebe influência direta dos rios Mearim e seus afluentes, como o Pindaré e o Grajaú. Conforme MELLO & MOCHEL (2002), o clima da Baixada Maranhense é equatorial super-úmido com transição para tropical úmido e com precipitações pluviométricas de 1.800 mm, e a Baía de São Marcos é sujeita a marés oceânicas que chegam a atingir alturas superiores a 7,0 m, sendo que ocorrem marés negativas, em parte do ano, de até $-0,4$ m. As correntes de maré são relativamente fortes, atingindo velocidades de até $1,0 \text{ m.s}^{-1}$. A direção predominante dos ventos é de Leste-Nordeste (E-NE), com intensidades máximas de 30 nós (em torno de 15 m.s^{-1}). Segundo dados cartográficos do Zoneamento Costeiro, a temperatura média anual em Cajapió é cerca de $26,6^{\circ}\text{C}$. O módulo do Zoneamento Costeiro onde se encontra esta estação foi classificado como de potencial muito alto para a criação de organismos aquáticos (Figura 2.4).

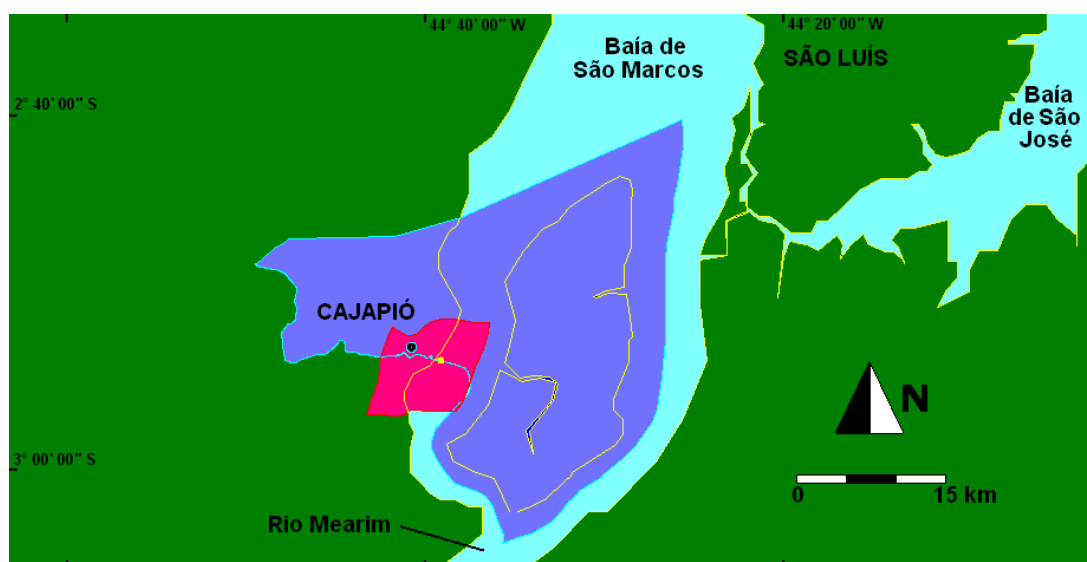


FIGURA 2.4 – Localização da estação 03 dentro do módulo do Zoneamento Costeiro, no município de Cajapió-MA.

As três estações recebem contribuições de diferentes bacias hidrográficas maranhenses, com áreas totais bem diferentes (Tabela 2.1, Figura 2.5).

TABELA 2.1 – Áreas (km²) das bacias hidrográficas que contribuem diretamente para as estações, calculadas no *software* “Autodesk Map 2004”.

	Rios	Área da bacia (km²)	Área total (km²)
São José de Ribamar	Itapecuru	52.861,5618	68.525,4064
	Munim	15.397,8776	
	Ilha de São Luís	265,9671	
Cedral	Gepuba*	286,4940	286,4940
Cajapió	Pindaré	40.845,9489	99.527,7025
	Mearim/Grajaú	58.681,7536	

* Componente das Pequenas Bacias Costeiras.

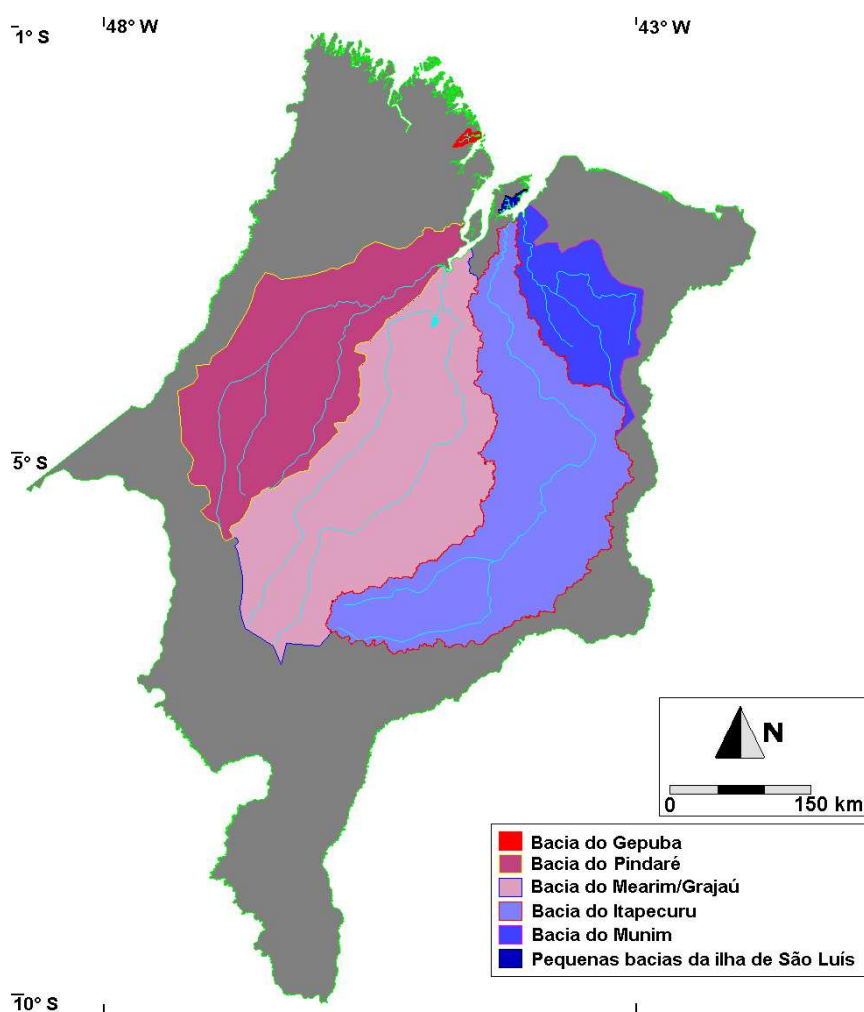


FIGURA 2.5 – Mapa das bacias hidrográficas diretamente relacionadas às estações de coleta.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas bimestralmente, durante o período de maio/2005 a abril/2006, sendo obtidos dados tanto durante o período chuvoso como de estiagem.

Para atingir os objetivos propostos, foram utilizados os seguintes procedimentos, incluindo etapas de campo (amostragem de material químico e biológico) e de laboratório:

2.2.1 Variáveis abióticas

Os dados referentes às variáveis ambientais foram obtidos no estofo da preamar, durante o período da manhã.

2.2.1.1 Dados climatológicos e de maré

Os dados climatológicos das estações meteorológicas mais próximas às regiões estudadas foram obtidos no Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) e incluíram pluviometria (mm), temperatura do ar (°C), velocidade média do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e radiação solar acumulada ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$).

Para o cálculo da altura de maré no exato instante em que cada coleta foi realizada, tomou-se como padrão o estabelecido para o porto de Itaqui pela tábua das marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação, usando-se a baixa-mar e a preamar mais próximas ao momento de amostragem. Foram processadas, então, as correções para a altura da maré conforme MARANHÃO (2003). Para os devidos ajustes do momento da preamar e baixa-mar em Cedral, foram utilizados os cálculos propostos por DHN (2004 e 2005) para a baía de São Marcos, ao passo que, para Cajapió, foram consideradas as observações feitas durante as idas a campo, que tiveram como média 27 minutos a mais em relação a Itaqui, e, para São José de Ribamar, adotou-se o mesmo instante do porto de Itaqui.

2.2.1.2 Variáveis hidrológicas

As amostras para análise hidrológica foram coletadas na superfície da água e acondicionadas em garrafas plásticas, exceto as amostras para oxigênio dissolvido, que foram acondicionadas em frascos de vidro.

A temperatura ($^{\circ}\text{C}$), o potencial hidrogeniônico (pH) e a salinidade foram determinados *in situ* com o uso de um multiparâmetro digital (Consort C535). A densidade da água (σ_{stp}), em $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, representada por $\rho - 1000$, sendo ρ a densidade em $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, foi calculada “online” por meio da “Equação de Estado da Água do Mar”, com a calculadora elaborada pela UNESCO (1983), com os dados de temperatura e salinidade da água. As medidas de transparência da água (cm) foram obtidas através do disco de Secchi.

A concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) foi determinada conforme o método de Winkler, descrito por STRICKLAND & PARSONS (1972), enquanto que a taxa de saturação de oxigênio (%) foi calculada relacionando-se os dados de oxigênio dissolvido, temperatura e salinidade por meio das Tabelas *International Oceanographic Tables* (UNESCO, 1973).

Para a determinação das concentrações dos sais nutrientes, foi empregado o método de STRICKLAND & PARSONS (1972) para nitrato (μM de NO_3^-) e fosfato (μM de PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} e HPO_4^-), e, para análise do silicato (μM de H_4SiO_4 e H_3SiO_4^-), foi utilizado o método de GRASSHOFF et al. (1983).

A interpretação dos dados de saturação de oxigênio dissolvido se baseou na classificação de MACÊDO & COSTA (1978, *apud* FEITOSA et al., 1999), na qual:

- Saturação $\geq 100\%$ → Zona saturada;
- Saturação ≥ 50 a < 100 → Zona de baixa saturação;
- Saturação ≥ 25 a < 50 → Zona semi-poluída;
- Saturação < 25 → Zona poluída.

2.2.2 Variáveis bióticas

2.2.2.1 Composição qualitativa do fitoplâncton

Para a análise qualitativa do fitoplâncton, as amostras foram coletadas com rede de plâncton, com abertura de malha de 45 μm , 1m de comprimento e aro de 30 cm, acoplada a um tubo coletor com capacidade de 300 ml, para o estudo do microfitoplâncton. Foram feitos arrastos horizontais, na superfície da água, com barco em marcha vagarosa em torno de 1,8 km.h^{-1} (1 nó), durante 5 minutos. Essas amostras foram fixadas com formol a 4 % neutralizado com bórax.

Os táxons foram determinados seguindo-se a bibliografia especializada: PÉRAGALLO & PÉRAGALLO (1897-1908), CUPP (1943), CLEVE-EULER (1955), HUSTEDT (1961-1966), ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK (1988), BALECH (1988), KOMÁREK (1991), ROUND et al. (1992) e TOMAS (1997).

Para melhor identificação de algumas espécies de diatomáceas, foram preparadas lâminas permanentes, conforme o método de MÜLLER-MELCHERS & FERRANDO (1956), que foram em seguida observadas em microscópio óptico com câmara clara, marca Zeiss.

O enquadramento taxonômico foi feito utilizando-se ROUND et al. (1992) para Bacillariophyta, TOMAS (1997) para Pyrrophyta, CHRETIÉNNOT-DINET et al. (1990) para Euglenophyta, BOURRELLY (1972) para Chlorophyta e ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK (1988) para Cyanophyta.

A classificação ecológica das espécies baseou-se em CUPP (1943), MOREIRA-FILHO & VALENTE-MOREIRA (1984), MOREIRA-FILHO et al. (1985, 1990, 1994/95, 1999), TORGAN & BIANCAMANO (1991), e MORO & FÜRSTENBERGER (1997).

2.2.2.2 Frequência de ocorrência

Quanto à frequência de ocorrência (F) de cada organismo em cada área de coleta, foi calculada levando-se em consideração o número de amostras nas quais

cada um dos organismos ocorreu em relação ao total de amostras, empregando-se a seguinte fórmula:

$F = N \cdot 100 / n$, onde:

F = Frequência de ocorrência;

N = Número de amostras onde o táxon ocorreu;

n = Número total de amostras estudadas para cada ponto de coleta.

A interpretação da frequência de ocorrência das espécies levou em consideração o seguinte critério (modificado de DAJOZ, 1983):

$F > 70 \%$ → Muito freqüente;

$50 < F \leq 70 \%$ → Freqüente;

$20 < F \leq 50 \%$ → Pouco freqüente;

$F \leq 20 \%$ → Esporádica.

2.2.2.3 Densidade fitoplanctônica (contagem de células)

Para o cálculo de densidade do fitoplâncton, após serem coletadas diretamente na superfície da água, as amostras foram imediatamente preservadas com solução de lugol.

Em laboratório, tais amostras foram homogeneizadas, colocadas em câmaras de 10 ml ou 25 ml, dependendo da quantidade de material em suspensão, e colocadas para sedimentar durante 24 horas. O corante rosa de bengala foi adicionado para distinguir as células fitoplanctônicas vivas dos detritos e partículas de sedimentos, conforme THRONDSSEN (1978).

A contagem foi realizada em microscópio invertido, marca Zeiss, com aumento de 400x, segundo o método de UTERMÖHL (1958), empregando-se a técnica de contagem por campos iluminados, sistematizados em cruz. Para todas as amostras, foram contados 100 a 120 campos. Os resultados da contagem foram utilizados na fórmula abaixo:

$N_{\text{cub}} = (N_{\text{ind}} / N_{\text{camp}}) \cdot (A^2 / a^2)$, onde:

N_{cub} = Número total de indivíduos observados na cubeta;

N_{ind} = Número de indivíduos observados nos campos aleatórios;

N_{camp} = Número de campos iluminados contados (100 a 120 campos);

A = Área da cubeta;

a = Área do campo iluminado no aumento de 400x;

$(A^2 / a^2) = 2.406,62$.

O número de indivíduos por volume da amostra foi estimado usando regra de três simples e os resultados foram expressos em células.L⁻¹.

2.2.2.4 Biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*)

Para a obtenção dos dados de biomassa, as amostras foram coletadas diretamente na camada superficial da água, através de frascos plásticos, sendo acondicionadas em garrafas vedadas e foscas (proteção contra a luz solar) e filtradas posteriormente a vácuo (bomba Millipore) em filtros de fibra de vidro Whatman GF/C, com 1,2 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro, para determinação da biomassa do microfitoplâncton, sendo também filtradas porções da amostra que passavam por um copo com malha de 20 µm, para determinação da biomassa fracionada, referente ao nanofitoplâncton, que, conforme LOHMANN (1911, *apud* CARAVATI, 2003) corresponde às algas com até 20 µm de comprimento. Após a secagem em papel de filtro, os filtros foram envolvidos em papel alumínio, acondicionados em envelopes de papel e mantidos em freezer à temperatura de -18 °C até a sua análise. A concentração de clorofila *a* foi determinada através do método espectrofotométrico da UNESCO (1966).

Para os cálculos de clorofila (mg.m⁻³), foram aplicadas as equações apresentadas por STRICKLAND & PARSONS (1972).

$$\text{Clorofila } a \text{ total} = [11,6 \cdot \Delta_{665} - (1,31 \cdot \Delta_{645} + 0,14 \cdot \Delta_{630} + \Delta_{750})] \cdot v \cdot V^{-1} \cdot L^{-1}$$

Onde:

Δ = leitura da absorbância da luz para os diferentes comprimentos de onda (630, 645, 665 e 750nm);

v = volume (ml) de acetona a 90%;

V = volume da amostra filtrada (l);

L = caminho óptico da cubeta (cm).

2.2.2.4.1 Clorofila *a* funcional ou ativa e feopigmentos *a*

Para estimar a clorofila *a* ativa ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), adotou-se o método de LORENZEN (1967), o qual recomenda a aplicação de ácido clorídrico (HCl) 1N nos extratos após a leitura para detecção da clorofila *a* total, efetuando-se novas leituras apenas, nos comprimentos de onda de 665 e 750 nm.

$$\text{Clorofila } a \text{ ativa} = A \cdot K \cdot [(\Delta_{665a} - \Delta_{750a}) - (\Delta_{665d} - \Delta_{750d})] \cdot v \cdot V^{-1} \cdot L^{-1}$$

Onde:

A = coeficiente de absorção da clorofila *a* (11,0);

K = índice de correção (2,43);

v = volume (ml) de acetona a 90%;

V = volume da amostra filtrada (l);

L = caminho óptico da cubeta (cm);

Δ_{665a} = leitura da absorbância da luz em 665 nm antes da acidificação;

Δ_{665d} = leitura da absorbância da luz em 665 nm depois da acidificação;

Δ_{750a} = leitura da absorbância da luz em 750 nm antes da acidificação;

Δ_{750d} = leitura da absorbância da luz em 750 nm depois da acidificação.

O método utilizado para estimar a concentração dos feopigmentos *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) também será o descrito por LORENZEN (1967).

$$\text{Feopigmentos } a = A \cdot K \cdot \{ [1,7 \cdot (\Delta_{665d} - \Delta_{750d})] - (\Delta_{665a} - \Delta_{750a}) \} \cdot v \cdot V^{-1} \cdot L^{-1}$$

Onde:

A = coeficiente de absorção da clorofila *a* (11,0);

K = índice de correção (2,43);

v = volume (ml) de acetona a 90%;

V = volume da amostra filtrada (l);

L = caminho óptico da cubeta (cm);

Δ_{665a} = leitura da absorbância da luz em 665 nm antes da acidificação;

Δ_{665d} = leitura da absorbância da luz em 665 nm depois da acidificação;

Δ_{750a} = leitura da absorbância da luz em 750 nm antes da acidificação;

Δ_{750d} = leitura da absorbância da luz em 750 nm depois da acidificação.

2.2.3 Tratamento numérico dos dados

O índice de riqueza (S) de MARGALEF (1958) e o de diversidade (H') de SHANNON (1948) foram calculados pelo *software* "Diversity", enquanto que o índice de equitabilidade (J), também denominado de índice de uniformidade, foi calculado conforme PIELOU (1966).

No cálculo desses índices, foram utilizados os dados brutos de contagem de células fitoplanctônicas (UTERMÖHL, 1958), uma vez que, embora para o índice de Shannon (H') não haja prejuízo em serem utilizados os dados extrapolados para litro, segundo VALENTIN et al. (1991), os demais índices exigem os valores absolutos de contagem em vez de proporções.

O índice de Shannon mede a diversidade com base na abundância das espécies componentes da comunidade. Por usar uma logaritmização, esse índice é sensível também às espécies com abundância pequena, que são comuns em comunidades fitoplanctônicas, amortecendo o efeito da presença de tais espécies (BAUMGÄRTNER, 2004).

2.2.3.1 Riqueza de espécies (Índice S de Margalef)

$$S = (s - 1) / \ln N, \text{ onde:}$$

s = Número total de espécies;
 N = Número total de indivíduos.

Valores maiores que 5,0 significam grande riqueza de espécies (VALENTIN et al., 1991).

2.2.3.2 Índice de equitabilidade ou uniformidade de Pielou (J)

$J = H' / \ln S$, onde:

H' = Índice de Shannon (em nits.cel⁻¹);

S = Número total de espécies.

Os valores variam de 0 a 1, sendo que aqueles abaixo de 0,5 representam uma baixa equitabilidade e os maiores que 0,5 indicam uma alta equitabilidade (VALENTIN et al., 1991).

2.2.3.3 Índice de diversidade específica de Shannon (H')

$H' = - \sum P_i \cdot \ln P_i$

$P_i = N_i / N$, onde:

P_i = Probabilidade de coleta da espécie i na população;

N_i = Número de indivíduos de cada espécie;

N = Número total de indivíduos;

H' = Índice de diversidade de Shannon, em nits.cel⁻¹ (1 nits.cel⁻¹ = 0,693 bits.cel⁻¹).

Sendo os valores (MARGALEF, 1958):

- $\geq 2,1$ nits.cel⁻¹ representando uma alta diversidade;
- $\geq 1,4$ a $< 2,1$ nits.cel⁻¹ representando uma média diversidade;
- $\geq 0,7$ a $< 1,4$ nits.cel⁻¹ representando uma baixa diversidade;
- $< 0,7$ nits.cel⁻¹ representando uma diversidade muito baixa.

2.2.3.4 Análise de agrupamento

Além do cálculo dos índices específicos, procedeu-se a elaboração de dendrograma (análise de agrupamento), pelo *software* “NTSys”. A análise, em modelo Q, foi realizada utilizando-se o índice de dissimilaridade de Bray-Curtis e o método de ligação UPGMA (aglomeração por associação média), com os dados quantitativos logaritmizados de contagem de células fitoplanctônicas.

2.2.4 Tratamento estatístico dos dados

- a) Análise dos Componentes Principais (ACP) por meio de Correlação Linear Momento-Produto de Pearson, que permitiu evidenciar e hierarquizar os fatores responsáveis pela variância dos dados, incluindo as espécies com potencialidade tóxica de acordo com a lista oficial publicada pela UNESCO (MOESTRUP, 2004) e presentes nos dados de contagem;
- b) Análise de Variância Bifatorial (Two-Way ANOVA), para comparar diferenças entre as três estações de coleta e entre os dois períodos sazonais (chuvoso e de estiagem);
- c) Associação das amostras com as variáveis ambientais, por meio de correlações e regressões.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estuários, considerados como porta de entrada dos nutrientes no ambiente marinho, são áreas que sofrem um grande estresse por parte dos inúmeros fatores que interferem em suas variáveis abióticas e bióticas (DAY-JR. et al., 1989). As variáveis climáticas atuam em toda a configuração da(s) bacia(s) hidrográfica(s) onde se encontra a área estuarina. As variações dessa configuração refletem nas proporções de material em suspensão, incluindo os sais nutrientes que, absorvidos pela comunidade fitoplanctônica, entram na composição dos compostos produzidos durante a fotossíntese.

O processo fotossintético fitoplanctônico é a base principal da teia trófica do ambiente aquático. ESKINAZI-LEÇA et al. (1980) e TEIXEIRA et al. (1988), dentre outros, destacam que, em um estuário, a fotossíntese depende, além da descarga de nutrientes oriundos das bacias hidrográficas, da quantidade de luz que penetra na camada superficial da água, bem como de outros fatores abióticos, tais como a temperatura e o regime de marés.

Mesmo constatando-se uma transparência da água reduzida na costa maranhense, como os 8 cm (Secchi) registrados por TEIXEIRA et al (1988), toda essa complexa malha de causa-efeito observada nas regiões estuarinas proporciona um ambiente mais propício ao desenvolvimento fitoplanctônico do que as áreas mais afastadas da costa (KENNISH, 2001). É a interferência exercida pelos fatores abióticos o principal responsável pela distribuição das espécies, não se podendo, porém, deixar de mencionar a interferência antrópica, que contribui, em maior ou menor proporção, para a forma como essa malha se organiza.

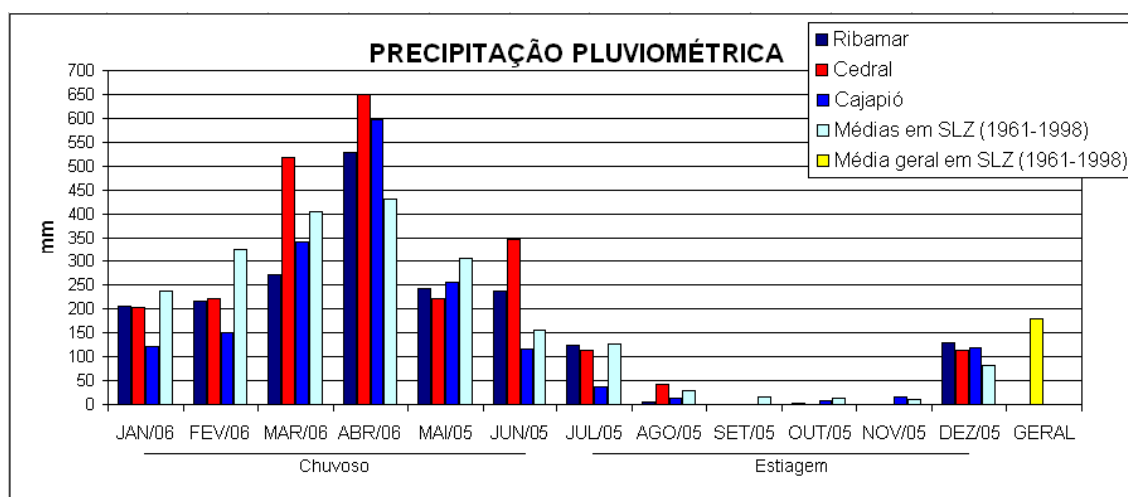
3.1 Dados climatológicos e de maré

3.1.1 Precipitação pluviométrica

Para os estuários estudados, que recebem descargas de bacias hidrográficas de diferentes dimensões, a influência da precipitação pluviométrica depende muito da configuração de cada bacia envolvida.

No caso de Cajapió e São José de Ribamar, as bacias possuem grande área e envolvem um número muito grande de rios, o que dificulta a interpretação do efeito das chuvas nos estuários de coleta. Embora a microbacia onde se encontra a estação de Cedral seja bem menor, situada no conjunto denominado Pequenas Bacias Costeiras, ainda não existem estudos de seu comportamento diante das oscilações das variáveis ambientais, impossibilitando uma interpretação mais apurada dessa área.

Os dados de precipitação pluviométrica mostraram que a maior concentração de chuva ocorreu durante o período de janeiro a junho, sobretudo em abril e março, ao passo que os menores valores foram registrados durante o mês de setembro, para as três estações. A média histórica (1961 a 1998) para a ilha de São Luís é de 5,89 mm.dia⁻¹, sendo o mês de abril o que apresenta maior precipitação pluviométrica (média 14,36 mm.dia⁻¹) e o de novembro o que tem menores valores registrados, com média de 0,37 mm.dia⁻¹. É possível constatar que, durante o período amostrado, os únicos meses que superaram a média histórica foram abril, junho e dezembro (Figura 3.1, Anexos C, D e E).



Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

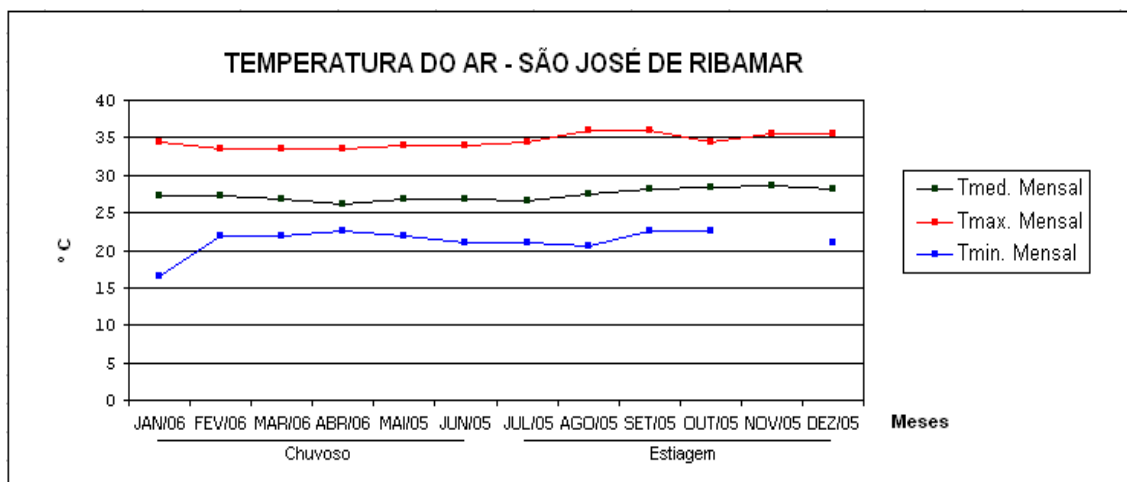
FIGURA 3.1 – Valores de precipitação pluviométrica mensal (mm) para as três estações de coleta, durante o período de 2005 a 2006, média histórica mensal (1961 a 1998) para a ilha de São Luís (SLZ), para cada mês, e a média histórica geral.

A pluviosidade média do período amostrado (5,42 mm.dia⁻¹) mostrou-se um pouco menor do que a do período histórico considerado (5,89 mm.dia⁻¹), não

deixando, no entanto, de exercer grande influência nas variáveis abióticas e bióticas. Inúmeros trabalhos, como os de ESKINAZI-LEÇA et al. (1980), FEITOSA & PASSAVANTE (1990), FERNANDES (1997) e SANTOS-FERNANDES (1997), têm demonstrado a influência da precipitação pluviométrica sobre as variáveis bióticas.

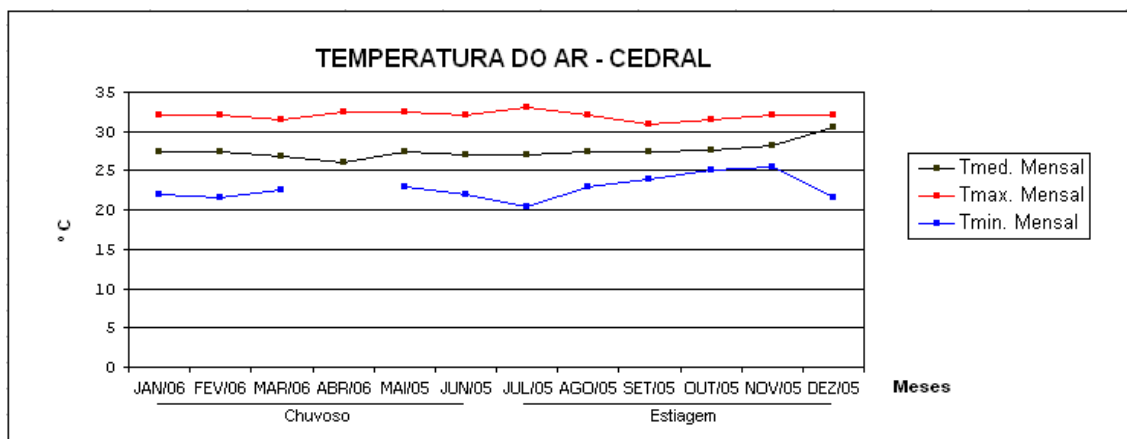
3.1.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar teve média anual de 27,36 °C em São José de Ribamar (Figura 3.2 e Anexo C), 27,51 °C em Cedral (Figura 3.3 e Anexo D) e 27,43 °C em Cajapió (Figura 3.4 e Anexo E). O menor valor (16,5 °C) foi registrado em São José de Ribamar, em janeiro/2006 e o maior (39,5 °C) foi obtido em Cajapió. Em São José de Ribamar, a média histórica (1970 a 1998) para temperatura é de 29 °C.



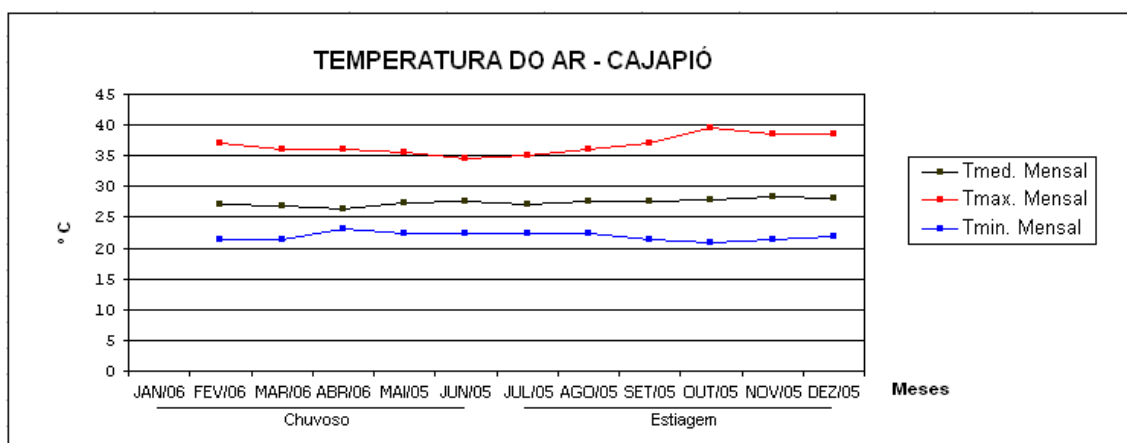
Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.2 – Valores de temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias) em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.



Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.3 – Valores da temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias) em Cedral, durante o período de 2005 a 2006.

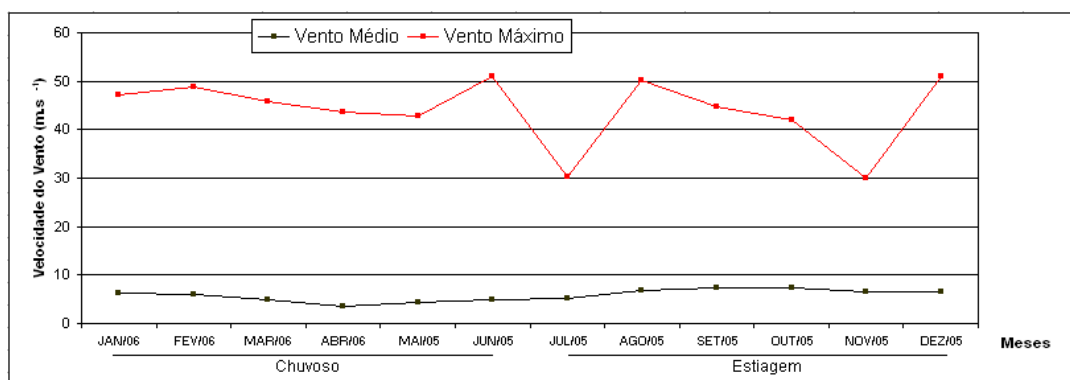


Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.4 – Valores de temperatura do ar (máxima, mínima e média diárias) em Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

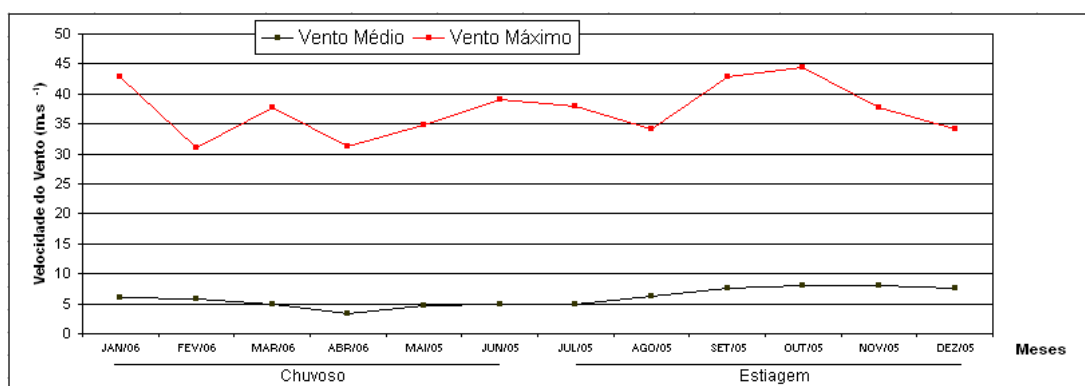
3.1.3 Velocidade dos ventos

Os valores de velocidade dos ventos tiveram média anual de $5,28 \text{ m.s}^{-1}$ em São José de Ribamar, 6 m.s^{-1} em Cedral e $3,6 \text{ m.s}^{-1}$ em Cajapió. A velocidade máxima, $51,1 \text{ m.s}^{-1}$, ocorreu em São José de Ribamar e em Cajapió (Figuras 3.5, 3.6 e 3.7, Anexos C, D e E).



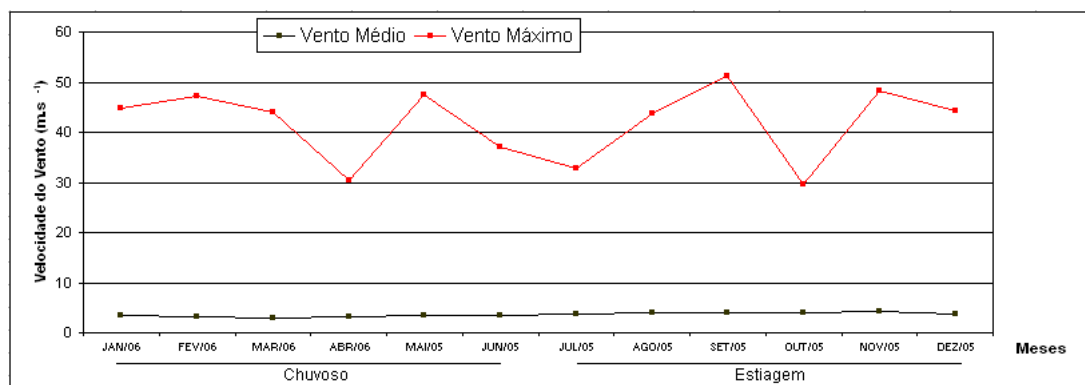
Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.5 – Valores da velocidade dos ventos (média e máxima diárias) em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.



Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.6 – Valores de velocidade dos ventos (média e máxima diárias) em Cedral, durante o período de 2005 a 2006.



Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.7 – Valores de velocidade dos ventos (média e máxima diárias) em Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

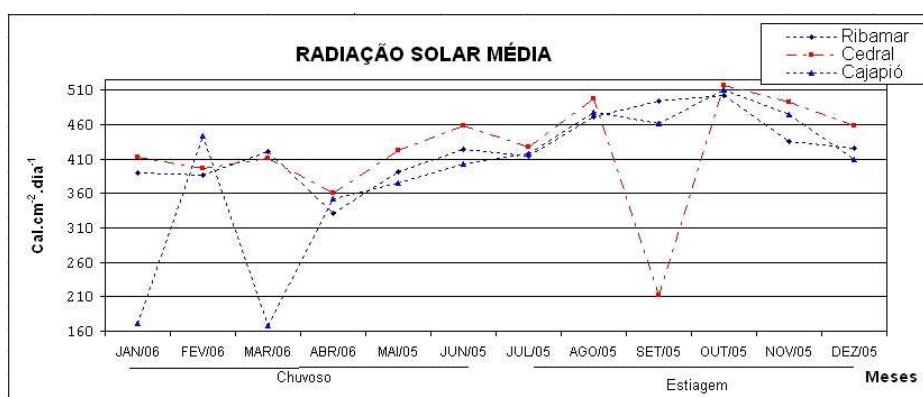
Segundo SANTOS-FERNANDES (1997), a força dos ventos pode provocar ressurgências, que, em locais com pequena profundidade, podem ressuspender o sedimento e alterar a produtividade fitoplanctônica. No Maranhão, os meses com maior registro de ventos são agosto, setembro e outubro. Os valores obtidos indicaram uma maior ação (velocidade média mais elevada) desse fator ambiental no segundo semestre. A ação dos ventos é maior em Cedral e bem menor em Cajapió.

De acordo com YIN et al. (1996), a velocidade mínima necessária para que o vento seja considerado um fator atuante na disposição do fitoplâncton nas massas d'água é da ordem de 4 m.s^{-1} . Os valores médios registrados para as estações de São José de Ribamar e Cedral geralmente se encontram acima dessa velocidade.

3.1.4 Radiação solar acumulada

A radiação solar acumulada teve média diária de $423,82 \text{ cal.cm}^{-2}$ em São José de Ribamar, $421,97 \text{ cal.cm}^{-2}$ em Cedral e $388,80 \text{ cal.cm}^{-2}$ em Cajapió. A média mensal máxima ($517,55 \text{ cal.cm}^{-2}$) foi registrada em Cedral e a mínima ($168,38 \text{ cal.cm}^{-2}$) em Cajapió (Figura 3.8, Anexos C, D e E).

A radiação solar foi maior durante o período de estiagem, tendo valores bem reduzidos em Cajapió, nos meses de janeiro e março/2006, e mais elevados em Cedral, exceto em setembro/2005 (Figura 3.8, Anexos C, D e E).



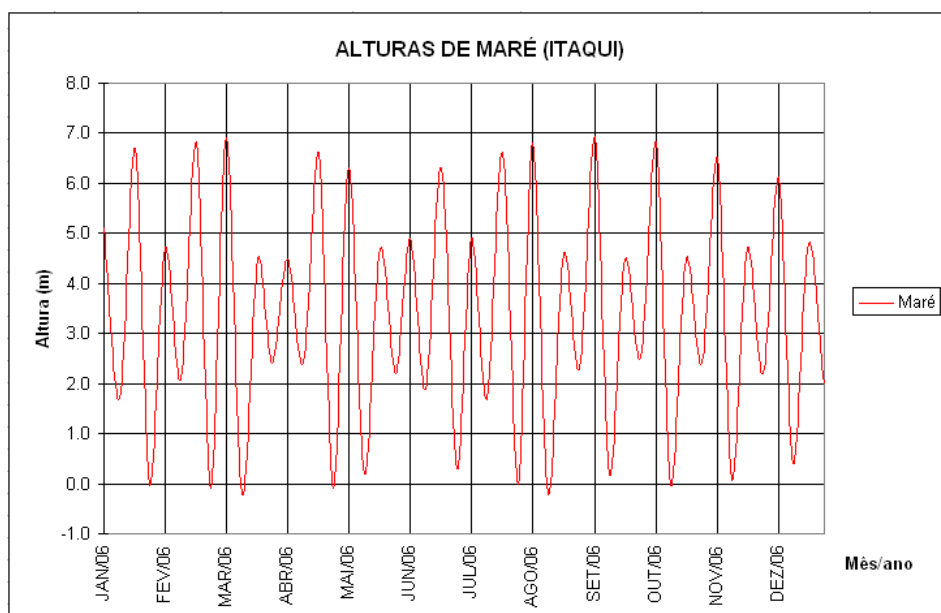
Fonte: Laboratório de Meteorologia da UEMA.

FIGURA 3.8 – Valores da radiação solar (média diária por mês), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

3.1.5 Alturas de maré

A maré no estado do Maranhão é considerada semidiurna, por ter duas baixa-mares e duas preamares durante o período de um dia lunar, com alturas aproximadamente iguais. O litoral maranhense, conforme a classificação de DAVIES (1964), é do tipo macromareal, pois suas marés, denominadas macromarés, podem atingir amplitudes de mais de 4 metros.

Durante o período de maio/2005 a abril/2006, de acordo com a tábua das marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação, as amplitudes de maré do porto de Itaqui, que serviu de padrão para as estações amostradas, variaram de 2,0 a 7,1 m, sendo os valores máximos registrados durante os meses de março, 7,1m, e agosto, 7,0 m (Figura 3.9).



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação.

FIGURA 3.9 – Valores de alturas de maré (m) no porto de Itaqui durante o período de 2005 a 2006, com a altura máxima e mínima atingidas pela preamar em cada mês e a baixa-mar subsequente.

A altura da maré no momento exato da coleta foi estimada por meio da metodologia indicada por DHN (2004 e 2005), conforme as figuras 3.10, 3.11 e 3.12.

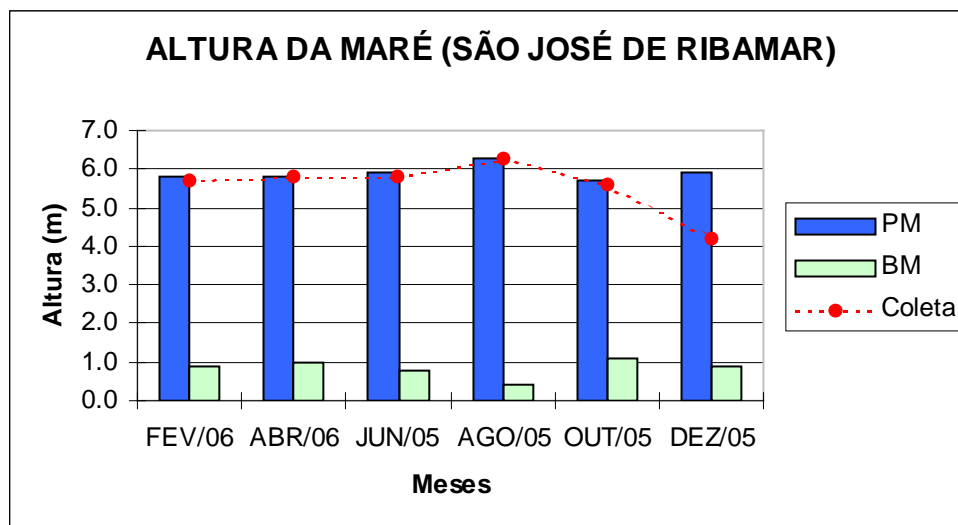


FIGURA 3.10 – Valores de altura da maré (m) em São José de Ribamar, no momento da coleta, comparada com a preamar e a baixa-mar mais próximas, com base em dados da DHN (2004 e 2005).

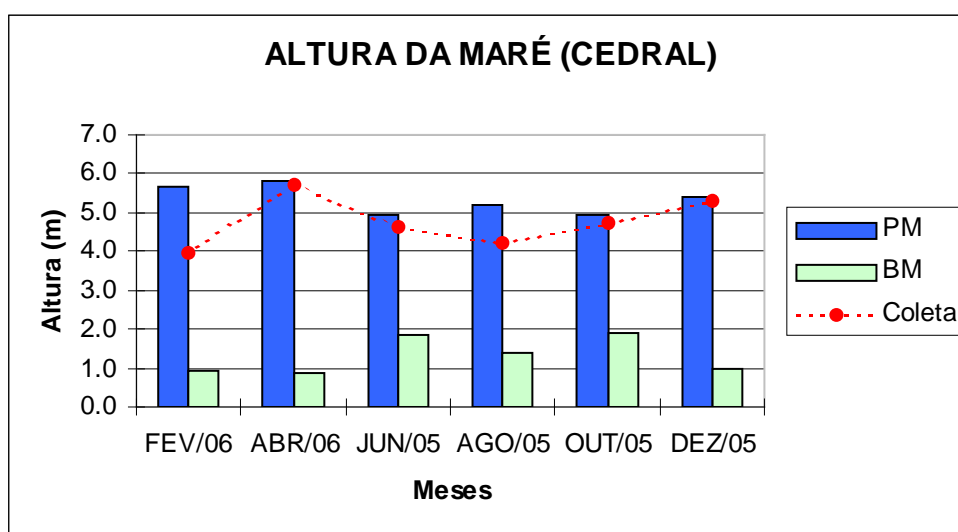


FIGURA 3.11 – Valores de altura da maré (m) em Cedral, no momento da coleta, comparada com a preamar e a baixa-mar mais próximas, com base em dados da DHN (2004 e 2005).

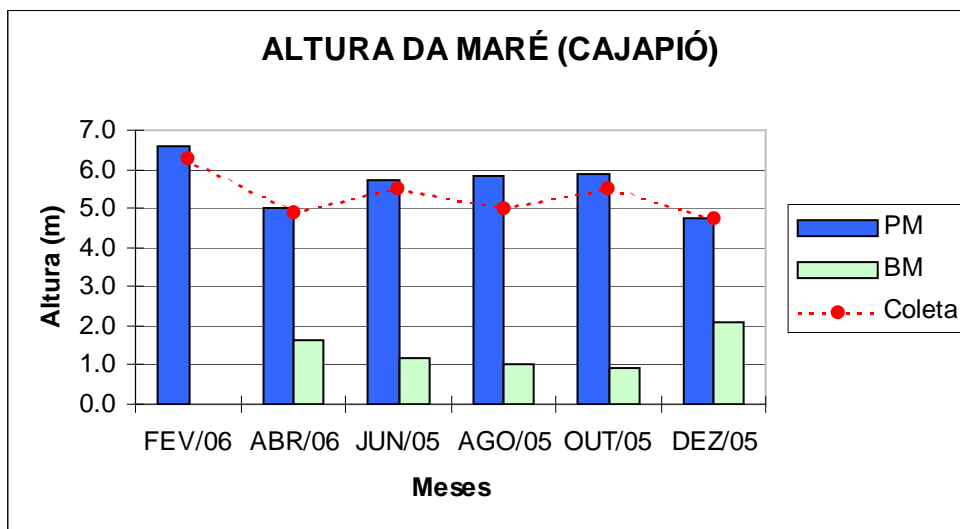


FIGURA 3.12 – Valores da altura da maré (m) em Cajapió, no momento da coleta, comparada com a preamar e a baixa-mar mais próximas, com base em dados da DHN (2004 e 2005).

O fato de os valores máximos de marés terem sido registrados para os meses de março e agosto provavelmente está relacionado à posição em equinócio do planeta, uma vez que o porto de Itaqui se localiza próximo à linha do Equador.

Em estudo com a diatomoflora do estuário do rio Caeté (PA), SIMITH et al. (2003) não identificaram influência do regime de marés; já BASTOS (2006) verificou, no estuário do rio Una (PE), uma forte influência da maré, que se relacionou diretamente com a diversidade específica e a equitabilidade, o que diverge da relação inversa constatada pela ACP para os estuários do presente estudo.

3.2 Variáveis hidrológicas

3.2.1 Transparência da água (disco de Secchi)

Em São José de Ribamar, o maior valor registrado foi 130 cm, no início da época chuvosa e o menor foi 63 cm, registrado durante o período de estiagem. Em Cedral, o valor mais elevado foi 103 cm e o menor foi 36 cm, ambos durante a época chuvosa. O maior valor registrado em Cajapió foi 54 cm, enquanto que o menor foi 12

cm, ambos observados durante o período de estiagem (Figura 3.13 e Apêndices A, B e C).

Os valores máximo e mínimo de transparência da água foram registrados, respectivamente, em São José de Ribamar, no início da época chuvosa, e em Cajapió, no final do período de estiagem (Figura 3.13 e Apêndices A, B e C).

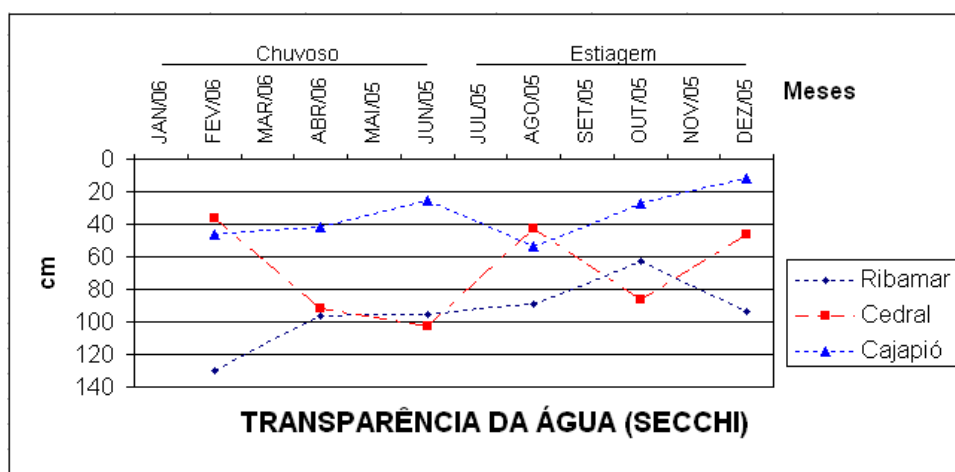


FIGURA 3.13 – Valores de transparência da água (cm), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

Nas estações de São José de Ribamar e Cajapió, as variações de transparência da água não mostraram nítida diferença entre o período chuvoso e o de estiagem, havendo uma tendência de ser menos transparente neste último. Isso pode ser compreendido quando relacionado às imensas bacias hidrográficas envolvidas, que englobam quase todo o território maranhense, com pluviosidades diferentes em seus variados pontos, bem como com diferentes ações antrópicas pontuais.

Em Cedral, onde a bacia hidrográfica é bem menor mesmo se considerando o conjunto das Pequenas Bacias Costeiras, as maiores profundidades de transparência foram registradas no final do período chuvoso, quando a lixiviação de material da bacia tende a ser menor. A relação entre os dados de pluviosidade e os de qualidade óptica da água nem sempre se correlacionam, uma vez que se trata de grandes bacias hidrográficas, que recebem chuvas em vários de seus pontos e em condições diferentes; isso se aplica sobretudo às estações de Cajapió e São José de Ribamar. Comparando-se as estações, nota-se que a menor transparência ocorre em Cajapió ($F =$

11,75 e $p = 0,001$), com maior influência fluvial, e a maior ocorre em São José de Ribamar.

A transparência da água (Secchi) em áreas estuarinas costuma ser reduzida, por serem ambientes pouco profundos (BASTOS, 2006) e de intenso dinamismo, controlado pela descarga fluvial e pelas marés. Na costa maranhense, por efeito da grande quantidade de rios e das grandes extensões dos mesmos, ocorre grande aporte de sedimentos, tornando a zona eufótica limitada a uma pequena lâmina da superfície (TEIXEIRA et al., 1988).

A ausência de relação entre valores pluviométricos e de transparência da água também foi constatada por SASSI (1991), no estuário do rio Paraíba do Norte (PB), PASSAVANTE (1979), no canal de Santa Cruz (PE) e por LOSADA (2000) para os estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (PE), embora, para esta última, os valores de transparência tenham coincidido com a profundidade total, o que não ocorre na costa maranhense, devido à grande descarga de material em suspensão já citada.

Para MELO-MAGALHÃES et al. (2004), no sistema estuarino de Mundaú/Manguaba (AL), a transparência da água apresentou maiores valores durante a época chuvosa.

Em estudo realizado no estuário do rio Caeté (PA), CARMONA et al. (2003) obtiveram valores de transparência da água que variaram de zero, durante o período chuvoso, a 18 cm, durante o período de estiagem, revelando transparências ainda menores do que aquelas registradas nos estuários da costa maranhense.

3.2.2 Condutividade

Para São José de Ribamar, o maior valor foi 50,8 mS, no final da época de estiagem e o menor foi 29,9 mS, durante o período chuvoso. Em Cedral, o valor mais elevado foi 50,5 mS e o menor foi 33,5 mS, ambos durante o período chuvoso. O maior valor registrado em Cajapió foi 47,2 mS, no final da época de estiagem, enquanto que o menor foi 16,5 mS, no final do período chuvoso (Figura 3.14 e Apêndices A, B e C).

Os maiores e menores valores de condutividade da água foram obtidos, respectivamente, em São José de Ribamar, no final do período de estiagem, e Cajapió, no final do período chuvoso (Figura 3.14 e Apêndices A, B e C).

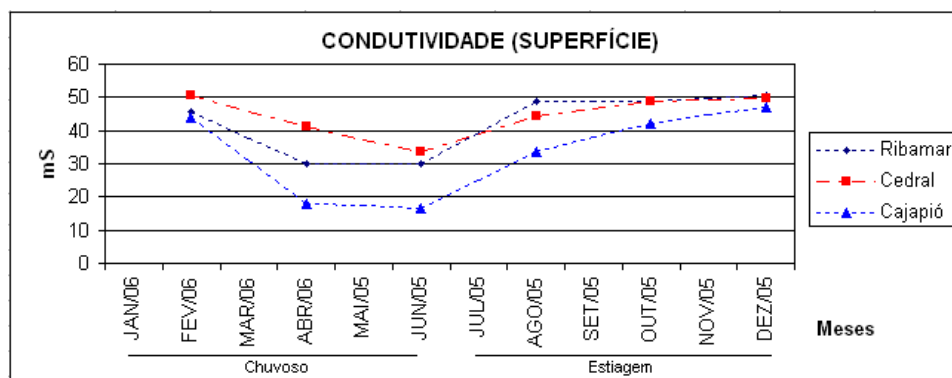


FIGURA 3.14 – Valores de condutividade superficial da água (mS), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió) durante o período de 2005 a 2006.

3.2.3 Salinidade

A salinidade é classicamente definida como a quantidade total de material sólido, em gramas, contido em um quilograma de água do mar, onde todo o carbonato foi convertido a óxido, o bromo e o iodo substituídos por cloro e toda a matéria orgânica foi completamente oxidada. (ALCÂNTARA, 2004)

Nos estuários tropicais, a salinidade é a principal variável química que condiciona a distribuição dos organismos, uma vez que a temperatura e a radiação solar têm valores pouco variáveis ao longo do ano (SANTOS-FERNANDES, 1997). A salinidade pode ser considerada uma barreira ecológica para as espécies estenoalinas (BASTOS, 2006). As espécies que habitam o estuário devem estar adaptadas a grandes variações diárias de salinidade.

Em São José de Ribamar, o maior valor de salinidade foi 33,0 no final da época de estiagem e o menor foi 18,2 durante o período chuvoso. No que se refere a Cedral, o valor mais elevado foi 32,8 e o menor foi 26,1 – ambos durante o período chuvoso. Já para Cajapió, o maior valor foi 30,6 no final da época de estiagem, e o menor foi 10,7 durante o período chuvoso (Figura 3.15 e Apêndices A, B e C).

Com relação à salinidade da água, os valores máximo e mínimo foram registrados, respectivamente, em São José de Ribamar, no final do período de estiagem, e em Cajapió, durante o período chuvoso (Figura 3.15 e Apêndices A, B e C).

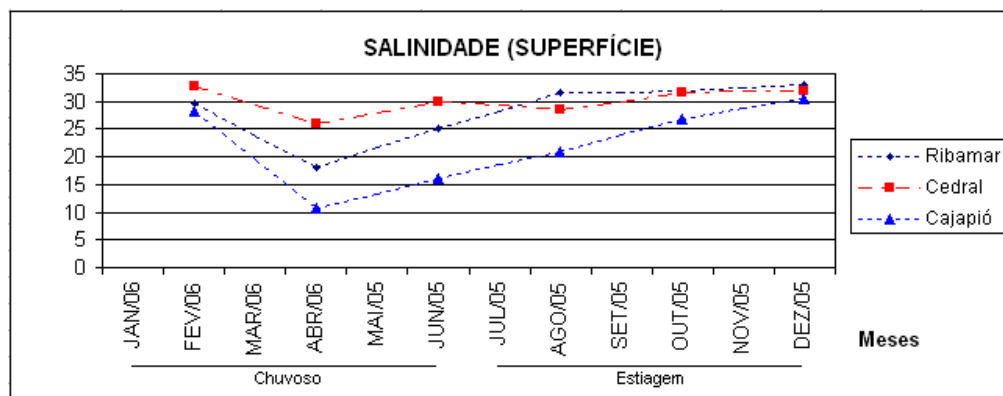


FIGURA 3.15 – Valores da salinidade superficial da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

As precipitações pluviométricas elevadas do período chuvoso fizeram os valores de condutividade caírem ($F = 5,58$ e $p = 0,03$), como consequência do grande volume de água recebido pelos estuários. Comparando-se as estações, percebe-se que as menores condutividades ocorrem em Cajapió e as maiores em Cedral. Da mesma forma, a precipitação pluviométrica ocasionou uma redução da salinidade. Comparando-se as estações, constata-se que as maiores salinidades ocorreram em Cedral ($F = 4,06$ e $p = 0,04$), enquanto que as menores foram as registradas em Cajapió.

Por meio do Sistema de Veneza para classificação de salinidade, em VENICE-SYSTEM (1959), que classifica os ambientes aquáticos em água doce (salinidades abaixo de 0,5), oligoalino (de 0,5 a valores menores que 5,0), mesoalino (de 5,0 a menores que 18,0), polialino (de 18,0 a menores que 30,0) e eualino (salinidade de 30,0 a 40,0), pode-se enquadrar os estuários analisados como de mesoalino a eualino.

3.2.4 Temperatura superficial da água

Na estação de São José de Ribamar, o maior valor de temperatura superficial da água foi 32 °C, no final da época chuvosa e o menor foi 29,1 °C, durante o período de estiagem. Em Cedral, o valor mais alto foi 30 °C e o menor foi 27,8 °C, ambos durante o período chuvoso. O maior valor registrado em Cajapió foi 38,5 °C, no final do período chuvoso, enquanto que o menor foi 29 °C, durante o período de estiagem (Figura 3.16 e Apêndices A, B e C).

Os valores máximo e mínimo de temperatura superficial da água foram registrados, respectivamente, em Cajapió, no final do período chuvoso, e Cedral, no início desse período. A temperatura do ar foi geralmente um pouco mais elevada do que a da água, sendo a média de acréscimo de 1,1 °C, e a amplitude observada de 4 °C (Figura 3.16 e Apêndices A, B e C).

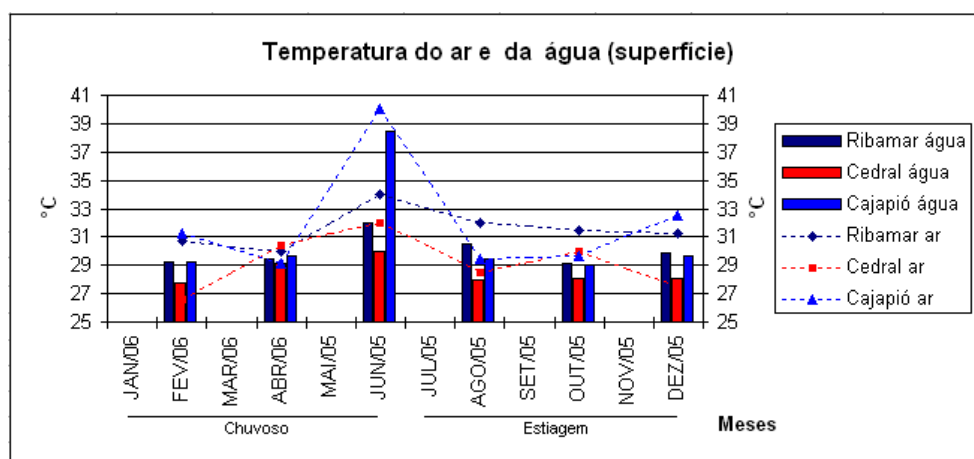


FIGURA 3.16 – Valores registrados para temperatura (°C) do ar e da superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

Na zona tropical, a amplitude térmica costuma ser baixa, não tendo os mesmos efeitos das zonas temperadas, porém continua sendo um fator limitante para as espécies fitoplanctônicas, uma vez que sua fisiologia depende diretamente dessa variável. O período chuvoso teve suas temperaturas mais elevadas que a de estiagem. Seus valores são um pouco menores em Cedral e maiores em Cajapió.

3.2.5 Densidade da água

A densidade da água (σ_{stp}) foi representada por $\rho - 1000$, sendo ρ a densidade em $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Em São José de Ribamar, o valor de densidade da água mais elevado foi $20,26 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, no final do período de estiagem, e o menor foi $9,38 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, durante o período chuvoso. Para Cedral, o maior valor verificado foi $20,81 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$, no início do

período chuvoso, e o menor, $15,37 \text{ mg.cm}^{-3}$, durante esse período. Já em Cajapió, o maior valor foi $18,54 \text{ mg.cm}^{-3}$, no final do período de estiagem, e o valor mais baixo foi $4,63 \text{ mg.cm}^{-3}$, durante o período chuvoso (Figura 3.17 e Apêndices A, B e C).

Os valores máximo e mínimo de densidade da água foram registrados, respectivamente, em Cedral e em Cajapió, ambos durante o período chuvoso (Figura 3.17 e Apêndices A, B e C).

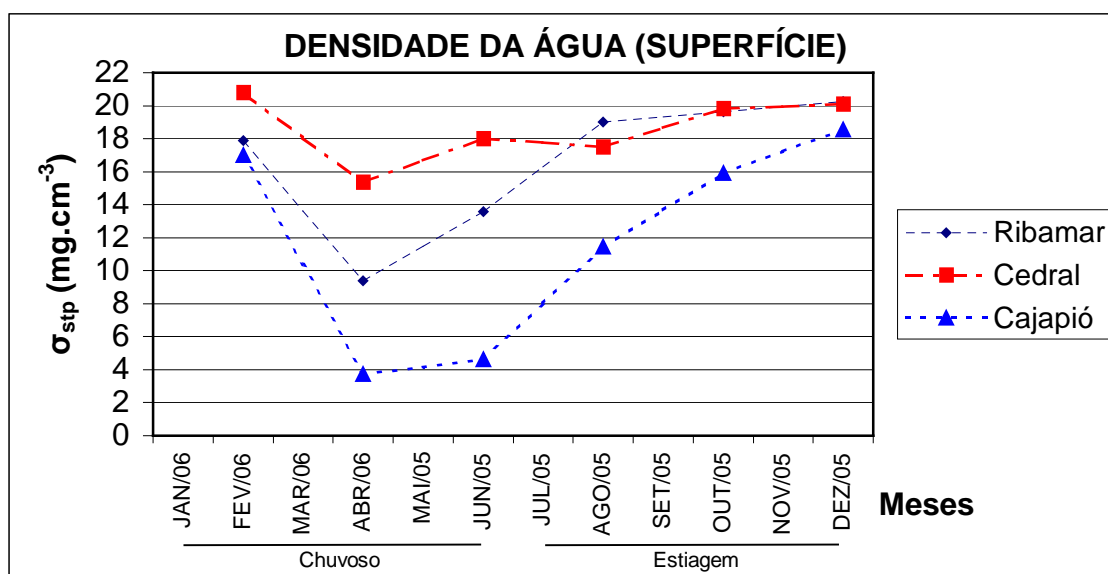


FIGURA 3.17 – Valores da densidade superficial da água (mg.cm^{-3}), nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

Segundo PEREIRA & SOARES-GOMES (2002), a água do mar é leve ($1,021$ a $1,028 \text{ } \mu\text{g.cm}^{-3}$), $\sigma_{\text{stp}} = 21$ a 28 mg.cm^{-3} , enquanto que o plâncton é denso (a carapaça de sílica das diatomáceas, por exemplo, tem densidade $2,70$ a $2,95 \text{ } \mu\text{g.cm}^{-3}$, equivalente a $\sigma_{\text{stp}} = 2.700$ a 2.950 mg.cm^{-3} , e mesmo o citoplasma fitoplanctônico é mais denso que a água, com valores entre $1,03$ e $1,10 \text{ } \mu\text{g.cm}^{-3}$ ($\sigma_{\text{stp}} = 30$ a 100 mg.cm^{-3}). A tendência desses organismos é, então, afundar. As diatomáceas, por exemplo, podem afundar 30 m.dia^{-1} .

Para se estabilizarem em determinada altura da zona fótica, essas microalgas, ainda segundo os autores, adquiriram várias adaptações, que geram: (1) a redução de sobrepeso (seja por meio de troca de íons pesados por leves, como no

dinoflagelado *Noctiluca*, que utiliza o cloreto de amônio, bem mais leve, ou por meio do acúmulo de óleos e gorduras, como ocorre na rafe de diatomáceas penadas, como as do gênero *Navicula*); (2) o aumento da superfície de resistência (pelo aumento da reação superfície/volume, que pode ser atingida por meio da redução do tamanho, pela mudança de forma para discóide, como o gênero *Coscinodiscus*, ou pela formação de leves espinhos e projeções do corpo ou empilhamento, como em *Chaetoceros*). Ou, ainda, (3) aproveitam o movimento da água (correntes de convecção por temperatura ou então correntes de Langmuir, causada por ventos de mais de 3 m.s^{-1}).

A densidade superficial da água, portanto, acompanhou as variações da temperatura e, principalmente, da salinidade da água. Nota-se que as densidades registradas estiveram abaixo até mesmo da densidade citoplasmática do fitoplâncton, estimado por PEREIRA & SOARES-GOMES (2002) como sendo de $\sigma_{\text{stp}} = 30$ a 100 mg.cm^{-3} . Como o período com menor salinidade foi o chuvoso, este também demonstra os menores valores para densidade da água, causando diferenças na fisiologia do fitoplâncton, que deve estar adaptada às pressões de densidade na coluna d'água.

3.2.6 Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH estão diretamente ligados à quantidade de dióxido de carbono dissolvido, que, por sua vez, decresce pela atividade fotossintética e aumento da respiração, existindo, desta maneira, uma estreita relação entre as concentrações do oxigênio dissolvido no meio e o pH (ODUM, 2004)

Em São José de Ribamar, o maior valor obtido foi 8,13 no final do período de estiagem e o menor foi 7,80 registrado em ambos os períodos, de estiagem e chuvoso. Para Cedral, o valor mais elevado (8,68) e o menor (7,57) foram obtidos durante o período de estiagem. Em Cajapió, o maior valor registrado foi 8,15 no início do período chuvoso, enquanto que o menor foi 7,40 no final desse período (Figura 3.18 e Apêndices A, B e C).

Os valores mais básicos e mais ácidos de pH da água foram registrados, respectivamente, em Cedral, no final do período de estiagem, e Cajapió, no final do período chuvoso (Figura 3.18 e Apêndices A, B e C).

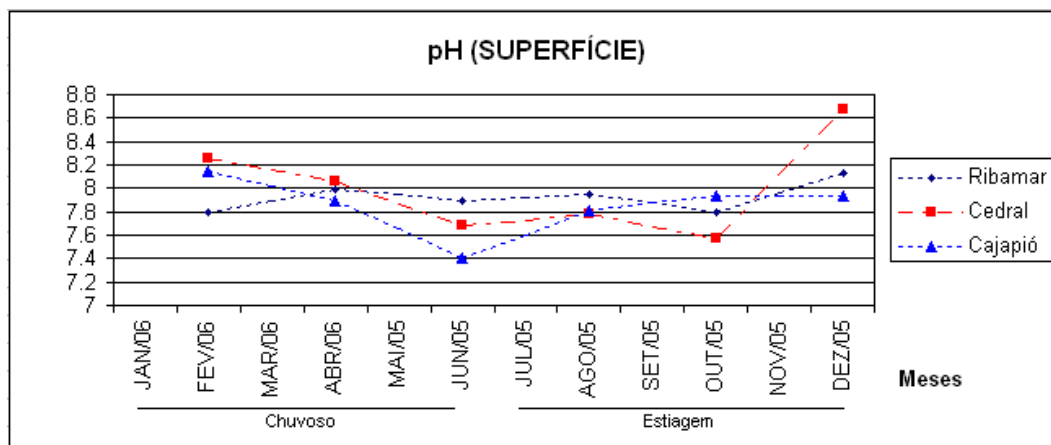


FIGURA 3.18 – Valores para pH da superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

No presente estudo, uma tendência (não significativa) a relação direta entre OD e pH somente pôde ser constatada em Cedral, o que dissocia, em parte, as concentrações de oxigênio dessas áreas da produção primária.

As variações de pH das estações estudadas (7,40 a 8,68) se relacionam negativamente com a pluviosidade, semelhante ao observado por GREGO (2004) e, conseqüentemente, com a salinidade, uma vez que seus valores tendem a decrescer com o aumento deste fator. O período chuvoso teve valores mais baixos que a de estiagem. Comparando-se as estações, percebem-se valores um pouco menores em Cajapió, com maior influência fluvial, e maiores em Cedral, onde há maior influência marinha.

Os valores de pH observados (7,40 a 8,68) constataram a grande influência marinha nas áreas em estudo, estando dentro do limite estabelecido por PERKINS (1977, *apud* BASTOS, 2006) como compatível com a vida marinha. Esse padrão também foi registrado por HONORATO-DA-SILVA (2003) no estuário do rio Formoso (PE), por GREGO (2004) no estuário do rio Timbó (PE) e por BASTOS (2006) no estuário do rio Una (PE). SANTOS (2002), em estudo na baía de Guarapúa (BA), obteve valores de pH entre 6,83 e 8,59.

Na costa maranhense, MARTINS (2001), estudando a área de Panaquatira (São José de Ribamar-MA), também encontrou valores alcalinos de pH, de 7,6 (estiagem) a 8,4 (chuvosa). Da mesma forma, MACÁU (2003) encontrou, para a área de São José de Ribamar (MA), valores estáveis de 7,24 (estiagem) a 7,90 (chuvoso), obtendo o mesmo padrão de valores mais elevados durante o período

chuvoso. SOUZA & COUTO (1999) encontraram, para o estuário do rio Piauí (SE), valores semelhantes de pH (7,8 a 8,3), embora não tenham analisado suas variações sazonais.

3.2.7 Oxigênio dissolvido e percentual de saturação

A maior concentração de oxigênio dissolvido em São José de Ribamar foi $7,30 \text{ mL.L}^{-1}$, no início do período chuvoso, e a menor foi $2,71 \text{ mL.L}^{-1}$, registrado no final do período de estiagem. O valor mais elevado em Cedral foi $5,72 \text{ mL.L}^{-1}$, no início do período chuvoso, e o mais baixo foi $3,64 \text{ mL.L}^{-1}$, no final desse período. Em Cajapió, o maior valor obtido foi $5,94 \text{ mL.L}^{-1}$, no início da época de estiagem, enquanto que o menor foi $3,11 \text{ mL.L}^{-1}$, no final desse período (Figura 3.19 e Apêndices A, B e C).

As quantidades máxima e mínima de O. D. superficial da água foram registradas em São José de Ribamar, respectivamente, no início da época chuvosa e no final do período de estiagem (Figura 3.19 e Apêndices A, B e C).

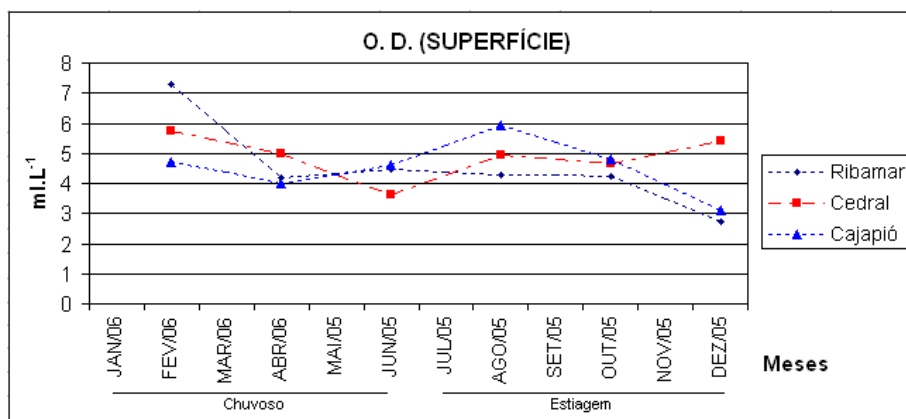


FIGURA 3.19 – Valores de oxigênio dissolvido (mL.L^{-1}) registrados na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

O maior (160,55 %) e o menor (61,44 %) percentuais de saturação de oxigênio dissolvido foram registrados em São José de Ribamar, respectivamente, durante o período chuvoso e durante o período de estiagem (Figura 3.20).

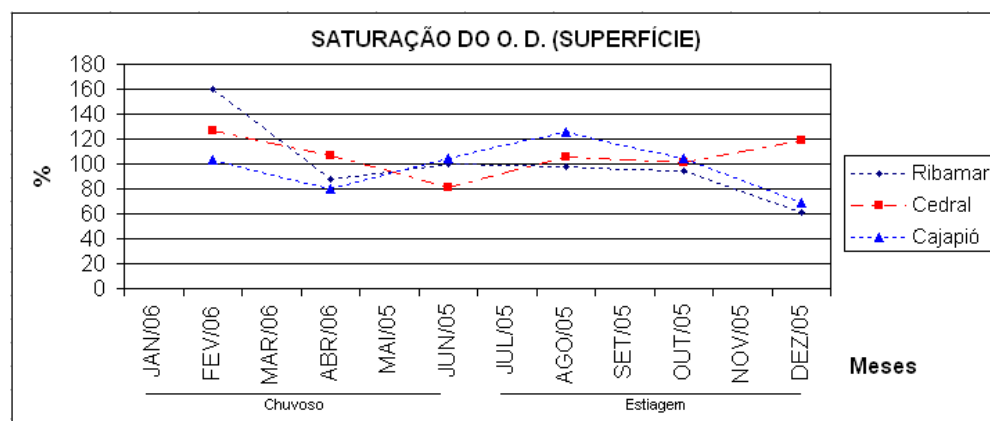


FIGURA 3.20 – Valores de saturação de oxigênio dissolvido (%) na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

A concentração de OD (oxigênio dissolvido) pode ser considerada um indicador da qualidade da água, uma vez que baixas concentrações indicam poluição. Nas áreas em estudo, essa concentração ($2,7$ a $7,3 \text{ mL}^{-1}$) está estritamente correlacionado à sua saturação, que possuiu uma amplitude de variação relativamente pequena, porém não teve relação com a biomassa total (clorofila *a*), tendo sido, provavelmente, influenciada por fatores físicos.

Durante o período chuvoso, houve uma leve tendência a acréscimo na concentração de oxigênio dissolvido. Os maiores valores ocorrem em Cedral em relação às outras duas áreas; isso talvez se deva à maior velocidade dos ventos nessa estação, sobretudo durante o período de estiagem, e também ao fato de as maiores quantidades de biomassa fitoplanctônica terem sido registradas nessa área amostral.

CARDOSO (2000), em estudo na baía de São José, encontrou como valor máximo para o oxigênio dissolvido a concentração de $7,1 \text{ mg/L}$ ($=\text{mL}^{-1}$). MARTINS (2001) encontrou, também para São José de Ribamar (MA), valores de $4,5$ a $8,1 \text{ mg.L}^{-1}$.

ESKINAZI-LEÇA et al. (1984), pesquisando o rio Botafogo (PE), que vem sofrendo forte ação antrópica, constataram valores de OD entre $1,63$ e $4,73 \text{ mL.L}^{-1}$.

Em águas marinhas a taxa de oxigênio dissolvido pode variar entre 0 e 8 mL.L^{-1} , sendo mais comum a variação entre 1 e 6 mL.L^{-1} (SEN-GUPTA & MACHAIN-CASTILLO, 1993). Segundo BASTOS (2006), as concentrações de oxigênio dissolvido

são maiores em ambientes lacustres e, nos estuários, variam muito em função do fluxo e refluxo das marés; a autora, em estudo no rio Una (PE) encontrou relação direta entre a concentração de oxigênio e a salinidade.

De acordo com a classificação de MACÊDO & COSTA (1978, *apud* FEITOSA et al., 1999) para saturação de OD, as três estações podem ser consideradas zonas de baixa saturação (valores de 50 a 100 %) a saturadas (a partir de 100%), não havendo, conforme esta variável, indícios de poluição, que ocorreriam com saturações abaixo de 50 %, típicas de zonas muito antropizadas.

BASTOS (2006), no estuário do rio Una (PE), constatou saturação nas preamares e baixa saturação nas baixa-mares.

3.2.8 Sais nutrientes

Segundo ODUM (2004), embora a quantidade de sais no mar seja grande (medida em partes por mil), geralmente se contabilizam por cloretos, uma vez que os sais nutrientes do fitoplâncton, ou seja, nitrato e fosfato, são medidos em partes por mil milhões (μM). As microalgas se acham, assim, com um forte fator limitante à medida que se afastam da costa. No ambiente estuarino, portanto, os principais sais nutrientes para o fitoplâncton têm origem fluvial.

3.2.8.1 Nitrato

A concentração de nitrato em São José de Ribamar teve como maior valor 10,030 μM , no início do período chuvoso, e menor 2,308 μM , registrado no início do período de estiagem. Na estação de Cedral, o maior valor foi 4,707 μM , no final do período de estiagem, e o menor foi 1,386 μM , no final do período chuvoso. O maior valor para Cajapió foi 24,427 μM , na época de estiagem, enquanto que o menor foi 15,700 μM , no início desse período (Figura 3.21 e Apêndices A, B e C).

Os valores máximo e mínimo de nitrato na superfície da água foram registrados, respectivamente, em Cajapió, na época de estiagem, e em Cedral, no final do período chuvoso (Figura 3.21 e Apêndices A, B e C).

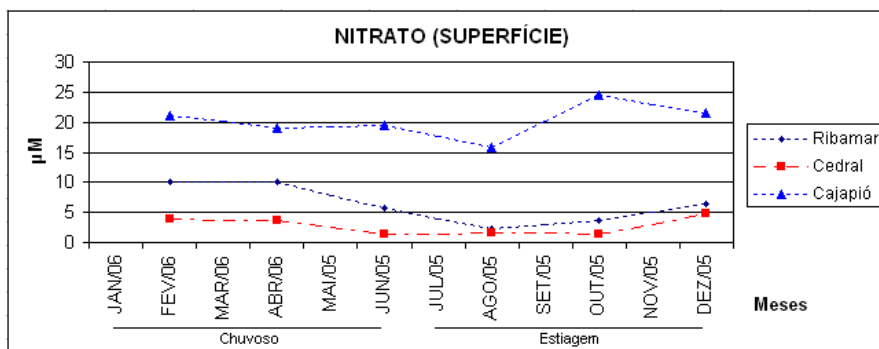


FIGURA 3.21 – Valores para o nitrato (μM) da superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

O nitrato é a forma oxidada mais estável do nitrogênio em solução aquosa. É regenerado por via bacteriana (nitrificação) a partir do nitrogênio orgânico. No ambiente costeiro, suas concentrações são na ordem de 10 a 15 μM (BAUMGARTNER et al., 1996). Segundo os autores, as demais formas do nitrogênio, no caso, amônio e nitrito, em ambientes costeiros não-poluídos têm concentrações de, no máximo, 1 μM .

As variações da concentração de nitrato (1,39 a 24,43 μM) tenderam a se correlacionar (negativamente) sobretudo com o silicato. Isso pode ser explicado pelo fato de um aumento do nitrato favorecer o desenvolvimento das diatomáceas, que começam a utilizar o silicato para a construção de suas frústulas (paredes de sílica).

O período chuvoso teve valores levemente mais elevados que o de estiagem, o que pode ser relacionado ao maior aporte de nutrientes oriundos do continente. Comparando-se as estações, percebem-se valores significativamente maiores em Cajapió ($F = 75,27$ e $p = 0,000$), com maior influência fluvial, ou seja, da lixiviação da bacia hidrográfica. Os menores valores ocorreram em Cedral, onde há maior influência marinha.

A maior parte do nitrogênio na água do mar está presente sob a forma molecular (N_2), correspondendo a 95% do total. Entretanto, o fitoplâncton somente pode utilizar as formas dissolvidas, sobretudo o nitrato (LITTLEPAGE, 1998), cabendo apenas às cianobactérias a capacidade de absorver N_2 (nitrogênio gasoso).

TEIXEIRA et al. (1988), em estudo realizado no Estreito dos Coqueiros, na ilha de São Luís, registraram valores de nitrato desde 0,40 a 8,49 μM , que consideraram suficientes para o desenvolvimento fitoplanctônico nas áreas de coleta, embora bem menores do que os encontrados no presente estudo.

SOUZA & COUTO (1999), em estudo no estuário do rio Piauí (SE), encontraram valores bem maiores, variando de 10,2 a 15,2 μM , ao contrário de LOSADA (2000), em estuários da costa pernambucana, e SANTOS (2002), que estudou a baía de Guarapuá (BA), encontrando variações para o nitrato desde valores indetectáveis a 0,823 μM , caracterizando o ambiente como não impactado.

3.2.8.2 Fosfato

Em São José de Ribamar, o fosfato teve como sua maior concentração 0,945 μM , durante o período chuvoso, e a menor foi 0,525 μM , registrado durante o período de estiagem. A maior concentração de fosfato em Cedral foi 0,7428 μM , durante o período de estiagem, e a menor 0,153 μM , durante o período chuvoso. Em Cajapió, a maior concentração foi 1,718 μM , no final do período de estiagem, enquanto que a menor foi 0,566 μM , no início desse período (Figura 3.22 e Apêndices A, B e C).

As maiores concentrações de fosfato na superfície da água foram registradas em Cajapió, no final do período de estiagem e início do período chuvoso e as menores foram registradas em Cedral, na época chuvosa (Figura 3.22 e Apêndices A, B e C).

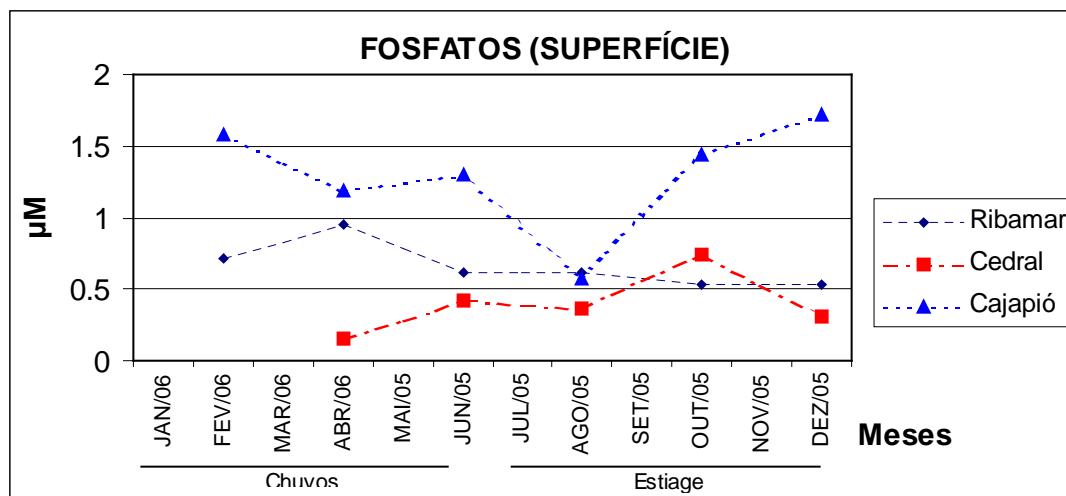


FIGURA 3.22 – Valores obtidos para fosfato (μM) na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

As concentrações de fosfato registradas nos estuários estudados ($0,15$ a $1,72 \mu\text{M}$) tenderam a se correlacionar (negativamente) com o nitrato. O período chuvoso teve valores levemente mais elevados que o de estiagem, o que pode ser relacionado ao maior aporte de nutrientes oriundos do continente, seja pela descarga fluvial ou pela lixiviação da própria área costeira, tal qual o observado em outros estudos como os de MELO-MAGALHÃES et al. (2004), no sistema estuarino de Mundaú/Manguaba (AL), que obtiveram valores de $0,23$ a $3,19 \mu\text{M}$. Percebem-se valores maiores em Cajapió, com maior influência fluvial, e menores em Cedral, influenciado mais diretamente pelas águas do Oceano Atlântico. Os valores mais reduzidos durante o período de estiagem também podem ser relacionados a uma maior assimilação pelo fitoplâncton.

Conforme FRAGA (1972, *apud* ESKINAZI-LEÇA et al., 1984), concentrações de fosfato inferiores a $0,5 \mu\text{g-at.L}^{-1}$ ($=\mu\text{M}$) podem limitar tanto a biomassa quanto a produtividade fitoplanctônicas. Os valores registrados em Cedral, geralmente abaixo de $0,5 \mu\text{M}$, são, portanto limitantes para as microalgas. Em estudo na área de Panaquatira (São José de Ribamar-MA), MARTINS (2001) encontrou valores de $0,004 \text{ mg.L}^{-1}$ ($0,04 \mu\text{M}$) a $0,049 \text{ mg.L}^{-1}$ ($0,51 \mu\text{M}$). DELGADO-NORIEGA & ASTORGA-ESPAÑA (2005) citam uma concentração de $1,00 \mu\text{M}$ como sendo um valor alto para a maioria dos estuários.

De acordo com LISS (1976, *apud* BAUMGARTEN et al., 1996), nos estuários não poluídos, as concentrações de fosfato geralmente variam em torno de 1,2 μM , devido a um sistema tamponante entre a coluna d'água e a coluna sedimentar.

A concentração de carbono, nitrogênio e fósforo nas células microalgais, conforme a razão de Redfield (TURNER et al., 1998), é de 106:16:1. Na água do mar, as relações C:N e C:P são muito superiores a essa razão, o que coloca apenas o nitrogênio e o fósforo como potenciais limitadores.

Há divergências na literatura com relação à interpretação da razão de Redfield. Conforme SPERLING et al. (2004), uma relação N:P acima de 7 indica que o nitrogênio é o nutriente limitante, enquanto que uma razão abaixo de 7 coloca o fósforo como um potencial limitador. Segundo ele, as chuvas trazem fósforo do solo (provenientes de esgotos, fertilizantes etc.) para os corpos d'água, ao passo que aumentam a turbidez do ambiente aquático, reduzindo a fotossíntese e, conseqüentemente, tornando menor a assimilação de fósforo pelas algas; isso leva a um aumento de fósforo nos corpos d'água, o que implica a redução da relação N:P, favorecendo o aparecimento de cianobactérias (fixadoras de nitrogênio), que oportunamente começam a se multiplicar, surgindo então o que se chama de florescimento ou *bloom* algal.

HOWARTH (1988) e DELGADO-NORIEGA & ASTORGA-ESPAÑA (2005) consideram o limiar de interpretação o próprio valor 16 da razão, afirmando que valores abaixo de 16 indicam o nitrogênio como limitante, enquanto que os maiores que 16 colocam o fósforo como tal. Para BEYNTON et al. (1982, *apud* EPA, 2001), razões abaixo de 10 indicam o nitrogênio como limitante, enquanto que um valor da razão de Redfield superior a 20 indica o fósforo como limitante. Esta última foi adotada para interpretar os resultados deste trabalho, não apenas pelo fato de o autor a ter sugerido para estuários, como também por parecer mais razoável, considerando como centro o valor 16 e como balanceados os valores de 10 a 20, uma vez que a concentração dos três elementos químicos nas células algais diverge em algumas espécies.

È possível observar que, em São José de Ribamar, durante o período de estiagem, o nitrogênio pareceu ser um fator limitante. Para Cedral, durante o período chuvoso, o fósforo parece ter sido limitante, enquanto que, durante o período de estiagem, o nitrogênio demonstra ter assumido essa função. Já em Cajapió,

normalmente a razão N:P se manteve entre 10 e 20, evidenciando um equilíbrio entre os dois grupos de sais, tendo a única exceção ocorrido durante o mês de agosto/2005 (Tabela 3.1).

A relação N:P mostrou-se menor em Cedral do que nas demais estações, embora isso não seja significativo estatisticamente. Em São José de Ribamar, o período chuvoso parece causar um aumento nessa relação.

Os maiores valores foram observados em Cajapió, e os resultados parecem mostrar que as chuvas não interferiram na razão N:P para essa estação. De maneira geral, a relação N:P tendeu a ser maior durante o período chuvoso (Tabela 3.1).

As maiores instabilidades, com valores de N:P abaixo de 10 ou acima de 20, ocorreram em São José de Ribamar e Cedral, durante o final do período chuvoso e início do de estiagem. O desequilíbrio desses nutrientes pode representar um risco ao desenvolvimento de microalgas potencialmente tóxicas (VAN-DOLAH, 2000).

TABELA 3.1 - Razão nitrato/fosfato, conforme a estação (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

ESTAÇÃO	MESES					
	FEV/06	ABR/06	JUN/05	AGO/05	OUT/05	DEZ/05
São José de Ribamar	14,05	10,55	9,19	3,76	7,03	11,87
Cedral	-	23,51	3,30	4,18	1,98	15,01
Cajapió	13,42	15,99	14,94	4,67	17,03	12,51

3.2.8.3 Silicato

O silício é um elemento nutritivo para algumas espécies, pois entra na composição de frústulas, espículas e outras estruturas de espécies planctônicas (BAUMGARTNER et al., 1996). Segundo os autores, a concentração de silicato em ambientes estuarinos é, em média, de 150 μM .

A maior concentração registrada em São José de Ribamar para silicato foi 45,679 μM , durante o período chuvoso, sendo a menor 3,250 μM , registrada no início do período de estiagem. Para a estação de Cedral, o maior valor foi 21,075 μM ,

durante o período chuvoso, e o menor foi 5,656 μM , no final do período de estiagem. O maior valor para Cajapió foi 65,027 μM , na época de estiagem, enquanto que o menor foi 32,243 μM , no final desse período (Figura 3.23 e Apêndices A, B e C).

Os valores máximo e mínimo de silicato na superfície da água foram registrados, respectivamente, em Cajapió, na época chuvosa, e em São José de Ribamar, no início do período de estiagem (Figura 3.23 e Apêndices A, B e C).

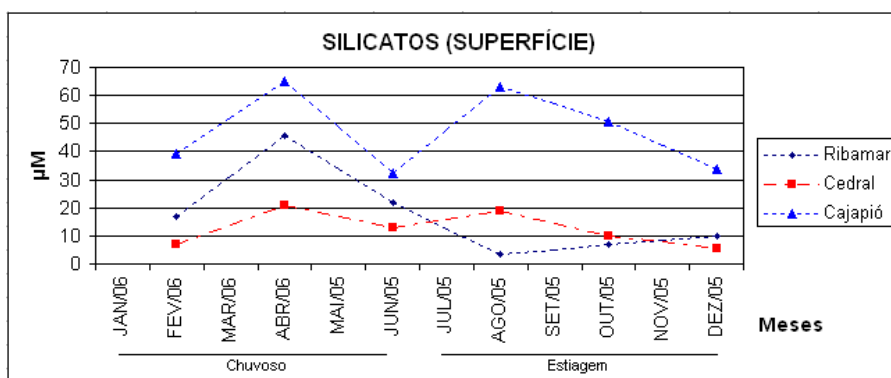


FIGURA 3.23 – Valores de silicato (μM) na superfície da água, nas três estações de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

As variações da concentração de silicato (3,25 a 65,03 μM) tendem a se correlacionar (negativamente) sobretudo com o nitrato. Isso pode ser explicado pelo fato de um aumento do silicato favorecer o desenvolvimento das diatomáceas, que o utilizam para a construção de suas frústulas (paredes de sílica), tendo sua densidade de células aumentada e conseqüentemente ocorrendo um maior consumo de nitrato.

O período chuvoso teve valores razoavelmente mais elevados que o de estiagem, o que pode ser relacionado ao maior aporte de nutrientes oriundos do continente, uma vez que a maior contribuição de silicato se deve ao aporte fluvial (DELGADO-NORIEGA et al., 2005). Semelhante padrão sazonal com maiores concentrações durante o período chuvoso também foi observado por MELO-MAGALHÃES et al. (2004), no sistema estuarino de Mundaú/Manguaba (AL), com valores que variaram, em preamar, de 12,12 a 378,00 μM . Comparando-se as estações, percebem-se valores significativamente maiores em Cajapió ($F = 13,24$ e $p = 0,00$), com maior influência fluvial, ou seja, da lixiviação da bacia hidrográfica. Os menores

valores ocorreram em Cedral, onde há maior influência marinha, e onde a bacia hidrográfica é bem menor que as outras duas áreas.

A Tabela 3.2 mostra que os valores registrados para a relação nitrato/silicato foram menores que 1:

TABELA 3.2 – Razão nitrato/silicato, conforme a estação (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

ESTAÇÃO	MESES					
	FEV/06	ABR/06	JUN/05	AGO/05	OUT/05	DEZ/05
São José de Ribamar	0,60	0,22	0,26	0,71	0,52	0,63
Cedral	0,54	0,17	0,11	0,08	0,15	0,83
Cajapió	0,54	0,29	0,60	0,04	0,48	0,64

Também conforme TURNER et al. (1998), a proporção de nitrato em relação a silicato nas diatomáceas é de 1:1. Valores desta relação acima de 1 implicam limitações à reprodução das diatomáceas, o que levaria a uma abertura natural para o florescimento de outros grupos de algas, como os dinoflagelados, que possuem vários representantes potencialmente tóxicos ao ecossistema. Considerando esses valores, provavelmente, o silicato não é fator limitante para as áreas estudadas.

Não apenas a concentração total de nutrientes tem implicância nos processos de eutrofização, mas também as razões (Si:N e Si:P) alteradas desses nutrientes, como vários casos relatados para a Europa, para o Mississipi e para o Golfo do México (VAN-DOLAH, 2000).

3.3 Variáveis biológicas

3.3.1 Composição florística

Foram identificados 124 táxons nas três áreas de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), sendo a maioria constituída por diatomáceas, que representaram 87,1 % do total, seguidas dos dinoflagelados (8,87 %), das clorófitas (2,42 %), das euglenófitas (0,81 %) e das cianobactérias (0,81 %) – Quadro 3.1 e Apêndice D.

QUADRO 3.1 – Sinopse dos táxons identificados nas amostras de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

BACILLARIOPHYTA	TRICERATIALES
COSCINODISCOPHYCEAE	Triceratiaceae
COSCINODISCOPHYCIDAE	<i>Triceratium alternans</i> Bailey
COSCINODISCALES	<i>Triceratium broeckii</i> Leuduger-Fortmorel
Coscinodisceae	<i>Triceratium contortum</i> Shadbolt
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	<i>Triceatium favus</i> Ehrenberg
<i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg	<i>Triceatium favus</i> var. <i>quadrata</i> Grunow
<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg	<i>Triceatium</i> sp.
<i>Coscinodiscus lineatus</i> Ehrenberg	<i>Cerataulus turgidus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
<i>Coscinodiscus oculusiridis</i> Ehrenberg	<i>Eupodiscus radiatus</i> Bailey
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehrenberg	<i>Eupodiscus</i> sp.
<i>Coscinodiscus perforatus</i> var. <i>cellulosus</i> Grunow	<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	<i>Odontella dúbia</i> (Brightwell) Cleve
Heliopeltaceae	<i>Odontella longicuris</i> (Greville) Hoban
<i>Actinoptychus annulatus</i> (Wallich) Grunow	<i>Odontella mobiliensis</i> (Bailey) Grunow
<i>Actinoptychus senarius</i> Ehrenberg	<i>Odontella regia</i> (Schultze) Simonsen
<i>Actinoptychus splendens</i> (Shadbolt) Ralfs	<i>Odontella rhombus</i> (Ehrenberg) Kützing
<i>Actinoptychus vulgaris</i> Schumann	<i>Odontella</i> sp.
Hemidisceae	<i>Pleurosira</i> sp.
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg	CHAETOCEROPHYCIDAE
<i>Actinocyclus octonarius</i> var. <i>ralfsii</i> (W. Smith) Hen	CHAETOCEROTALES
MELOSIRALES	Chaetoceraceae
Melosiriaceae	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder
<i>Melosira moniliformis</i> (Muller) Agardh	<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve
<i>Melosira nummuloides</i> (Dillwyn) Agardh	<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder
<i>Melosira</i> sp.	<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg
<i>Melchersiella hexagonalis</i> C. Teixeira	<i>Chaetoceros lacinosus</i> Schütt
Hyalodisceae	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow
<i>Podosira stelliger</i> Mann	<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell
BIDDULPHIOPHYCIDAE	<i>Chaetoceros simplex</i> Ostenfeld
BIDDULPHIALES	<i>Chaetoceros subtilis</i> Cleve
Biddulphiaceae	<i>Chaetoceros</i> sp.
<i>Biddulphia pulchella</i> Gray	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder
<i>Hydrosera triquetra</i> Wallich	CORETROPHYCIDAE
<i>Terpsinoe americana</i> (Bailey) Ralfs	CORETHRALES
<i>Terpsinoe musica</i> Ehrenberg	Corethraceae
<i>Trigonium alternans</i> Mann	<i>Corethron hystrix</i> Hensen
HEMIAULALES	LITHODESMIOPHYCIDAE
Hemiaulaceae	LITHODESMIALES
<i>Hemiaulus indicus</i> Karsten	Lithodesmiaceae
Bellerocheaceae	<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg
<i>Bellerochea malleus</i> (Brightwell) Van Heurck	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow
Streptothecaceae	
<i>Heliotheca thamensis</i> (Shrubsole) Ricard	

Continua...

QUADRO 3.1 – Sinopse dos táxons identificados nas amostras de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006. Continuação...

<p><u>RHIZOSOLENIOPHYCIDAE</u></p> <p>RHIZOSOLENIALES Rhizosoleniaceae <i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell <i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell <i>Rhizosolenia stolteforthii</i> H. Peragallo <i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle <i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> Schulze</p>	<p>NAVICULALES Naviculaceae <i>Navicula</i> sp. Diploneidaceae <i>Diploneis gruendleri</i> (Schmidt) Cleve <i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve Pinnulariaceae <i>Pinnularia</i> sp. <i>Caloneis permagna</i> (Bailey) Cleve Pleurosigmataceae <i>Gyrosigma balticum</i> (Ehrenberg) Rabenhorst <i>Gyrosigma macrum</i> (Smith) Griffith & Henfrey <i>Gyrosigma</i> sp.</p>
<p><u>THALASSIOSIROPHYCIDAE</u></p> <p>THALASSIOSIRALES Thalassiosiraceae <i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve <i>Thalassiosira oestrupii</i> (Ostenfeld) Hasle <i>Thalassiosira rotula</i> Meunier <i>Thalassiosira subtilis</i> (Oostenfeld) Gran Skeletonemaceae <i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve <i>Skeletonema tropicum</i> Cleve Stephanodiscaceae <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing <i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow <i>Cyclotella stylonum</i> Brightwell <i>Tryblioptychus cocconeiformis</i> (Cleve) Hendey</p>	<p>RHOPALODIALES Rhopalodiaceae <i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) Muller</p> <p>SURIRELLALES Surirellaceae <i>Surirella fastuosa</i> Ehrenberg <i>Surirella febigerii</i> Lewis <i>Surirella ovata</i> Kützing <i>Surirella</i> sp. <i>Campylodiscus clypeus</i> Ehrenberg Entomoneidaceae <i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kützing</p>
<p>BACILLARIOPHYCEAE</p> <p><u>BACILLARIOPHYCIDAE</u></p> <p>BACILLARIALES Bacillareaceae <i>Bacillaria paradoxa</i> Gmelin <i>Nitzschia closterium</i> (Ehrenberg) Smith <i>Nitzschia fasciculata</i> (Grunow) Gronow <i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs <i>Nitzschia obtusa</i> Smith <i>Nitzschia</i> sp. <i>Pseudo-nitzschia</i> sp. <i>Tryblionella coarctata</i> (Grunow) Mann</p>	<p>FRAGILARIOPHYCEAE</p> <p><u>FRAGILARIOPHYCIDAE</u></p> <p>FRAGILARIALES Fragilareaceae <i>Fragilaria</i> sp. <i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round <i>Synedra tabulata</i> (Agardh) Kützing <i>Synedra</i> sp.</p>
<p>ACHNANTHALES Achnanthaceae <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (Kützing) Cleve</p> <p>LYRELLALES Lyrellaceae <i>Lyrella lyra</i> (Ehrenberg) Karayeva <i>Cocconeis distans</i> Gregory</p>	<p>RHAPHONEIDALES Rhaphoneidiaceae <i>Rhaphoneis amphiceros</i> Ehrenberg</p> <p>THALASSIONEMATALES Thalassionemataceae <i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff <i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Van Heurck</p>

Continua...

QUADRO 3.1 – Sinopse dos táxons identificados nas amostras de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006. Continuação...

PYRROPHYTA	CHLOROPHYTA
DINOPHYCEAE	CHLOROPHYCEAE
GONYAULACALES	CHLOROCOCCALES
Ceratiaceae	Hydrodictyaceae
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann	<i>Pediastrum simplex</i> Meyen
<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	Scenedesmaceae
<i>Ceratium lineatum</i> (Ehrenberg) Cleve	<i>Scenedesmus opoliensis</i> Richter
<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Vanhöffen	
<i>Ceratium</i> sp.	
Pyrophacaceae	ZYGNEMATALES
<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall & Dale	Desmidiaceae
	<i>Staurastrum leptocladum</i> Nordstedt
PERIDINIALES	
Peridiniaceae	
<i>Peridinium</i> sp.	
Protoperidiniaceae	CYANOPHYTA
<i>Protoperidinium claudicans</i> (Paulsen) Balech	CYANOPHYCEAE
<i>Protoperidinium conicoides</i> (Pausen) Balech	
<i>Protoperidinium</i> sp1	
<i>Protoperidinium</i> sp2	OSCILLATORIALES
	Oscillatoriaceae
EUGLENOPHYTA	<i>Oscillatoria</i> sp.
EUGLENOPHYCEAE	
EUGLENALES	
Euglenaceae	
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) Stein	

3.3.1.1 São José de Ribamar

A comunidade fitoplanctônica estuarina em São José de Ribamar esteve representada por 80 táxons infragenéricos, distribuídos entre as divisões Bacillariophyta (90 %), Dinophyta (7,5 %), Euglenophyta (1,25 %) e Cyanophyta (1,25 %). Dos 124 táxons identificados, 11 foram exclusivos desta estação de coleta (Figura 3.25 e Apêndice D).

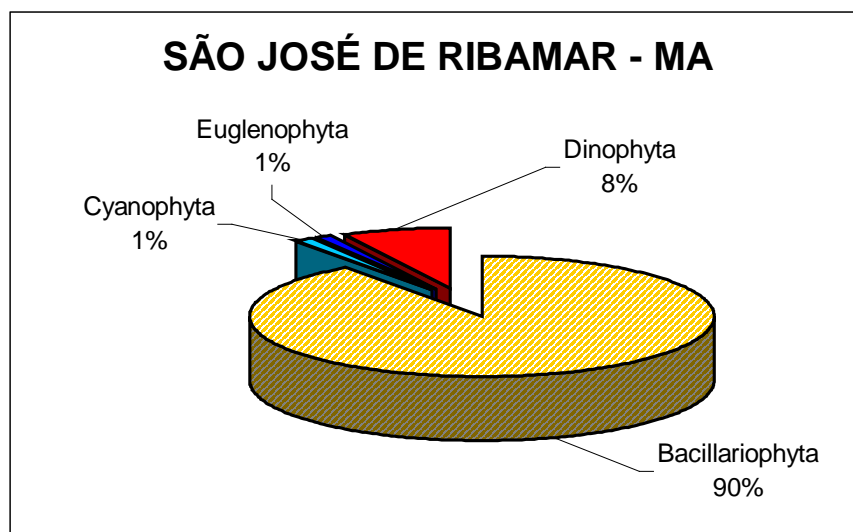


FIGURA 3.24 – Valores percentuais da comunidade fitoplanctônica representada por cada divisão de microalgas, em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.

Conforme a frequência de ocorrência das espécies nas coletas, 36,25 % delas são pouco frequentes, 30 % são esporádicas, 25 % são muito frequentes e 8,75 % são classificadas como frequentes (Figura 3.25).

A Divisão Bacillariophyta predominou, com o maior número de táxons, correspondendo a 72 táxons infragenéricos. As espécies que apareceram em todas as coletas, isto é, muito frequentes, pertencem todas a esse grupo: *Bellerochea malleus*, *Cyclotella styllorum*, *Odontella aurita*, *O. mobiliensis*, *Paralia sulcata*, *Pseudonitzschia* sp., *Thalassionema frauenfeldii* e *Tralassiosira subtilis* (Figura 3.25, Apêndice D).

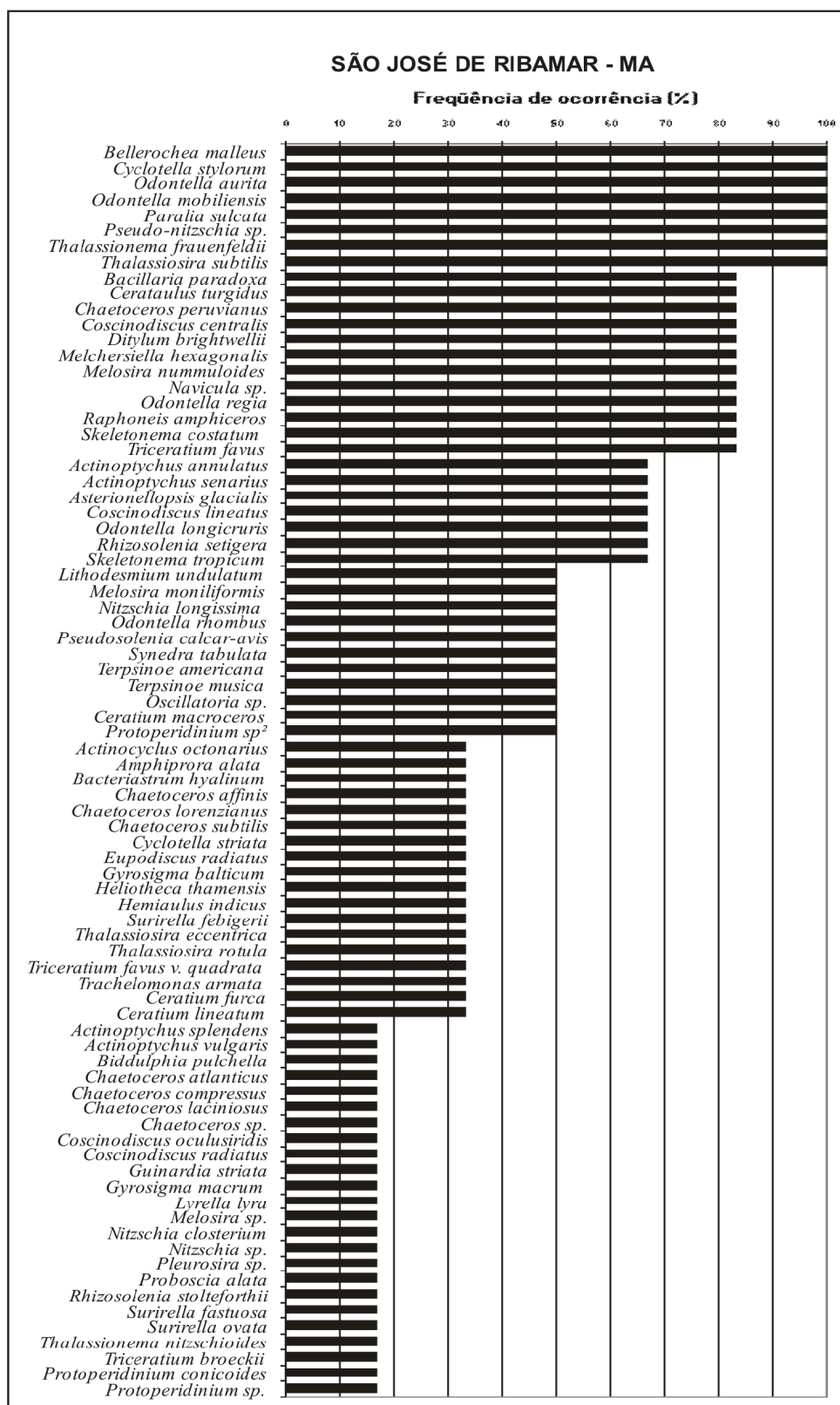


FIGURA 3.25 – Freqüência de ocorrência das espécies identificadas em São José de Ribamar, durante o período de 2005 a 2006.

A Divisão Dinophyta esteve representada por 6 espécies, tendo como gênero mais representativo *Ceratium*, com as espécies *C. furca*, *C. lineatum* e *C. macroceros* (Apêndice D).

A Divisão Euglenophyta foi representada por uma única espécie, a *Trachelomonas armata*, da mesma forma que a Divisão Cyanophyta, com a espécie *Oscillatoria* sp (Apêndice D).

3.3.1.2 Cedral

Em Cedral, a comunidade fitoplanctônica esteve representada por 88 táxons infragêneros, distribuídos entre as divisões Bacillariophyta (86,36 %), Dinophyta (9,09 %), Chlorophyta (2,27 %), Euglenophyta (1,14 %) e Cyanophyta (1,14 %). Dos 124 táxons identificados, 20 foram registrados apenas nesta estação de coleta (Apêndice D e Figura 3.26).

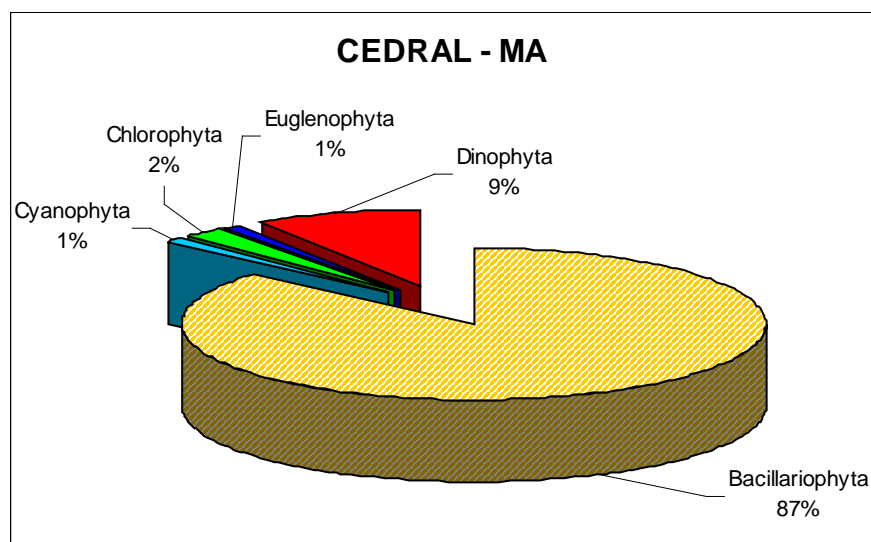


FIGURA 3.26 – Valores percentuais da comunidade fitoplanctônica representada por cada divisão de microalgas, em Cedral, durante o período de 2005 a 2006.

A frequência de ocorrência das espécies nas amostras mostrou que na sua maioria (40,91 %) são esporádicas, 26,14 % são pouco frequentes, 21,59 % são muito frequentes e 11,36 % são frequentes (Figura 3.27).

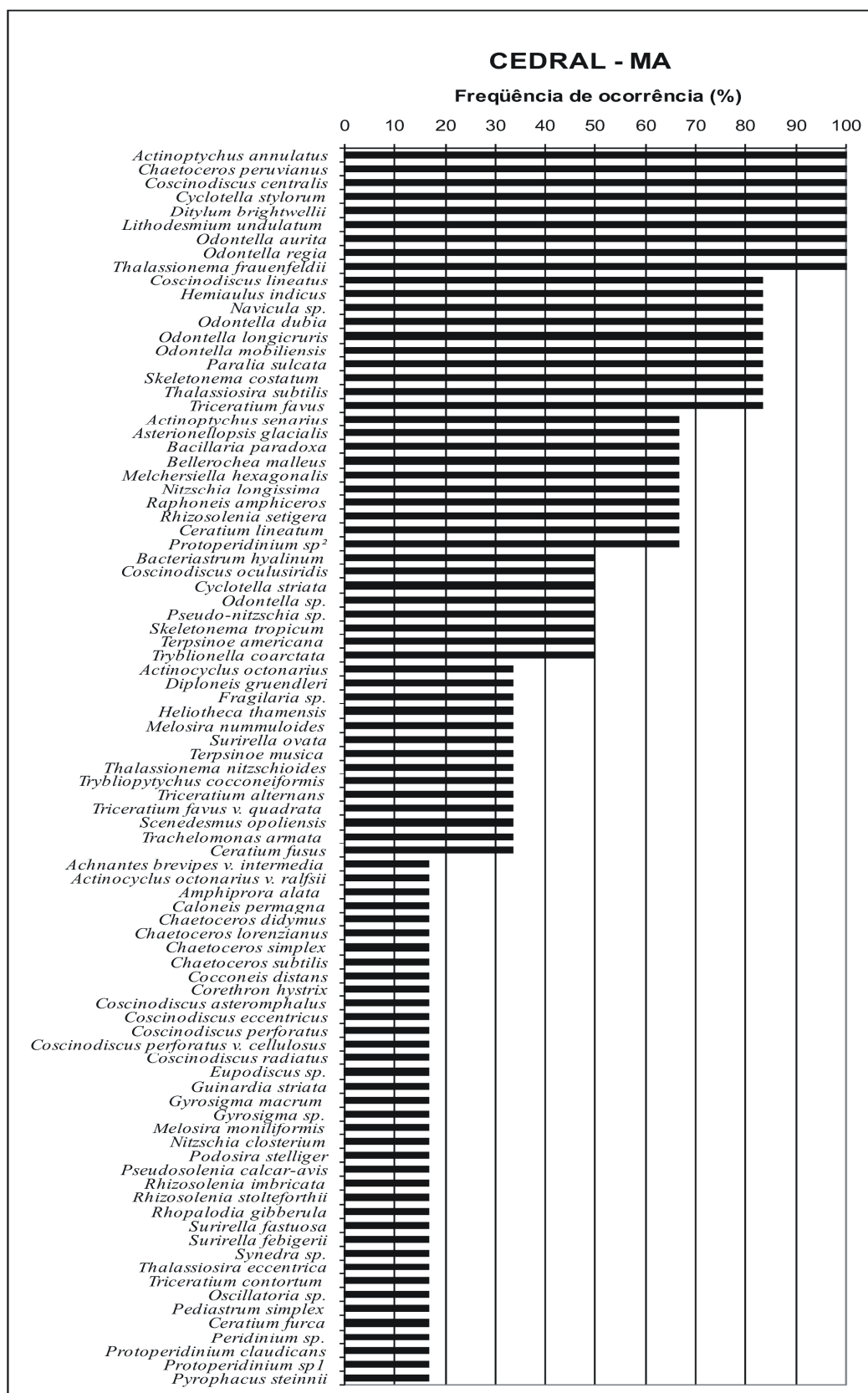


FIGURA 3.27 – Frequência de ocorrência das espécies nas amostras da estação de coleta de Cedral, durante o período de 2005 a 2006.

Houve predominância da Divisão Bacillariophyta, com o maior número de táxons, correspondendo a 76 táxons infragenéricos. As espécies mais representativas (todas desta Divisão) foram: *Actinoptychus annulatus*, *Chaetoceros peruvianus*, *Coscinodiscus centralis*, *Cyclotella styllorum*, *Ditylum brightwellii*, *Lithodesmium undulatum*, *Odontela aurita*, *O. regia* e *Thalassionema frauenfeldii* (Apêndice D).

No que se refere à Divisão Chlorophyta, as únicas espécies identificadas foram *Pediastrum simplex* e *Scenedesmus opoliensis*. Foram encontradas 8 espécies da Divisão Dinophyta, ocorrendo os gêneros *Ceratium*, *Peridinium*, *Protoperidinium* e *Pyrophacus*. A espécie *Ceratium fusus* ocorreu apenas nesta estação (Apêndice D).

As divisões Euglenophyta e Cyanophyta foram representadas, respectivamente, pelas espécies *Trachelomonas armata* e *Oscillatoria* sp. (Apêndice D).

3.3.1.3 Cajapió

Foram identificados 74 táxons infragenéricos na área de coleta de Cajapió, sendo distribuídos entre as divisões Bacillariophyta (90,54 %), Dinophyta (6,76 %), Chlorophyta (1,35 %) e Euglenophyta (1,35 %). Dos 124 táxons identificados, 14 estiveram presentes somente nesta estação de coleta (Apêndice D e Figura 3.28).

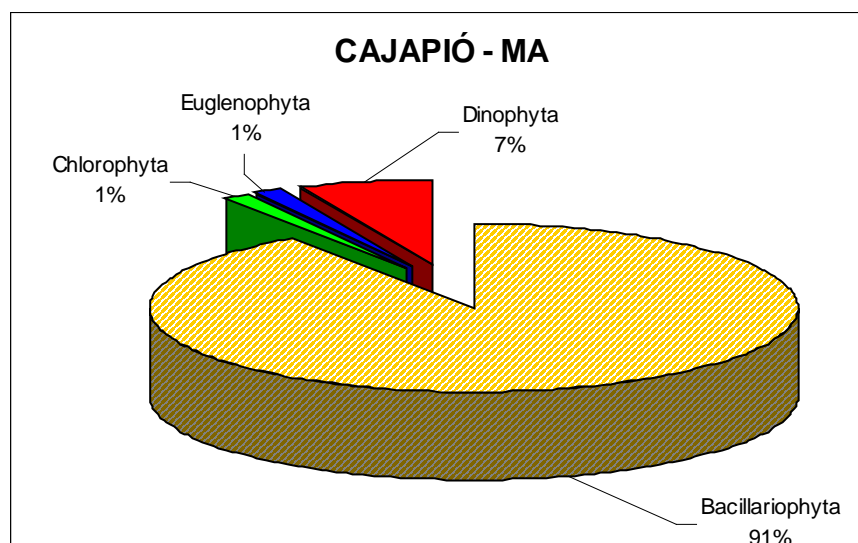


FIGURA 3.28 – Valores percentuais da comunidade fitoplanctônica representada por cada divisão de fitoplâncton, em Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

Em relação à frequência de ocorrência de cada espécie nas amostras analisadas, 44,59 % foram enquadradas como esporádicas, 29,73 % pouco frequentes, 17,57 % muito frequentes e 8,11 % como frequentes (Figura 3.29).

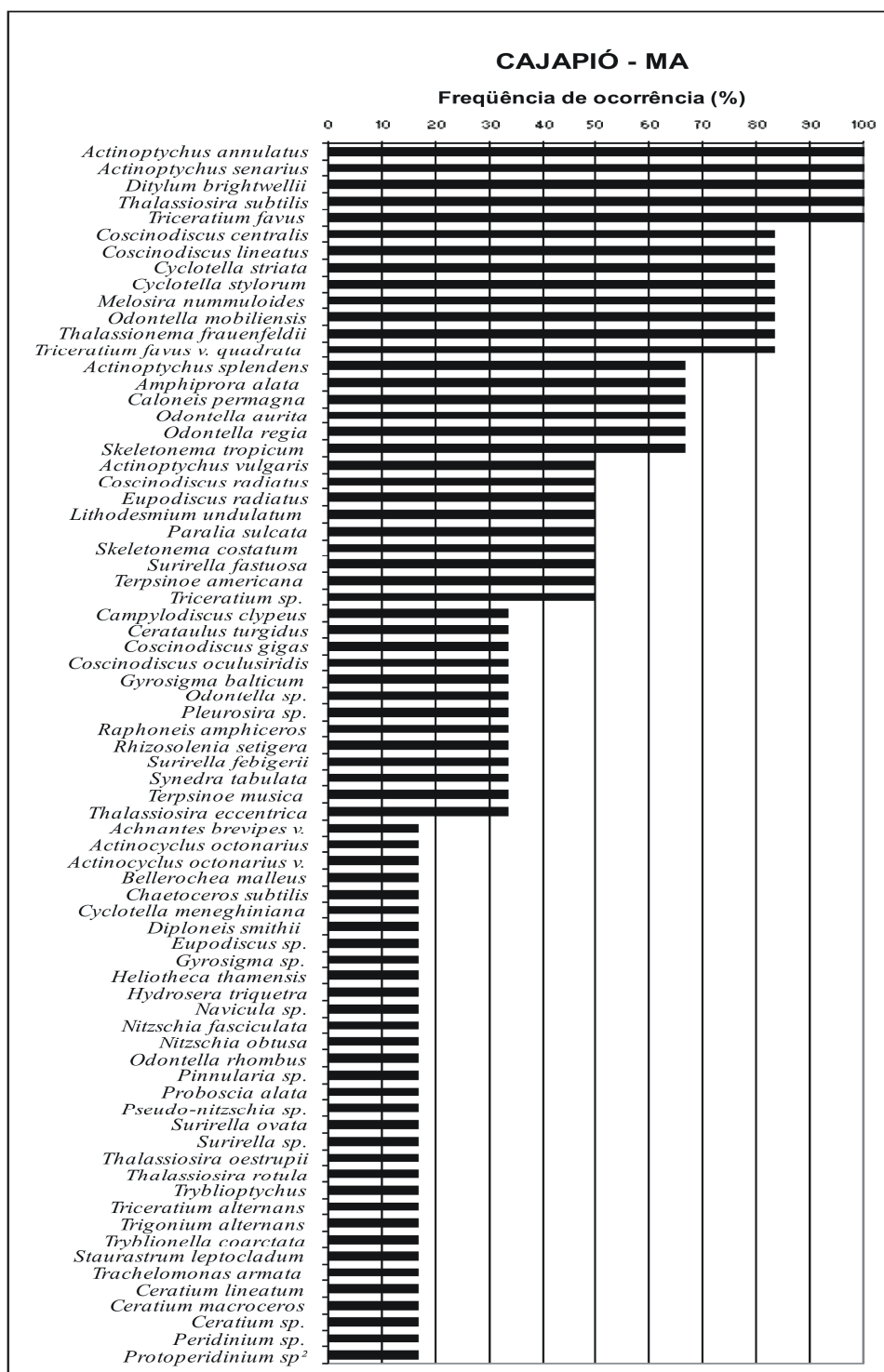


FIGURA 3.29 – Frequência de ocorrência das espécies nas amostras da estação de coleta de Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

A Divisão Bacillariophyta predominou, com o maior número de táxons, correspondendo a 67 táxons infragenéricos. As espécies com maior frequência de ocorrência nas amostras, estando presentes em todas elas, pertencem a esta divisão e foram identificadas como: *Actinoptychus annulatus*, *A. senarius*, *Ditylum brightwellii*, *Thalassiosira subtilis* e *Triceratium favus* (Apêndice D).

Da Divisão Chlorophyta, a única espécie encontrada foi a *Staurastrum leptocladum*, da Divisão Euglenophyta foi *Trachelomonas armata* e da Divisão Dinophyta 5 espécies pertencentes aos gêneros *Ceratium*, *Peridinium* e *Protoperidinium* (Apêndice D).

3.3.1.4 Novas espécies encontradas

Foram registradas 15 novas ocorrências para a costa maranhense, sendo 12 para diatomáceas: *Actinocyclus octonarius* var. *ralfsii*, *Biddulphia pulchella*, *Campylodiscus clypeus*, *Corethron hystrix*, *Eupodiscus radiatus*, *Gyrosigma macrum*, *Hydrosera triquetra*, *Melosira nummuloides*, *Odontella rhombus*, *Rhizosolenia stolteforthii*, *Triceratium broeckii* e *Triceratium contortum*; e 3 para dinoflagelados: *Ceratium macroceros*, *Protoperidinium claudicans* e *Pyrophacus steinnii*.

3.3.1.5 Caracterização ecológica da flora

Os táxons específicos e infraespecíficos foram enquadrados, conforme bibliografia consultada sobre seu habitat típico, em cinco categorias: marinhos oceânicos, isto é, típicos de zonas pelágicas, afastadas da zona costeira, com um percentual de 30,48 %; marinhos neríticos, da zona costeira, representando 29,52 % da comunidade encontrada; ticoplanctônicos ou plâncton accidental, com 27,62 % do total; estuarinos, representados por 6,67 %; e dulcícolas, apenas 5,71 % do total de táxons (Tabela 3.3 e Figura 3.30).

TABELA 3.3 – Ecologia dos táxons encontrados em estuários de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

CATEGORIA	NÚMERO DE TÁXONS	TÁXONS
MARINHA PLANCTONICA	32 (30,48 %)	<i>Bacteriastrom hyalinum</i> , <i>Ceratium fusus</i> , <i>Ceratium lineatum</i> , <i>Ceratium macroceros</i> , <i>Chaetoceros affinis</i> , <i>Chaetoceros atlanticus</i> , <i>Chaetoceros compressus</i> , <i>Chaetoceros didymus</i> , <i>Chaetoceros lacinosus</i> , <i>Corethron hystrix</i> , <i>Coscinodiscus asteromphalus</i> , <i>Coscinodiscus centralis</i> , <i>Coscinodiscus gigas</i> , <i>Coscinodiscus lineatus</i> , <i>Coscinodiscus perforatus</i> , <i>Coscinodiscus perforatus</i> var. <i>cellulosus</i> , <i>Chaetoceros peruvianus</i> , <i>Guinardia striata</i> , <i>Heliotheca thamensis</i> , <i>Proboscia alata</i> , <i>Pseudosolenia calcar-avis</i> , <i>Pyrophacus steinnii</i> , <i>Rhizosolenia imbricata</i> , <i>Rhizosolenia setigera</i> , <i>Rhizosolenia stolteforthii</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Skeletonema tropicum</i> , <i>Thalassionema frauenfeldii</i> , <i>Thalassionema nitzschioides</i> , <i>Thalassiosira eccentrica</i> , <i>Thalassiosira oestrupii</i> , <i>Thalassiosira subtilis</i> .
	31 (29,52 %)	<i>Actinocyclus octonarius</i> , <i>Actinocyclus octonarius</i> var. <i>ralfsii</i> , <i>Asterionellopsis glacialis</i> , <i>Bellerochea malleus</i> , <i>Ceratium furca</i> , <i>Chaetoceros lorenzianus</i> , <i>Chaetoceros simplex</i> , <i>Chaetoceros subtilis</i> , <i>Cocconeis distans</i> , <i>Coscinodiscus oculisiridis</i> , <i>Coscinodiscus radiatus</i> , <i>Diploneis gruendleri</i> , <i>Diploneis smithii</i> , <i>Ditylum brightwellii</i> , <i>Hemiaulus indicus</i> , <i>Lithodesmium undulatum</i> , <i>Melchersiella hexagonalis</i> , <i>Nitzschia fasciculata</i> , <i>Odontella dubia</i> , <i>Odontella longicuris</i> , <i>Odontella mobiliensis</i> , <i>Odontella regia</i> , <i>Podosira stelliger</i> , <i>Protoperidinium claudicans</i> , <i>Protoperidinium conicoides</i> , <i>Synedra tabulata</i> , <i>Thalassiosira rotula</i> , <i>Triceratium broeckii</i> , <i>Trigonium alternans</i> , <i>Tryblionella coarctata</i> , <i>Tryblioptichus cocconeiformis</i> .
TICOPLANCTONICA	29 (27,62 %)	<i>Achnantes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> , <i>Actinoptychus annulatus</i> , <i>Actinoptychus senarius</i> , <i>Actinoptychus splendens</i> , <i>Actinoptychus vulgaris</i> , <i>Amphiprora alata</i> , <i>Bacillaria paradoxa</i> , <i>Biddulphia pulchella</i> , <i>Caloneis permagna</i> , <i>Campylodiscus clypeus</i> , <i>Cerataulus turgidus</i> , <i>Cyclotella stylorum</i> , <i>Eupodiscus radiatus</i> , <i>Lyrella lyra</i> , <i>Melosira moniliformis</i> , <i>Melosira nummuloides</i> , <i>Nitzschia closterium</i> , <i>Nitzschia longissima</i> , <i>Odontella aurita</i> , <i>Odontella rhombus</i> , <i>Paralia sulcata</i> , <i>Surirella fastuosa</i> , <i>Surirella febigerii</i> , <i>Terpsinoe americana</i> , <i>Terpsinoe musica</i> , <i>Triceratium alternans</i> , <i>Triceratium contortum</i> , <i>Triceatium favus</i> , <i>Triceratium favus</i> var. <i>quadrata</i> .
ESTUARINA	7 (6,67 %)	<i>Cyclotella striata</i> , <i>Gyrosigma balticum</i> , <i>Gyrosigma macrum</i> , <i>Nitzschia obtusa</i> , <i>Rhaphoneis amphiceros</i> , <i>Rhopalodia gibberula</i> , <i>Surirella ovata</i> .
DULCÍCOLA	6 (5,71 %)	<i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Hydrosera triquetra</i> , <i>Pediastrum simplex</i> , <i>Scenedesmus opoliensis</i> , <i>Staurastrum leptocladum</i> , <i>Trachelomonas armata</i> .

Os organismos marinhos oceânicos e neríticos totalizaram 60,00 % dos táxons, tendo sido identificados 63 táxons, pertencentes aos grupos das diatomáceas e dos dinoflagelados (Tabela 3.3).

As espécies consideradas ticoplanctônicas compuseram 27,62 % da comunidade, sendo representadas por 29 espécies, todas pertencentes ao grupo das diatomáceas (Tabela 3.3).

Os organismos considerados estuarinos representaram 6,67 % do total, também compostos somente por seres do grupo das diatomáceas, num total de 7 espécies (Tabela 3.3).

As microalgas típicas de água doce foram as menos abundantes, representando apenas 5,71 % do total de táxons, incluindo 3 espécies de clorófitas, 2 diatomáceas e a cianobactéria *Oscillatoria* sp (Tabela 3.3).

Considerando-se cada área de coleta separadamente (Figura 3.30), nota-se que a maior proporção de ticoplâncton ocorreu em Cajapió (35,48 %), porém com menor proporção de táxons de organismos tipicamente marinhos (50,00 %) e maior proporção dos dulcícolas (6,64 %), quando comparada aos outros dois estuários.

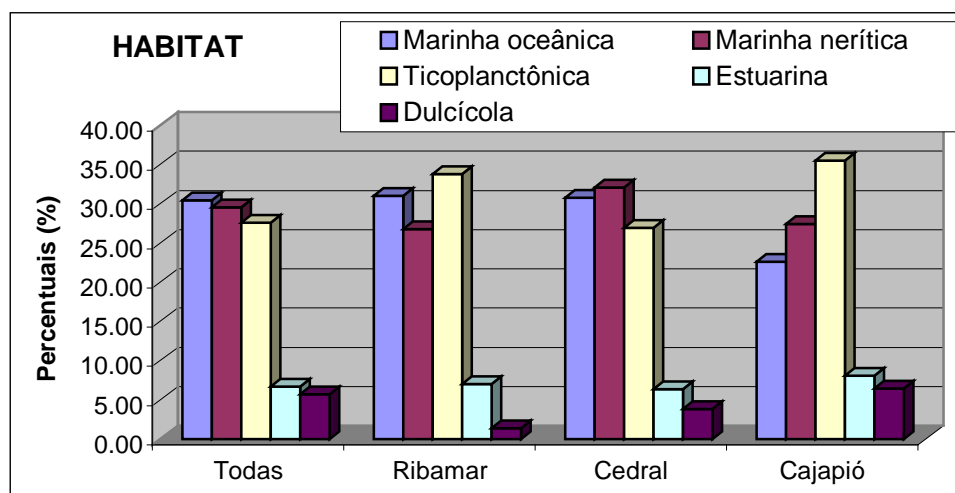


FIGURA 3.30 – Valores percentuais de composição de cada estação de coleta no que se refere à classificação ecológica (habitat típico de ocorrência) dos táxons fitoplanctônicos.

Em relação aos dois períodos sazonais, verificou-se que 41 táxons só ocorreram no período chuvoso, 11 ocorreram apenas durante a época de estiagem e 72 ocorreram em ambos os períodos (Apêndice D).

Durante o período de estiagem, notou-se um pequeno aumento na proporção de organismos ticoplanctônicos e redução na dos estuarinos (Figura 3.31).

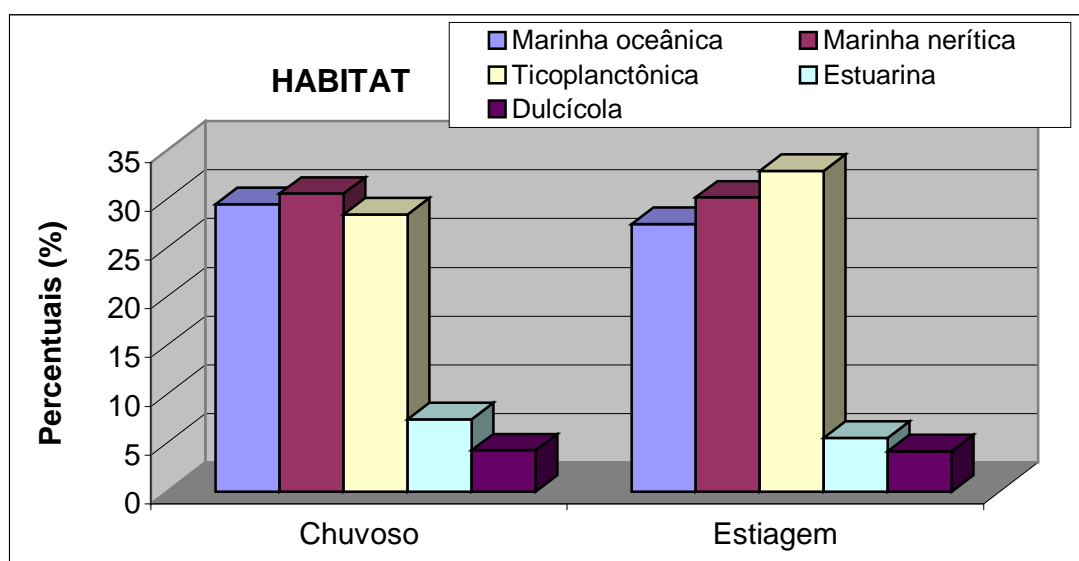


FIGURA 3.31 – Valores percentuais dos táxons que ocorreram durante o período chuvoso e no período de estiagem.

Em média, nas estações amostradas, 87 % da comunidade fitoplanctônica é composta por diatomáceas, enquanto que 9 % é formada por dinoflagelados e os outros 4 % correspondem às clorófitas, euglenófitas e cianobactérias. Isso mostra a grande influência que o ambiente marinho exerce sobre esses estuários, o que pode ser comprovado pela distribuição das microalgas conforme a classificação ecológica, que demonstra que a maioria (60 %) é característica de ambiente marinho. Esses valores confrontam-se com os resultados obtidos por LACERDA (2004) para o estuário de Barra das Jangadas (PE), com 49 % dos táxons típicos de água doce, demonstrando que os estuários maranhenses sofrem mais influência da massa de água salina, devido aos regimes de macromarés, quando comparados com os estuários de Pernambuco.

Esse mesmo padrão de predomínio de diatomáceas e, em menor grau, de dinoflagelados, é bem comum nos poucos trabalhos que existem em estuários maranhenses, como em MARTINS (2001), que observou uma frequência de diatomáceas de 88 % na zona costeira de São José de Ribamar, MOREIRA (2003), em estudo no rio Anil, e MACÁU (2003), que constatou frequências superiores a 90 % para diatomáceas, também na região costeira de São José de Ribamar. O mesmo padrão de predomínio de diatomáceas (71,6 %) pode ser encontrado em vários outros trabalhos em estuários, como MAIA (1995), na bacia do Pina (PE) e MELO-MAGALHÃES et al. (2004), no sistema estuarino Mundaú/Manguaba (AL), segundo os quais o sucesso das diatomáceas deve-se à sua natureza eurialina e à sua preferência por ambientes eutróficos, característicos dos ambientes estuarinos.

No presente estudo, não foram encontradas clorófitas nas amostras de São José de Ribamar, coincidindo com os resultados registrados, para a mesma área, por MACÁU (2003), e divergindo dos de MARTINS (2001), com 1% dos táxons representado por tais microalgas.

MACÁU (2003), em trabalho realizado na baía de São José (São José de Ribamar-MA), encontrou proporções maiores (>90 %) de táxons tipicamente de ambiente marinho e 4,1 % exclusivamente estuarinos, assemelhando-se aos 6,6 % observados agora para a mesma área.

CARDOSO (2000), em estudo nessa mesma baía, também constatou frequência de 100 % para a diatomácea *Bellerrochea malleus* nas amostras de São José de Ribamar. O autor notou um padrão diferente do presente estudo no que se refere à classificação ecológica dos táxons encontrados, tendo relatado somente 15 % desses como tipicamente oceânicos. Essa diferença provavelmente ocorreu pelo fato do autor ter considerado somente as espécies de diatomáceas e por ter enquadrado como oceânicas apenas as exclusivamente oceânicas.

Em estudo com o microfitoplâncton do estuário do rio Caeté (PA), CARMONA et al. (2003) registraram como grupo mais abundante o das diatomáceas, que denominaram de Chrysophyta, com 98,95 %, seguido pelas Pyrrophyta (0,61 %) e Cyanophyta (0,44 %). Das 89 espécies registradas, as que apresentaram 100 % de frequência de ocorrência foram: *Thalassionema nitzschioides*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Odontella regia*, *O. mobilienses*, *Nitzschia longissima*,

Coscinodiscus oculusiridis, *C. centralis* e *C. janischii*. Com exceção desta última, todas essas diatomáceas também foram identificadas na costa maranhense pelo presente estudo.

SIMITH et al. (2003), em estudo com a diatomoflora do estuário do rio Caeté (PA), identificaram 44 espécies pertencentes a 28 gêneros, sendo os mais representativos *Rhizosolenia*, *Coscinodiscus*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira* e *Biddulphia*.

Organismos ticoplanctônicos, ou planctônicos acidentais, como *Actinoptychus annulatus*, *Amphiprora alata*, *Odontella aurita* e *Paralia sulcata*, são característicos de estuários com pouca profundidade. Como mencionado por BASTOS (2006), no rio Una, eles indicam uma origem a partir de substratos da zona fótica, por meio da grande movimentação das massas d'água (correntes, marés e turbulências), tal qual ocorre tipicamente na costa maranhense, com regime de macromarés e ventos fortes. GREGO (2004), no estuário do rio Timbó (PE), também registrou maiores proporções de espécies ticoplanctônicas em detrimento das típicas de estuários.

A estação de Cajapió teve menor proporção de táxons tipicamente marinhos e maior proporção de táxons estuarinos e de água doce quando comparada às outras duas. Essa diferença se deve, provavelmente, ao fato de ser um local onde a entrada de espécies marinhas é menor, reduzindo sua proporção em relação aos táxons de água doce e estuarinos. Além disso, em Cajapió, há bem menos táxons marinhos oceânicos em relação aos marinhos neríticos.

Durante o período de estiagem, a redução da proporção dos organismos tipicamente estuarinos provavelmente esteve ligada à redução da quantidade de nutrientes observada nesse período, o que limita ainda mais o estabelecimento de espécies que dependem desse fator. Já o acréscimo dos organismos ticoplanctônicos observado durante esse período deve ser devido a maiores velocidades dos ventos.

Confrontando as espécies identificadas com aquelas encontradas em áreas estuarinas de Pernambuco, é possível notar que, dos 124 táxons identificados nos três estuários, há 48 % de coincidência em relação ao conjunto encontrado por MAIA (1995), em estudo na bacia do Pina (PE), HONORATO-DA-SILVA (2003), no estuário do rio Formoso (PE), GREGO (2004), no estuário do rio Timbó (PE), LACERDA (2004), no estuário de Barra das Jangadas (PE) e por BASTOS (2006), no estuário do rio Una (PE).

Com relação à frequência de ocorrência das espécies, o padrão registrado para São José de Ribamar no presente estudo, no que se refere ao fato de as espécies esporádicas terem aparecido em menor número do que as pouco frequentes, foi semelhante ao resultado obtido por MACÁU (2003), na baía de São José (São José de Ribamar-MA), que registrou 38 % de espécies frequentes, 32 % de espécies pouco frequentes, 22 % de espécies esporádicas e somente 8 % de espécies muito frequentes. Tal padrão, no entanto, diverge do obtido por CARDOSO (2000), também em estudo realizado na baía de São José (São José de Ribamar-MA).

O padrão registrado para Cedral e Cajapió, com maior predomínio das esporádicas e menor das frequentes, assemelha-se aos de SANTOS-FERNANDES (1997) para o estuário do rio Jaguaribe (PE) e MOREIRA (2003) para o estuário do rio Anil (MA).

MAIA (1995) encontrou, na bacia do Pina (PE), um padrão diferente dos observados no presente estudo, com 49,1 % das espécies classificadas como esporádicas, da mesma forma que FERNANDES (1997), para o estuário do rio Congo (PE), com 48,2 % esporádicas, e GREGO (2004), com 49,34 % de esporádicas, para o estuário do rio Timbó (PE). Os valores destas três últimas, portanto, refletem comunidades menos equitáveis.

Algumas microalgas, a depender de sua densidade no ambiente, podem causar grandes impactos, locais ou regionais, à teia de seres aquáticos (VAN-DOLAH, 2000). Esse impacto se refere à produção de toxinas ou à presença de espinhos na carapaça algal (HORNER et al., 1991).

Segundo VAN-DOLAH (2000), somente cerca de 2 %, representados por 60 a 80 espécies fitoplanctônicas, são potencialmente tóxicas. Contudo, nas três últimas décadas, a incidência dessas espécies aumentou consideravelmente em várias regiões costeiras ao longo do globo, como consequência das atividades antrópicas. Dentre essas atividades, destaca-se a problemática da água de lastro dos grandes navios cargueiros, que atualmente tem sido um problema de âmbito mundial.

No que se refere à produção de substâncias tóxicas, alguns grupos de cianobactérias, euglenófitas, dinoflagelados e diatomáceas produzem biotoxinas (neurotoxinas e hepatotoxinas) que têm função protetora contra herbivoria (CHARMICHEL, 1989 *apud* MOREIRA et al., 2001).

Algumas das espécies de diatomáceas e dinoflagelados identificadas nas três estações podem ser consideradas como potencialmente tóxicas, conforme a lista publicada pela UNESCO (MOESTRUP, 2004). Dentre essas espécies, estão as diatomáceas dos gêneros *Nitzschia*, como a *N. navis-varingica* e *Pseudo-nitzschia*, tais como *P. australis*, *P. calliantha*, *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. galaxiae*, *P. multiseriata*, *P. multistriata*, *P. pungens*, *P. seriata* e *P. turgidula*, capazes de produzir ácido domóico, um aminoácido tricarbóxico solúvel em água com ação neurotóxica (VAN-DOLAH, 2000), e os dinoflagelados do gênero *Prorocentrum*, como o *P. crassipes* e *P. conicooides*. Algas pertencentes a esses gêneros foram encontradas nas três estações, nos dois períodos sazonais (de estiagem e chuvoso), sobretudo em São José de Ribamar e Cedral.

As diatomáceas do gênero *Chaetoceros* podem conduzir à morte seus consumidores, por meio dos espinhos presentes em suas frústulas (HORNER et al., 1991); essas microalgas foram bastante freqüentes nas amostras de São José de Ribamar e Cedral, sendo que, para algumas espécies, essa freqüência superou os 80 %. A cianobactéria *Oscillatoria*, por sua vez, pode produzir peptídeos cíclicos hepatotóxicos (SANT'ANNA & AZEVEDO, 2000) e foram bastante freqüentes (50%) nas amostras de São José de Ribamar.

MOREIRA et al. (2001), no único trabalho com algas potencialmente tóxicas em estuários maranhenses, identificaram 14 gêneros de microalgas fitoplanctônicas no rio Anil, destes, sendo 6 de diatomáceas (*Achnanthes*, *Amphora*, *Gomphonema*, *Hantzschia*, *Navicula* e *Pseudo-nitzschia*), 4 de cianobactérias (*Lyngbya*, *Merismopedia*, *Oscillatoria* e *Phormidium*), 2 de euglenófitas (*Euglena* e *Lepocinclis*) e 1 clorófita (do gênero *Closterium*).

O aumento das concentrações de sais nutrientes, sobretudo fosfato e nitrato, como o que ocorre com a implantação dos projetos de aquicultura, pode acarretar o florescimento dessas algas, gerando sérios danos ao ambiente (CARPENTER et al., 1998, VAN-DOLAH, 2000).

Segundo PEREIRA & SOARES-GOMES (2002), a degradação ambiental é, provavelmente, a maior fonte potencial de perda de biodiversidade. A introdução de nutrientes nos estuários tropicais tem causado um aumento considerável na densidade fitoplanctônica e reduzi, assim, a luminosidade. Em função disso, muitos

animais que vivem dessas algas, como peixes e invertebrados, têm sua diversidade reduzida, assim como seus habitats desaparecem.

3.3.2 Índices específicos

Foram calculados os índices de riqueza, equitabilidade e diversidade das espécies fitoplanctônicas das três estações (Tabela 3.4).

TABELA 3.4 – Índices de medida da riqueza de espécies (Margalef – S), da equitabilidade (Pielou – J) e da diversidade de espécies (Shannon – H'), para cada estação de coleta, durante 2005 e 2006.

Mês/Ano	São José de Ribamar			Cedral			Cajapió		
	S	J	H'	S	J	H'	S	J	H'
JAN/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FEV/06	2,65	0,97	2,01	3,60	0,81	2,24	1,74	0,91	1,47
MAR/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ABR/06	2,94	0,82	1,96	4,16	0,75	2,20	2,69	0,72	1,72
MAI/05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
JUN/05	2,62	0,90	2,12	3,75	0,81	2,40	2,01	0,87	1,58
JUL/05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AGO/05	3,30	0,92	2,21	4,89	0,82	2,73	1,91	0,79	1,58
SET/05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OUT/05	4,42	0,80	2,37	5,62	0,85	2,90	2,50	0,90	1,77
NOV/05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEZ/05	4,58	0,86	2,62	2,88	0,97	2,10	2,65	0,89	1,87

Em São José de Ribamar, o índice de riqueza (S) variou de 2,62 durante o período chuvoso a 4,58 no final do período de estiagem. Em Cedral, foram registrados valores máximo (5,62) e mínimo (2,88) durante o período de estiagem. Para Cajapió, os valores máximo e mínimo de riqueza foram observados durante o período chuvoso, sendo respectivamente 2,69 e 1,74 (Tabela 3.4).

O maior valor para o índice de riqueza (5,62) foi registrado em Cedral e o menor na estação de Cajapió (1,74), refletindo o efeito negativo exercido pelo movimento da descarga fluvial nesta última.

A equitabilidade (J) evidenciou valores altos (acima de 0,50) para todas as coletas, sendo o menor valor (0,72) em Cajapió e o maior (0,97) nas outras duas estações de coleta (Tabela 3.4).

Altos valores para o índice de Pielou refletem um equilíbrio da comunidade fitoplanctônica, que pode ser relacionado ao fato de serem áreas de pouca intervenção humana direta, sendo afetadas, então, quase que inteiramente pelas condições ambientais. O mesmo padrão foi obtido por SANTANA (2004), estudando o estuário do rio Marapanim (PA), que considerou os resultados registrados como valores próximos aos de populações uniformes.

O maior valor (0,97) de equitabilidade (Pielou) em São José de Ribamar coincidiu com os obtidos por MARTINS (2001) para a mesma área. MELO-MAGALHÃES et al. (2004), para o sistema estuarino de Mundaú/Manguaba (AL), considerado um ambiente fortemente impactado (eutrofizado), obtiveram equitabilidade, em preamar, de 0,07 a 0,66, evidenciando valores bem mais baixos do que os obtidos no presente estudo, cujas estações amostrais não apresentam processo de eutrofização.

Na área de coleta de São José de Ribamar, o maior valor de diversidade (H') foi 2,62 nits.cel⁻¹, registrado durante o período de estiagem, e o menor foi 1,96 nits.cel⁻¹, durante o período chuvoso. Para Cedral, o maior valor foi 2,90 nits.cel⁻¹ e o menor 2,10 nits.cel⁻¹, ambos obtidos durante o período de estiagem. Em Cajapió, o maior valor registrado foi 1,87 nits.cel⁻¹, no final do período de estiagem, e o menor valor foi 1,47 nits.cel⁻¹, durante o período chuvoso (Tabela 3.4).

Os valores do índice de Shannon (H') apontam para médias e altas diversidades nos estuários onde foram feitas as coletas. Segundo MARGALEF (1983, *apud* PEREIRA & SOARES-GOMES, 2002), regiões costeiras costumam apresentar diversidade específica baixa, de 0,7 a 1,7 nits.cel⁻¹, podendo ser ainda mais baixos em estuários, em comunidades em início de sucessão e em ambientes poluídos; valores entre 2,4 e 3,1 nits.cel⁻¹ são registrados em regiões oceânicas ou em comunidades costeiras em etapas mais avançadas de sucessão.

O fato de a menor diversidade (H') ter sido em Cajapió se deve, provavelmente, à localização geográfica da área, no médio estuário do rio Mearim, onde ocorre a influência da maior velocidade da água, e maiores variações de salinidade, dentre outros fatores abióticos (MARGALEF, 1958).

Em Cajapió, há uma diversidade média, variando de 1,4 e 2,1 nits.cel⁻¹, o que representa o estágio 1 de sucessão de acordo com MARGALEF (1958). Nas outras

duas áreas, ocorre uma alta diversidade ($H' > 2,1 \text{ nits.cel}^{-1}$). Em Cajapió, os menores valores provavelmente indicam que o início do período chuvoso afetou negativamente essa estação. Da mesma forma, o início do período de estiagem reduziu esse índice. Isso provavelmente demonstra a instabilidade inicial gerada pela mudança no padrão pluviométrico (Figura 3.32).

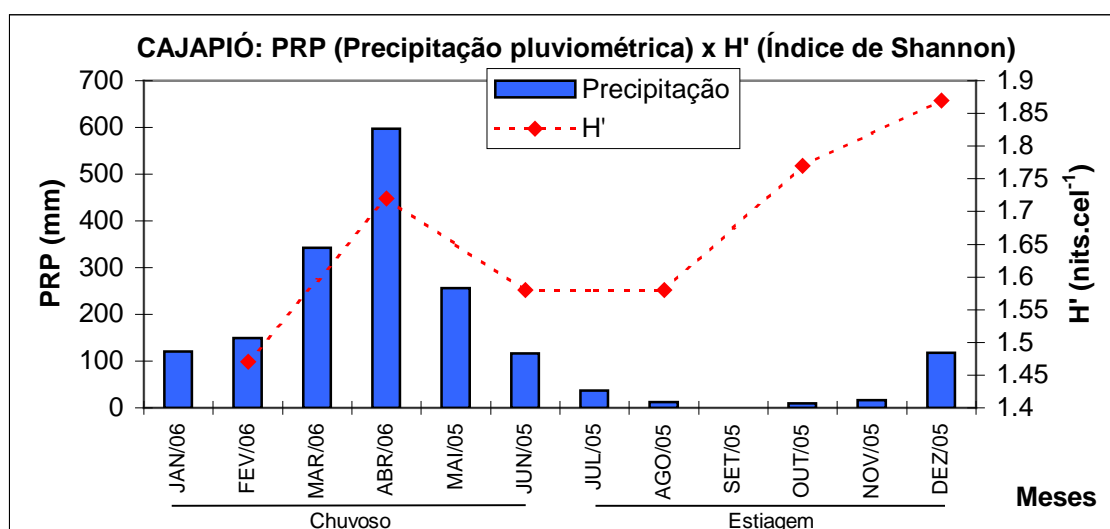


FIGURA 3.32 – Valores da precipitação pluviométrica (PRP) e do índice de Shannon (H') para a estação de Cajapió durante o período analisado.

Os valores de diversidade (H' de 1,96 a 2,62 nits.cel^{-1}) registrados nas três estações foram levemente mais baixos do que os constatados por MARTINS (2001) para Panaquatira (São José de Ribamar-MA), cujos valores (2,19 a 3,12 nits.cel^{-1}) foram maiores, provavelmente por causa da maior influência marinha, e aumentaram durante o período chuvoso.

Estudando o estuário do rio Anil, MOREIRA (2003) encontrou valores de diversidade que variaram de 0,24 a 3,05 nits.cel^{-1} , com aumento durante o período chuvoso.

MELO-MAGALHÃES et al. (2004), em estudo no sistema estuarino de Mundaú/Manguaba (AL) obtiveram diversidades que, em preamar, variaram de 0,24 a 2,16 nits.cel^{-1} .

Para o estuário do rio Caeté (PA), CARMONA et al. (2003) registraram valores de diversidade (H') acima de 2,1 nits.cel⁻¹, que considerou elevados, e equitabilidade de 0,35 a 0,40.

Em São José de Ribamar e Cedral, os maiores valores, para todos os índices, foram geralmente os do 5º ou 6º bimestres, que representam o final do período de estiagem. Isso provavelmente ocorre por causa da maior penetração de luz na camada superficial da água, bem como a menor variação dos fatores abióticos de uma forma geral. São José de Ribamar encontra-se numa área que recebe uma influência tanto da água do mar como da água dos rios Itapecuru e Munim, dentre outros; os menores valores verificados foram no 3º bimestre, no final da estação chuvosa, indicando que o carreamento de material oriundo da contribuição limnética, que aumenta com a pluviosidade (Tab. 5, Figura 5), é responsável por uma menor estabilidade da comunidade fitoplanctônica da área. Em Cajapió, não houve uma tendência nítida de predomínio dos maiores valores dos índices num determinado período.

3.3.3 Biomassa fitoplanctônica

3.3.3.1 Biomassa fitoplanctônica total

Na estação de coleta de São José de Ribamar, a biomassa total teve como seu maior valor 9,02 mgClorofila.m⁻³ e o menor foi 2,54 mgClorofila.m⁻³, ambos registrado durante o período de estiagem. Em Cedral, o maior valor foi 16,56 mgClorofila.m⁻³, no início do período chuvoso, e o menor foi 2,57 mgClorofila.m⁻³, na época de estiagem. O maior valor registrado em Cajapió foi 10,24 mgClorofila.m⁻³, no início do período de estiagem, enquanto que o menor foi 2,40 mgClorofila.m⁻³, no final do período chuvoso (Figura 3.33 e Apêndices A, B e C).

Os valores máximo e mínimo de biomassa fitoplanctônica total na superfície da água foram registrados, respectivamente, em Cedral, no início do período chuvoso, e em Cajapió, no final desse período (Figura 3.33 e Apêndices A, B e C).

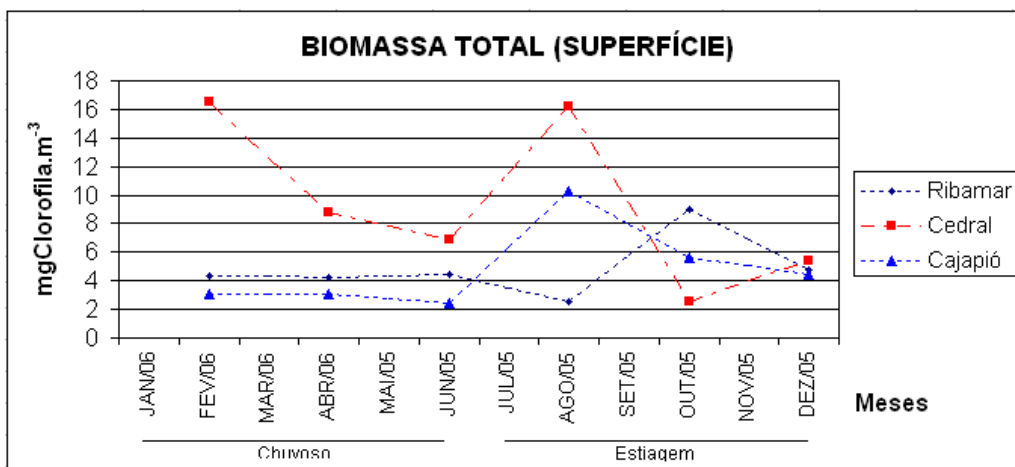


FIGURA 3.33 – Valores de quantificação da biomassa fitoplanctônica (mgClorofila.m⁻³) total, para cada estação de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

A concentração de pigmentos fotossintetizantes é extensivamente utilizada para estimar a biomassa do fitoplâncton. É possível determiná-la por meio de outros componentes celulares, porém nenhum deles é tão importante ecologicamente quanto a clorofila. Segundo BARROSO & LITTLEPAGE (1998), a concentração de clorofila *a* no fitoplâncton é de, aproximadamente, 1 a 2 % do peso seco, e, além desse pigmento, há outros pigmentos tais como clorofilas *b* e *c*, xantofilas, ficobilinas e carotenos. Quando degradada, a clorofila dá origem a compostos inativos chamados clorofilídeos e feopigmentos, sendo estes últimos divididos em feoforbídeos e feofitinas.

PEREIRA & SOARES-GOMES (2002) classificam a variação sazonal do fitoplâncton conforme quatro ciclos, sendo o último denominado “Ciclo dos mares tropicais”, com picos de biomassa acontecendo por efeitos locais, geralmente reflexo de mudanças climáticas ou hidrológicas, porém “sem padrão ou sazonalidade definidos”. É nessa classificação que se insere a costa maranhense. No entanto, há falhas na interpretação de tal “ausência de padrão sazonal”, uma vez que o período chuvoso está relacionado a um acréscimo nas concentrações dos nutrientes, o que geralmente altera a biomassa fitoplanctônica dessas áreas.

ESKINAZI-LEÇA et al. (1997), em estudo com a variação espacial e temporal do fitoplâncton na Plataforma Continental Pernambucana, propuseram dois padrões: (a) o de regiões costeiras com pequena influência terrígena, onde o fitoplâncton depende dos nutrientes carreados com as chuvas, e (b) o de áreas costeiras

que sofrem maior influência terrígena durante o período de chuvas, que provoca diminuição da transparência da água e conseqüente redução da zona fótica, inibindo o florescimento durante o período chuvoso. Neste último, enquadram-se os estuários do presente estudo.

A biomassa fitoplanctônica total (clorofila *a* total), que variou de 2,40 a 16,56 mgClorofila.m⁻³, tendeu a se correlacionar negativamente com o oxigênio dissolvido e positivamente com a transparência da água (disco de Secchi). Esses valores, em água doce, conforme o índice de Carlson, estão ligados a ambientes eutróficos (TOLEDO et al., 1983). Um aumento da biomassa fitoplanctônica promove um aumento dos consumidores primários (zooplâncton), que utilizam o oxigênio produzido na água. Analisada separadamente, a biomassa tendeu a se correlacionar positivamente com a transparência da água porque uma maior transparência favorece a maior entrada de energia luminosa, aumentando a taxa de fotossíntese, possibilitando uma multiplicação das comunidades fitoplanctônicas.

O período chuvoso (com menores salinidades) teve tendência a valores levemente inferiores em relação ao de estiagem (com salinidades mais elevadas), o que pode ser relacionado a maiores movimentações das massas d'água, o que causa grande instabilidade e dificulta o desenvolvimento do fitoplâncton, além do fato de, conforme os padrões apontados por ESKINAZI-LEÇA et al. (1997) já citados, a área receber grande aporte de sedimentos durante o período chuvoso, reduzindo a zona fótica e conseqüentemente inibindo o fitoplâncton. Durante o período de estiagem, os maiores teores de clorofila *a* coincidem com uma maior ação dos ventos, principalmente em São José de Ribamar e Cajapió.

Esse padrão sazonal de variação da biomassa fitoplanctônica foi o mesmo observado por MAIA (1995) e FEITOSA et al. (1999), na bacia do Pina (PE), por LOSADA (2000), nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (PE), embora mais intensamente para a baixa-mar, e por LACERDA (2004), no estuário de Barra das Jangadas (PE);

Um padrão oposto foi constatado, dentre outros, por SANTOS-FERNANDES et al. (1998), no estuário do rio Jaguaribe (PE), por BRANCO (2001), no estuário de Barra das Jangadas (PE), por SANTOS (2002), na baía de Guarapuá (BA), por MELO-MAGALHÃES et al. (2004), no sistema estuarino Mundaú/Manguaba (AL)

e por BASTOS et al. (2005), no estuário do rio Una (PE), que observaram maiores valores durante o período chuvoso.

Em relação às outras duas estações, percebem-se valores um pouco maiores em Cedral, com maior influência marinha, sendo os menores em Cajapió, com maior influência fluvial, o que provavelmente se deveu à influência negativa exercida pela corrente de água oriunda das grandes bacias hidrográficas dos rios Mearim e Pindaré, que descarregam grandes volumes de água com velocidade elevada, dificultado o estabelecimento do fitoplâncton.

O padrão presente neste estudo, no qual a maior salinidade está ligada à redução da clorofila *a*, divergiu em relação ao de LOSADA (2000), no estuário dos rios Mamucaba e Ilhetas (PE), no qual foram registrados valores desde indetectáveis a 22,2 mgClorofila.m⁻³.

TEIXEIRA et al. (1988) registraram, para o Estreito dos Coqueiros, a oeste da ilha de São Luís, valores de clorofila *a* variando de 3,1 a 20,0 mgClorofila.m⁻³, considerando a camada eufótica extremamente reduzida, fazendo com que quase toda a biomassa fitoplanctônica esteja na camada superficial.

SANTOS-FERNANDES (1997), no estuário do rio Jaguaribe (PE), encontrou relação inversa da clorofila *a* com a maré, sendo os valores mais altos durante a baixa-mar, onde há menor diluição das águas pela água marinha, que tem menor densidade de microalgas. Tal padrão não pôde ser observado nos três estuários estudados porque só foi feita coleta durante a preamar, uma vez que coletas em baixa-mar seriam prejudicadas pela grande quantidade de material em suspensão e por problemas logísticos em Cajapió. A ACP, na realidade, relacionou a clorofila *a* e a altura de maré de forma positiva, embora não tenha sido de modo muito nítido.

SOUZA & COUTO (1999), para o estuário do rio Piauí (SE), encontraram maiores valores de clorofila *a*, que variou de 0,2 a 2,5 mgClorofila.m⁻³, em sua estação mais a montante, com menor salinidade.

MARTINS (2001), em São José de Ribamar (MA), constatou valores de 4,88 a 20,09 mg.m⁻³, bem maiores que os observados para esta estação (2,54 a 9,02 mgClorofila.m⁻³), provavelmente isso ocorreu porque, no estudo dessa autora, a área escolhida foi mais a jusante, recebendo mais contribuição das microalgas de origem marinha, que por sua vez foram as mais predominantes.

BRANCO (2001), no sistema estuarino de Barra das Jangadas (PE), um ambiente considerado bastante impactado, encontrou valores de 0,57 a 49,84 mgClorofila.m⁻³.

BASTOS (2006), para o estuário do rio Una (PE), obteve valores de biomassa que variaram de 1,68 a 36,30 mgClorofila.m⁻³, considerando tais valores como relativamente altos e característicos de ambientes naturalmente enriquecidos.

A regressão múltipla entre os dados de biomassa fitoplanctônica total, sais nutrientes, densidade fitoplanctônica e relação N:P mostra que, quando se confrontam somente os fatores bióticos e os nutrientes, o fator que mais influencia na biomassa é o fosfato (Tabelas 3.6 e 3.7). Esse nutriente também foi preponderante para o desenvolvimento fitoplanctônico nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba, em Pernambuco (LOSADA, 2000). Isso pode também significar que os outros dois nutrientes (nitrato e silicato) não funcionaram como limitantes para os estuários estudados.

3.3.3.2 Biomassa fitoplanctônica fracionada

Os valores registrados de biomassa fitoplanctônica fracionada indicaram que, em média, ela representa cerca de 62,50 % da total, sendo que a maior proporção foi registrada em Cedral, durante o período chuvoso (88,1 %), e a menor em São José de Ribamar (19,5 %), durante o período de estiagem (Figura 3.34 e Apêndices A, B e C).

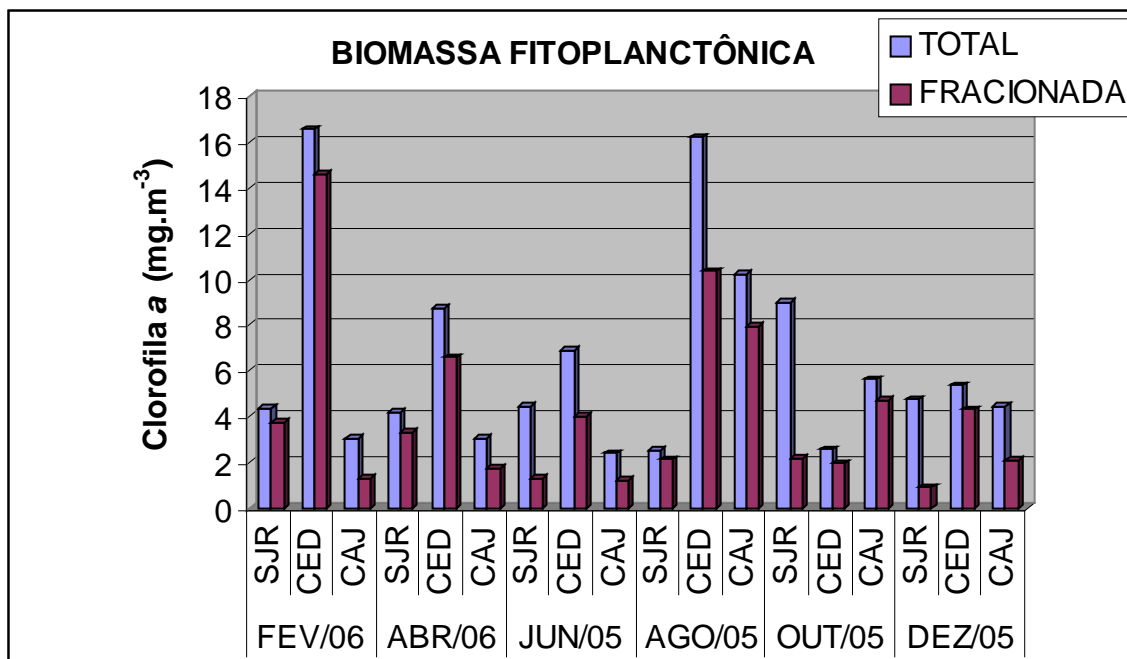


FIGURA 3.34 – Valores de quantificação da biomassa fitoplanctônica em clorofila *a* (mg.m⁻³) total e fracionada, para cada estação de coleta (SJR=São José de Ribamar, CED=Cedral e CAJ=Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

Os valores de biomassa fracionada revelaram que, salvo raras exceções, que ocorreram em algumas coletas de São José de Ribamar e Cajapió, a maior contribuição em termos de biomassa (clorofila *a*) é do nanoplâncton, com média de 53,88 % em São José de Ribamar, 73,72 % em Cedral e 60,10 % em Cajapió (Figura 3.35 e Apêndices A, B e C).

Segundo ODUM (2004), vários estudos sobre o metabolismo e a composição das populações de plâncton nas massas de água permitiram verificar que os organismos fotossintéticos mais importantes no ambiente marinho não são o plâncton de rede, relativamente grande, mas o nanoplâncton, especialmente os pequenos flagelados verdes com dimensões de 2 a 25 microns. As áreas em estudo recebem grande influência marinha, o que faz com que seja necessária uma atenção especial à contribuição do nanoplâncton para a biomassa (medida em termos de clorofila *a*).

A estação localizada em Cedral, que sofre maior influência marinha, apresenta, portanto, maior contribuição nanoplânctônica, confirmando o padrão previsto por ODUM (2004).

Maiores contribuições nanoplânctônicas também foram verificadas em estudos realizados em Pernambuco, como os de SANTOS-FERNANDES (1997) e BRANCO (2001).

Na costa maranhense, as pesquisas com biomassa fracionada começaram com MARTINS (2001), que constatou maior contribuição do nanofitoplâncton, em média de 60 % da biomassa total, atingindo maiores proporções durante o período de estiagem.

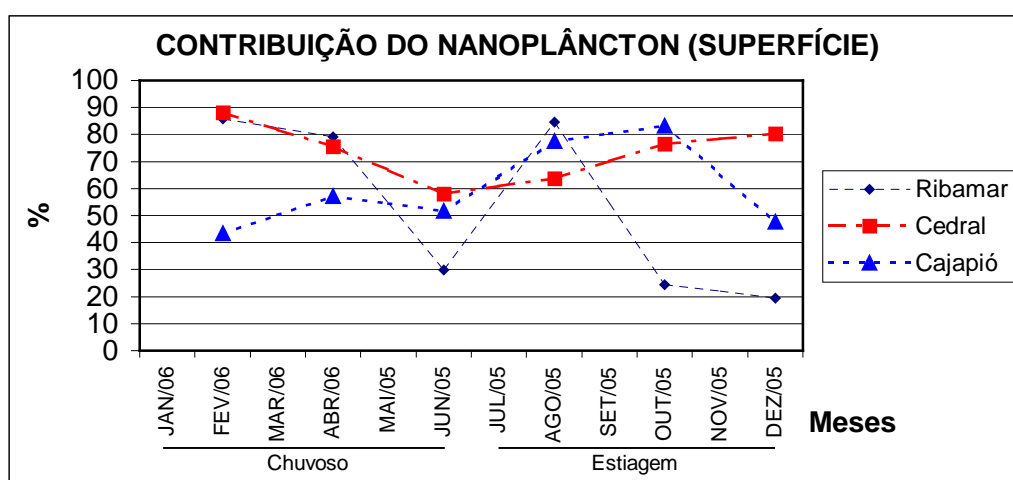


FIGURA 3.35 – Percentuais de contribuição do nanofitoplâncton (%) para a biomassa (clorofila *a*), nas estações de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

3.3.3.3 Clorofila *a* ativa e feopigmentos *a*

A quantidade de clorofila *a* ativa foi superior à de feopigmentos *a*, exceto para Cedral. No que se refere à biomassa total, percebe-se que, em São José de Ribamar, somente apareceram feopigmentos *a* durante o período chuvoso, tendo sido seus valores, em média, 3 vezes menores do que os da clorofila *a* ativa. Em Cedral, exceto para o início do período de estiagem, quando não houve clorofila *a* ativa, há 4 vezes mais clorofila *a* ativa do que feopigmentos *a*. Para Cajapió, observaram-se valores de clorofila *a* ativa, em média, 4 vezes maiores que os de feopigmentos *a*. No que diz respeito à biomassa fracionada (nanofitoplâncton), os valores não mostram um padrão aparente (Tabela 3.5).

TABELA 3.5 – Valores da concentração de pigmentos (mgClorofila.m⁻³), incluindo os pigmentos totais, clorofila *a* ativa e os feopigmentos *a*, para o conjunto do fitoplâncton (total) e para o nanofitoplâncton (frac.=fracionada), durante o período de 2005 a 2006, nas estações de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió.

Estação	Coleta	PIGMENTOS TOTAIS		CLOROFILA A ATIVA		FEOPIGMENTOS A	
		Total	Frac.	Total	Frac.	Total	Frac.
São José de Ribamar	FEV/06	4,3880	3,7600	3,7422	3,2076	0,7484	0,0000
	ABR/06	4,1910	3,3200	2,6730	0,0000	2,1919	2,9938
	JUN/05	4,4660	1,3340	5,3460	2,1384	0,0000	0,0000
	AGO/05	2,5380	2,1460	2,3522	2,1384	0,0000	0,1069
	OUT/05	9,0210	2,2040	6,4152	2,1384	0,0000	0,1069
	DEZ/05	4,7510	0,9280	2,6730	0,0000	0,0000	1,4969
Cedral	FEV/06	16,5540	14,5850	12,2958	11,0065	4,9183	5,5032
	ABR/06	8,7410	6,6100	6,9498	1,0692	2,4057	4,9183
	JUN/05	6,8910	4,0020	8,5536	5,3460	0,0000	0,0000
	AGO/05	16,2100	10,3380	0,0000	0,0000	29,7238	14,4342
	OUT/05	2,5730	1,9680	3,2076	0,0000	0,0000	1,4969
	DEZ/05	5,3910	4,3270	4,2768	3,2076	0,9623	1,2830
Cajapió	FEV/06	3,0730	1,3340	1,6038	2,1384	0,2673	0,0000
	ABR/06	3,0720	1,7580	2,6730	0,0000	0,0000	2,2453
	JUN/05	2,3960	1,2360	2,6730	3,2076	0,0000	0,0000
	AGO/05	10,2420	7,9290	3,1007	1,0692	1,0906	0,0000
	OUT/05	5,6530	4,7080	4,8114	3,2076	0,0000	0,0000
	DEZ/05	4,4400	2,1170	1,0692	1,0692	2,6730	1,1761

Grandes quantidades de feopigmentos *a* em comparação com as de clorofila *a* ativa ocorrem em comunidades fitoplanctônicas que passam por estresse, mesmo que seja natural, como é o caso da biomassa total de Cedral, no início do período de estiagem, e de algumas coletas de todas as três estações amostrais no que se refere à biomassa fracionada. SANTOS-FERNANDES (1997), com relação ao estuário do rio Jaguaribe (PE), atribuiu valores de feopigmentos acima dos registrados para clorofila *a* uma contribuição, dentre outros fatores, das áreas de manguezal, pela degradação de sua matéria orgânica. Essa também pode ser uma explicação para os valores registrados durante o presente estudo.

Segundo NUSH (1980, *apud* GODINHO & GODINHO, 2003), a concentração de feopigmentos em águas naturais pode ser maior do que a concentração de clorofila. Conforme este autor, os feopigmentos, como produtos de degradação, podem contribuir com a absorvância da clorofila (na análise espectrofotométrica)

durante períodos de declínio de florescimento de algas, períodos de herbivoria pelo zooplâncton, em camadas hipolimnéticas de água e nas regiões superiores da zona eufótica durante períodos de alta irradiação.

3.3.4 Densidade fitoplanctônica

Para a estação de coleta de São José de Ribamar, a densidade fitoplanctônica teve como seu maior valor 115.517 cel.L^{-1} , durante o período de estiagem, sendo o menor 13.477 cel.L^{-1} , registrado no início do período chuvoso. Em Cedral, o maior valor foi 175.683 cel.L^{-1} , no início do período de estiagem, e o menor foi 15.402 cel.L^{-1} , no final desse período. O valor mais elevado registrado em Cajapió foi 98.671 cel.L^{-1} , durante o período chuvoso, enquanto que o menor foi 11.551 cel.L^{-1} , no final desse período (Figura 3.36 e Apêndices A, B, C e E).

Com relação à densidade fitoplanctônica na superfície da água, os valores máximo e mínimo foram registrados, respectivamente, em Cedral, no início do período de estiagem, e em Cajapió, no final do período chuvoso (Figura 3.36).

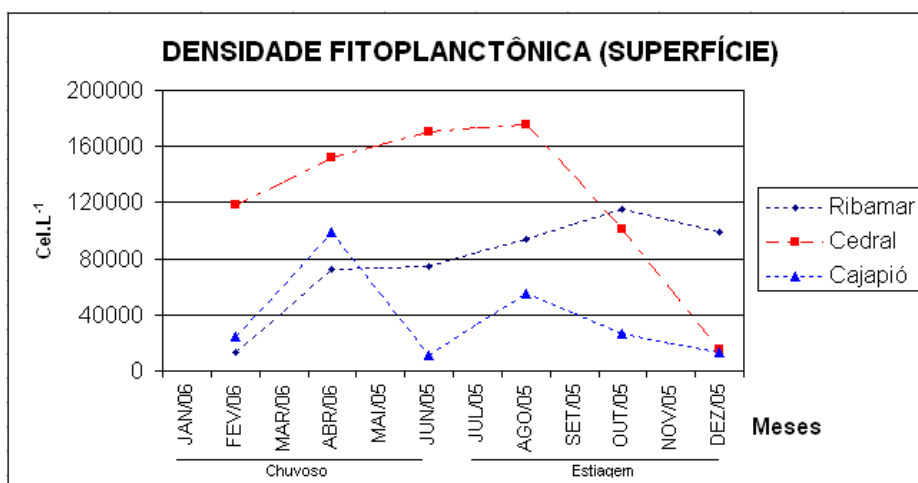


FIGURA 3.36 – Densidade fitoplanctônica (contagem de células), em células.L⁻¹, para cada estação de coleta (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), durante o período de 2005 a 2006.

As variações da densidade fitoplanctônica (11.551 a 175.683 cel.L⁻¹) não se correlacionaram com os demais fatores, porém houve uma tendência a se correlacionarem negativamente com o oxigênio dissolvido. O período chuvoso teve tendência a valores levemente maiores em relação ao de estiagem, o que pode ser relacionado a um maior aporte de nutrientes, igual ao padrão sazonal observado por MELO-MAGALHÃES et al. (2004), para o sistema estuarino Mundaú/Manguaba (AL), que, no entanto, registraram valores, em preamar, bem mais baixos, variando de 170 a 2.510 cel.L⁻¹. Comparando-se as estações, percebem-se valores maiores em Cedral ($F = 4,99$ e $p = 0,023$), com maior influência marinha, e menores em Cajapió, com maior influência fluvial.

Embora a divergência na sazonalidade, houve correlação positiva entre os teores de clorofila *a* (biomassa total) e a densidade fitoplanctônica (r de Pearson = 0,54 e $p = 0,02$), diferente do que ocorreu para o período chuvoso com LACERDA (2004) ao estudar o estuário de Barra das Jangadas (PE). É bastante conhecida a dificuldade de se relacionar a densidade celular do fitoplâncton com a clorofila *a* (PARSONS et al., 1984), uma vez que esta varia de acordo com o tamanho das microalgas e com a composição das espécies (MALONE, 1980).

Um padrão sazonal oposto, com maior densidade de células durante o período de estiagem, foi observado, dentre outros, por FEITOSA & PASSAVANTE (1990) e MAIA (1995), em áreas estuarinas pernambucanas.

Os valores de densidade fitoplanctônica para a estação de São José de Ribamar (13.477 a 115.517 cel.L⁻¹) foram, no geral, maiores que os obtidos por MARTINS (2001), em Panaquatira (São José de Ribamar-MA), com o mínimo 14.400 cel.L⁻¹ e o máximo 73.600 cel.L⁻¹.

ESKINAZI-LEÇA et al. (1984), em estudo no estuário do rio Botafogo (PE), encontraram valores de densidade fitoplanctônica bem mais elevados, entre 119.800 e 3.690.000 cel.L⁻¹. Tais florações ocorreram em função da forte ação antrópica.

Em estudo com o microfitoplâncton do estuário do rio Caeté (PA), CARMONA et al. (2003) relacionaram maiores densidades com menores diversidades, causadas, dentre outros fatores, por menores salinidades e maior turbidez da água. Para o mesmo estuário, SIMITH et al. (2003) registraram densidades variando de 28.600 a

2.620.000 cel.L⁻¹, devidos à grande descarga de nutrientes na região, com menores valores registrados durante o período chuvoso em função da alta turbidez.

3.4 Análise multivariada

3.4.1 Regressões entre biomassa (clorofila *a*), densidade fitoplanctônica e sais nutrientes (nitrato, fosfato, silicato e razão N:P)

Por meio de regressão múltipla entre os dados standardizados de biomassa, de concentrações de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato), da razão N:P e da densidade fitoplanctônica, obteve-se como resultado significativo somente a relação entre a biomassa e o fosfato (Tabela 3.6).

TABELA 3.6 – Coeficientes parciais (b) de regressão linear múltipla entre biomassa, concentração de nutrientes (nitrato, fosfato, silicato), densidade fitoplanctônica e razão N:P. Regressão significativa, com $p = 0,049$.

	Nitrato	Fosfato	Silicato	Densidade	Razão N:P
Biomassa total	-0,423	0,643*	-0,034	0,568	0,498

* 0,05

Feitas as regressões com os valores standardizados e logaritmizados de densidade (cel.L⁻¹), percebeu-se que o silicato contribuiu, no conjunto das amostras, de forma positiva altamente significativa para a densidade do fitoplâncton, que, por sua vez, provocou redução na quantidade de nitrato (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Coeficientes parciais (b) de regressão linear múltipla entre a densidade fitoplanctônica, a concentração de nutrientes (nitrato, fosfato e silicato) e a relação N:P. A regressão foi significativa estatisticamente, com $p = 0,001$.

	Nitrato	Fosfato	Silicato	Razão N:P
Densidade	-1,293**	0,104	0,936**	-0,238

** 0,01

Considerando-se conjuntamente as estações, enquanto a biomassa (concentração de clorofila *a*) variou com o fosfato, a concentração de células fitoplanctônicas o fez em função das concentrações de nitrato e silicato.

3.4.2 Associação das amostras com relação aos dados de contagem de células

A influência da precipitação e, por conseqüência, da salinidade na comunidade fitoplanctônica pôde ser verificada pela análise de agrupamento realizada com os dados quantitativos (contagem de células) logaritimizados das espécies encontradas nas três áreas durante o período amostrado, tendo-se como critério de inclusão apenas as espécies que apareceram em, pelo menos, 50 % das amostras. A semelhança entre os dois primeiro grupos é de cerca de 45 % e entre estes e os dois seguintes é aproximadamente 30 %, sendo a semelhança com o último grupo de apenas 15 %, conforme o coeficiente de Bray-Curtis (Fig. 3.37 e Tabela 3.8).

A associação das amostras teve índice de ajustamento dos dados por análise cofenética de $r = 0,82$, demonstrando, portanto o ajustamento dos grupos formados. Foram gerados 5 grupos, conforme a salinidade em cada amostra (Figura 3.37 e Tabela 3.8). Grupo 1: Fitoplâncton de áreas com salinidade de média a alta (21 a 32, média 28), com predomínio de *Cyclotella* sp. e *Paralia sulcata*; grupo 2: Fitoplâncton de áreas com alta salinidade (30 a 33), predominando *Thalassionema frauenfeldii*; grupo 3: Fitoplâncton de áreas com salinidade alta (28,3 a 32,8), com poucas espécies; grupo 4: Fitoplâncton de áreas que apresentam salinidade média (16,1 a 18,2), com predomínio de *Coscinodiscus* sp.; e grupo 5: Fitoplâncton de áreas com salinidade bem reduzida (10,7), da estação de coleta de Cajapió, onde há menor influência marinha, durante o mês de abril, quando houve o maior índice de pluviosidade (Figura 3.1).

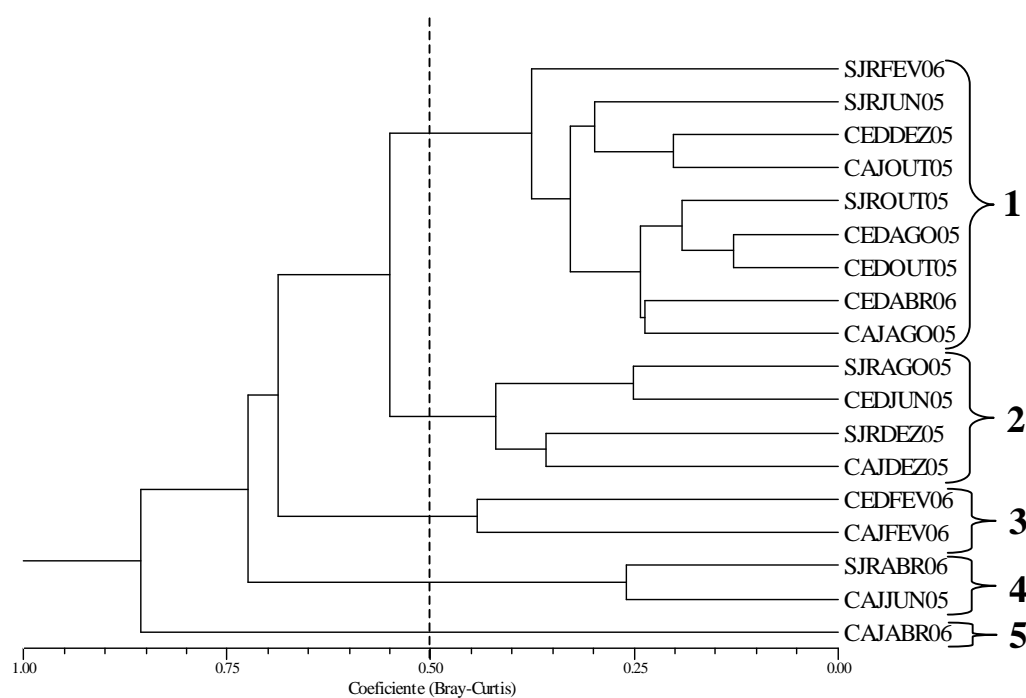


FIGURA 3.37 – Análise Q de agrupamento das três estações amostradas (SJR = São José de Ribamar, CED = Cedral e CAJ = Cajapió) com os dados de contagem, durante o período de 2005 a 2006.

TABELA 3.8 – Valores do número de células das espécies mais frequentes, presentes em pelo menos 50 % das amostras, em cada uma das estações de coletas, durante o período de 2005 a 2006.

ESPÉCIES	São José de Ribamar						Cedral					Cajapió						
	FEV/2006	ABR/2006	JUN/2005	AGO/2005	OUT/2005	DEZ/2005	FEV/2006	ABR/2006	JUN/2005	AGO/2005	OUT/2005	DEZ/2005	FEV/2006	ABR/2006	JUN/2005	AGO/2005	OUT/2005	DEZ/2005
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	6	3	1	1	-	-	5	-	3	2	3	-	-	5	1	2	1
<i>Cyclotella</i> sp.	2	-	4	-	5	-	-	7	-	10	3	3	-	-	-	7	4	1
<i>Navicula</i> sp.	2	-	2	1	1	1	-	1	7	1	1	1	-	1	-	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i>	2	2	1	-	2	3	-	33	-	3	4	-	2	-	-	8	-	1
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	1	-	-	10	1	5	1	2	10	3	4	2	1	-	-	1	1	5

3.4.3 Análise dos Componentes Principais (ACP)

Por meio da Análise de Componentes Principais, ACP, 75,56 % das variações que ocorreram no ambiente durante o período estudado foram explicadas (Figura 3.38 e Tabela 3.9).

O fator 1 explicou 28,16 %, associando de forma direta o dinoflagelado *Protoperidinium* sp¹, a salinidade, a razão N:Si, a biomassa total e a densidade da água, que tiveram relação inversa com a transparência da água e a densidade fitoplanctônica.

O fator 2 explicou 25,34 % das variações dos dados, associando diretamente a diatomácea *Nitzschia* sp¹, a concentração de nitrato, a pluviosidade e a radiação solar acumuladas nos 29 dias anteriores e no dia da coleta, os quais relacionaram-se inversamente com o pH, a concentração de oxigênio dissolvido, a saturação de oxigênio da água, a biomassa fracionada (nanofitoplanctônica) e a equitabilidade (J).

O fator 3, por sua vez, explicou 22,06 %, relacionando de maneira direta a temperatura da água, a concentração de silicato, a razão N:P e a altura da maré, inversamente relacionadas à condutividade, à riqueza específica (S) e à diversidade específica (H').

Os dois grupos formados indicaram os principais fatores atuantes, respectivamente, na densidade fitoplanctônica e na biomassa total do fitoplâncton (Figura 3.38).

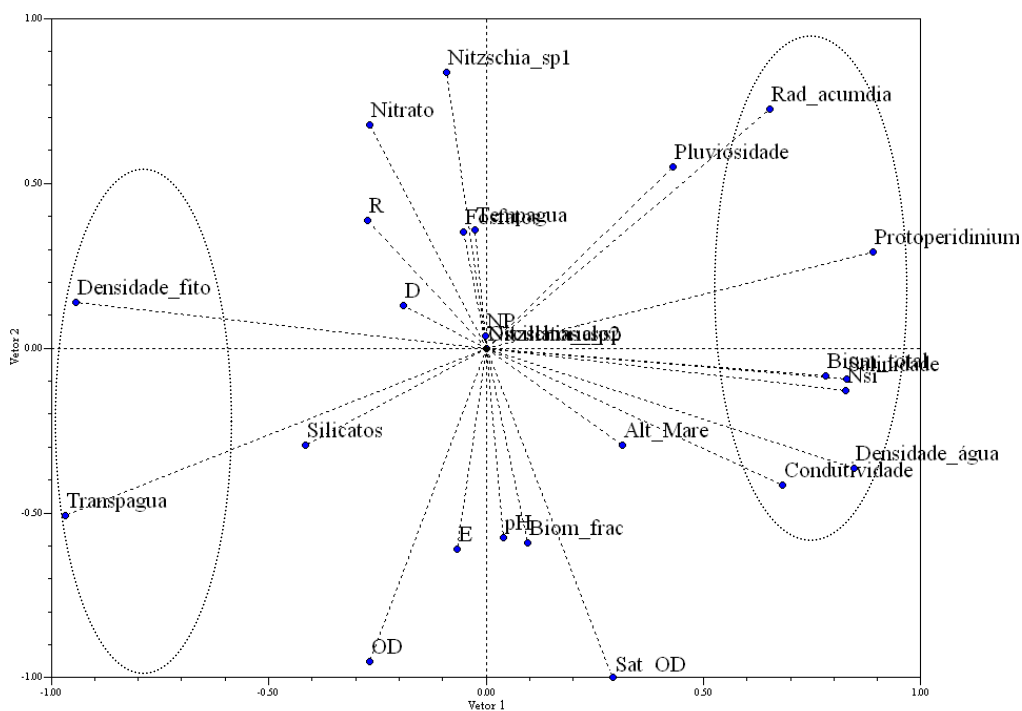


FIGURA 3.38 – Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis abióticas e bióticas de São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

TABELA 3.9 – Análise dos componentes principais dos táxons fitoplanctônicos com potencialidade tóxica e das variáveis ambientais em São José de Ribamar, Cedral e Cajapió, durante o período de 2005 a 2006.

Variáveis	Abreviações na ACP	C1	C2	C3
		28,16 %	25,34 %	22,06 %
<i>Nitzschia closterium</i>	Nitzschia_clo	0,0000	0,0000	0,0000
<i>Nitzschia</i> sp ¹	Nitzschia_sp1	-0,0920	0,8366	0,4417
<i>Nitzschia</i> sp ²	Nitzschias_sp2	0,0000	0,0000	0,0000
<i>Oscillatoria</i> sp.	Oscillatoria_sp.	0,0000	0,0000	0,0000
<i>Protoperdinium</i> sp.	Protoperdinium_	0,8911	0,2910	0,3873
Transparência da água (Secchi)	Transpagua	-0,9683	-0,5087	-0,2258
Temperatura da água	Tempagua	-0,0243	0,3592	0,5947
pH da água	pH	0,0389	-0,5737	-0,2287
Salinidade da água	Salinidade	0,8286	-0,0934	-0,5456
Condutividade da água	Condutividade	0,6809	-0,4157	-0,7877
Concentração de nitrato	Nitrato	-0,2677	0,6783	-0,0987
Concentração de fosfato	Fosfatos	-0,0515	0,3514	-0,0417
Concentração de silicato	Silicatos	-0,4159	-0,2955	0,9115
Razão nitrato:fosfato	NP	-0,0005	0,0384	0,7526
Razão nitrato:silicato	Nsi	0,8281	-0,1296	-0,0506
Oxigênio dissolvido	OD	-0,2672	-0,9519	0,2646
Saturação do oxigênio dissolvido	Sat_OD	0,3051	-1,0000	0,1512
Altura da maré	Alt_Mare	0,3132	-0,2953	0,7221
Pluviosidade dos últimos 30 dias	Pluviosidade	0,4298	0,5494	0,3247
Radiação solar acumulada (30 dias)	Rad_acumdia	0,6522	0,7261	0,2617
Biomassa total	Biom_total	0,7810	-0,0849	0,3382
Biomassa fracionada (nano)	Biom_frac	0,0953	-0,5921	0,3899
Densidade fitoplanctônica	Densidade_fit	-0,9438	0,1396	-0,2898
Densidade da água	Densidade_água	0,8470	-0,3635	-0,5099
Índice de riqueza (S)	R	-0,2719	0,3891	-0,5516
Índice de equitabilidade (J)	E	-0,0666	-0,6088	0,5643
Índice de diversidade (H')	D	-0,1896	0,1283	-0,6024

Com a análise de componentes principais, foi demonstrado que uma maior transparência da água, uma redução da salinidade e da razão N:Si promoveram maior densidade fitoplanctônica, que variou inversamente com a biomassa total (clorofila *a*). Uma redução da pluviosidade, embora a conseqüente redução da concentração de nitrato e da radiação solar, fez com que a equitabilidade aumentasse, junto com uma maior contribuição do nanofitoplâncton para a biomassa, acarretando maiores teores de oxigênio dissolvido na água, elevando conseqüentemente o seu pH. Menores alturas de maré, juntamente com menores temperaturas da água, menores

concentrações de silicato e menores razões N:P conduziram a maiores índices específicos de riqueza e diversidade. A quantidade de dinoflagelados potencialmente tóxicos do gênero *Protoperdinium* está ligada a maiores razões N:Si, menores transparência da água e menores densidades fitoplanctônicas, talvez indicando que, na ausência de outras microalgas, estas sejam privilegiadas. Já para as diatomáceas do gênero *Nitzschia*, com espécies também potencialmente tóxicas, seu aumento está ligado a um aumento da concentração de nitrato carregado pela maior pluviosidade e acompanhado de menores valores de pH e de oxigênio dissolvido.

FERNANDES (1997), pesquisando o estuário do rio Congo (PE), encontrou relação direta entre a biomassa total, o fosfato e o silicato, que variaram inversamente com a temperatura da água e o nitrato. BRANCO (2001), no sistema estuarino de Barra das Jangadas (PE), encontrou relação negativa entre a biomassa total e a temperatura da água. GREGO et al. (2004), para o estuário do rio Timbó (PE), também encontraram a biomassa (clorofila *a*) fitoplanctônica variando inversamente com a transparência da água. BASTOS (2006), em estudo com o rio Una (PE), encontrou relação direta entre a pluviosidade, as concentrações de nitrato e a biomassa fitoplanctônica, e inversa com a temperatura, a transparência da água e o potencial hidrogeniônico.

3.5 Considerações finais

Tendo como base os resultados obtidos por meio do tratamento estatístico aplicado aos dados obtidos durante as coletas, em conjunto com os dados climáticos levantados, foi possível a elaboração de comparativos entre as estações amostrais (Quadro 3.2) e os períodos sazonais (Quadro 3.3).

Quadro 3.2 – Comparativo entre as estações amostrais (São José de Ribamar, Cedral e Cajapió), com as variáveis posicionadas na estação onde seus valores foram máximos.

SÃO JOSÉ RIBAMAR	CEDRAL	CAJAPIÓ
J	Salinidade	Temperatura da água
	Condutividade	Nitrato
	Densidade da água	Fosfato
	pH	Silicato
	OD	N:P
	S	
	H'	
	Biomassa total	
	Razão bio_F/bio_T	
	Densid. fitoplanctônica	

Quadro 3.3 – Comparativo entre os períodos chuvoso e de estiagem, com as variáveis posicionadas no período onde seus valores foram máximos.

PERÍODO CHUVOSO	PERÍODO DE ESTIAGEM
Temperatura da água	Salinidade
OD	Condutividade
Saturação de OD	PH
Nitrato	N:Si
Fosfato	S
Silicato	J
N:P	H'
Densidade fitoplanctônica	Biomassa total
<i>Nitzschia</i> sp1	Biomassa fracionada
	<i>Protoperidinium</i> sp.

Como tentativa de facilitar a compreensão desse grande conjunto de informações, foi elaborado um esquema que contempla as variáveis envolvidas e suas inter-relações (Figura 3.39).

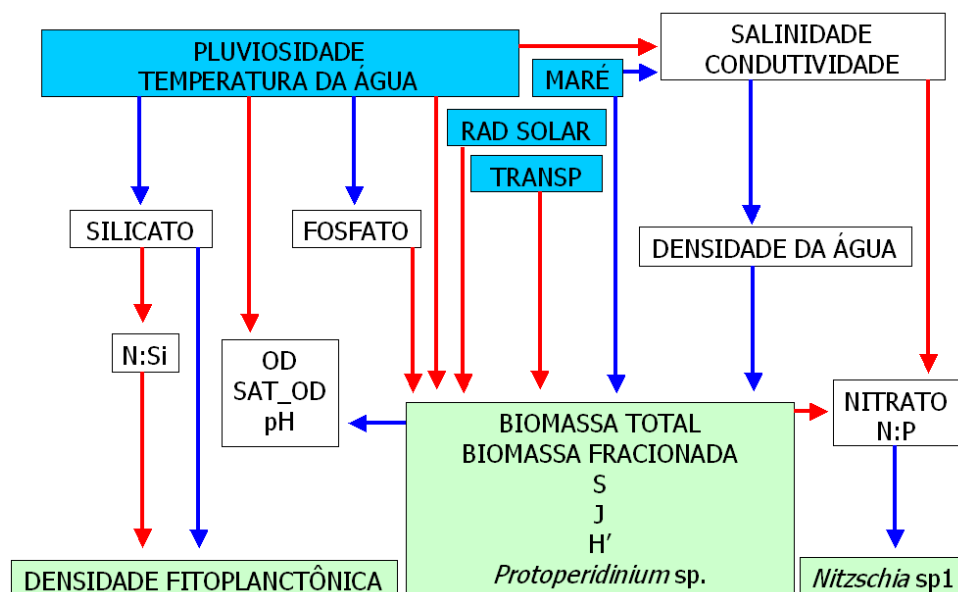


Figura 3.39 – Diagrama com os resultados obtidos por meio do tratamento estatístico aplicado aos dados (setas azuis indicam correlação positiva e setas vermelhas representam correlação negativa).

De acordo com PEREIRA-FILHO et al. (2003), o aumento da concentração de nutrientes nas águas estuarinas e costeiras provoca diversas modificações no meio, podendo produzir um aumento da produtividade e do rendimento pesqueiro, porém a entrada de origem antrópica freqüentemente se torna muito grande e pode provocar a eutrofização excessiva no meio, com várias conseqüências ecológicas, como a alteração da composição de espécies, aumento de *blooms* fitoplanctônicos e diminuição dos níveis de oxigênio.

Foram identificadas, predominantemente durante o período chuvoso, 11 espécies pertencentes a gêneros de microalgas com potencialidade tóxica, sendo 5 diatomáceas do gênero *Nitzschia* (presentes nas três estações de coleta) e 1 do gênero *Pseudo-nitzschia* (presente nas três áreas amostrais), 4 dinoflagelados do gênero *Protopteridinium* (encontrados em São José de Ribamar e Cedral) e 1 cianobactéria do gênero *Oscillatoria* (encontrada em São José de Ribamar e em Cedral).

A estação de São José de Ribamar apresentou 8 espécies com possível potencialidade tóxica, seguida por Cedral, com 7 espécies, e Cajapió, com 4 espécies.

Levando-se em consideração a fragilidade que os estuários apresentam com relação à razão de Redfield (VAN-DOLAH, 2000; SPERLING et al., 2004;

HOWARTH, 1988), no que se refere às estações de São José de Ribamar e Cedral, bem como as microalgas potencialmente tóxicas encontradas nessas duas estações, pode-se dizer que são grandes os riscos que poderiam se originar da implantação de empreendimentos aquícolas em tais áreas. Já Cajapió, por apresentar teores de biomassa fitoplanctônica bastante reduzidos em algumas coletas, pode não ser um local ideal para a implantação de tais projetos.

Desta forma, embora citadas pelo Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão como de média ou muito alta potencialidade para a criação de organismos aquáticos, as áreas estudadas, quando avaliadas biologicamente, apresentam sérias restrições à implantação de empreendimentos de aquicultura, que podem acarretar, conforme os vários autores citados, sérios danos ao ambiente estuarino.

Na realidade, mais estudos serão necessários para que se chegue a conclusões mais apuradas a respeito da possibilidade desses danos, de preferência com a elaboração de modelos matemáticos de previsão de tais riscos.

5 CONCLUSÕES

1. A precipitação pluviométrica, que no período estudado esteve levemente menor do que o padrão de chuvas para a região, provocou diretamente alterações na concentração de nitrato da água.
2. O vento foi um fator abiótico atuante na distribuição do fitoplâncton em São José de Ribamar e Cedral.
3. Conforme o padrão de salinidade, as três estações de coleta podem ser enquadradas como ambientes que variam de mesoalinos a eualinos.
4. Os teores de oxigênio dissolvido variaram diretamente com o pH da água e indicam que as áreas estudadas encontram-se isentas de poluição.
5. Dentre os sais nutrientes, o silicato foi o que mostrou maior concentração, seguido pelo nitrato e pelo fosfato. A concentração de silicato contribuiu diretamente para a densidade fitoplanctônica, que, por sua vez, acarretou redução na quantidade de nitrato. A concentração de fosfato influenciou positivamente a biomassa fitoplanctônica.
6. A análise de biomassa fitoplanctônica revelou valores mais elevados em Cedral e menores em Cajapió, tendo sido maior a contribuição dada pelo nanofitoplâncton.
7. A biomassa e a densidade fitoplanctônicas, bem como os índices específicos de riqueza, equitabilidade e diversidade, não se mostraram diferentes em São José de Ribamar, estação preliminarmente considerada mais antropizada, sendo suas variações dependentes dos fatores climáticos e hidrológicos.

8. As comparações sazonais (períodos chuvoso e de estiagem) revelaram que, durante o período chuvoso, há maior densidade fitoplanctônica, porém menor biomassa.
9. O estudo da composição florística das três áreas indicou a presença de dinoflagelados, euglenófitas, clorófitas e cianobactérias e diatomáceas, havendo predomínio destas, destacando-se as espécies *Cyclotella stylonum*, *Dytilum brightwellii*, *Thalassionema frauenfeldii* e *Thalassiosira subtilis*, seguidas por *Actinoptychus annulatus*, *Coscinodiscus centralis*, *Odontella aurita*, *O. mobiliensis* e *Triceratium favus*.
10. Dentre os 124 táxons identificados, 15 foram classificados como novas ocorrências para a costa maranhense, sendo 12 diatomáceas e 3 dinoflagelados.
11. A classificação ecológica dos táxons identificados mostrou predomínio das espécies tipicamente marinhas e das consideradas ticoplanctônicas, com menor contribuição das espécies estuarinas e dulcícolas.
12. A presença destacada das espécies ticoplanctônicas é um forte indicativo de que os ventos e o regime de macromarés são responsáveis por esse padrão.
13. Foram identificadas algumas espécies pertencentes aos gêneros *Nitzschia*, *Pseudo-nitzschia*, *Oscillatoria* e *Protoperdinium*, que apresentam espécies potencialmente tóxicas, sendo as estações de coleta de São José de Ribamar e Cedral as que apresentaram maior número de tais espécies.
14. A Análise dos Componentes Principais (ACP) ressaltou a transparência da água como fator abiótico diretamente relacionado à densidade fitoplanctônica, destacando a salinidade e a razão nitrato/silicato como as variáveis mais preponderantes sobre a biomassa da comunidade fitoplanctônica.

15. A concentração de células das diatomáceas do gênero *Nitzschia*, com espécies citadas na literatura como potencialmente tóxicas, mostraram-se, pela ACP, diretamente relacionadas às concentrações de nitrato na água, revelando o possível risco oriundo do acréscimo desse nutriente nas áreas amostradas.
16. Nas estações de coleta de São José de Ribamar e Cajapió, obtiveram-se valores de biomassa fitoplanctônica bastante reduzidos, sobretudo na época chuvosa, o que pode vir a se tornar inadequado à implantação de projetos aquícolas que utilizem as águas da região.
17. Nas áreas amostrais de São José de Ribamar e Cedral, foram constatadas, entre o final do período chuvoso e início do de estiagem, maiores fragilidades no que se refere ao equilíbrio nas razões nitrato/fosfato e nitrato/silicato, enquadrando tais ambientes como mais suscetíveis ao incremento de nutrientes típico de empreendimentos aquícolas de médio ou grande porte.
18. Alerta-se para o risco do uso indevido do Zoneamento Costeiro, no tocante à indicação de áreas com potencialidade para a criação de organismos aquáticos, sem que sejam feitas análises preliminares do potencial biótico de tais áreas.
19. Sugere-se que sejam feitas novas pesquisas do potencial biótico da costa maranhense em função da sustentabilidade de seus estuários frente à implantação de empreendimentos de aquíicultura, levando-se em consideração, inclusive, a análise de produtividade de suas comunidades fitoplanctônicas.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H. **Aplicação do sensoriamento remoto e da geoestatística no estudo de variáveis físico-químicas e biológicas do estuário do rio Anil. São Luís, Maranhão – Brasil.** São Luís: UFMA, 2004. 53p. Monografia (Bacharelado em Ciências Aquáticas).

ANAGNOSTIDIS, K, KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 - Oscillatoriales. **Archive of Hydrobiology Supplement**, Algological Studies 80(1-4): 327-472, Stuttgart, 1988.

ARAÚJO, A. **A comunidade fitoplanctônica de um sistema lacustre em curto período de tempo (estações seca e chuvosa) – no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Maranhão (02°19' – 02°45' S e 42°44' – 43°29'W).** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2000. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental).

ARAÚJO, A., PESSOA, C. R. D., FERREIRA-CORREIRA, M. M., IBAÑEZ, M. S. R. Fitoplâncton do rio Itapecuru, Maranhão, Brasil: uma contribuição ao seu conhecimento. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia.** São Luís, 11: 25-35. 1998.

ARAÚJO, N. B., SOUZA-MOSIMANN, R. M., FERNANDES, L. F. Contribuição ao estudo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da foz do rio Araranguá, Santa Catarina, Brasil. **Ínsula**, Florianópolis, 1989, 19 (Suplemento): 305-334.

ASMUS, M., KITZSMANN, D. **Gestão costeira no Brasil: estado atual e perspectivas.** Porto Alegre: LabGerco/FURG, 2004. 59p.

BALECH, E. Los Dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental. Madrid, **Instituto Espanhol de Oceanografia** (Publicações Especiais, n. 1), 1988. 310p.

BARROSO, G. F., LITTLEPAGE, J. **Protocolo para análise de clorofila *a* e feopigmentos pelo método fluorimétrico (Fluorímetro TD-700).** Vitória: Programa de Monitoramento Ambiental - BMLP, 1998. 21p.

BASTOS, R. B. **Variação espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros abióticos no estuário do Rio Una (Pernambuco-Brasil).** Recife: UFPE, 2002. 48p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas).

BASTOS, R. B. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais no estuário do Rio Una – Pernambuco – Brasil.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Recife: UFPE, 2006. 80p.

BASTOS, R. B., FEITOSA, F. A. do N., MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco – Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v.33, n.1.p.1-18, 2005.

BAUMGARTEN, M.da G. Z., ROCHA, J. M. de B., NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em Oceanografia Química**. Rio Grande: FURG, 1996. 132p.

BAUMGÄRTNER, S. Measuring the diversity of what? And for what purpose? A conceptual comparison of ecological and economic measures of biodiversity. **Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie** 33: 490. 2004.

BOURRELLY, P. **Les algues d'eau douce**: Initiation à la systématique. Paris: N. Boubée, 1972. 3v., v.1: Les algues vertes.

BRAGA, M. H. M. P. **Floração de microalgas nas margens do rio Anil - São Luís, Maranhão**: aspectos taxonômicos e sazonais. Monografia. São Luís: UFMA, 1990. 56p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas).

BRANCO, E. de S. **Aspectos ecológicos da comunidade fitoplanctônica no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil)**. Recife: UPFE, 2001. 117p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia).

BUSKEY, E. J. Annual cycle of micro and mesozooplankton abundance and biomass in a subtropical estuary. **Journal of Plankton Research**, 15: 907-924, 1993.

CARAVATI, E. **Le comunita' autotrofe pelagiche del lago Maggiore: dinamica, produzione ed interazioni** Universidade de Milão, Milão, 2003. Tese (Doutorado em Ciências Naturais).

CARDOSO, J. A. M. **Estudo qualitativo do fitoplâncton (Bacillariophyceae) nos períodos seco e chuvoso na Baía de São José, Maranhão - Brasil**. São Luís: UFMA, 2000. 26p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas).

CARMONA, P. A., PEREIRA, L. C. C., COSTA, R. A. A. M., PINHEIRO, S. C. C. **Estudo do microfitoplâncton do estuário do Rio Caeté (Furo da Ostra), Pará-Brasil**. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, n.54, 2003, Belém.

CARPENTER, S. R., CARACO, N. F., CORRELL, D. L., HOWARTH, R. W., SHARPLEY, A. N., SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, 8(3), p.559-568. 1998.

CHRETIÉNNOT-DINNET, M. J., BILARD, C., SOURNIA, A. Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Rhodophycées et Tribophycées. In: SOURNIA, A. (Dir.). **Atlas du Phytoplankton Marin**. Paris: Editions du Centre National Recherche Scientifique, v.3, 261p. 1990..

CLEVE-EULER. A. **Die diatomeen von Schweden und Finland**. Stockholm. Almqvist & Wiksells, 1955. 232p.

CUPP, E. E. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. **Bulletim of the Scripps institution of Oceanography of the University of California**, La Jolla, v.5, p.1-237, 1943.

DAJOZ, R. **Ecologia geral**. 41.ed. Petrópolis: Vozes, 1983, 472p.

DAVIES, J. L. A morphogenetic approach to world shorelines. **Zeitschrift für Geomorphology**, 8, Mortensen Sonderheft, p. 127-142, 1964.

DAY-JR., J. W., HALL, C. A. S., KEMP, W. M., YÁÑEZ-ARANCIBIA, A.. **Estuarine ecology**. New York: J. Wiley, 1989. 556p.

DELGADO-NORIEGA, C., ASTORGA-ESPAÑA, M. S. Caracterização física, química e microbiológica dos efluentes industriais da Baía Catalina – Magallanes, Chile. **Tropical Oceanography**, Recife, v.33, n.2, p.141-151, 2005.

DELGADO-NORIEGA, C., MUNIZ, K., ARAÚJO, M. C., TRAVASSOS, R. K., NEUMANN-LEITÃO, S. Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas – PE, Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v.33, n.2, p.129-139, 2005.

DHN. **Tábuas das marés para 2005**. 42.ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Niterói: Marinha do Brasil, 2004.

DHN. **Tábuas das marés para 2006**. 43.ed. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Niterói: Marinha do Brasil, 2005.

EMBRAPA Monitoramento por Satélite. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão**. Campinas, 2001. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br>. Acesso em 20/08/2006.

EPA, **Nutrient criteria technical guidance manual: estuarine and coastal marine waters**, Office of Water, United States Environmental Protection Agency: Washington, 2001.

ESKINAZI-LEÇA, E., PASSAVANTE, J. Z. O., FRANÇA, L. M. B. Composição do microfítolâncton do estuário do rio Igarassu (Pernambuco). **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 29(2): 163-167, 1980.

ESKINAZI-LEÇA, E., FRANCA, L. M. B., MACÊDO, S. J. Estudo ecológico da área de Itamaracá (Pernambuco-Brasil). XXIV “standing stock” do fitoplâncton do estuário do rio Botafogo, durante janeiro a dezembro/75. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v.18, p.153-192, 1984.

ESKINAZI-LEÇA, E., GUSMÃO, L. M. O., SILVA, M. C. Microfítolâncton da Baía do Capim (Estado do Maranhão-Brasil). In: **Anais da VIII Reunião Nordestina de Botânica**. 57-81, 1985.

ESKINAZI-LEÇA, E., SILVA-CUNHA, M. da G., KÖENING, M. L., MACEDO, S. J., COSTA, K. M. P. Variação espacial e temporal do fitoplâncton na plataforma

continental de Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v.25, p. 1-16, 1997.

EWERTON, C. A. **Biomassa fitoplanctônica do Rio Anil, na Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil**. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2001. 42p. Monografia (Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas).

FAIRBRIDGE, R. W. **The estuary: its definition and geodynamic cycle**. In: Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries, Olausson, E. & Cato, I. Nova Iorque: Wiley, 1980, p.1-35.

FAO Serviço de Recursos Continentais e Aqüicultura. **Revisión del estado mundial de la acuicultura**. FAO Circular de Pesca número 886, Rev.2. Roma: FAO, 2003. 103p.

FEITOSA, F. A. N., PASSAVANTE, J. Z. O. Variação sazonal da biomassa primária do fitoplâncton da Bacia do Pina (Recife, Pernambuco - Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v.21, p.33-46, 1990.

FEITOSA, F. A. N., NASCIMENTO, F. C. R., COSTA, K. M. P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na bacia do Pina (Recife-PE). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v.17, n.2, p.1-13, 1999.

FEITOSA, F. A. N., SILVA-CUNHA, M. G. G., BRANCO, E. S. Composição do microfitoplâncton no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v.37, p. 63-76, 2004.

FERNANDES, M. A. A. **Produtividade fitoplanctônica relacionada com alguns aspectos ecológicos no estuário do rio Congo (Itapissuma – Pernambuco)**. Recife: UFPE, 1997. 146p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia).

GODINHO, H. P., GODINHO, A. L. (org.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. Belo Horizonte, PUC Minas, 2003. 468p.

GOMES, K. R. M. **Estudo do fitoplâncton das praias do litoral norte da ilha de São Luís, MA - Brasil**. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas). São Luís: UFMA, 2002. 45p.

GRASSHOFF, K., EHRARDT, M., DREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. 2.ed. New York: Variag Chemie, 1983. 419p.

GREGO, C. K. da S. **Distribuição espacial e sazonal da composição e biomassa fitoplanctônica correlacionada com a hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista, Pernambuco)**. Recife: UFPE, 2004. 117p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia).

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

HERZ, R. Manguezais do Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 1991. 227p.

HOME, A. J., GOLDMAN, C. R. **Limnology**. 2.ed. Singapura: McGraw-Hill, 1994.

HONORATO-DA-SILVA, M. **Fitoplâncton do estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil)**: biomassa, taxonomia e ecologia. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Recife: UFPE, 2003. 131p.

HORNER, R., RINES, J. E. B., STOCKNER, E. *Chaetoceros convolutus* Castracane, *Chaetoceros concavicornis* Mangin and the mortality of pen-reared salmon in Pacific Northwest waters. **Fifth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton**, Newport, Rhode Island, 1991.

HOWARTH, R. W. Nutrient limitation of net primary production in marine ecosystems. **Annual Reviews of Ecology**. 1988. 110p.

HUSSAR, G. J., CONCEIÇÃO, C. H. Z., PARADELA, A. L., BARIN, D. J., JONAS, T. C., SERRA, W., GOMES, J. P. R. Uso de leitos cultivados de vazão subsuperficial na remoção de macronutrientes de efluentes de tanques de piscicultura. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p.025-034, jan./dez., 2004.

HUSTEDT, F. **Die Kieselalgen**: Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. G., 1961-1966. 920p.

IBGE. **Cidades @**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>. Acesso em: 01/10/2006.

KENNISH, M. J. **Practical handbook of Marine Science**. 3.ed. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. 876p.

KJERFVE, B., LACERDA, L. D. Mangroves of Brazil. p. 245-272. In: L.D. Lacerda (ed.). **Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa Regions**. International Society for Mangrove Ecosystems. Technical reports, v.2, ITTO TS-13, v.1. 1993.

KÖENING, M. L., ESKINAZI-LEÇA, E., NEUMANN-LEITÃO, S., MACÊDO, S. J. de. Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco – Brasil). **Acta Botanica Brasilica**. 16(4): 407-420, 2002.

KOMÁREK, J. A review of water-bloom forming. In: _____ **Microcystis**: species, with regard to populations from Japan. Stuttgart, 1991. p. 115-127.

LABOHIDRO, **Estudos Bioecológicos nos estuários dos rios Anil e Bacanga - Ilha de São Luís-MA (Relatório parcial)**. São Luís: UFMA, 1980.

LABOHIDRO. **Levantamento litoecológico na área de influência da indústria de alumínio do consórcio ALUMAR, na ilha de São Luís-MA**: Subprojeto Plâncton. Np. (Relatório técnico). São Luís: UFMA, 1983.

LABOHIDRO. **Levantamento litoecológico na área de influência da indústria de alumínio do consórcio ALUMAR, na ilha de São Luís-MA**: Subprojeto Plâncton. Np. (Relatório técnico). São Luís: UFMA, 1985.

LABOHIDRO. **Levantamento litoecológico na área de influência da indústria de alumínio do consórcio ALUMAR, na ilha de São Luís-MA**: Subprojeto Plâncton. Np. (Relatório técnico). São Luís: UFMA, 1986.

LABOHIDRO. **Levantamento litoecológico na área de influência da indústria de alumínio do consórcio ALUMAR, na ilha de São Luís-MA**: Subprojeto Plâncton. Np. (Relatório técnico). São Luís: UFMA, 1987.

LABOHIDRO. **Estudo do plâncton e de fatores físicos e químicos na região estuarina dos rios Anil e Bacanga, São Luís/MA**. São Luís: UFMA, 1994.

LACERDA, S. R. **Série temporal do fitoplâncton no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil)**. Recife: UFPE, 2004. 244p. Tese (Doutorado em Oceanografia).

LAVÔR-FERNANDES, G. Contribuição ao estudo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da Lagoa da Jansen (São Luís-MA). **Caderno de Pesquisa**, São Luís, vol. 3, n.2, 1987.

LAVÔR-FERNANDES, G. Microfitoplâncton da baía de São Marcos (São Luís-MA-Brasil). **Gayana**, Concepción, 45(1-4): 265-274. 1988(a).

LAVÔR-FERNANDES, G. Microfitoplâncton no estuário do rio Paciência, Paço do Lumiar, Maranhão. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, São Luís, (8), 1988(b).

LAVÔR-FERNANDES, G. Composição e variação sazonal do microfitoplâncton do estuário do rio Tibiri em São Luís, Maranhão, Brasil. **Caderno de Pesquisa**. São Luís, 6(1): 45-59, 1990.

LITTLEPAGE, J. L. **Oceanografia**: Manual de técnicas oceanográficas para trabalhos em laboratório e a bordo. (Tradução de Francisco de Assis Pereira Costa). Fortaleza: EUFC. 99p, 1998.

LORENZEN, C. J. Determination of chlorophyll and pheopigments spectrophotometric equations. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 12, p. 343-346, 1967.

LOSADA, A. P. De M. **Biomassa fitoplanctônica correlacionada com parâmetros abióticos, nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba, e na baía de Tamandaré (Pernambuco – Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Recife: UFPE, 2000. 89p.

MACÁU, J. V. P. **Ficoflórula da Baía de São José, São José de Ribamar - MA**. São Luís: UFMA, 2003. 58p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas).

MACINTOSH, D. J., PHILLIPS, M. J. Environmental issues in shrimp farming. **Infofish**, Kuala Lumpur (Malaysia), p.118-145. 1992.

MAIA, P. R. **Composição e densidade fitoplanctônica na Bacia do Pina (Recife-Pernambuco)**. Recife: UFPE, 1995. 135p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica).

MALONE, T. C. Algal size. In: MORRIS, I. (Ed.) **The physiological ecology of phytoplankton**. Berkeley: Univ. of California Press, 1980. p.433-463.

MARANHÃO. **Zoneamento Costeiro do Estado**. SEAGRO/IICA, UFMA, UEMA. São Luís, 2003.

MARGALEF, R. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: BUZZATI-TRAVERSO, A. A. (Ed.). **Perspectives in Marine Biology**. Berkeley: Universidade California Press, p.323-349. 1958.

MARTINS, C. R. F. **Estrutura da comunidade fitoplanctônica da praia de Panaquatira, São José de Ribamar – MA**. São Luís: UEMA, 2001. 64p. Monografia (Licenciatura em Ciências, habilitação em Biologia).

MELLO, C. F., MOCHEL, F. R. **Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha**. Sumário Executivo. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2002. 72p.

MELO-MAGALHÃES, E. M., KÖENING, M. L., SANT'ANNA, C. L. Fitoplâncton e variáveis ambientais nos canais do sistema estuarino lagunar Mundaú/Manguaba, Alagoas, Brasil. **Hoehnea** 31(1): 73-86, São Paulo, 2004.

MOCHEL, F. R., CORREIA, M. M. F., CUTRIM, M. V. J., IBANEZ, M. S. R. Degradação dos manguezais da Ilha de São Luís (MA): processos naturais e antrópicos.. In: Prost, MT e Mendes, A. C.. (Org.). **Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental**. 1 ed. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002, v. 1, p. 113-131.

MOESTRUP, Ø. (Ed.): **IOC Taxonomic Reference List of Toxic Algae, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO**; ioc.unesco.org/hab/data.htm, 2004. Acesso em: 27/09/2006.

MOREIRA, E. G. **Comunidade fitoplanctônica do estuário do rio Anil, ilha de São Luís - MA**. São Luís: UFMA, 2003. 67p. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas).

MOREIRA, E. G., AZEVEDO, A. C. G., CUTRIM, M. V. J. Microalgas potencialmente tóxicas do estuário do rio Anil, São Luís – MA. **Pesquisa em Foco**, São Luís, v.9, n.13, p.187-195, jan./jun. 2001.

MOREIRA-FILHO, H., VALENTE-MOREIRA, I. M. Catálogo das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyta) marinhas e estuarinas do estado do Paraná, Brasil. **Acta Biologica Paranaense**. Curitiba, 13 (1,2,3,4): 3-49, 1984.

MOREIRA-FILHO, H., VALENTE-MOREIRA, I. M., MOSIMANN, R. M. de S. Catálogo das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas do estado de Santa Catarina, Brasil. **Insula**. Florianópolis, n.15: 33-88, 1985.

MOREIRA-FILHO, H., ESKINAZI-LEÇA, E., VALENTE-MOREIRA, I. M., CUNHA, J. A. Avaliação florística e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Estudos de Biologia**, Curitiba, n. 25, p. 5-48, 1990.

MOREIRA-FILHO, H., ESKINAZI-LEÇA, E., VALENTE-MOREIRA, I. M., CUNHA, J. A. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados de Espírito Santo, Bahia, Sergipe e Alagoas, Brasil. **Biológica Brasileira**, Recife, v. 6, n. 1/2, p.87-110, dez./jan. 1994/95.

MOREIRA-FILHO, H., ESKINAZI-LEÇA, E., VALENTE-MOREIRA, I. M., CUNHA, J. A. Avaliação taxonômica e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará e Amapá, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, 27(1):55-90, 1999.

MORO, R. S., FÜRSTENBERGER, C. B. **Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas**. Ponta Grossa: UEPG, 1997. 282p.

MÜLLER-MELCHERS, F. C., FERRANDO, H. J. Técnica para el estudio de las diatomeas. **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 7 (1/2). 1956.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 7.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004. 927 p.

OLIVEIRA, D. B. F., ESKINAZI-LEÇA, E., DÖENING, M. L. Microfitoplâncton da Baía de Mangunça (Estado do Maranhão-Brasil). **Boletim Técnico EMPARN**, Natal, 20p., 1986.

PAEZ-OSUNA, F., GUERREIRO-GALVAN, S. R., RUIZ-FERNANDEZ, A. C. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in México. **Marine Pollution Bulletin**, v.36, n.1, p.65-75(11). jan/1998.

PAIVA, M. P. **Recursos pesqueiros marinhos e estuarinos do Norte do Brasil**. Brasília: Superintendência do Desenvolvimento da Pesca, 1981.

PARSONS, T. R., TAKAHASHI, M. T., HARGRAVE, B. **Biological oceanographic processes**. 3.ed. Oxford: Pergamon Press, 1984. 330p.

PASSAVANTE, J. Z. de O. **Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá – Pernambuco)**. Tese (Doutorado em Oceanografia). São Paulo: USP, 1979. 188p.

PASSAVANTE, J. Z. de O., KÖENING, M. L. Estudos ecológicos da região de Itamaracá, Pernambuco, Brasil. XXVI. Clorofila *a* e material em suspensão no estuário do rio Botafogo. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v.18, p.207-230, 1984.

PÉRAGALLO, H., PÉRAGALLO, M. **Diatommées marines de France et des districtes maritimes voisins**. Paris: J. Tempere, 1897-1908. 491p.

PEREIRA-FILHO, J., SPILLERE, L. C., SCHETTINI, C. A. F. Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do rio Itajaí-Açu, SC. **Atlântica**, Rio Grande, 25(1): 11-20, 2003.

PEREIRA, R. C., SOARES-GOMES, A. (Organizadores). Os autores do capítulo são: Ana Cristina Teixeira Bonecker, Sérgio Luiz Costa Bonecker & Christina Bassani, Capítulo 6 – Plâncton marinho. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 382 p.

PIELOU, E. C. The measure of diversity in different types of biological collections. **Journal of Theoretical Biology**, 13: 133-144. 1966.

POR, F. D., DOR, I. **Hydrobiology of the mangal**. Developments in Hydrobiology 20. The Hague, Netherlands (Holanda): Dr W. Junk Publishers, 1984.

ROSA, Z. M. Diatomáceas marinhas e estuarinas de Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia** (Série Botânica), Porto Alegre (29): 39-145, 1982.

ROUND, F. E., CRAWFORD, R. M., MANN, D. G. **The diatoms: biology & morphology of the genera**. New York. Cambridge University Press, 1992. 747p.

SANTANA, D. dos S. **Composição florística e variação espaço-temporal dos parâmetros ambientais e da biomassa fitoplanctônica do estuário do rio Marapanim (Pará, Brasil)**. Bragança: Universidade Federal do Pará, 2004. 113p. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental).

SANT'ANNA, C. L., AZEVEDO, M. T. P. Contribution to the knowledge of potentially toxic Cyanobacteria from Brazil. Nova Hedwigia, **Zeitschrift für Kryptogamenkunde**, Alemanha, v. 71, n. 3-4, p. 359-385, 2000.

SANTOS-FERNANDES, T. L. **Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): ecologia, densidade, biomassa e produção**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Recife: UFPE, 1997. 175p.

SANTOS-FERNANDES, T. L., PASSAVANTE, J. Z. de O., KÖENING, M. L., MACÊDO, S. J. Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): biomassa. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, 26(2): 1-18, 1998.

SANTOS, F. P. **Caracterização hidrológica e produtividade primária da baía de Guarapuá (Cairu-BA): um subsídio à pesquisa sobre a capacidade de recarga do ambiente**. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas - Modalidade Recursos Ambientais).

SANTOS, M. de L. S. **Influência dos rios Amazonas e Pará sob a biomassa fitoplanctônica**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). Recife: UFPE, 2000. 86p.

SASSI, R. Phytoplankton and environmental factors in the Paraíba do Norte river estuary, northeastern Brazil: composition, distribution and quantitative remarks. **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 39, n.2, p. 93-115. 1991.

SEN-GUPTA, B. K., MACHAIN-CASTILLO, M. L. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v.20, p.183-201, 1993.

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

SILVA, A. R., TAUIL, P. L., BASTOS JR., J. L., MATOS, W. B., COSTA, E. A. P., GONÇALVES, E. da G. do R. Aspectos da transmissão focal de malária na Ilha de São Luis, Maranhão. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**., v.39 n.3. Uberaba, maio-jun. 2006.

SILVA-CUNHA, M. G. G., ESKINAZI-LEÇA, E., ALMEIDA, C. D. P. Taxonomia e ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Timbó (Pernambuco-Brasil). **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, 20: 35-52. 1989.

SIMITH, D. J., COSTA, R. A. A. M., PEREIRA, L. C. C., CARMONA, P. A., SCHORIES, D. **Diatomoflora da baía do Estuário do Rio Caeté (Bragança - PA - Brasil)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, n.54, 2003. Belém.

SOUZA, M. F. L., COUTO, E. C. G. Short-term changes and longitudinal distribution of carbon metabolism in the Piauí river estuary (Sergipe, Brazil). **Revista Brasileira de Biologia**, 59(2): 195-202, Rio de Janeiro, 1999.

SPERLING, E. V., JARDIM, F. A., GRANDCHAMP, C. Qualidade da água durante a formação de lagos profundos em cavas de mineração: estudo de caso do lago de Águas Claras-MG. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, p. 250-259, 2004.

STRICKLAND, J. D. H., PARSONS, T. S. A practical handbook of sea water analysis. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, Ottawa, v.167, 2.ed., p. 1-205, 1972.

TEIXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. **Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**. São Paulo, v. 22, p.59-92, 1973.

TEIXEIRA, C., ARANHA, F. de J., BARBIERI, R., MELO, O. T. de. Produção primária e clorofila-*a* do fitoplâncton e parâmetros físicos e químicos do Estreito dos Coqueiros - Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, 48(1): 29-39, 1988.

THRONDSSEN, J. Preservation and storage: Monographs on oceanographic methodology. In: SOURNIA, A. 6.ed. **Phytoplankton manual**. Norwich: Unesco, 1978. p.69-74.

TOLEDO, A. P. Jr., TALARICO, M., CHINEZ, S. J., AGUDO, E. G. **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagoas e reservatórios tropicais**. Camboriú: CBES, 12, 1983.

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

TORGAN, L. C., BIANCAMANO, M. I. Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) referidas para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 2973 a 1990. **Caderno de Pesquisa – Série Botânica**. Santa Cruz do Sul, v. 3, n. 1, p. 1-201, 1991.

TRANCOSO, A. R. R. **Modelling macroalgae in estuaries**. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002. Monografia (Licenciatura em Engenharia do Ambiente).

TURNER, R. E. et al. Fluctuating silicate:nitrate ratios and coastal plankton food webs. **PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences**. Vol. 95, Issue 22, 13048-13051, October 27, 1998.

UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea water**. Paris: UNESCO, 1966. 69p. Monografia (Metodologia em Oceanografia, 1).

UNESCO. **International Oceanographic Tables**. Great Britain Wormly: v.2, 1973. 141p.

UNESCO, **Technical papers in marine science**, 44. FOFONOFF, P & MILLARD JR, R. C. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. 1983. 53p.

UTERMÖHL, H. **Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton**. Mitt. Int. Verein. Limnol. 1958

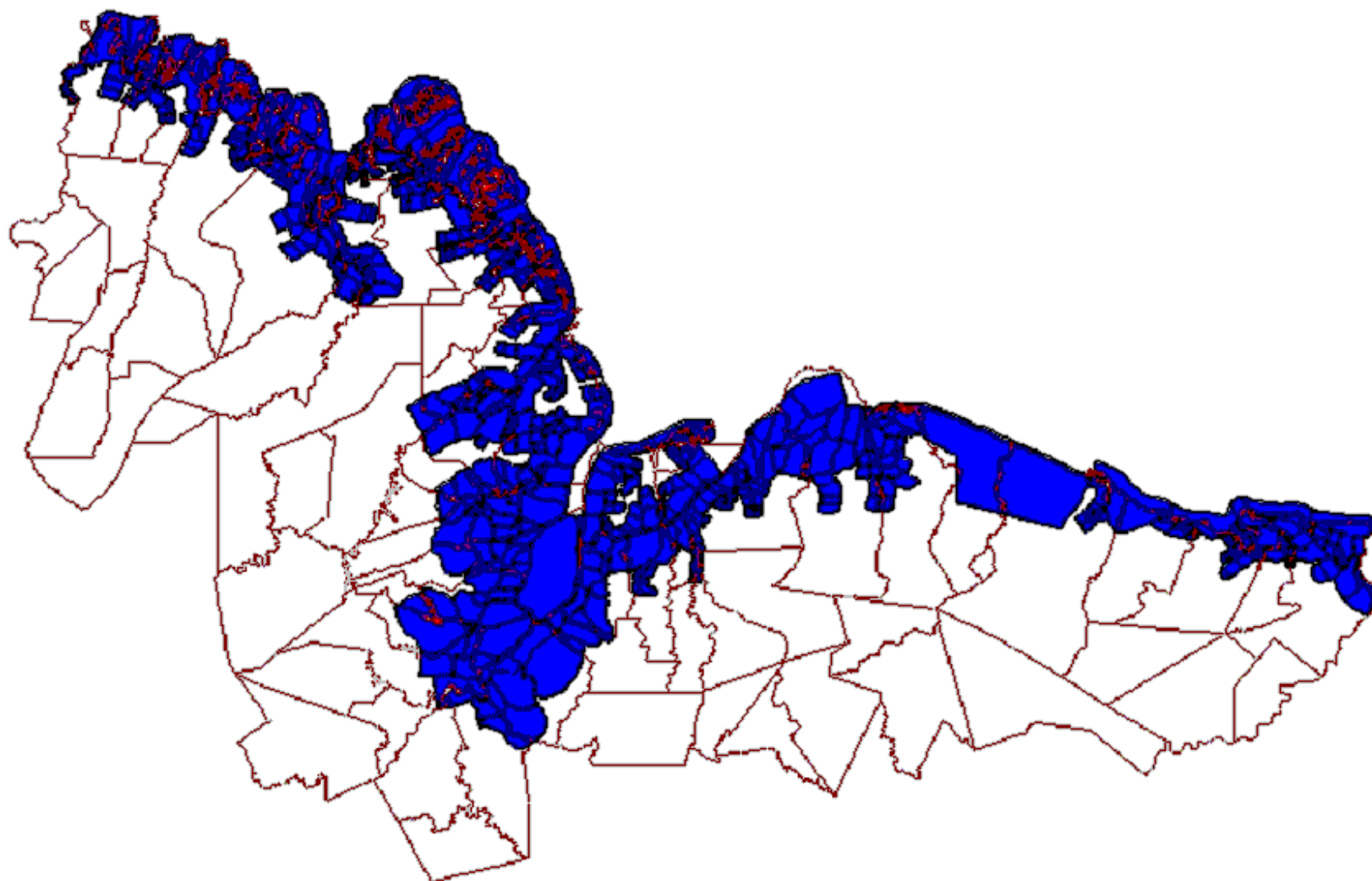
VALENTIN, J. L., MACEDO-SAIDAH, F. E., TENENBAUM, D. R., SILVA, N. M. L. A diversidade específica para a análise das sucessões fitoplanctônicas. Aplicação ao ecossistema da ressurgência de Cabo Frio (RJ). **Nerítica**, Curitiba, v.6, n.1/2, p. 7-26, 1991.

VAN-DOLAH, F. M. Marine algal toxins: origins, health effects, and their increased occurrence. **Environmental Health Perspectives**, Charleston, v.108, Sup.I, p.133-141, 2000.

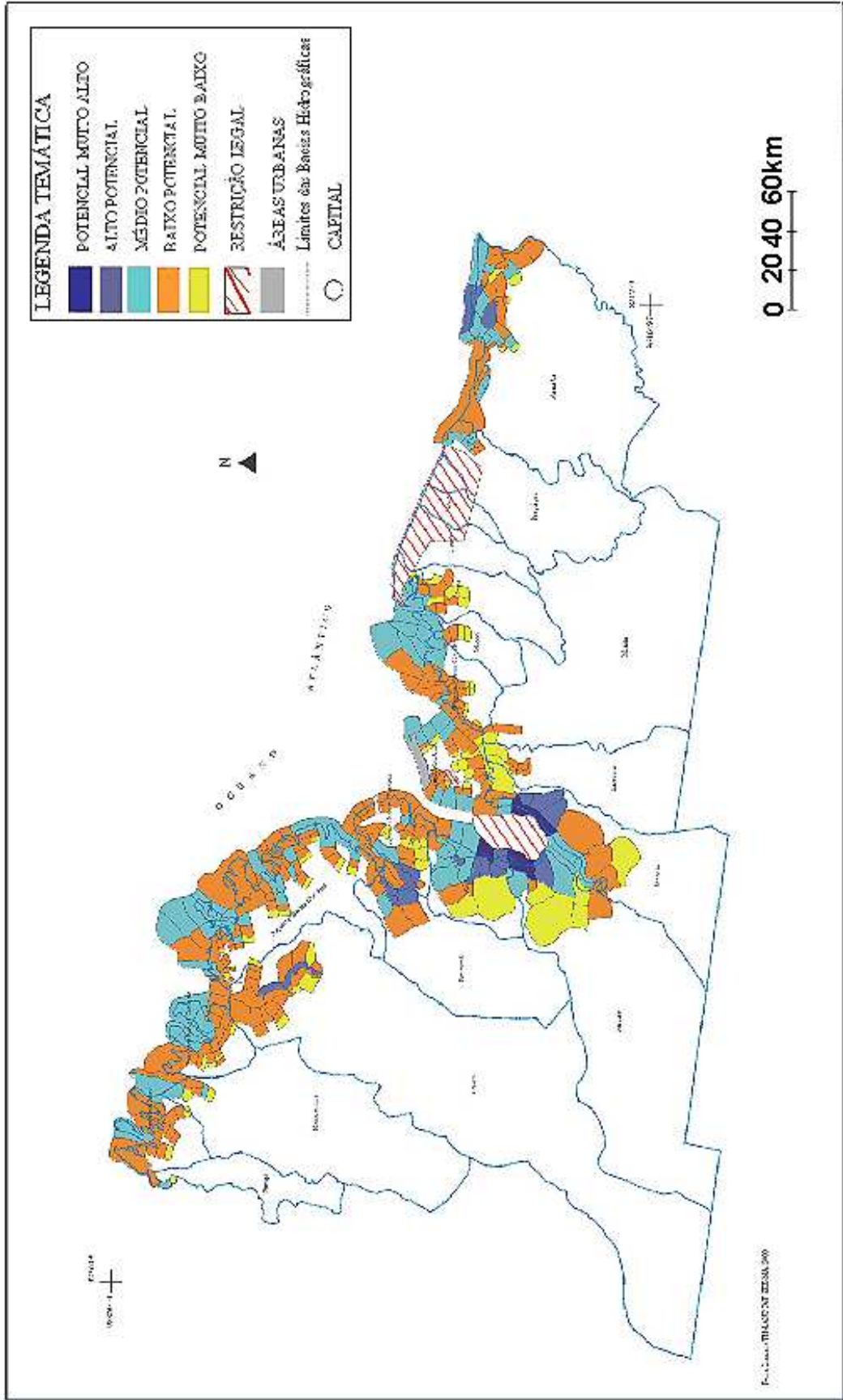
VENICE-SYSTEM. Final resolution of the symposium on the classification of brackish waters. **Archive of Oceanography Limnology**, 11 (supl.): 243–248. 1959.

YIN, X. C., CHEN, X. Z., SONG, Z. P., WANG, Y. C. The temporal variation of LURR in Kanto and other regions in Japan and its application to earthquake prediction, **Earthquake Research in China**, 10, p.381-385, 1996.

ANEXOS



ANEXO A – Mapa da zona costeira do Maranhão, sendo a área em azul, separada nos seus 393 módulos, que representa 30 % do total, a porção de influência direta da maré, que foi considerada na elaboração do Zoneamento Costeiro do estado.



ANEXO B – Mapa dos 393 módulos do Zoneamento Costeiro do Estado do Maranhão classificados conforme as suas potencialidades para a criação de organismos aquáticos.

ANEXO C – Valores das variáveis climatológicas mensais do período amostrado, para a estação de coleta de São José de Ribamar-MA, e médias pluviométricas históricas (1961 a 1998) da estação meteorológica localizada no município de São Luís-MA. Dados do Laboratório de Meteorologia da UEMA.

MÊS/ANO	Precipitação pluviométrica (mm.dia ⁻¹)		Temperatura do ar (°C)			Vel. dos ventos (m.s ⁻¹)		Radiação solar acumulada (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)
	Período amostrado	Média (1961-1998)	Média	Máxima	Minima	Média	Máxima	
JAN/06	6,6129	7,6638	27,2	34,5	16,5	6,2444	47,3000	390,2639
FEV/06	7,7143	11,6563	27,2	33,5	22,0	5,9836	48,9000	385,8996
MAR/06	8,7823	13,0629	26,7	33,5	22,0	4,9721	45,9000	420,1774
ABR/06	17,6583	14,3561	26,1	33,5	22,5	3,6346	43,7000	331,0947
MAI/05	7,8226	9,8682	26,9	34,0	22,0	4,4960	42,8000	391,4974
JUN/05	7,8750	5,1417	26,9	34,0	21,0	5,0376	51,1000	423,6673
JUL/05	4,0000	4,0444	26,5	34,5	21,0	5,0567	30,4000	414,0097
AGO/05	0,1774	0,9475	27,6	36,0	20,5	6,8274	50,3000	470,8300
SET/05	0,0333	0,5219	28,1	36,0	22,5	7,4167	44,7000	494,5707
OUT/05	0,1048	0,4589	28,3	34,5	22,5	7,3157	41,9000	502,5939
NOV/05	0,0417	0,3744	28,7	35,5	9,0	6,6805	30,1000	435,6970
DEZ/05	4,2016	2,6190	28,1	35,5	21,0	6,5319	51,1000	425,5742
Médias	5,4187	5,8929	27,4	34,6	20,2	5,8498	44,0167	423,8230

ANEXO D – Valores das variáveis climatológicas mensais do período amostrado, para a estação de coleta de Cedral-MA. Dados do Laboratório de Meteorologia da UEMA.

MES/ANO	Precipitação pluviométrica (mm.dia ⁻¹)	Temperatura do ar (°C)		Vel. dos ventos (m.s ⁻¹)		Radiação solar acumulada (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	
		Média	Máxima	Mínima	Média		Máxima
JAN/06	6,5403	27,5	32,0	22,0	5,9956	42,9000	412,2365
FEV/06	7,8571	27,4	32,0	21,5	5,7800	31,0000	395,6304
MAR/06	16,7177	26,7	31,5	22,5	4,8873	37,7000	411,3884
ABR/06	21,6333	26,1	32,5	11,5	3,2746	31,2000	360,8103
MAI/05	7,1048	27,4	32,5	23,0	4,5813	34,8000	421,5960
JUN/05	11,5583	26,9	32,0	22,0	4,8695	39,0000	458,8003
JUL/05	3,6638	27,0	33,0	20,5	4,8995	38,0000	426,6562
AGO/05	1,3387	27,4	32,0	23,0	6,2930	34,2000	496,8116
SET/05	0,0000	27,3	31,0	24,0	7,6496	42,8000	211,9930
OUT/05	0,0242	27,7	31,5	25,0	8,1238	44,5000	517,5506
NOV/05	0,0000	28,1	32,0	25,5	8,0169	37,7000	492,2603
DEZ/05	3,6613	30,5	32,0	21,5	7,6739	34,2000	457,8777
Médias	6,6750	27,5	32,0	21,8	6,0037	37,3333	421,9676

ANEXO E – Valores das variáveis climatológicas mensais do período amostrado, para a estação de coleta de Cajapió-MA. Dados do Laboratório de Meteorologia da UEMA.

MÊS/ANO	Precipitação pluviométrica (mm.dia ⁻¹)	Temperatura do ar (°C)		Vel. dos ventos (m.s ⁻¹)		Radiação solar acumulada (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	
		Média	Máxima	Mínima	Média		Máxima
JAN/06	3,9032	-	-	-	3,3948	44,8000	171,9258
FEV/06	5,3125	27,2	37,0	21,5	3,1753	47,2000	443,0036
MAR/06	11,0645	26,8	36,0	21,5	2,9000	44,0000	168,3794
ABR/06	19,8917	26,5	36,0	23,0	3,1788	30,4000	352,0470
MAI/05	8,2581	27,3	35,5	22,5	3,4537	47,4000	375,1529
JUN/05	3,8667	27,5	34,5	22,5	3,5537	37,1000	402,0777
JUL/05	1,1774	27,2	35,0	22,5	3,6398	32,8000	417,7103
AGO/05	0,4032	27,7	36,0	22,5	3,8871	43,8000	478,0771
SET/05	0,0167	27,6	37,0	21,5	3,9138	51,1000	461,6683
OUT/05	0,2903	27,7	39,5	21,0	4,0714	29,6000	510,9974
NOV/05	0,5583	28,3	38,5	21,5	4,2479	48,2000	475,2913
DEZ/05	3,7984	28,0	38,5	22,0	3,7516	44,2000	409,2297
Médias	4,8784	27,4	36,7	22,0	3,5973	41,7167	388,7967

APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores das variáveis abióticas (hidrológicas) e bióticas do período amostrado, para a estação de coleta de São José de Ribamar-MA, durante o período de 2005 a 2006.

VARIÁVEIS	SÃO JOSÉ DE RIBAMAR						Média
	FEV/06	JUN/05	AGO/05	OUT/05	DEZ/05		
Transparência da água (Secchi)	130,0	96,0	95,0	89,0	63,0	94,0	94,5
Temperatura da água (°C)	29,2	29,4	32,0	30,5	29,1	29,9	30,0
Potencial hidrogeniônico (pH)	7,80	7,99	7,90	7,95	7,80	8,13	7,93
Salinidade	29,5	18,2	25,0	31,6	31,8	33,0	28,2
Condutividade (mS)	45,7	29,9	30,0	48,7	49,0	50,8	42,4
Concentração de nitrato (µM)	10,0300	9,9688	5,6499	2,3079	3,6937	6,3164	6,3278
Concentração de fosfato (µM)	0,7140	0,9449	0,6145	0,6137	0,5252	0,5319	0,6574
Concentração de silicato (µM)	16,7840	45,6790	21,7710	3,2498	7,0287	9,9942	17,4178
Razão N:P	14,0484	10,5501	9,1943	3,76063	7,03294	11,8752	9,41026
Razão N:Si	0,59759	0,21824	0,25951	0,71017	0,52552	0,63201	0,49051
Oxigênio dissolvido (mL.L ⁻¹)	7,30526	4,20435	4,46880	4,28325	4,23903	2,70959	4,53505
Saturação do OD (%)	160,55	87,23	100,42	97,35	94,20	61,44	100,20
Altura da maré (m)	5,7	5,8	5,8	5,0	5,5	4,2	5,3
Biomassa total (mgClorofila.m ⁻³)	4,388	4,191	4,466	2,538	9,021	4,751	4,893
Biomassa fracionada (mgClorofila.m ⁻³)	3,760	3,320	1,334	2,146	2,204	0,928	2,282
Densidade fitoplancônica (cel.L ⁻¹)	13,477	72,199	74,605	91,438	115,517	98,671	77,651
Densidade da água σ_{stp} (mg.cm ⁻³)	17,877	9,380	13,577	19,012	19,633	20,264	16,624
Índice de riqueza (Margalef)	2,65	2,94	2,62	3,30	4,42	4,58	3,42
Índice de equitabilidade (Pielou)	0,97	0,82	0,90	0,92	0,80	0,86	0,88
Índice de diversidade de Shannon (mits.cel ⁻¹)	2,01	1,96	2,12	2,21	2,37	2,62	2,22

APÊNDICE B – Valores das variáveis abióticas (hidrológicas) e bióticas do período amostrado, para a estação de coleta de Cajapió-MA, durante o período de 2005 a 2006.

VARIÁVEIS	CEDRAL							Média
	FEV/06	ABR/06	JUN/05	AGO/05	OUT/05	DEZ/05		
Transparência da água (Secchi)	36,0	92,0	103,0	43,0	86,0	46,0	67,7	
Temperatura da água (°C)	27,8	29,1	30,0	28,0	28,1	28,1	28,5	
Potencial hidrogeniônico (pH)	8,26	8,06	7,68	7,78	7,57	8,68	8,01	
Salinidade	32,8	26,1	30,0	28,5	31,6	32,0	30,2	
Condutividade (mS)	50,5	41,0	33,5	44,3	48,6	49,8	44,6	
Concentração de nitrato (µM)	3,8435	3,6061	1,3864	1,5413	1,4697	4,7072	2,7590	
Concentração de fosfato (µM)	-	0,1534	0,4197	0,3688	0,7428	0,3135	0,3996	
Concentração de silicato (µM)	7,1105	21,0750	12,7670	18,8780	9,9917	5,6562	12,5797	
Razão N:P	-	23,50780	3,30331	4,17923	1,97859	15,01500	9,59679	
Razão N:Si	0,54054	0,17111	0,10859	0,08165	0,14709	0,83222	0,31353	
Oxigênio dissolvido (mL.L ⁻¹)	5,72347	4,97515	3,63462	4,94325	4,65357	5,41917	4,89154	
Saturação do OD (%)	126,91	107,22	81,31	105,85	101,61	118,58	106,91	
Altura da maré (m)	4,0	4,9	4,6	4,2	4,7	4,7	4,5	
Biomassa total (mgClorofila.m ⁻³)	16,554	8,741	6,891	16,210	2,573	5,391	9,393	
Biomassa fracionada (mgClorofila.m ⁻³)	14,585	6,61	4,002	10,338	1,968	4,327	6,972	
Densidade fitoplanctônica (cel.L ⁻¹)	117,924	152,419	170,870	175,683	101,078	15,402	122,229	
Densidade da água σ_{stp} (mg.cm ⁻³)	20,808	15,368	17,985	17,518	19,810	20,110	18,600	
Índice de riqueza (Margalef)	3,60	4,16	3,75	4,89	5,62	2,88	4,15	
Índice de equitabilidade (Pielou)	0,81	0,75	0,81	0,82	0,85	0,97	0,84	
Índice de diversidade de Shannon (mits. cel ⁻¹)	2,24	2,20	2,40	2,73	2,90	2,10	2,43	

APÊNDICE C – Valores das variáveis abióticas (hidrológicas) e bióticas do período amostrado, para a estação de coleta de Cajapió-MA, durante o período de 2005 a 2006.

VARIÁVEIS	CAJAPIÓ							Média
	FEV/06	ABR/06	JUN/06	JUN/05	AGO/05	OUT/05	DEZ/05	
Transparência da água (Secchi)	46,0	42,0	25,0	54,0	27,0	12,0	34,3	
Temperatura da água (°C)	29,2	29,7	38,5	29,5	29,0	29,7	30,9	
Potencial hidrogeniônico (pH)	8,14	7,90	7,40	7,81	7,94	7,94	7,86	
Salinidade	28,3	10,7	16,1	21,0	26,8	30,6	22,3	
Condutividade (mS)	43,8	18,1	16,5	33,7	42,2	47,2	33,6	
Concentração de nitrato (µM)	21,1370	19,0588	19,4999	15,6998	24,4270	21,4860	20,2181	
Concentração de fosfato (µM)	1,57547	1,19200	1,30490	0,56650	1,43400	1,71800	1,29848	
Concentração de silicato (µM)	39,0950	65,0270	32,2430	63,2515	50,4905	33,6150	47,2870	
Razão N:P	13,4163	15,9889	14,9436	27,7137	17,0342	12,5064	16,9338	
Razão N:Si	0,54066	0,29309	0,60478	0,24821	0,48379	0,63918	0,46829	
Oxigênio dissolvido (mL.L ⁻¹)	4,71936	3,99414	4,59092	5,94039	4,81085	3,10805	4,52729	
Saturação do OD (%)	103,04	80,04	104,81	125,59	103,91	69,38	97,80	
Altura da maré (m)	6,3	5,7	5,5	6,3	5,6	5,3	5,8	
Biomassa total (mgClorofila.m ⁻³)	3,073	3,072	2,396	10,242	5,653	4,440	4,813	
Biomassa fracionada (mgClorofila.m ⁻³)	1,334	1,758	1,236	7,929	4,708	2,117	3,180	
Densidade fitoplancônica (cel.L ⁻¹)	24,066	98,671	11,552	55,352	26,473	12,835	38,158	
Densidade da água σ_{stp} (mg.cm ⁻³)	16,980	3,709	4,633	11,434	15,923	18,535	11,869	
Índice de riqueza (Margalef)	1,74	2,69	2,01	1,91	2,50	2,65	2,25	
Índice de equitabilidade (Pielou)	0,91	0,72	0,87	0,79	0,90	0,89	0,85	
Índice de diversidade de Shannon (mits.cel ⁻¹)	1,47	1,72	1,58	1,58	1,77	1,87	1,67	

ESPECIES	FEV/06			ABR/06			JUN/05			AGO/05			OUT/05			DEZ/05		
	SJR	CED	CAJ	SJR	CED	CAJ	SJR	CED	CAJ	SJR	CED	CAJ	SJR	CED	CAJ	SJR	CED	CAJ
<i>Protoperidivium</i> sp2							X			X								
<i>Pyrophacus steinrai</i> *													X					

* Citações novas para o estado do Maranhão.



APÊNDICE F – Foto da estação de coleta de São José de Ribamar-MA.



APÊNDICE G – Foto da estação de coleta de Cedral-MA.



APÊNDICE H – Foto da estação de coleta de Cajapió-MA.



APÊNDICE I – Foto do tipo de embarcação utilizado durante as coletas.