

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA



**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO
MICROFITOPLÂNCTON E SUA UTILIZAÇÃO NO
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO
RESERVATÓRIO DE BOA ESPERANÇA – PI/MA**

Ivo Thadeu Lira Mendonça

Recife, PE
Fevereiro, 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA



**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO
MICROFITOPLÂNCTON E SUA UTILIZAÇÃO NO
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO
RESERVATÓRIO DE BOA ESPERANÇA – PI/MA**

Orientando: Ivo Thadeu Lira Mendonça

Orientadora: Prof^a. Ariadne do Nascimento Moura

Co-Orientador: Prof. William Severi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito à obtenção do título de **Mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura**.

Recife, PE
Fevereiro, 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

M539v Mendonça, Ivo Thadeu Lira Mendonça
Variação espacial e temporal do microfitoplâncton e sua utilização no monitoramento da qualidade de água do reservatório de Boa Esperança – PI / MA / Ivo Thadeu Lira Mendonça. -- 2009.
65 f. : il.

Orientador : Ariadne do Nascimento Moura
Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aqui – cultura) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.
Departamento de Pesca e Aquicultura,
Inclui bibliografia.

CDD 581.524

1. Fitoplâncton
 2. Biomonitoramento
 3. Estado trófico
 4. Índices ecológicos
 5. Reservatório hidroelétrico
 6. Eutrofização
- I. Moura, Ariadne do Nascimento
II. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE PESCA E AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
AQUICULTURA

**VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO MICROFITOPLÂNCTON E SUA
UTILIZAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO
RESERVATÓRIO DE BOA ESPERANÇA – PI/MA**

Por: Ivo Thadeu Lira Mendonça

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de **Mestre em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura** e aprovada em 18 / 02 / 2009 pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aqüicultura, em sua forma final.

Prof. Dr. Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Ariadne do Nascimento Moura - Orientadora
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Enide Esquinazi-Leça - Membro externo
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Alfredo Matos Moura Júnior - Membro externo
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. William Severi - Membro interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Karine Matos Magalhães – Membro externo (Suplente)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Valter e Jared, e irmã,
Nathália, por todos os incentivos
prestados.*

*Aos avôs, Aires, Maria do Carmo e
Jovelina, pelo início de meus passos.*

***In memoriam** à minha querida tia-
avó Maria Madalena.*

AGRADECIMENTOS

À professora Ariadne do Nascimento Moura, amiga e orientadora, por acolher e desenvolver acadêmica e profissionalmente este aluno com todo o empenho.

À parceira profissional de todos os momentos, Fábيا Gabriela Pflugrath Carraro, pelo companheirismo e auxílio nas atividades desenvolvidas nesta Dissertação.

Aos amigos, companheiros da labuta diária, do Laboratório de Taxonomia e Ecologia de Microalgas, os doutorandos Viviane e Ênio, os mestrandos Silvana e Emanuel, e os graduandos Helton, Micheline, João, Arthur, Péricles, Hugo e Rosângela, pelas valiosas colaborações prestadas a este trabalho.

A todos os colegas de turma que, de várias formas, contribuíram na formação e/ou desenvolvimento do censo crítico em ciclos de discussões, exposição de opiniões e debate de idéias, fundamental para a vida profissional.

Ao professor William Severi, Co-Orientador, por toda a assessoria prestada à consolidação deste estudo.

Ao professor Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos, Coordenador do Programa, pela porfia em resolução de percalços ocorridos neste Programa.

A todo corpo discente e funcionários do Programa, pelas contribuições prestadas.

À minha namorada, Paula, pelo apoio, compreensão e paciência estando ao meu lado durante esta etapa.

À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) e à Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE) por fornecerem os subsídios necessários à execução do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa através do Programa de Fomento à Pós-Graduação (PROF).

Aos demais que tiveram participação ativa ou passiva para a concretização deste trabalho.

RESUMO

Espécies oportunistas aumentam sua população em detrimento de outras que, outrora participavam da comunidade, mudando a estrutura populacional. Mudanças nessa estrutura podem ser utilizadas como ferramentas ecológicas em monitoramento de fontes poluidoras, pois corroboram na descrição de alterações do estado trófico em ecossistemas aquáticos. Sendo assim, objetivou-se inventariar e caracterizar as espécies de algas planctônicas do reservatório da Hidroelétrica de Boa Esperança, PI/MA, Brasil, ao longo de sua extensão e em diferentes períodos sazonais. Foram realizadas quatro coletas trimestrais, entre julho de 2006 e abril de 2007, em 17 estações amostrais. O material biológico foi obtido através de arrastos verticais ao longo da zona eufótica. Foram definidas as associações ecológicas e calculados índices bióticos. Foram identificados 189 táxons, distribuídos entre as Chlorophyta (94), Bacillariophyta (41), Cyanophyta (30), Euglenophyta (13), Dinophyta (4), Chrysophyta (3), Cryptophyta (3) e Xantophyta (1). As diversidades e densidades apresentaram diferenças entre os períodos de coleta, embora longitudinalmente tenham tendido à homogeneidade. A maior diversidade foi encontrada em outubro/06, 4,3 bit.org⁻¹, em BOA 04, enquanto a menor em julho/06, 0,6 bit.org⁻¹, em BOA 17, devido a densidade de *Aulacoseira granulata*. A maior densidade foi observada em janeiro/07, 114,8×10³ org.L⁻¹, em BOA 17, e a menor em abril/07, 1,4×10³ org.L⁻¹, em BOA. Durante o estudo, Cyanophyta e *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyta) foram a divisão algal e a espécie que apresentaram as maiores densidades, respectivamente. Os índices aplicados indicaram que o ambiente encontra-se, predominantemente, mesotrófico nos diferentes períodos do ano.

ABSTRACT

Opportunist species increase their population in detriment to others that previously participated in the assemblage, changing the ecosystem structure. Such changes can be used as ecological tools in pollutant sources monitoring, because they corroborate in the description of alterations of aquatic ecosystem trophic state. Therefore, this study aimed at surveying and characterizing the planktonic algae species of Boa Esperança Hydroelectric reservoir – PI/MA, Brazil, along its extension in different seasonal periods. Four quarterly surveys were carried out, between July 2006 and April 2007, in 17 sampling stations. The biological material was obtained through vertical tows along the euphotic zone. Algae ecological strategies and associations were defined and biotic indexes applied. 189 taxons were identified, distributed among Chlorophyta (94), Bacillariophyta (41), Cyanophyta (30), Euglenophyta (13), Dinophyta (4), Chrysophyta (3), Cryptophyta (3) and Xantophyta (1). The diversities and densities showed temporal differences, although tended to be longitudinally similar. The highest diversity was found in October 2006, $4,3 \text{ bit} \times \text{org}^{-1}$, in BOA 04, and the lowest was found in July 2006, $0,6 \text{ bit} \times \text{org}^{-1}$, in BOA 17, due the density of *Aulacoseira granulata*. The highest density was recorded in January 2007, $114,8 \times 10^3 \text{ org} \times \text{L}^{-1}$, in BOA 17, and the lowest in April 2007, $1,4 \times 10^3 \text{ org} \times \text{L}^{-1}$, in BOA 02. During the study, Cyanophyta and *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyta) were the algal division and the species that presented the highest densities, respectively. The indexes indicated that the environment was, predominantly, mesotrophic during the year sessions.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	5
AGRADECIMENTOS	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
SUMÁRIO.....	9
LISTAS DE TABELAS E FIGURAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1. Impactos em bacias hidrográficas continentais	14
2.2. Reservatórios de usinas hidroelétricas	14
2.3. Fitoplâncton em reservatórios hidroelétricos	15
2.4. Indicadores da qualidade ambiental.....	16
2.5. Eutrofização.....	19
3. ARTIGO CIENTÍFICO	20
Variação espacial e temporal do microfitoplâncton e sua utilização no monitoramento da qualidade de água de um reservatório hidroelétrico tropical	20
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
6. ANEXO I - GUIA AOS AUTORES.....	59
7. ANEXO II - GUIDE FOR AUTHORS.....	61

LISTAS DE TABELAS E FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO

Tabela 1 – Densidades totais ($\text{org}\times\text{L}^{-1}$) dos meses amostrados, associações fitossociológicas (AF) e estratégias ecológicas (EE) das algas planctônicas encontradas no reservatório de Boa Esperança – PI/MA, entre julho/2006 e abril/07.....	41
Figura 1 – Localização do reservatório de Boa Esperança na região Nordeste do Brasil (A) e das estações de coleta ao longo do reservatório (B).....	45
Figura 2 – Riqueza de espécies das algas planctônicas nas estações de coleta do reservatório de Boa Esperança – PI/MA, entre os meses de julho/06 e abril/07.	46
Figura 3 – Diversidade específica ($\text{bit}\times\text{org}^{-1}$) e equitabilidade das algas planctônicas nas estações de coleta do reservatório de Boa Esperança – PI/MA, durante os meses: A) julho/2006; B) outubro/2006; C) janeiro/2007; D) abril/2007.....	47
Figura 4 – Densidades fitoplanctônicas nas estações de coleta do reservatório de Boa Esperança – PI/MA, entre os meses de julho/06 e abril/07.	48
Figura 5 – Participação relativa das divisões algais na densidade total em cada estação no reservatório de Boa Esperança – PI/MA, durante os meses: A) julho/2006; B) outubro/2006; C) janeiro/2007; D) abril/2007.	49
Figura 6 – Estimativa da média dos índices de estado trófico (IET) e índice de estado trófico modificado (IET_M) (A), saprobidade (SI) (B), comunidade (Q_M) (C) e ecológico (Q) (D), para as estações do reservatório de Boa Esperança, entre os meses de julho/06 e abril/07. (---) limites inferior e superior do grau mesotrófico.	50

1. INTRODUÇÃO

O uso de água potável, nos últimos anos, teve acréscimos exponenciais em relação ao crescimento populacional, tornando a água um bem cada vez mais escasso (FAO, 2007), e apenas cerca de 1% da água para consumo está disponível em rios e lagos (TUNDISI, 2003). Esta situação toma-se como crítica, pois a água é indispensável para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e a sobrevivência da biota a ela relacionada.

O crescimento das cidades nas últimas décadas tem sido responsável pelo aumento da pressão das atividades antrópicas sobre os recursos naturais. Em todo o planeta, praticamente não existe um ecossistema que não tenha sofrido influência direta e/ou indireta, como por exemplo, contaminação de ambientes aquáticos e lençol freático, desmatamento e introdução de espécies exóticas, resultando na diminuição da diversidade de habitats e perda da biodiversidade (GOULART & CALLISTO, 2003).

No Brasil, numerosos rios possuem potencial de produção hidroelétrica, o que torna compreensível que o País tenha implantado um parque gerador de energia elétrica de base predominantemente hídrica, sendo, atualmente um dos maiores do mundo. A energia gerada em usinas hidroelétricas (UHE) dá sustentação ao desenvolvimento nacional, pois é responsável por quase 97% do total gerado no País, tornando-o altamente dependente da energia hídrica (REBOUÇAS, 2006).

No Nordeste, este potencial energético também é aproveitado, principalmente nos rios São Francisco e Parnaíba. Em meio ao curso do rio Parnaíba, foi implantada, na década de 70, a UHE de Boa Esperança, que tem o maior potencial de produção energética na região fora do eixo do São Francisco, com capacidade de gerar 237 mil kW de energia (CHESF, 2008).

A implantação de um reservatório artificial causa uma série de impactos ambientais na bacia em que é construído, o que requer o conhecimento prévio das condições de todo

ambiente (TUNDISI, 1990). A inundação de áreas anteriormente recobertas por uma flora e habitada por uma fauna edáfica característica gera um aporte de nutrientes na água que pode desencadear um processo de eutrofização (CRUZ & FABRIZY, 1995).

Segundo Vieira *et al.* (1998), o processo de eutrofização é a principal causa da degradação de ambientes lênticos, que consiste no enriquecimento das águas por substâncias fertilizantes, que propiciam o crescimento vegetal excessivo, de fitoplâncton ou macrófitas (TOLEDO-JÚNIOR *et al.*, 1983; HARREMOES, 1998).

Os ambientes aquáticos respondem ao aporte de nutrientes e matéria orgânica, através de um processo de depuração natural, o qual consiste na ciclagem dos nutrientes através de organismos decompositores, para serem reaproveitados pela comunidade fitoplanctônica (FCNYM, 2008a). Contudo, esta capacidade de ciclagem é limitada, podendo surgir problemas devido ao excesso de nutrientes, levando a um desequilíbrio ecológico, o que pode durar por longos períodos, dependendo da dinâmica da bacia de contribuição (JORGENSEN & VOLLENWEIDER, 1989).

A gestão dos recursos hídricos sempre foi baseada em características químicas das águas. A análise de um ecossistema, baseada apenas neste aspecto, entretanto, pode resultar em informações incompletas ou limitadas sobre a dinâmica do meio.

O entendimento da relação entre as características físico-químicas da água e a biota do ecossistema permite avaliar melhor, pois existem muitos seres vivos que se desenvolvem em meios bastante adversos, e outros que estão estritamente ligados a um determinado ambiente. Estes organismos que possibilitam o cruzamento das informações são denominados indicadores (DUFRENE & LEGENDRE, 1997).

A caracterização de espécies indicadoras também remete a espécies de ampla distribuição, características ecológicas bem determinadas, viabilidade em estudos

laboratoriais, mobilidade restrita, capacidade de bioacumulação e possibilidade de respostas sob condições anteriores ao instante de coleta no meio (MORENO & CALLISTO, 2005).

Sob este aspecto, alguns grupos de microalgas, principalmente cianofíceas, podem ser relacionados como indicadores ambientais, pois estão ligadas de maneira intrínseca com a disponibilidade de nutrientes no meio, podendo exibir um crescimento desordenado ou desaparecimento do local (FERREIRA *et al.*, 2005).

Considerando a importância dos reservatórios para a geração de energia elétrica na região Nordeste, faz-se necessário o seu monitoramento, tendo em vista a ampla distribuição geográfica-ecológica de diferentes grupos de algas. Há necessidade da caracterização limnológica e conhecimento do estado trófico destes reservatórios em escalas sazonais e espaciais, do levantamento quali-quantitativo das comunidades fitoplanctônicas neles presentes, além da avaliação de como a deterioração da qualidade de água pode comprometer seus múltiplos usos.

Portanto, objetivou-se inventariar as espécies de algas planctônicas e identificar aquelas indicadoras de qualidade de água para caracterizar o ambiente do reservatório de Boa Esperança, em diferentes períodos e ao longo do reservatório.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Impactos em bacias hidrográficas continentais

Diversas bacias sofrem degradação pela ação antrópica decorrente de atividades econômicas, sociais, entre outras, as quais exercem impactos diretos na vegetação, no solo e na qualidade das águas nos vários afluentes que as compõem (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1992).

O uso da água com pouco ou, em alguns casos, nenhum manejo gera conseqüências de difícil diagnóstico sobre a comunidade, diversidade das espécies e dinâmica do ecossistema (SOLEÉ *et al.*, 2008). A crescente urbanização e industrialização levaram ao aumento do volume de dejetos lançados nos cursos d'água, muitas vezes sem o tratamento adequado, resultando na elevação do teor de cargas orgânicas (BASTOS *et al.*, 2006) e hiperproliferação de microrganismos, por vezes prejudiciais à micro e macro biota de cada ambiente (COSTA *et al.*, 2006).

Estudos limnológicos em reservatórios assumem acentuada importância devido ao expressivo número de reservatórios construídos no Brasil, num período relativamente recente. A ecologia de reservatórios e a qualidade da água neles presente estão, fundamentalmente, relacionadas com os sistemas integrados que atuam na bacia hidrográfica, incluindo as múltiplas atividades humanas e seus impactos (TUNDISI, 1990).

2.2. Reservatórios de usinas hidroelétricas

Reservatórios são sistemas abertos que fazem parte de uma bacia hidrográfica, cujo seu funcionamento e estabilidade relativa dependem da rotatividade e renovação da água, advinda de outras áreas da bacia hidrográfica (ODUM, 1998). Para Prado (2002), reservatórios são sistemas aquáticos modificados, extremamente complexos e dinâmicos, que

apresentam as funções principais de manutenção da vazão dos cursos da água e atendimento às variações da demanda dos usuários.

Estes sistemas são construídos pelo barramento de um vale natural, ou pela formação artificial de lagos, associados a uma bacia de drenagem natural, com vazões defluentes controladas (CRUZ & FABRIZY, 1995). São considerados como um meio de transição entre um sistema lótico e um lântico (STRAŠKRABA & TUNDISI, 1999).

Durante os primeiros anos de um reservatório recém-formado existe um processo de eutrofização natural, estimulado pelo excesso de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, advindos do solo inundado e fitomassa, além de valores elevados de sólidos dissolvidos e suspensos na água (STRAŠKRABA & TUNDISI, 1999).

Em reservatórios e represas para geração de energia, já foram desenvolvidos trabalhos enfocando diferentes temáticas: ecologia de comunidades (HARREMOES, 1998; WU, 1999; CALLISTO *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2005; SILVA, 2005), geomorfologia (RIBEIRO *et al.*, 2005) e aspectos físico-químicos da água (TUNDISI, 1990; CRUZ & FABRIZY, 1995; LEHMANN & LACHAVANNE, 1999; STRAŠKRABA & TUNDISI, 1999; PRADO, 2002; REBOUÇAS, 2006). Contudo, são escassos no Norte-Nordeste, em especial no reservatório de Boa Esperança. Neste, Antonello (2006) explorou a sazonalidade das variáveis físico-químicas e estado trófico, e Pompêo *et al.* (1998) analisaram a composição fitoplanctônica do ambiente presente no reservatório. Poucos são os trabalhos que enfocam a temática de bioindicadores para a determinação do estado trófico.

2.3. Fitoplâncton em reservatórios hidroelétricos

Sobre a comunidade fitoplanctônica, são comuns estudos relacionados a modificações na estrutura populacional causadas por períodos sazonais (CALIJURI *et al.*, 2002), variação espacial (FALCO & CALIJURI, 2002; FELISBERTO & RODRIGUES,

2005; PIVATO *et al.* 2006) ou abordando ambas (BORGES *et al.*, 2008; DANTAS *et al.*, 2008), e variações ambientais (GOMES & MIRANDA, 2001; SILVA *et al.*, 2005).

A biota predominante em ecossistemas de reservatórios hidroelétricos de estado trófico elevado e certo tempo de residência, no que concerne a algas planctônicas, é tipicamente formada por Bacillariophyta e Cyanophyta (SANT'ANNA *et al.*, 2004; MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI, 2005).

Quando o sistema possui um grau trófico elevado, com grande aporte de nutrientes, a biota tende a ser formada por Cyanophyta, que agrupa algumas espécies capazes de produzir metabólitos tóxicos, chamados de cianotoxinas, os quais requerem atenção, pois são causa de perigos ambientais (BITTENCOURT-OLIVEIRA *et al.*, 2005). A presença destas cianotoxinas já foi observada em ecossistemas de hidroelétricas com ambientes eutrofizados (BITTENCOURT-OLIVEIRA *et al.*, 2005, SOTERO-SANTOS *et al.*, 2006).

Em reservatórios eutróficos, a atividade de produção primária e a biomassa fitoplanctônica são relativamente elevadas (GOMES *et al.*, 2002; DOS SANTOS *et al.*, 2003) e sem grandes variações ao longo do ano (CALIJURI & DOS SANTOS, 2001; HENRY *et al.*, 2006).

2.4. Indicadores da qualidade ambiental

A gestão dos recursos hídricos tem sido, tradicionalmente, baseada nas características químicas das águas. Embora as medidas físicas e químicas da coluna d'água retratem o status de um ecossistema, o ideal é a associação desses métodos com métodos biológicos, permitindo uma caracterização mais completa, muitas vezes necessária para o manejo adequado dos recursos hídricos existentes (CALLISTO *et al.*, 2005).

Mudanças na estrutura da biota numa escala espacial têm sido utilizadas como importantes ferramentas ecológicas em monitoramento de fontes poluidoras (SANDIN &

JOHNSON, 2000). Além disso, esses estudos corroboram na descrição de alterações do estado trófico de ecossistemas aquáticos continentais (ILIOPOULOU-GEORGUDAKI *et al.*, 2003; CALLISTO *et al.*, 2005; MOURA *et al.*, 2007).

O monitoramento biológico baseia-se em mudanças na estrutura e composição de comunidades de organismos aquáticos. Entretanto, o tempo necessário para se conhecer as respostas dos vários grupos de organismos presentes pode ser consideravelmente longo, pelo que grupos específicos têm sido selecionados (protozoários, ciliados, algas, macroinvertebrados bentônicos e peixes) e utilizados em diferentes métodos de avaliação ambiental (ROSENBERG & RESH, 1993).

Dentre a biota analisada estão: macroinvertebrados bentônicos (SAETHER, 1979; ROSENBERG & RESH, 1993; DUFRENE & LEGENDRE, 1997; SANDIN & JOHNSON, 2000; GOULART & CALLISTO, 2003), macrófitas aquáticas (EGLIN *et al.*, 1997; LEHMANN & LACHAVANNE, 1999), flora planctônica e perifítica (WU, 1999; CARDOSO & MOTTA-MARQUES, 2004; PADISÁK *et al.*, 2006; PARIKH *et al.*, 2006; SOLÉ *et al.*, 2008), ictiofauna (SCHULZ & MARTINS-JUNIOR, 2001; ILIOPOULOU-GEORGUDAKI *et al.*, 2003) e avifauna aquática (RODRIGUES & MICHELIN, 2005).

A utilização de bioindicadores para caracterização de estado trófico foi desenvolvida, com sucesso, em ambientes lóticos: rios (WU, 1999; WU & KOW, 2002; ILIOPOULOU-GEORGUDAKI *et al.*, 2003; CALLISTO *et al.*, 2005; MORENO & CALLISTO, 2005; BASTOS *et al.*, 2006); e ambientes lênticos: lagos, reservatórios e represas (HARREMOES, 1998; LEHMANN & LACHAVANNE, 1999; BEYRUTH, 2000; PRADO, 2002; CARDOSO & MOTTA-MARQUES, 2004; FERREIRA *et al.*, 2005).

A extensa diversidade de organismos, que podem ser utilizados como indicadores de trofia ambiental, requerem diferentes metodologias de estudos com variações analíticas e descritivas, o que é bem determinado em literatura (NYGAARD, 1949; SLÁDEČEK, 1973;

SAETHER, 1979; DUFRENE & LEGENDRE, 1997; LEHMANN & LACHAVANNE, 1999; WU, 1999; WU & KOW, 2002; PADISÁK *et al.*, 2006).

As ditomáceas perifíticas são as algas mais utilizadas em estudos de monitoramento ambiental (DUFRENE & LEGENDRE, 1997; WU, 1999; ILIOPOULOU-GEORGUDAKI *et al.*, 2003; PADISÁK *et al.*, 2006), devido à sua estreita relação com o substrato ao qual estão fixadas. As cianobactérias também são um grupo alvo de pesquisas, pois possuem importantes relações entre a qualidade da água e a ocorrência de florações (FERREIRA *et al.*, 2005; SILVA, 2005; COSTA *et al.*, 2006; PARIKH *et al.*, 2006), e associações de sucessão ecológica (BEYRUTH, 2000).

De acordo com Goulart & Callisto (2003), quanto à tolerância de macroinvertebrados bentônicos frente a adversidades ambientais, pode-se classificar os indicadores em três grupos principais (existem exceções dentro de cada grupo):

- Organismos sensíveis ou intolerantes: caracterizados por terem a necessidade de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido na água. Normalmente, são habitantes de ambientes com alta diversidade de habitats e microhabitats;
- Organismos tolerantes: a necessidade de concentrações elevadas de oxigênio dissolvido é menor e o requerimento da diversidade de habitats e microhabitats também diminui, em função de uma maior plasticidade do grupo; e
- Organismos resistentes: organismos capazes de viver em condição de anóxia (depleção total de oxigênio) por várias horas, além de serem detritívoros, alimentando-se de matéria orgânica, o que favorece a sua adaptação a ambientes mais adversos.

Reynolds *et al.* (2002) classificaram algas planctônicas em 31 associações funcionais a partir dos princípios de ecologia das espécies, de interações filogenéticas e a variação sazonal causada pela mudança ambiental. Estas associações fitoplanctônicas e suas estratégias

da sobrevivência são boas ferramentas para caracterizar e prever a dinâmica de ecossistemas aquáticos (MOURA *et al.*, 2007), assumindo o papel de bioindicadores ambientais.

2.5. Eutrofização

A eutrofização é um processo largamente abordado na literatura (TOLEDO-JÚNIOR *et al.*, 1983; TUNDISI, 1990; JORGENSEN & VOLLENWEIDER, 1989; WETZEL, 1993; DUFRENE & LEGENDRE, 1997; VIEIRA *et al.*, 1998; STRAŠKRABA & TUNDISI, 1999; SILVA, 2005; PARIKH *et al.*, 2006; SOLÉ *et al.*, 2008), constituindo um dos estados da sucessão natural dos ecossistemas aquáticos. Existe um processo de elevada acumulação dos nutrientes no meio, em decorrência da ciclagem de matéria orgânica através do processo de depuração, alterando as condições de equilíbrio, propiciando um desenvolvimento exponencial das populações de fitoplâncton em períodos de tempo relativamente curtos (FCNYM, 2008b).

Este quadro eutrófico quase sempre reflete um desequilíbrio ambiental, onde algumas espécies oportunistas aumentam sua população em detrimento de outras que outrora participavam da mesma comunidade (CARDOSO & MOTTA-MARQUES, 2004).

Para a determinação de graus de trofia de um ambiente existem vários índices baseados em diferentes métodos matemáticos e dados coletados (CETESB, 2002), dos quais o mais difundido é o índice de Carlson (1977) (TOLEDO-JÚNIOR *et al.*, 1983; TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1992; MERCANTE & TUCCI-MOURA, 1999; RIBEIRO *et al.*, 2005; ANTONELLO, 2006), que determina o processo de eutrofização em ambientes temperados.

3. ARTIGO CIENTÍFICO

USE OF MICROPHYTOPLANKTON AND RELATED ECOLOGICAL INDEXES ON
THE EVALUATION OF ITS SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION IN A TROPICAL
HYDROELECTRIC RESERVOIR

VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO MICROFITOPLÂNCTON E SUA
UTILIZAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE UM
RESERVATÓRIO HIDROELÉTRICO TROPICAL

Artigo científico a ser encaminhado, a julgo,
para o periódico **Journal of Environmental
Management** – ISSN 0301-4797, editado pela
Elsevier Publisher.

1 VARIACÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO MICROFITOPLÂNCTON E SUA
2 UTILIZAÇÃO NO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE UM
3 RESERVATÓRIO HIDROELÉTRICO TROPICAL
4

5 Ivo Thadeu Lira Mendonça¹, Ariadne do Nascimento Moura^{2*}, William Severi¹
6

7 ¹ Department of Fisheries and Aquaculture, Federal Rural University of Pernambuco.
8 Dom Manoel de Medeiros Street, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brazil. Zip
9 Code: 52.171-900.

10 ² Department of Biology, Federal Rural University of Pernambuco. Dom Manoel de
11 Medeiros Street, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brazil. Zip Code: 52.171-900.

12 *Corresponding author: fax number: (55) 81 3320 6360; e-mail: ariadne@db.ufrpe.br
13

14 Abstract

15 The spatial-temporal variation of the planktonic algae of Boa Esperança
16 hydroelectric reservoir – PI/MA, Brazil, and its use in water quality monitoring is
17 analyzed. Four quarterly surveys were carried out, between July 2006 and April 2007,
18 in 17 sampling stations. The biological material was obtained through vertical tows
19 along the euphotic zone. Algae ecological strategies and associations were defined and
20 biotic indexes applied. In this study, 189 taxons were identified, distributed among
21 Chlorophyta (94), Bacillariophyta (41), Cyanophyta (30), Euglenophyta (13),
22 Dinophyta (4), Chrysophyta (3), Cryptophyta (3) and Xantophyta (1). The diversities
23 and densities showed temporal differences, although tended to be longitudinally similar.
24 The highest diversity was found in October 2006, 4,3 bit×org⁻¹, in BOA 04, and the
25 lowest was found in July 2006, 0,6 bit×org⁻¹, in BOA 17, due the density of *Aulacoseira*
26 *granulata*. The highest density was recorded in January 2007, 114,8×10³ org×L⁻¹, in
27 BOA 17, and the lowest in April 2007, 1,4×10³ org×L⁻¹, in BOA 02. During the study,
28 Cyanophyta and *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyta) were the algal division and
29 species that presented the highest densities, respectively. The indexes indicated that the
30 environment was, predominantly, mesotrophic during the year sessions.
31

32 Keywords: Eutrophication; Biological indicators; Biotic index
33

34 1. Introdução

35 O uso de água, nos últimos anos, teve acréscimos exponenciais em relação ao
36 crescimento populacional (FAO, 2007), tornando a água cada vez mais escassa. A
37 construção de reservatórios artificiais têm sido difundida como estratégia para reduzir
38 tal dificuldade (Graf, 2006).

39 A prática de represamento de rios para aproveitamento dos recursos hídricos
40 disponíveis, visando seus usos múltiplos, dentre os quais a geração de energia elétrica
41 (Pearce, 1995), tem como consequência a submersão da flora e da fauna de seu entorno,
42 resultando na elevação do teor de cargas orgânicas do ambiente (Ribeiro *et al.*, 2005).

43 A acumulação de nutrientes no meio pode alterar as condições de equilíbrio,
44 propiciando o desenvolvimento exponencial das populações de fitoplâncton, em
45 períodos de tempo relativamente curtos (Sommer *et al.*, 1993), causando um
46 desequilíbrio ambiental, com aumento das populações de espécies oportunistas, em
47 detrimento de outras que outrora participavam da comunidade (Cardoso and Motta-
48 Marques, 2004), mudando sua estrutura populacional.

49 Em reservatórios tropicais, encontram-se estudos relacionados à ecologia
50 (Villanueva *et al.*, 2006) e estrutura populacional do fitoplâncton influenciada por
51 variações ambientais (Clayton and Champion, 2006; Rashad and Ismail, 2000; Silva *et*
52 *al.*, 2005), sazonais (Borges *et al.*, 2008; Dantas *et al.*, 2008; Kivrak, 2006), e espaciais
53 (Bazhenova, 2007; Dantas *et al.*, 2008; Falco and Calijuri, 2002; Pivato *et al.* 2006).

54 Arranjos estruturais de comunidades aquáticas têm sido utilizados como
55 ferramentas no monitoramento de variações ambientais (Sandin and Johnson, 2000),
56 auxiliando na descrição de alterações do estado trófico (Iliopoulou-Georgudaki *et al.*,
57 2003) e eventos ecológicos (Moura *et al.*, 2007) em ecossistemas aquáticos

58 continentais. Reynolds *et al.* (2002) classificaram algas planctônicas em 31 associações
59 funcionais a partir da ecologia das espécies, de interações filogenéticas e suas relações
60 com as características abióticas do ambiente.

61 Dentre os indicadores biológicos de variações ambientais utilizados em lagos e
62 reservatórios estão macroinvertebrados bentônicos (Saether, 1979), macrófitas aquáticas
63 (Lehmann and Lachavanne, 1999), flora planctônica e perifítica (Cardoso and Motta-
64 Marques, 2004; Padisák *et al.*, 2006; Silva, 2005) e avifauna aquática (Rodrigues and
65 Michelin, 2005).

66 Alguns grupos de microalgas podem ser empregados como bioindicadores no
67 monitoramento ambiental, pois são relacionados à disponibilidade de nutrientes no meio
68 (Reynolds, 1998), podendo exibir um crescimento desordenado ou desaparecimento
69 local (Sandin and Johnson, 2000).

70 Considerando a importância econômica de reservatórios hidroelétricos,
71 sobretudo em regiões semi-áridas, como a região Nordeste do Brasil, a ampla
72 distribuição geo-ecológica dos diferentes grupos de algas e a possibilidade da sua
73 utilização como bioindicadores, faz-se necessário o conhecimento das algas
74 planctônicas visando o monitoramento e o uso sustentável do reservatório.

75 Neste sentido, o presente estudo objetivou inventariar e caracterizar a variação
76 espaço-temporal de algas planctônicas do reservatório de Boa Esperança, Nordeste do
77 Brasil, e avaliar seu uso como indicadores da qualidade de água.

78

79 2. Material e Métodos

80 O reservatório da usina hidroelétrica de Boa Esperança (06°45'S e 043°36'W)
81 (Fig. 1), implantado em 1968, é formado pelo represamento do rio Parnaíba, entre os

82 estados de Piauí e Maranhão – Nordeste do Brasil, possuindo volume útil de 1.917 hm³,
83 vazão regularizada de 352 m³×s⁻¹ e área de 352,2 km² (CHESF, 2008). Encontra-se
84 inserido em uma região de transição equatorial a semi-árida, de clima Aw (Köppen,
85 1936), com, no período de estudo, temperatura média anual de 29,1±0,8°C, insolação
86 média de 2.800 horas e pluviosidade média de 1.200 mm×ano⁻¹ (INMET, 2008).

87 Foram realizadas quatro coletas trimestrais, entre julho de 2006 e abril de 2007,
88 em 17 estações geo-referenciadas (Fig. 1), sendo BOA 05 a BOA 16 com características
89 lânticas, e BOA 01 a BOA 04, e BOA 17 com características lólicas.

90 O material biológico foi obtido por coletas entre o limite da zona eufótica,
91 determinada por fotômetro LI-COR[®] LI-250[®], até a superfície, a fim de obter algas de
92 diferentes profundidades. Os volumes filtrados foram calculados a partir da equação:
93 Volume (m³) = seção transversal da rede (m²) × distância percorrida (m), corresponde à
94 profundidade de arrasto ao longo da coluna d'água. Estes arrastos foram realizados com
95 rede cônico-cilíndrica, abertura de malha 25 µm, e as amostras, preservadas com Lugol
96 4% até o momento da análise.

97 Ao longo do estudo, as estações do reservatório de Boa Esperança possuíam
98 variações abióticas apresentando profundidade (Z_T) mínima de 1,5 m e máxima de 38,0
99 m (15,4± 9,8 m), transparência de Secchi (Z_{SC}) entre 0,2 e 2,6 m (1,1± 0,5 m), zona
100 eufótica (Z_{EU}) entre 0,64 e 8,33 m (3,79± 1,87 m), vazão afluente de 160 a 416 m³×s⁻¹
101 (312± 144 m³×s⁻¹), níveis de oxigênio dissolvido (D.O.) próximo à saturação sem
102 grande variação (5,7± 1,1 mg×L⁻¹ O₂), pH neutro a levemente ácido (6,8± 0,5),
103 nitrogênio total (N_T) baixo (35,1± 31,1 µg×L⁻¹ N), fósforo total (P_T) elevado (92,1± 30,3
104 µg×L⁻¹ P), relação N_T:P_T entre 1:1 em janeiro/2007, e 6:1 em outubro/2006, sendo

105 limitada por nitrogênio, e concentração de clorofila *a* entre 0,7 e 7,4 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($2,1 \pm 1,1$
106 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) (William Severi, dados não publicados).

107 As amostras foram observadas sob microscópio óptico com ocular
108 micrometrada Zeiss[®] Jenaval[®], em aumento de 40 \times e 100 \times , em lâminas semi-
109 permanentes (Carr *et al.*, 1986), e os táxons identificados até o menor nível hierárquico
110 possível, utilizando-se bibliografia pertinente a cada grupo algal (John *et al.*, 2002;
111 Komárek and Anagnostidis, 1999, 2005; Lange-Bertalot, 1995). A densidade ($\text{org}\cdot\text{L}^{-1}$)
112 foi determinada segundo Utermöhl (1958) por contagem de um transecto. Todo acervo
113 ficológico encontra-se depositado no Herbário Prof. Vasconcelos Sobrinho da
114 Universidade Federal Rural de Pernambuco.

115 Foram calculadas a abundância relativa, enquadrada em categorias (Lobo and
116 Leighton, 1986), a diversidade específica ($\text{bit}\cdot\text{org}^{-1}$) e a equitabilidade, classificadas em
117 categorias (Pielou, 1977).

118 Foi realizado o enquadramento nas associações fitossociológicas (Reynolds *et*
119 *al.*, 2002) e nas estratégias ecológicas das espécies (Kruk *et al.*, 2002).

120 Para cada amostra, foram determinados: a média entre os índices de estado
121 trófico (*IET* chl*a*, *IET* P_T e *IET* Z_{SC}) – *IET* (Carlson, 1977), índice de estado trófico
122 modificado – *IET*_M (Toledo-Júnior *et al.*, 1983), índice de saprobidade – *SI* (Sládeček,
123 1973), índice de composição da comunidade – *Q*_M (Nygaard, 1949) e índice ecológico –
124 *Q* (Padisák *et al.*, 2006), cujos valores foram utilizados para classificar o grau de trofia
125 do reservatório.

126 Os dados obtidos foram tratados por meio de estatística descritiva e testes de
127 variâncias ($F_C \leq 0,05$) com auxílio do *software* Statistica[®] v.6 (StatSoft, 2001). Estes

128 foram analisados temporalmente, em relação às campanhas de coleta, e espacialmente,
129 quanto à localização das estações amostrais ao longo do reservatório.

130

131 3. Resultados

132 No reservatório de Boa Esperança, foram identificados 189 táxons
133 infragenéricos distribuídos em oito divisões algais: 94 Chlorophyta, 41 Bacillariophyta,
134 30 Cyanophyta, 13 Euglenophyta, 4 Dinophyta, 3 Chrysophyta, 3 Cryptophyta e 1
135 Xantophyta (Tabela 1).

136 Dentre os táxons identificados, a classe melhor representada foi Chlorophyceae
137 com 94 espécies, seguida por Cyanophyceae com 30 e Bacillariophyceae com 18. Para
138 as ordens, as melhores representadas foram Chlorococcales, Desmidiiales e
139 Chroococcales, reunindo 58, 23 e 14 espécies, respectivamente (Tabela 1).

140 Os gêneros que apresentaram a maior riqueza de espécies foram *Scenedesmus*
141 (10) e *Staurastrum* (8), pertencentes a Chlorophyta, *Trachelomonas* (7), pertencente a
142 Euglenophyta, e *Oscillatoria* (5), pertencente a Cyanophyta (Tabela 1).

143 O mês de maior riqueza de espécies foi janeiro/2007 ($F=15,2$; $F_C=7,8$) quando
144 foram identificadas 96 espécies em todas as estações. Neste período, foram registradas
145 32 espécies em BOA 14 e 29 em BOA 11. Espacialmente, a riqueza não diferiu entre as
146 estações amostrais ($F=20,2$; $F_C=26,3$) (Fig. 2).

147 A análise da diversidade de espécies entre os períodos de coleta mostrou haver
148 diferença significativa entre os meses amostrados ($F=33,2$; $F_C=7,8$). Espacialmente, a
149 diversidade de espécie não difere entre as estações ($F=3,7$; $F_C=26,3$). A maior
150 diversidade foi observada em outubro de 2006 ($4,3 \text{ bit} \times \text{org}^{-1}$), em BOA 04, e a menor
151 em julho de 2006 ($0,6 \text{ bit} \times \text{org}^{-1}$), em BOA 17. A equitabilidade foi, predominantemente,

152 baixa durante todo o período de estudo e ao longo de todo o reservatório, variando entre
153 0,1 e 0,6 (Fig. 3).

154 Foram verificadas diferenças significativas entre os períodos de coleta nas
155 densidades algais ($F=29,0$; $F_C=7,8$), embora sem diferenças entre as estações ($F=13,4$;
156 $F_C=26,3$), contudo apresentaram uma tendência de aumento da densidade em direção a
157 barragem. As maiores densidades foram registradas em janeiro/2007 na estação BOA 17
158 ($114,8 \times 10^3 \text{ org} \times \text{L}^{-1}$) e a menor em abril/2007 na BOA 02 ($1,4 \times 10^3 \text{ org} \times \text{L}^{-1}$) (Fig. 4).

159 Foi verificado que Cyanophyta apresentou as maiores participações nas
160 densidades em todo o período de estudo ($F=22,9$; $F_C=14,1$) e ao longo do reservatório
161 ($F=107,7$; $F_C=14,1$), seguida por Chlorophyta e Bacillariophyta, embora Bacillariophyta
162 tenha tido densidades elevadas em julho/2006 e Chlorophyta em outubro/2006 (Fig. 5).

163 A análise das associações fitossociológicas mostrou a ocorrência de 24 delas,
164 sendo nove Cyanophyta, seis Chlorophyta, cinco Bacillariophyta, duas Euglenophyta,
165 uma Chrysophyta, e uma Cryptophyta (Tabela 1).

166 *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Aphanocapsa incerta*
167 (Lemmermann) Cronberg and Komárek, *Geitlerinema amphibium* (Agardh)
168 *Anagnostidis*, *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg, *Oocystis pusilla* Hansgirg,
169 *Chlorella vulgaris* Beijerinck e *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek
170 apresentaram maiores densidades no estudo. Estas espécies pertencem às associações P,
171 K, S₁, W₂, F, X₁ e S₁ e tem como estratégias ecológicas R, CS, R, R/CR/CRS, CS, C e
172 R, respectivamente (Tabela 1).

173 Destas, *Aulacoseira granulata* foi dominante em julho/2006, contudo foi rara
174 nos meses seguintes. As demais foram consideradas abundantes durante todo o estudo,

175 as quais não apresentaram diferenças entre si, embora sobressaindo numericamente
176 sobre as demais.

177 *Cyclotella stelligera* (Cleve and Grunow) Heurck e *Gonatozygon pilosum*
178 Wolle ainda não foram enquadradas em associações, as quais sugerimos enquadrar nas
179 associações B e J, e para *Eudorina elegans* Ehrenberg, *Mougeotia* sp. e *Urosolenia*
180 *longiseta* (Zacharias) Bukhtiyarova são sugeridas as estratégias CS, S e S,
181 respectivamente (Tabela 1), uma vez que mostraram comportamentos populacionais
182 semelhantes à ecologia das classificações nas quais foram enquadradas.

183 A média dos índices de estado trófico (*IET*) ($F=19,2$; $F_C=7,8$) e o índice de
184 estado trófico modificado (*IET_M*) ($F=20,1$; $F_C=7,8$) calculados mostraram que
185 julho/2006 possui o mais elevado grau trófico durante o período estudado. Em
186 contrapartida, não existiram diferenças entre as estações, os quais classificaram o
187 reservatório como eutrófico pelo *IET* ($F=14,5$; $F_C=25,0$), e mesotrófico pelo *IET_M*
188 ($F=32,8$; $F_C=25,0$) (Fig. 6).

189 O índice de saprobidade (*IS*) aplicado para cada período de estudo mostrou que
190 o grau de saprobidade foi estável ao longo do ano, o qual enquadra o reservatório como
191 β -mesosapróbio (Fig. 6).

192 O índice da composição de comunidade (*Q_M*) estimado para cada amostra
193 apontou que esta não diferiu entre os períodos ($F=6,7$; $F_C=7,8$) ou estações de coleta
194 ($F=14,4$; $F_C=26,3$), classificando o reservatório como eutrófico (Fig. 6).

195 O índice ecológico (*Q*) obtido para cada amostra apontou que a comunidade
196 pertencente ao mês de julho/2006, com grande incidência de *Aulacoseira granulata*, foi
197 característica de um ambiente menos impactado do que a encontrada em janeiro/2007,
198 de altas densidades de *Aphanocapsa incerta* e *Trachelomonas volvocina* ($F=18,5$;

199 $F_C=7,8$), embora não existam diferenças entre as estações de coleta ($F=12,6$; $F_C=26,3$),
200 cujos índices enquadraram o reservatório como mesotrófico (Fig. 6).

201

202 4. Discussão

203 A alteração da estrutura fitoplanctônica pode ser associada a variações
204 abióticas no meio, uma vez que, o aumento de fontes de carbono, poluentes orgânicos
205 ou outras variáveis não mensuráveis no meio pode alterar a estrutura (composição,
206 distribuição ou produtividade) das comunidades e a dinâmica de ecossistemas aquáticos
207 (Lehmann and Lachavanne, 1999; Solé *et al.*, 2008; Wu, 1999).

208 A composição da flora planctônica no reservatório de Boa Esperança possui
209 elevada riqueza de espécies, quando comparada àquela observada em outros estudos em
210 reservatórios hidroelétricos do Brasil (Borges *et al.*, 2008; Dantas *et al.*, 2008; Pivato *et*
211 *al.*, 2006; Silva *et al.*, 2005) e do mundo (Bazhenova, 2007; Kivrak, 2006). Foi
212 constatado um aumento da riqueza nos últimos dez anos, pois em 1996, Pompêo *et al.*
213 (1998) encontraram apenas 102 táxons. Adimite-se que o esforço de coleta e o aporte de
214 matéria orgânica contribuíram para o elevado número de táxons registrados no presente
215 estudo.

216 A maior riqueza de Chlorophyta e Bacillariophyta registrada no reservatório
217 de Boa Esperança, é comum a outros reservatórios hidroelétricos (Bazhenova, 2007;
218 Borges *et al.*, 2008; Dantas *et al.*, 2008; Kivrak, 2006; Pivato *et al.*, 2006; Pompêo *et*
219 *al.*, 1998; Silva *et al.*, 2005). A riqueza fitoplanctônica, quando em ecossistemas de
220 reservatórios hidroelétricos de estado trófico elevado e curto tempo de residência, é
221 tipicamente formada por Cyanophyta e Bacillariophyta (Calijuri & Dos Santos, 2001;

222 Henry *et al.*, 2006), o que permite inferir sobre o estado mesotrófico para Boa
223 Esperança.

224 Pompêo *et al.* (1998), coletando amostras de rede em 6 pontos distintos deste
225 reservatório, encontraram diferenças espaciais quanto à riqueza, apontando maior
226 presença de Cyanophyta na calha central do reservatório, e de Chlorophyta no seu início
227 e próximo à barragem, o que difere do encontrado no presente estudo, no qual a riqueza
228 foi espacialmente semelhante.

229 Pivato *et al.* (2006) e Pompêo *et al.* (1998) apontam *Scenedesmus* e
230 *Staurastrum*, respectivamente, como os gêneros mais especiosos em hidroelétricas, o
231 que corrobora com o presente estudo.

232 A maior densidade de Cyanophyta em Boa Esperança, principalmente de
233 Chroococcales e Nostocales, possivelmente decorreu da limitação na disponibilidade de
234 nitrogênio. A baixa relação $N_T:P_T$ pode ter sido limitante para as demais espécies
235 favorecendo a população de Cyanophyta (Smith, 1983). Cyanophyta é, freqüentemente,
236 relacionada como a divisão algal mais representativa na densidade de reservatórios
237 hidroelétricos (Borges *et al.*, 2008; Dantas *et al.*, 2008; Kivrak, 2006; Pivato *et al.*,
238 2006; Silva *et al.*, 2005).

239 A alternância de dominância entre Bacillariophyta, Chlorophyta e Cyanophyta
240 foram associadas a alterações nas condições ambientais. Esta alternância na comunidade
241 fitoplanctônica resulta das necessidades ambientais características de cada grupo algal
242 (Kruk *et al.*, 2002; Reynolds, 1998; Reynolds *et al.*, 2002; Sommer *et al.*, 1993), que
243 quando satisfeitas favorecem seu incremento numérico em relação à outros grupos.

244 As espécies dominantes e abundantes foram associadas a ambientes com
245 grande zona de mistura, soerguimento de material sedimentado, alta disponibilidade de

246 nutrientes e alterações periódicas nos aspectos físico-químicos da água (Padisák *et al.*,
247 2006; Reynolds, 1998; Reynolds *et al.*, 2002).

248 Em janeiro/2007 foi encontrado um elevado número de Euglenophyta, que
249 possui muitas espécies relacionadas à ambientes eutrofizados e com grande quantidade
250 de matéria orgânica (Reynolds *et al.*, 2002), como *Trachelomonas volvocina*, apontada
251 como indicadora de ambiente mesosapróbico (Sládeček and Perman, 1978).

252 As associações fitossociológicas e estratégias ecológicas encontradas
253 apontaram ambientes ricos em nutrientes, com baixa penetração de luz e sem
254 estratificação, embora com pouca turbulência, demonstrando que Boa Esperança possui
255 um sistema ecológico dinâmico, entretanto com grande capacidade de depuração, assim
256 entendido pelo sucesso de muitos grupos fitossociológicos. As associações P, K, S₁, W₂,
257 X₁ e S₁ indicam excesso de material eutrofizante e limitação de fontes energéticas,
258 enquanto a associação F indica o inverso (Kruk *et al.*, 2002; Leitão *et al.*, 2003; Moura
259 *et al.*, 2007; Padisák *et al.*, 2006; Reynolds, 1998; Reynolds *et al.*, 2002).

260 Numa represa hidroelétrica francesa, baseados no sistema de associações
261 fitossociológicas, Leitão *et al.* (2003) verificaram que a substituição entre as
262 associações C-X₂ → C-X₁ → F-P → K-T → T, em termos de densidade, é típica de
263 ambientes mesotróficos, o que corresponde ao transcorrer de um ambiente com acúmulo
264 de nutrientes para um de alta disponibilidade energética. Este sistema de substituição foi
265 semelhante ao encontrado no presente estudo, onde foi visto P-J → S₁-F → K-W₂ →
266 S_N-A, quando existia um ambiente com elevada carga orgânica, o qual passou a ter
267 grande penetração de luz.

268 Barramentos de bacias hidrográficas podem provocar a eutrofização do meio
269 através da elevação do teor de cargas orgânicas, causada pela submersão da flora e

270 fauna edáfica de seu entorno (Ribeiro *et al.*, 2005). Esta afirmação não considera o
271 poder de depuração do sistema, o qual busca formas de alcançar o equilíbrio com o
272 decorrer dos anos. Para Boa Esperança, a elevada idade confere um alto grau de
273 estabilidade ambiental, embora ainda não seja possível afirmar sobre o equilíbrio do
274 meio.

275 A resposta de bioindicadores à ações impactantes acontece ao longo do tempo,
276 acompanhando as mudanças no estado de trofia do ecossistema (Callisto *et al.*, 2005;
277 Iliopoulou-Georgudaki *et al.*, 2003).

278 A interferência causada pela entrada de cargas orgânicas através da maior
279 afluência, em novembro/2006, foi observada ainda em janeiro/2007, visto pela floração
280 de Euglenophyta, com reflexo nas respostas dos índices biológicos. Estes foram
281 ferramentas que descreveram a dinâmica trófica do reservatório, assim como os índices
282 de estado trófico, embora alguns índices tenham apresentado respostas diferentes sobre
283 a mesma amostra, o que deve-se ao arranjo da comunidade (Padisák *et al.*, 2006; Silva,
284 2005; Sládeček, 1973; Wu, 1999), uma vez que baseiam-se na composição algal.

285 Metodologias de determinação de estado trófico fundamentadas na biota tem-
286 se mostrado eficientes para reservatórios de regiões tropicais (Crossetti and Bicudo,
287 2008; Silva, 2005; Wu, 1999) e temperadas (Cardoso and Motta-Marques, 2004;
288 Padisák *et al.*, 2006; Walley *et al.*, 2001).

289 O estado trófico do reservatório de Boa Esperança durante o ano de 2004,
290 baseado no IET e IET_M , foi considerado, predominantemente, mesotrófico ao longo do
291 reservatório (Antonello, 2006), o que ratifica o encontrado neste trabalho.

292 A estimativa encontrada pelo Q_M foi considerada superestimada, pois difere
293 das respostas dos demais índices aplicados. Supõe-se que isto deva-se à presença de

294 espécies raras, não ponderadas na comunidade, à distribuição das espécie em relação ao
295 ambiente, ou, à maior riqueza de ambientes tropicais em relação àquela de ambientes
296 temperados (Silva, 2005).

297 5. Conclusões

298 O reservatório de Boa Esperança possui uma elevada riqueza de espécies com
299 baixa densidade fitoplanctônica, características de ambiente tropical com diversidade
300 elevada e alto grau de estabilidade ecológica, apresentando-se predominantemente,
301 mesotrófico ao longo do ano.

302 A alteração das condições ambientais, ao longo do reservatório e meses do ano,
303 influenciam na composição, distribuição florística e estado trófico do reservatório.

304 O uso dos índices ecológicos IS e Q , baseados no fitoplâncton, são boas
305 ferramentas para o acompanhamento da trofia em reservatórios hidroelétricos tropicais,
306 embora a aplicabilidade deles no ambiente estudado, necessite ser previamente avaliada.

307 Os resultados obtidos para o índice ecológico Q_M indicam que este método é
308 insatisfatório para a determinação trófica em reservatórios hidroelétricos tropicais.

309 *Aulacoseira granulata*, *Aphanocapsa incerta*, *Geitlerinema amphibium*,
310 *Trachelomonas volvocina*, *Oocystis pusilla*, *Chlorella vulgaris* e *Pseudanabaena*
311 *limnetica* são as espécies que melhor descrevem as condições ambientais e suas
312 alterações no reservatório estudado.

313

314 6. Agradecimentos

315 À Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) e à Fundação
316 Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE), por fornecerem os
317 subsídios à execução do trabalho. À equipe do Laboratório de Limnologia

318 (DEPAq/UFRPE), pelo apoio nas coletas de dados ambientais e amostrais utilizados no
319 presente trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
320 (CAPES), pela concessão de bolsa de Mestrado a Ivo Thadeu Lira Mendonça.

321

322 7. Referências

- 323 Antonello, A. Influência das variações sazonais e espaciais nas variáveis limnológicas
324 do reservatório de Boa Esperança, rio Parnaíba, PI-MA. M.Sc. Dissertation, Federal
325 Rural University of Pernambuco, 2006.
326 <<http://pgpa.ufrpe.br/trabalhos/2006/t2006aa.pdf>>. Acess: May'08
- 327 Bazhenova, O.P., 2007. Phytoplankton structure and water saprobity in the upper and
328 middle Irtysh. Russ. J. Ecol., 38 (2), 128-130.
- 329 Borges, P.A.F., Train, S., Rodrigues, L.C., 2008. Spatial and temporal variation of
330 phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. Hydrobiologia, 607, 63–74.
- 331 Calijuri, M.C., Dos Santos, A.C.A., 2001. Temporal variations in phytoplankton
332 primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP – Brazil).
333 Hydrobiologia, 445, 11–26.
- 334 Callisto, M., Goulart, M., Barbosa, F.A.R., Rocha, O., 2005. Biodiversity assessment of
335 benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower São Francisco
336 River (Northeastern Brazil). Braz. J. Biol., 65 (2), 1-6.
- 337 Cardoso, L.S., Motta-Marques, D.M.L., 2004. Seasonal composition of the
338 phytoplankton community in the Itapeva lake (north coast of Rio Grande do Sul –
339 Brazil) in function of hydrodynamics aspects. Acta Limnol. Bras., 16 (4), 401-416.
- 340 Carlson, R.E., 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Ocean., 22 (2), 361-369.

- 341 Carr, J.M., Hergenrader, G.L., Troelstrup-Jr, N.H., 1986. A simple, inexpensive method
342 for cleaning diatoms. *T. Am. Microsc. Soc.*, 105, 152-157.
- 343 CHESF, 2008. Descrição do Aproveitamento de Boa Esperança.
344 <http://www.chesf.gov.br/energia_usinas_boa_esperanca.shtml>. Acess: April'08.
- 345 Clayton, J., Champion, P., 2006. Risk assessment method for submerged weeds in New
346 Zealand hydroelectric lakes. *Hydrobiologia*, 570 (1), 183-188.
- 347 Crossetti, L.O., Bicudo, C.E.M., 2008. Phytoplankton as a monitoring tool in a tropical
348 urban shallow reservoir (Garcas Pond): The assemblage index application.
349 *Hydrobiologia*, 610 (1), 161-173.
- 350 Dantas, E.W., Severi, W., Moura-Júnior, E.G., Moura, A.N. 2008. Heterogeneidade
351 espacial da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Araras, estado do Ceará,
352 in: Moura, A.N., Araújo, E.L., Albuquerque, U.P. (Eds.), Biodiversidade, potencial
353 econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos. *Comunigraf*,
354 Recife, pp. 181-205.
- 355 Falco, P.B., Calijuri, M.C., 2002. Longitudinal planktonic community distribution in a
356 tropical reservoir (Americana, São Paulo, Brazil). *Acta Limnol. Bras.*, 14 (2), 27-
357 37.
- 358 Food and Agriculture Organization - FAO, 2007. State of world aquaculture. FAO
359 Fisheries Technical Paper, Rome.
- 360 Graf, W.F., 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on
361 American rivers. *Geomorphology*, 79, 336-360.
- 362 Henry, R., Nogueira, M.G., Pompêo, M.L.M., Moschini-Carlos, V., 2006. Annual and
363 short-term variability in primary productivity by phytoplankton and correlated

- 364 abiotic factors in the Jurumirim reservoir (São Paulo, Brazil). *Braz. J. Biol.*, 66
365 (1B), 239-261.
- 366 Iliopoulou-Georgudaki, J., Kantzaris, V., Katharios, P., Kaspiris, P., Georgiadis, T.,
367 Montesantou, B., 2003. An application of different bioindicators for assessing water
368 quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). *Ecol.*
369 *Indic.*, 2 (4), 345–360.
- 370 INMET, 2008. Mapas de condições registradas. Disponível em:
371 <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acess: August'08.
- 372 John, D.M., Whitton, B.A., Brook, A. J., 2002. The freshwater algal flora of the British
373 Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae. Cambridge
374 University, Cambridge.
- 375 Kivrak, E., 2006. Seasonal and long term changes of the phytoplankton in the lake
376 Tortum in relation to environmental factors, Erzurum, Turkey. *Biologia*, 61 (4),
377 339-345.
- 378 Komárek, J., Anagnostidis, K., 1999. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales, in: Ettl,
379 H., Gärtner, G.L., Heynig, H., Mollenhauer, D. (Eds.), Süßwasserflora von
380 Mitteleuropa. Gustav Fischer, Stuttgart, pp. 1-545.
- 381 Komárek, J., Anagnostidis, K., 2005. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales, in:
382 Bridel, B., Gärtner, G.L., Krienitz, M.S. (Eds.), Süßwasserflora von Mitteleuropa.
383 Elsevier, London, pp. 1-759.
- 384 Köppen, W., 1936. Das geographische System der Klimate, in: Köppen W., Geiger, R.
385 (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*. Gebruder Borntrager, Berlin, pp. 1-46.

- 386 Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G., Reynolds, C.S., 2002. Classification schemes of
387 phytoplankton: selecting an ecological approach for the analysis of species temporal
388 replacement. *J. Plankton Res.*, 24, 901-912.
- 389 Lange-Bertalot, H., 1995. *Iconographia diatomologica: Annotated diatom micrographs.*
390 Koeltz Scientific, Königstein.
- 391 Lehmann, A., Lachavanne, J.B., 1999. Changes in the water quality of Lake Geneva
392 indicated by submerged macrophytes. *Freshwater Biol.* 42: 457-466.
- 393 Leitão, M., Morata, S.M., Rodriguez, S., Vergon, J.P., 2003. The effect of perturbations
394 on phytoplankton assemblages in a deep reservoir (Vouglans, France).
395 *Hydrobiologia*, 502, 73–83.
- 396 Lobo, E., Leighton, G., 1986. Estructuras de las fitocenosis planctonicas de los sistemas
397 de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. *Rev. Biol. Mar.* 22,
398 143-170.
- 399 Moura, A.N., Bittencourt-Oliveira, M.C., Wocyl-Dantas, Ê., Arruda-Neto, J.D.T.,
400 2007. Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a
401 tropical Brazilian reservoir. *Acta Bot. Bras.*, 21 (3), 641-648.
- 402 Nygaard, G., 1949. *Hydrobiological studies on some Danish ponds and lakes. Part II:*
403 *The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms.*
404 København, Biologiske skrifter, Copenhagen.
- 405 Padisák, J., Borics, G., Grigorszky, I., Soroczki-Pinter, E., 2006. Use of phytoplankton
406 assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework
407 Directive: the assemblage index. *Hydrobiologia*, 553, 1–14.
- 408 Pearce, F., 1995. The biggest dam in the world. *New Sci.*, 145 (1962), 25-29.
- 409 Pielou, E.C., 1977. *Mathematical ecology.* Wiley Publisher, New York.

- 410 Pivato, B.M., Train, S., Rodrigues, L.C., 2006. Dinâmica nictemeral das assembléias
411 fitoplanctônicas em um reservatório tropical (reservatório de Corumbá, Estado de
412 Goiás, Brasil), em dois períodos do ciclo hidrológico. *Acta Sci. Biol. Sci.*, 28 (1),
413 19-29.
- 414 Pompêo, M.L.M., Moschini-Carlos, V., Costa-Neto, J.P., Cavalcante, P.R.S., Ibañez,
415 M.S.R., Ferreira-Correia, M.M., Barbieri, R., 1998. Heterogeneidade espacial do
416 fitoplâncton no reservatório de Boa Esperança (Maranhão-Piauí, Brasil). *Acta*
417 *Limnol. Bras.* 10 (2), 101-113.
- 418 Rashad, S.M., Ismail M.A., 2000. Environmental-impact assessment of hydro-power in
419 Egypt. *Appl Energ*, 65 (1), 285-302.
- 420 Reynolds, C.S., 1998. What factors influence the species composition of phytoplankton
421 in lakes of different trophic status? *Hydrobiologia* 369/370, 11–26.
- 422 Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S., 2002. Towards a
423 functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24 (5),
424 417-428.
- 425 Ribeiro, L.H.L., Brandimarte, A.L., Kishi, R.T., 2005. Formation of the Salto Caxias
426 Reservoir (PR): an approach on the eutrophication process. *Acta Limnol. Bras.*, 17
427 (2), 155-165.
- 428 Rodrigues, M., Michelin, V.B., 2005. Riqueza e diversidade de aves aquáticas de uma
429 lagoa natural no Sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Zool.*, 22 (4), 928-935.
- 430 Saether, O.A., 1979. Chironomid communities as water quality indicators. *Holarct.*
431 *Ecol.*, 2, 65-74.

- 432 Sandin, L., Johnson, R.K. 2000. The statistical power of selected indicator metrics using
433 macroinvertebrates for assessing acidification and eutrophication of running waters.
434 *Hydrobiologia*, 422, 233-243.
- 435 Silva, L.H.S., 2005. Fitoplâncton de um reservatório eutrófico (lago Monte Alegre),
436 Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. *Braz. J. Biol.* 59 (2), 281-303.
- 437 Silva, C.A., Train, S., Rodrigues, L.C., 2005. Phytoplankton assemblages in a Brazilian
438 subtropical cascading reservoir system. *Hydrobiologia*, 537, 99–109.
- 439 Sládeček, A., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Arch.*
440 *Hydrobiol.* 7, 1-218.
- 441 Sládeček, A., Perman, J., 1978. Saprobic sequence within the genus *Euglena*.
442 *Hydrobiologia*, 58, 57–58.
- 443 Smith, V., 1983. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green
444 algae in lake phytoplankton. *Science*, 221, 669-671.
- 445 Solé, M., Fetzer, I., Wennrich, R., Sridhar, K.R., Harms, H., Krauss, G., 2008. Aquatic
446 hyphomycete communities as potential bioindicators for assessing anthropogenic
447 stress. *Sci. Total Environ.*, 389 (2-3), 557–565.
- 448 Sommer, U., Padisák, J., Reynolds, C.S., Juhasz-Nagy, P., 1993. Hutchinson's heritage:
449 the diversity-disturbance relationship in phytoplankton. *Hydrobiologia*, 249, 1-8.
- 450 StatSoft, 2001. Statistica (data analysis software system), version 6.
451 <<http://www.statsoft.com>>
- 452 Toledo-Júnior, A.P., Agudo, E.G., Tolarico, M., Chinez, S.J., 1983. Aplicação de
453 modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos e reservatórios
454 tropicais, in: ABES, Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental,
455 CETESB, São Paulo.

- 456 Utermöhl, H., 1958. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodic.
457 Mitt. Int. Verein. Theor. Ang. Limnol., 9, 1-38.
- 458 Villanueva, M.C., Ouedraogo, M., Moreau, J., 2006. Trophic relationships in the
459 recently impounded Bagré reservoir in Burkina Faso. Ecol. Model., 191 (2), 243-
460 259.
- 461 Walley, W.J., Grbovic, J., Dzeroski, S., 2001. A reappraisal of saprobic values and
462 indicator weights based on Slovenian river quality data. Water Res., 35 (18), 4285-
463 4292.
- 464 Wu, J.T., 1999. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in
465 the Keelung River of Taiwan. Hydrobiologia, 397, 79-87.
- 466

467 Tabela 1 – Densidades totais ($\text{org} \times \text{L}^{-1}$) dos meses amostrados, associações
 468 fitossociológicas (AF) – Reynolds *et al.* (2002), e estratégias ecológicas (EE) – Kruk *et*
 469 *al.* (2002), das algas planctônicas encontradas no reservatório de Boa Esperança –
 470 PI/MA, entre julho/2006 e abril/07.

Taxon	Período de coleta				AF	EE
	Jul'06	Out'06	Jan'07	Abr'07		
CYANOPHYTA						
<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst	-	-	13 639	-	H ₂	CS
<i>Anabaena constricta</i> (Szafer) Geitler	168	396	678	3 751	H ₂	CS
<i>Anabaena</i> sp.	-	1 221	-	2 309	H ₂	CS
<i>Aphanocapsa elachista</i> West and West	-	-	-	457	K	CS
<i>Aphanocapsa incerta</i> (Lemmermann) Cronberg and Komárek	-	2 939	100 796	1 009	K	CS
<i>Aphanocapsa</i> sp.	-	-	-	1 655	K	CS
<i>Aphanothece</i> sp.	-	-	34 693	354	K	CS
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	134	1 168	14 273	433	Z	C
<i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann	-	-	175	-	Z	C
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	616	872	-	1 448	Z	C
<i>Cyanosarcina burmensis</i> (Skuja) Kováčik	10 780	103	147	-	H ₂	CS
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Woloszynska) Seenaya and Subba Raju	417	1 989	2 931	17 531	S _N	R
<i>Geitlerinema amphibium</i> (Agardh)	8 071	19 346	60 152	2 120	S ₁	R
Anagnostidis*						
<i>Geitlerinema unigranulatum</i> (Singh) Komárek and Azevedo	-	3 182	6 734	10 803	S ₁	R
<i>Merismopedia minima</i> Beck	-	-	147	-	L _O	S
<i>Merismopedia punctata</i> Meyen	47	289	1 814	-	L _O	S
<i>Merismopedia tenuissima</i> Lemmermann	156	-	-	72	L _O	S
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	-	-	771	722	M	S
<i>Microcystis panniformis</i> Komárek, Komárková-Legnerová, Sant'Anna, Azevedo and Senna	-	-	-	2 988	L _M	S
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek	2 266	-	442	2 014	L _M	S
<i>Oscillatoria brevis</i> Kützing ex Gomont	1 294	-	-	-	S ₁	R
<i>Oscillatoria limosa</i> (Dillwyn) Agardh	-	-	272	-	S ₁	R
<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher ex Gomont	20	71	378	-	S ₁	R
<i>Oscillatoria terebriformis</i> Agardh	6	-	-	866	S ₁	R
<i>Oscillatoria</i> sp.	22	-	-	1 826	S ₁	R
<i>Phormidium molle</i> (Kützing) Gomont	-	24	641	-	-	-
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis and Komárek	800	-	12 685	-	S ₁	R
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	-	-	53 055	816	S ₁	R
<i>Pseudanabaena</i> sp.	-	4 637	5 508	1 191	S ₁	R
<i>Raphidiopsis mediterranea</i> Skuja	1 043	717	3 136	-	S ₂	R
BACILLARIOPHYTA						
<i>Achnanthes</i> sp.	-	47	-	-	-	-
<i>Actinella brasiliensis</i> Grunow	7	-	-	-	-	-
<i>Anomoeoneis serians</i> (Brébisson ex Kützing) Cleve	400	-	-	-	-	-
<i>Aulacodiscus</i> sp.	-	200	-	-	-	-
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	35	-	410	-	C	R
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen*	197 171	2 064	333	1 412	P	R
<i>Aulacoseira herzogii</i> (Lemmermann) Simonsen	55	-	-	-	C	R
<i>Asterionella</i> sp.	-	365	-	-	-	-
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	-	-	516	-	-	-
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz	262	4 052	2 101	-	B	CR

472 Tabela 1 – Continuação.

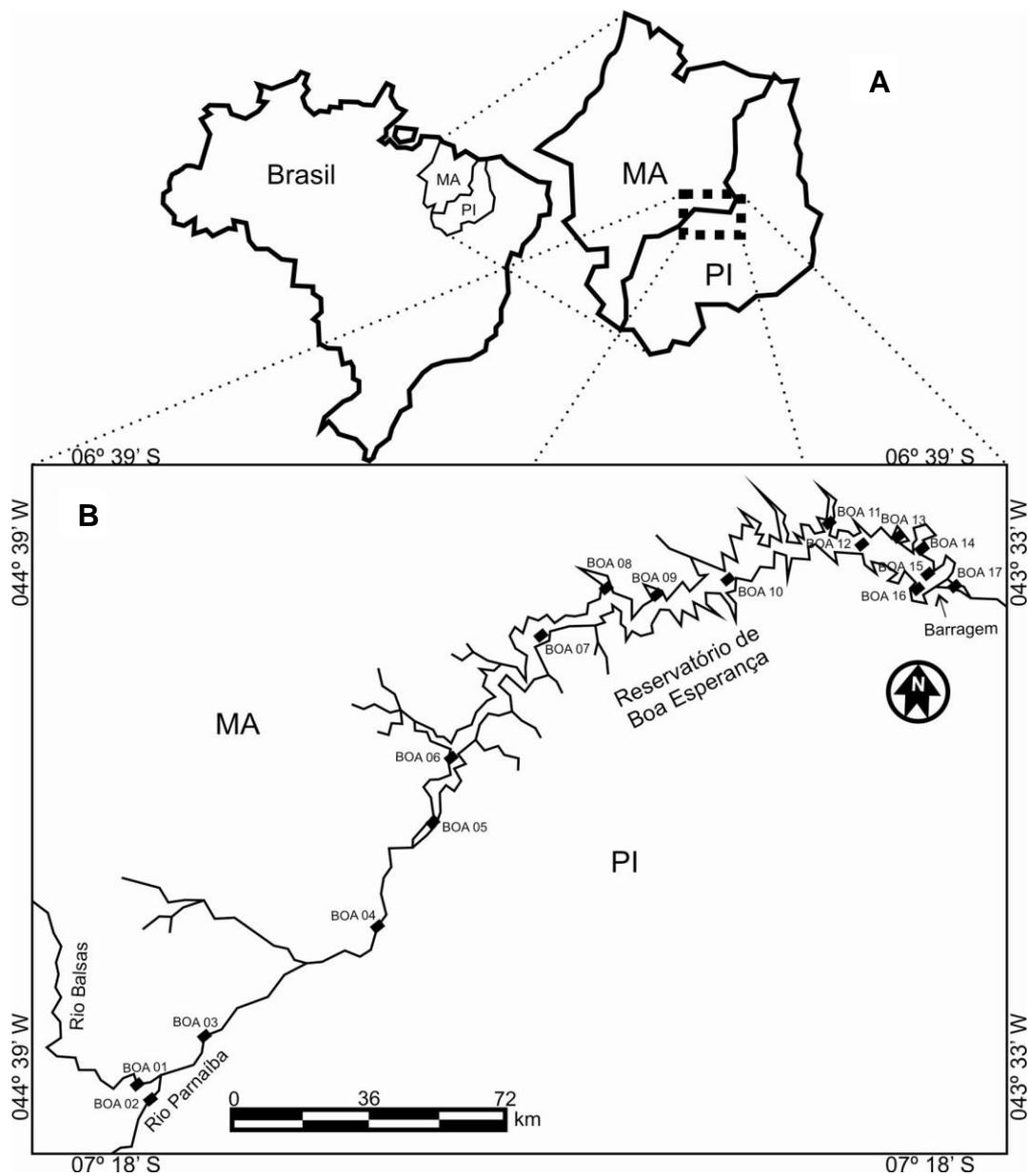
Taxon	Período de coleta				AF	EE
	Jul'06	Out'06	Jan'07	Abr'07		
<i>Cyclotella stelligera</i> (Cleve and Grunow) Heurck	-	4 190	630	94	B	CR
<i>Cymbella naviculiformis</i> (Auerswald) Cleve	-	35	-	-	-	-
<i>Cymbella silesiaca</i> Bleisch	-	-	410	-	-	-
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Lewin and Reimann	15	-	-	-	-	-
<i>Eunotia didyma</i> Grunow	-	-	-	408	-	-
<i>Eunotia</i> sp.	-	83	641	-	-	-
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	10 533	-	1 090	1 221	P	R
<i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) de Toni	-	247	-	-	-	-
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	-	2 307	-	-	D	R
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing	-	318	737	411	D	R
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	-	35	-	-	D	R
<i>Melosira varians</i> Agardh	657	143	917	72	P	R
<i>Melosira</i> sp.	-	2 905	-	-	P	R
<i>Navicula</i> sp.	-	1 400	2 334	408	D	R
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) Smith	-	71	-	205	D	R
<i>Nitzschia paleaformis</i> Hustedt	-	471	-	-	D	R
<i>Nitzschia</i> sp.	-	400	680	-	D	R
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) O'Meara	15	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia divergens</i> Smith	-	123	-	-	A	S
<i>Pinnularia maior</i> (Kützing) Cleve	-	-	-	1 224	A	S
<i>Pinnularia</i> sp.	-	-	2 732	914	A	S
<i>Surirella bisseriata</i> Brébisson	-	-	641	-	A	S
<i>Surirella linearis</i> Smith	806	504	-	480	A	S
<i>Surirella robusta</i> Ehrenberg	908	459	-	-	A	S
<i>Surirella</i> sp.	-	235	-	-	A	S
<i>Synedra acus</i> Kützing	-	106	-	-	D	R
<i>Synedra rumpens</i> Kützing	-	918	-	-	D	R
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	1 657	1 036	400	377	D	R
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg	-	-	-	205	-	-
<i>Urosolenia eriensis</i> (Smith) Round and Crawford	6 160	-	1 133	239	A	S
<i>Urosolenia longiseta</i> (Zacharias) Bukhtiyarova	177	1 046	975	7 572	A	S
CHLOROPHYTA						
<i>Actinastrum gracillimum</i> Smith	29	-	-	-	J	CR
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerheim	-	-	-	289	J	CR
<i>Ankistrodesmus densus</i> Korshikov	11	47	-	-	J	CR
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	407	37	-	-	J	CR
<i>Ankistrodesmus gracilis</i> (Reinsch) Korshikov	6	235	-	-	J	CR
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (Turner) Lemmermann	-	-	408	-	J	CR
<i>Ankyra judai</i> (Smith) Fott	-	-	640	94	X ₁	C
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	-	417	-	-	F	CS
<i>Bulbochaete</i> sp.	-	2 217	-	-	-	-
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijerinck	-	417	60 352	-	X ₁	C
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrack) Meneghini	-	-	568	-	-	-
<i>Closterium acutum</i> Brébisson ex Ralfs	-	-	84	-	P	R
<i>Closterium ehrenbergii</i> Meneghini	33	-	227	-	P	R
<i>Closterium setaceum</i> Ehrenberg	-	-	-	205	P	R
<i>Closterium</i> sp.	236	74	-	-	P	R
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli	2 341	623	393	-	J	CR
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korshikov	-	33	-	-	J	CR
<i>Coelastrum reticulatum</i> (Dangeard) Senn*	21 265	2 000	6 079	666	J	CR
<i>Coelastrum sphaericum</i> Nägeli	-	-	147	-	J	CR
<i>Cosmarium margaritatum</i> (Lundell) Roy and Bisset	1 215	400	1 638	-	N	R
<i>Cosmarium</i> sp.	283	83	-	-	N	R
<i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmidle) Schmidle	-	65	-	-	J	CR

474 Tabela 1 – Continuação.

Taxon	Período de coleta				AF	EE
	Jul'06	Out'06	Jan'07	Abr'07		
<i>Crucigenia quadrata</i> Morren	-	-	333	-	J	CR
<i>Dactylococcus infusio</i> Nägeli	6	-	-	-	-	-
<i>Desmidium baileyi</i> (Ralfs) Nordstedt	-	-	592	-	-	-
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i> Nägeli	566	-	-	-	J	CR
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood*	2 368	2 178	15 230	2 231	J	CR
<i>Eremosphaera eremosphaeria</i> (Smith) Smith and Bold	-	-	-	72	-	-
<i>Euastrum evolutum</i> (Nordstedt) West and West	17	-	-	-	-	-
<i>Euastrum</i> sp.	-	122	-	-	-	-
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg	-	-	10 064	432	G	CS
<i>Golenkinia paucispina</i> West and West	561	255	-	1 130	J	CR
<i>Golenkinia radiata</i> Chodat	-	417	84	72	J	CR
<i>Gonatozygon pilosum</i> Wolle	6	94	2 320	71	J	CR
<i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchner) Möbius	6	94	-	-	F	CS
<i>Kirchneriella obesa</i> (West) Schmidle	6	570	131	-	F	CS
<i>Micractinium pusillum</i> Fresenius	94	-	-	-	J	CR
<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	-	59	-	-	X ₁	C
<i>Monoraphidium braunii</i> (Nägeli) Komárková-Legnerová	-	-	147	-	X ₁	C
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Komárková-Legnerová	244	1 003	2 508	-	X ₁	C
<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová	6	-	84	189	X ₁	C
<i>Mougeotia</i> sp.	-	-	1 707	94	T	S
<i>Nephrocystium agardhianum</i> Nägeli	6	-	934	1 893	F	CS
<i>Oedogonium</i> sp.	6 000	1 924	-	-	J	CR
<i>Onychonema laeve</i> Nordstedt	6	-	-	-	-	-
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat*	6 451	17 625	3 714	4 356	F	CS
<i>Oocystis pusilla</i> Hansgirg	46	15 919	46 200	-	F	CS
<i>Oonephris obesa</i> (West) Fott	-	-	-	289	-	-
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory de Saint-Vincent	-	-	10 003	-	-	-
<i>Pandorina</i> sp.	-	-	771	-	-	-
<i>Pediastrum argentinense</i> Bourrelly and Tell	-	616	962	-	J	CR
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen	-	37	-	-	J	CR
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen	-	106	-	-	J	CR
<i>Pediastrum tetras</i> (Ehrenberg) Ralfs	-	94	-	-	J	CR
<i>Phytherios viridis</i> Frenzel	-	-	811	72	-	-
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> Smith	6	-	-	-	-	-
<i>Pleurotaenium</i> sp.	-	-	1 137	361	-	-
<i>Pseudoquadrigula</i> sp.	15	5 414	19 041	504	F	CS
<i>Quadrigula chodatii</i> (Tanner-Füllemann) Smith	-	-	4 430	-	F	CS
<i>Quadrigula lacustris</i> (Chodat) Smith	-	2 837	-	741	F	CS
<i>Radiococcus planktonicus</i> Lund	15	833	-	877	-	-
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerheim) Chodat	440	-	822	-	J	CR
<i>Scenedesmus acutus</i> Meyen	-	164	-	289	J	CR
<i>Scenedesmus arcuatus</i> Lemmermann	500	-	2 159	-	J	CR
<i>Scenedesmus bicaudatus</i> (Hansgirg) Chodat	-	-	409	-	J	CR
<i>Scenedesmus bijugus</i> (Turpin) Kützing	11	-	-	-	J	CR
<i>Scenedesmus curvatus</i> Bohlin	-	765	-	-	J	CR
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ehrenberg) Chodat	-	-	-	2 598	J	CR
<i>Scenedesmus opoliensis</i> Richter	-	-	1 441	-	J	CR
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson	6	35	-	553	J	CR
<i>Scenedesmus</i> sp.	-	-	131	-	J	CR
<i>Schroederia judai</i> Smith	203	833	-	-	-	-
<i>Sphaerocystis schroeteri</i> Chodat	-	13 061	-	3 993	F	CS
<i>Spirogyra</i> sp.	-	417	680	-	-	-
<i>Spondylosium planum</i> (Wolle) West and West	7	-	-	-	-	-
<i>Staurastrum cuspidatus</i> (West) Teiling	-	-	-	72	J	CR

476 Tabela 1 – Continuação.

Taxon	Período de coleta				AF	EE
	Jul'06	Out'06	Jan'07	Abr'07		
<i>Staurastrum leptocladum</i> Johnson*	4 656	233	4 746	2 709	J	CR
<i>Staurastrum longipes</i> (Nordstedt) Teiling	71	-	-	-	J	CR
<i>Staurastrum rotula</i> Nordstedt	32	-	-	-	J	CR
<i>Staurastrum</i> sp1	-	532	-	-	J	CR
<i>Staurastrum</i> sp2	-	280	-	-	J	CR
<i>Staurastrum</i> sp3	-	4 295	-	-	J	CR
<i>Staurastrum</i> sp4	-	956	-	-	J	CR
<i>Staurastrum</i> sp5	94	-	-	-	J	CR
<i>Staurodesmus lobatus</i> Thérézien	343	-	-	-	N	R
<i>Staurodesmus subulatus</i> (Kützing) Thomasson	7	-	1 855	476	N	R
<i>Staurodesmus triangularis</i> (Lagerheim) Teiling	581	-	-	-	N	R
<i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansgirg	-	-	84	-	J	CR
<i>Tetraedron trigonum</i> (Nägeli) Hansgirg	-	71	-	-	J	CR
<i>Tetraedron victorieae</i> Smith	-	417	-	-	J	CR
<i>Tetrallantos lagerheimii</i> Teiling	20	-	-	-	-	-
<i>Tetrastrum denisase</i> Bittencourt-Oliveira	141	-	-	-	J	CR
<i>Tetrastrum elegans</i> Playfair	15	-	-	-	J	CR
<i>Xanthidium mammillosum</i> (Grönblad) Förster	11	-	-	-	-	-
CRYPTOPHYTA						
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	-	71	534	1 136	Y	CRS
<i>Cryptomonas</i> sp.	15	229	655	-	Y	CRS
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher and Ruttner	-	-	101	-	-	-
CHRYSOPHYTA						
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg	353	98	262	-	E	S
<i>Mallomonas caudata</i> Ivanov	-	-	4 077	-	E	S
<i>Mallomonas</i> sp.	-	37	-	-	E	S
DINOPHYTA						
<i>Gymnodinium</i> sp.	94	33	1 704	189	L ₀	S
<i>Peridinium cinctum</i> (Müller) Ehrenberg	100	-	-	877	L ₀	S
<i>Peridinium palatinum</i> Lauterbom	-	-	599	-	L ₀	S
<i>Peridinium</i> sp.	-	2 346	4 064	383	L ₀	S
EUGLENOPHYTA						
<i>Euglena acus</i> Ehrenberg	20	-	6 313	-	W ₁	R/CR/CRS
<i>Euglena</i> sp1	-	-	655	-	W ₁	R/CR/CRS
<i>Euglena</i> sp2	-	-	262	-	W ₁	R/CR/CRS
<i>Euglena</i> sp3	-	-	-	72	W ₁	R/CR/CRS
<i>Phacus curvicauda</i> Svirenko	51	-	410	-	W ₁	R/CR/CRS
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenberg) Dujardin	504	-	-	-	W ₁	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas acanthophora</i> Stokes	-	-	3 406	-	W ₂	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehrenberg) Stein	-	880	2 887	-	W ₂	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas hemisphaerica</i> de Emiliani	-	-	558	-	W ₂	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Stein	-	-	1 269	168	W ₂	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas ovata</i> Roll	15	-	-	-	W ₂	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrenberg	-	80	70 036	2 374	W ₂	R/CR/CRS
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Swirenko	-	-	12 026	553	W ₂	R/CR/CRS
XANTOPHYTA						
<i>Centritractus belenophorus</i> Lemmermann	-	-	-	1 136	-	-

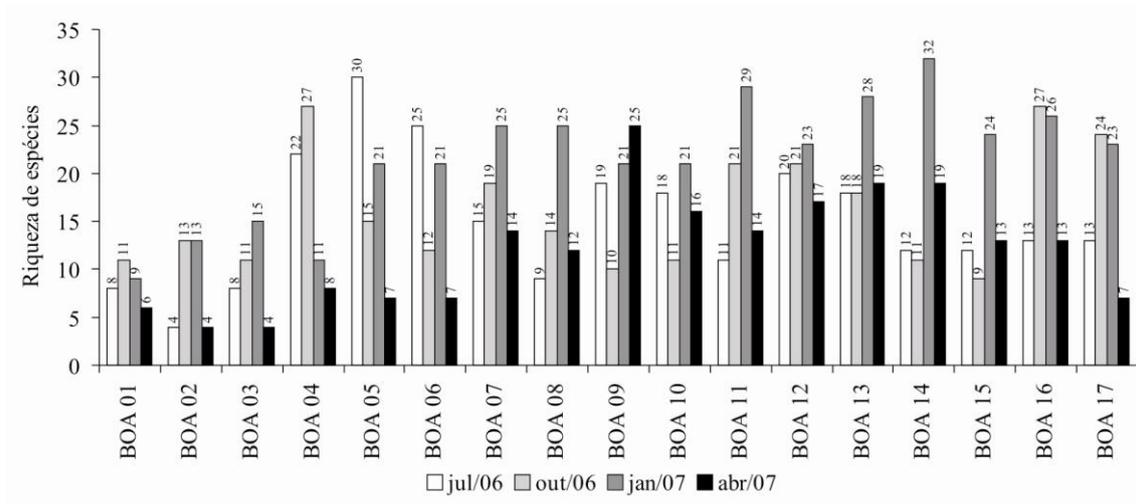


478

479 Figura 1 – Localização do reservatório de Boa Esperança na região Nordeste do Brasil

480 (A) e das estações de coleta ao longo do reservatório (B).

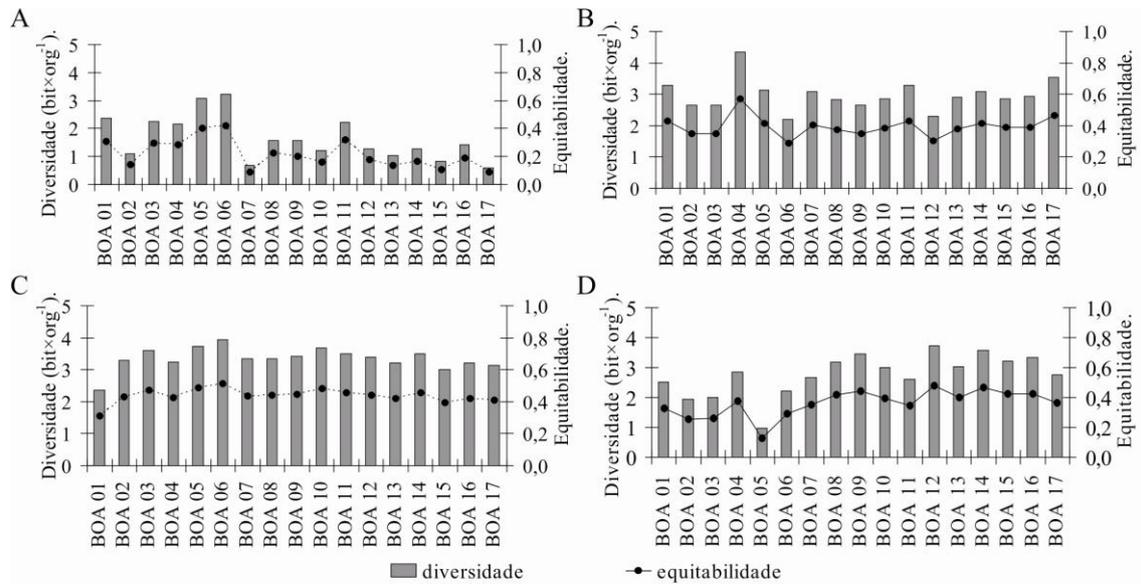
481



482

483 Figura 2 – Riqueza de espécies das algas planctônicas nas estações de coleta do
 484 reservatório de Boa Esperança – PI/MA, entre os meses de julho/06 e abril/07.

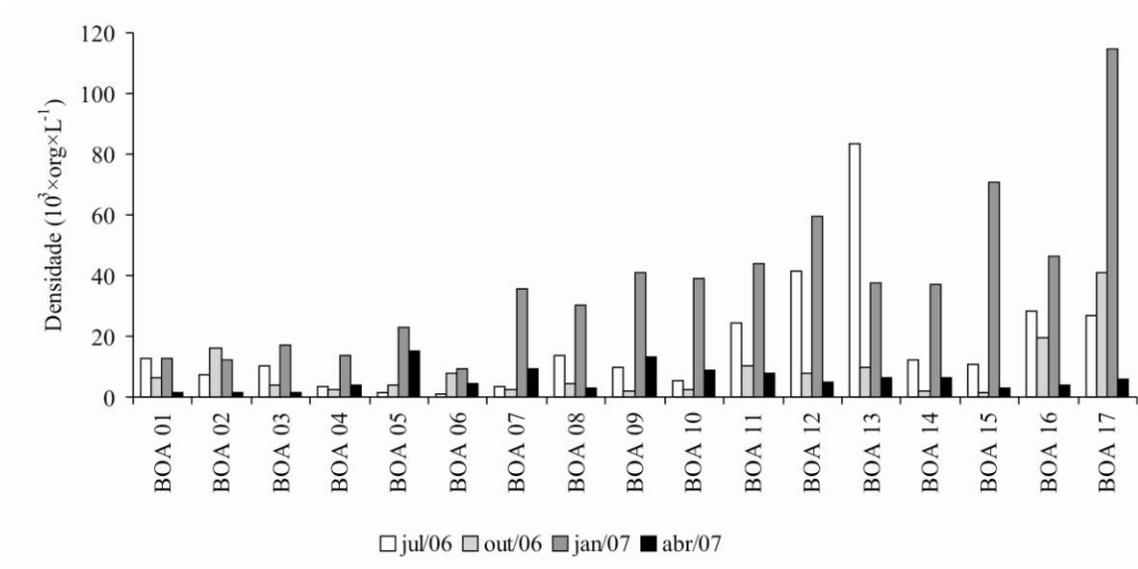
485



486

487 Figura 3 – Diversidade específica (bit×org⁻¹) e equitabilidade das algas planctônicas nas
 488 estações de coleta do reservatório de Boa Esperança – PI/MA, durante os meses: A)
 489 julho/2006; B) outubro/2006; C) janeiro/2007; D) abril/2007.

490

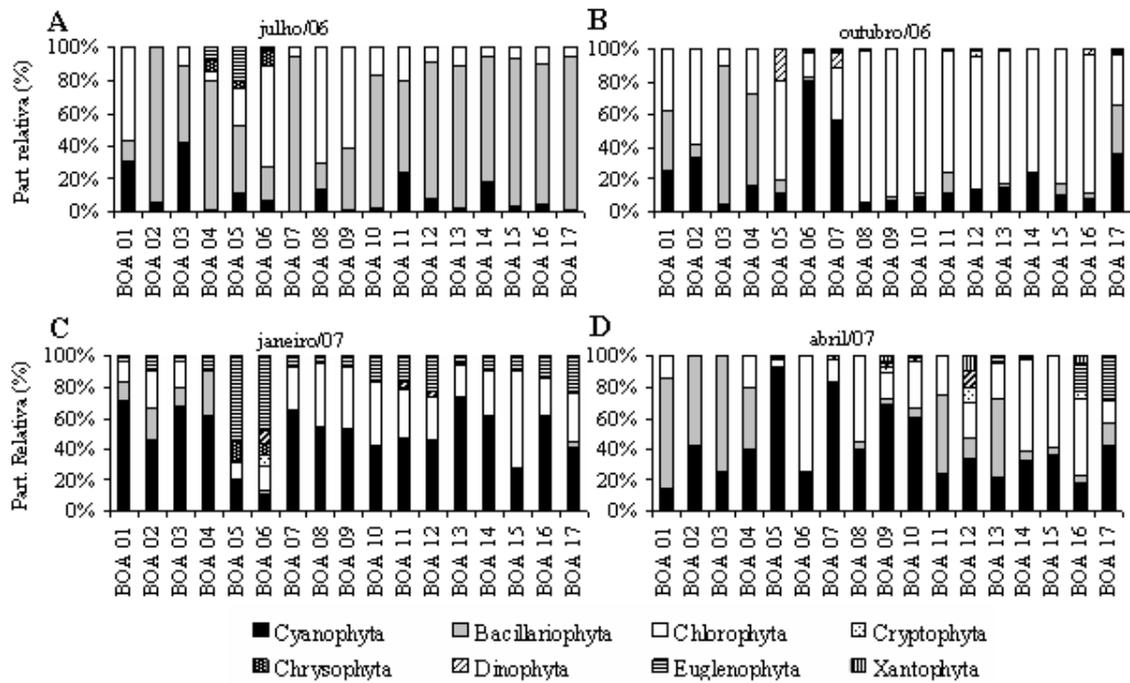


491

492 Figura 4 – Densidades fitoplanctônicas nas estações de coleta do reservatório de Boa

493 Esperança – PI/MA, entre os meses de julho/06 e abril/07.

494



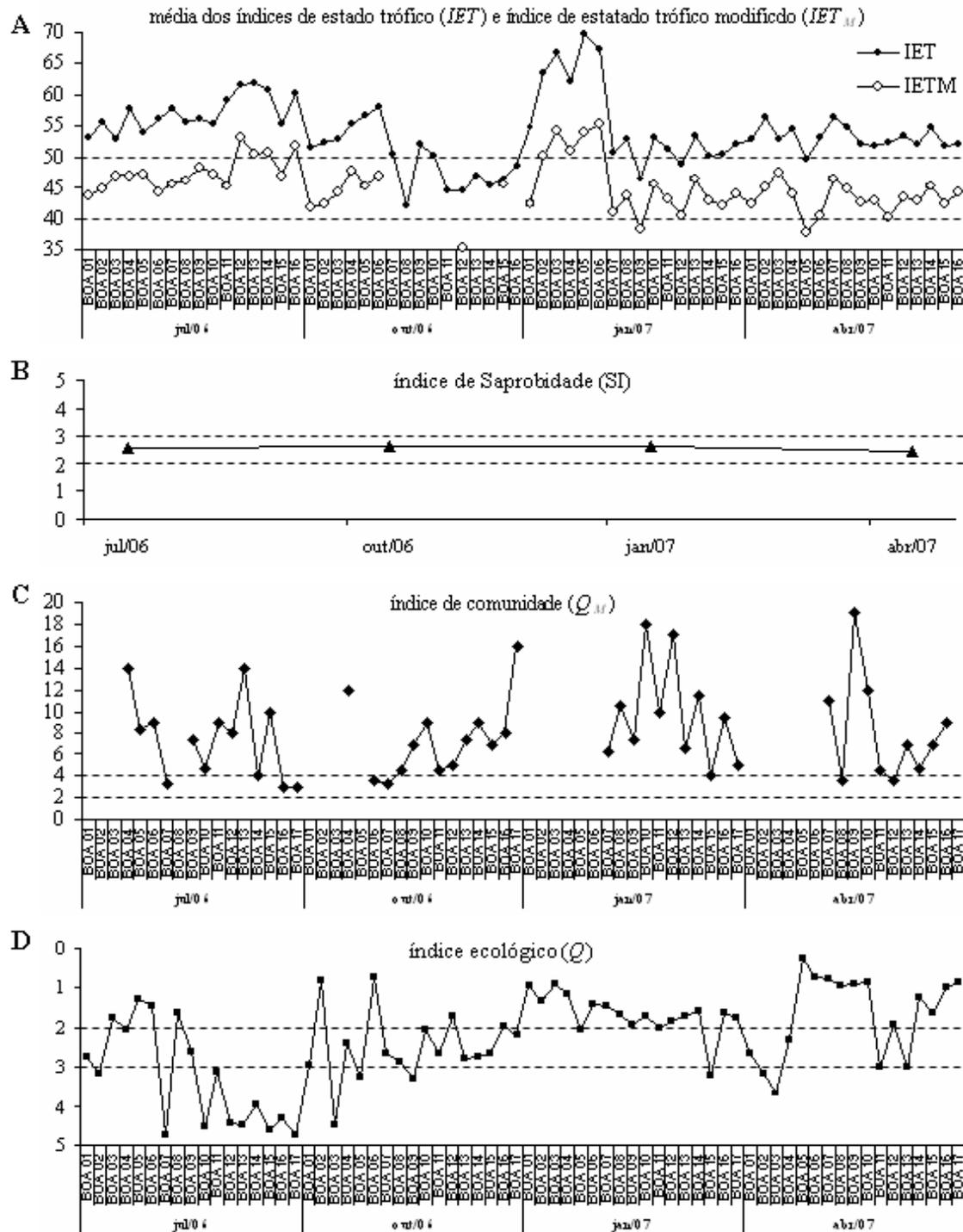
495

496 Figura 5 – Participação relativa das divisões algais na densidade total em cada estação

497 no reservatório de Boa Esperança – PI/MA, durante os meses: A) julho/2006; B)

498 outubro/2006; C) janeiro/2007; D) abril/2007.

499



500

501 Figura 6 – Estimativa da média dos índices de estado trófico (IET) e índice de estado
 502 trófico modificado (IET_M) (A), saprobidade (SI) (B), comunidade (Q_M) (C) e ecológico
 503 (Q) (D), para as estações do reservatório de Boa Esperança, entre os meses de julho/06 e
 504 abril/07. (---) limites inferior e superior do grau mesotrófico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No reservatório de Boa Esperança, a sazonalidade e a extensão longitudinal, através da variação no balanço entre disponibilidade de nutriente e energia, são fatores que influem na composição florística e no estado trófico ao longo do ano, os quais sofrem interferências naturais e antrópicas, resultando em sucessões ecológicas e alterações ambientais.

A utilização de fitoplâncton em índices ecológicos é uma boa ferramenta para a determinação do estado trófico e o acompanhamento de alterações ambientais em reservatórios tropicais, embora a escolha de índices bióticos esteja sujeito ao ambiente aplicado, necessitando de uma análise prévia a utilização, pois a fundamentação metodológica pode não ser eficiente para o ambiente aplicado.

O reservatório de Boa Esperança é um ecossistema, predominantemente, mesotrófico ao longo do ano, mesmo recebendo o aporte de cargas de agentes eutrofizantes externos que são contidas pelo poder de depuração do ambiente, mantendo-se estável ao longo do ano.

Deve-se manter o monitoramento constante do fitoplâncton no reservatório e buscar formas de minimizar o aporte de cargas orgânicas no ambiente, a fim de possibilitar a sua utilização sem perdas econômicas ou ambientais ao seu entorno.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONELLO, A. **Influência das variações sazonais e espaciais nas variáveis limnológicas do reservatório de Boa Esperança, rio Parnaíba, PI-MA**. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado em Recursos pesqueiros e Aqüicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BASTOS, I. C. de O. *et al.* Use of biological indicators in different hydrosystems of an industry of recycled papers in Governador Valadares - MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.11, n.3, p.203-211, 2006.

BEYRUTH, Z. As algas e a previsão da qualidade ambiental - represa do Guarapiranga. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: CETESB, 2000.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C. *et al.* A novel rhythm of microcystin biosynthesis is described in the cyanobacterium *Microcystis panniformis* Komárek *et al.* **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Orlando, v.326, p.687–694, 2005.

BORGES, P. A. F.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L. C. Spatial and temporal variation of phytoplankton in two subtropical Brazilian reservoirs. **Hydrobiologia**, Bucaresti, v.607, p.63–74, 2008.

CALIJURI, M. C.; DOS SANTOS, A. C. A. Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita, SP – Brazil). **Hydrobiologia**, Bucaresti, v.445, p.11–26, 2001.

CALIJURI, M. C.; DOS SANTOS, A. C. A.; JATI, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita – SP, Brazil). **Journal of Plankton Research**, London, v.24, n.7, p.617-634, 2002.

CALLISTO, M. *et al.* Biodiversity assessment of benthic macroinvertebrates along a reservoir cascade in the lower São Francisco River (Northeastern Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.65, n.2, p.1-6, 2005.

CARDOSO, L. de S.; MOTTA MARQUES, D. M. L. da. Seasonal composition of the phytoplankton community in the Itapeva lake (north coast of Rio Grande do Sul – Brazil) in

function of hydrodynamics aspects. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v.16, n.4, p.401-416, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Consolidação da seleção de índices e indicadores de qualidade da água**. 2002, 27p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/indices.htm>> Acesso em: 12 fev. 2008.

COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO – CHESF. **Descrição do aproveitamento de Boa Esperança**. 2008. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br/energia_usinas_boa_esperanca.shtml>. Acesso em: 10 fev. 2008.

COSTA, I. A. S. *et al.* Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semiarid reservoir. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.66, n.1b, p.211-219, 2006.

CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P. Impactos ambientais de Reservatórios e Perspectivas de uso múltiplo. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v.4, n.1, p.1-9. 1995.

DANTAS, E. W. *et al.* Heterogeneidade espacial da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Araras, estado do Ceará. pp. 181-205. In: MOURA, A. N.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. (Ed.). **Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos**. Recife: Comunigraf, 2008.

DOS SANTOS, A. C. A. *et al.* Comparison of three methods for Chlorophyll determination: Spectrophotometry and Fluorimetry in samples containing pigment mixtures and spectrophotometry in samples with separate pigments through High Performance Liquid Chromatography. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v.15, n.3, p.7-18, 2003.

DUFRENE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, Lawrence, v.67, n.3, p.345-366, 1997.

EGLIN, I. *et al.* Macrophyte biological methods used in the study of the exchange between the Rhine river and the groundwater. **Warter Research**, New York, v.31, n.3, p.503-514, 1997.

FALCO, P. B.; CALIJURI, M. C. Longitudinal planktonic community distribution in a tropical reservoir (Americana, São Paulo, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v.14, n.2, p.27-37, 2002.

FAO. **State of world aquaculture**. Rome: FAO Fisheries Technical Paper, 2007. 180p.

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO – FCNYM. **Cátedra de protección y conservación de la naturaleza**: Eutrofización. 2008a. Disponível em: <<http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/proteccion/tp1.pdf>> Acesso em: 11 ago. 2008.

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO – FCNYM. **Cátedra de protección y conservación de la naturaleza**: Sistema del saprobios. 2008b. Disponível em: <<http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/proteccion/tp2.pdf>> Acesso em: 11 ago. 2008.

FELISBERTO, S. A.; RODRIGUES, L. Influência do gradiente longitudinal (rio-barragem) na similaridade das comunidades de desmídias perifíticas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.28, n.2, p.241-254, 2005.

FERREIRA, R. A. R. *et al.* Monitoramento de fitoplâncton e microcistina no reservatório da UHE Americana. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v.23, n.2, p.203-214. 2005.

GOMES, L. C.; MIRANDA, L. E. Hydrologic and climatic regimes limit phytoplankton biomass in reservoirs of the Upper Paraná River Basin, Brazil. **Hydrobiologia**, Bacaresti, v.457, p.205–214, 2001.

GOMES, L. C.; MIRANDA, L. E.; AGOSTINHO, A. A. Fishery yield relative to chlorophyll a in reservoirs of the Upper Paraná River, Brazil. **Fisheries Research**, New York, v.55, p.335–340, 2002.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **FAPAM em revista**, Pará de Minas, v.2, n.2, p.153-164, 2003.

HARREMOES, P. The challenge of managing water and material balances in relation to eutrophication. **Water Science and Technology**, Oxford, v.37, n.3, p.9-17, 1998.

HENRY, R. *et al.* Annual and short-term variability in primary productivity by phytoplankton and correlated abiotic factors in the Jurumirim reservoir (São Paulo, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.66, n.1B, p.239-261, 2006.

ILIOPOULOU-GEORGUDAKI, J. *et al.* An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). **Ecological Indicators**, Amsterdam, v.2, n.4, p.345–360, 2003.

JORGENSEN, S. E.; VOLLENWEIDER, R. A. **Principles of Lake Management**: guidelines of lake management series. Japan: UNEP/ ILEC, 1989. v.1.

LEHMANN, A.; LACHAVANNE, J. B. Changes in the water quality of Lake Geneva indicated by submerged macrophytes. **Freshwater Biology**, Oxford, v.42, p.457-466, 1999.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. Plankton richness in a eutrophic reservoir (Barra Bonita Reservoir, SP, Brazil). **Hydrobiologia**, Bucaresti, v.542, p.367-378, 2005.

MERCANTE, C. T. J.; TUCCI-MOURA, A. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v.11, n.1, p.1-14, 1999.

MORENO, P.; CALLISTO, M. Indicadores ecológicos: a vida na lama. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.36, n.213, p.68-72, 2005.

MOURA, A. N *et al.* Phytoplanktonic associations: a tool to understanding dominance events in a tropical Brazilian reservoir. **Acta Botânica Brasilica**, Porto Alegre, v.21, n.3, p.641-648. 2007.

NYGAARD, G. **Hydrobiological studies on some Danish ponds and lakes. Part II: The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms.** Copenhagen: København/Biologiske skrifter. 1949.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1998. 434p.

PADISÁK, J. *et al.* Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. **Hydrobiologia**, Bucaresti, v.553, n.1, p.1-14, 2006.

PARIKH, A.; SHAH, V.; MADAMWAR, D. Cyanobacterial flora from polluted industrial effluents. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v.116, n.1-3, p.91-102, 2006.

PIVATO, B. M.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L. C. Dinâmica nictemeral das assembléias fitoplanctônicas em um reservatório tropical (reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil), em dois períodos do ciclo hidrológico. **Acta Scientiarum Biological Science**, Maringá, v.28, n.1, p.19-29, 2006.

POMPÊO, M. L. M. *et al.* Heterogeneidade espacial do fitoplâncton no reservatório de Boa Esperança (Maranhão-Piauí, Brasil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v.10, n.2, p.101-113. 1998.

PRADO, R. B. Manejo integrado de reservatórios destinados a uso múltiplo como perspectiva de recuperação da qualidade da água. p.78-91. In: CRHEA/USP (Org.). **Recursos hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado**. São Carlos: RiMa, 2002.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. p.1-35. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.) **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª Ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

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

RIBEIRO, L. H. L.; BRANDIMARTE, A. L.; KISHI, R. T. Formation of the Salto Caxias Reservoir (PR): an approach on the eutrophication process. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Carlos, v.17, n.2, p.155-165, 2005.

RODRIGUES, M.; MICHELIN, V. B. Riqueza e diversidade de aves aquáticas de uma lagoa natural no Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v.22, n.4, p. 928-935, 2005.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. New York: Chapman & Hall, 1993. 488p.

SAETHER, O. A. Chironomid communities as water quality indicators. **Holarctic Ecology**, Copenhagen, v.2, p.65-74, 1979.

SANDIN, L.; JOHNSON, R. K. The statistical power of selected indicator metrics using macroinvertebrates for assessing acidification and eutrophication of running waters. **Hydrobiologia**, Bucaresti, v.422, p.233-243, 2000.

- SANT'ANNA, C. L. *et al.* Planktic Cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. **Revista Brasileira Botânica**, v.27, n.2, p.213-227, 2004.
- SCHULZ, U. H.; MARTINS-JUNIOR, H. *Astyanax fasciatus* as bioindicator of water pollution of rio dos Sinos, RS, Brazil. **Brazian Journal of Biology**, São Carlos, v.61, n.4, p.615-622, 2001.
- SILVA, L. H. S. Fitoplâncton de um reservatório eutrófico (lago Monte Alegre), Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v.59, n.2, p.281-303, 2005.
- SILVA, C. A.; TRAIN, S.; RODRIGUES, L. C. Phytoplankton assemblages in a Brazilian subtropical cascading reservoir system. **Hydrobiologia**, Bucuresti, v.537, p.99-109, 2005.
- SLÁDEČEK, A. System of water quality from the biological point of view. **Archiv fur Hydrobiologie**, Beiheft Ergebnisse der Limnologie, Stuttgart, v.7, p.1-218, 1973.
- SOLÉ, M. *et al.* Aquatic hyphomycete communities as potential bioindicators for assessing anthropogenic stress. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.389, n.2-3, p.557-565, 2008.
- SOTERO-SANTOS, R. B. *et al.* Toxicity of a cyanobacteria bloom in Barra Bonita Reservoir (Middle Tietê River, São Paulo, Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v.64, p.163-170, 2006.
- STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Guideline of lake management**: reservoir water quality management. Kusatsu: International Lake Environment Committee Foundation, 1999. 229p.
- TOLEDO-JÚNIOR, A. P. *et al.* Aplicação de modelos simplificados para avaliação da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 1983, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: CETESB, 1983.
- TUNDISI, J. G. Ecologia, limnologia e aspectos socioeconômicos da construção de hidroelétricas nos trópicos. In: ENCONTRO DE TROPICOLOGIA, 4., 1987, Recife. **Anais...**, Recife: Universidade de Brasília, 1990.

TUNDISI, J. G. **Águas no Século XXI**: enfrentando a escassez. 2^a ed. São Carlos: RiMa, 2003. 248p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Eutrophication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives. p.1-33. In: CORDEIRO-MARINO (Ed.) **Algae and Environment**: a general approach. São Carlos: Brazilian Phycological Society. 1992.

VIEIRA, J. M. P.; PINHO, J. L. S.; DUARTE, A. A. L. S. Eutrophication vulnerability analysis: a case study. **Water Science and Technology**, Oxford, v.37, n.3, p.121-128. 1998.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993. 1011p.

WU, J. T. A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. **Hydrobiologia**, Bucaresti, v.397, n.1, p.79–87, 1999.

WU, J. T.; KOW, L. T. Applicability of a generic index for diatom assemblages to monitor pollution in the tropical River Tsanwun, Taiwan. **Journal of Applied Phycology**, Dordrecht, v.14, n.1, p.63–69, 2002.

6. ANEXO I - GUIA AOS AUTORES

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Preparação do texto

Apresentação

O texto deve ser redigido em Inglês (Inglês americano ou britânico são aceitos). Itálicos são usados para identificar expressões de origem Latina: *in vivo*, *et al.*, *per se*. Em separação decimal deve ser usado ponto e em separação de milhares deve ser usado espaço (10 000.42).

Espaçamento entre linhas duplo, com 3 cm de margens e numeração contínua de linhas. Texto justificado sem separações silábicas com recuo de primeira linha. Tabelas e figuras com as legendas devem ser apresentadas em páginas separadas ao final do artigo. Numere todas as páginas consecutivamente.

Deve-se conter na página inicial:

- Título
- Nome dos autores e filiação
- Autor correspondente
- Abstract
- Keywords

Arranjo do artigo

Subdivisão do artigo: use seções e subseções numeradas (1.1, 1.1.1) (o abstract não é numerado).

- Introdução
- Material e métodos
- Resultados
- Discussão
- Conclusões
- Agradecimentos
- Referências
- Legendas de figuras, tabelas, figuras e esquemas

Tabelas

Devem ser numeradas na ordem de surgimento do texto. Se necessário explicar algum dado contido, colocar rodapé abaixo da tabela com chamada de letra sobrescrita minúscula. Os resultados presentes em tabelas não devem ser duplicados no texto.

Nomenclaturas e unidades

Serão utilizadas abreviações e unidades de acordo com o SI.

Referências

1. Citações

Dados não publicados e comunicações pessoais são aceitos no texto, mas não são listadas na referência. Documentos de circulação limitada não são aceitos.

2. Citando no texto

Grupos listados alfabeticamente e cronologicamente.

Exemplos: "as demonstrated (Allan, 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones, 1995). Kramer *et al.* (2000) have recently shown ..."

3. Lista de referências

Pode-se utilizar o D.O.I. para citar documentos *in press*.

Referências da web podem ser listadas separadamente ou inclusas na lista. Devem conter autor, data, publicadora, URL e último acesso.

Exemplos:

Referência de um artigo:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2000. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51-59.

Referência de um livro:

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, third ed. Macmillan, New York.

Referência de um capítulo de livro:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 1999. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281-304.

Figuras

Fotos, desenhos e diagramas são chamados de figuras e são numeradas consecutivamente na ordem de surgimento do texto.

Figuras coloridas são aceitas se os autores cobrirem os custos de impressão.

7. ANEXO II - GUIDE FOR AUTHORS

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Submission of articles

Submission of an article to the Journal of Environmental Management implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, without the written consent of the Publisher. It is essential to give a fax number and e-mail address when submitting a manuscript. Articles must be written in good English.

Submission to the journal prior to acceptance

Submission for all types of manuscripts to Journal of Environmental Management proceeds online via the Elsevier Editorial System (EES) Website for this journal at:

<http://ees.elsevier.com/jema>

If you are submitting a manuscript for publication in a special issue, please contact the Editor or Guest Editor for submission instructions. Please do not submit it through the online EES unless you are specifically instructed to do so.

Revised versions of manuscripts that were not originally submitted through EES should not be re-submitted through EES.

You will be guided stepwise through the creation and uploading of the various files. When submitting a manuscript to Elsevier Editorial System, authors need to provide an electronic version of their manuscript. For this purpose only original source files are allowed, so no PDF files. Authors should select a category designation for their manuscripts (article, priority communication, research note, etc.). Once the uploading is done, the system automatically generates an electronic (PDF) proof, which is then used for reviewing. All correspondence, including the editor's decision and request for revisions, will be by e-mail.

Please submit, with the manuscript, the names and addresses of at least two potential referees.

Upon acceptance of an article, authors will be asked to transfer copyright (for more information on copyright see <http://www.elsevier.com/locate/authorrighths>). This transfer will ensure the widest possible dissemination of information. A letter will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript. A form facilitating transfer of copyright will be provided.

If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases; contact ES Global Rights Department, PO Box 800, Oxford, OX5 1DX, UK; phone (+44) 1865 843830, fax: (+44) 1865 853333, e-mail: permissions@elsevier.com

Electronic format requirements for accepted articles

General points:

We accept most wordprocessing formats, but Word, WordPerfect or LaTeX is preferred. Always keep a backup copy of the electronic file for reference and safety. No

changes to the accepted version are permissible without the explicit approval of the Editor.

Wordprocessor documents: It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts, etc. Do not embed 'graphically designed' equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also Elsevier's Guide to Publication at <http://www.elsevier.com/locate/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spellchecker' function of your wordprocessor.

Preparation of text

Presentation of manuscript

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Italics are to be used for expressions of Latin origin, for example, *in vivo*, *et al.*, *per se*. Use decimal points (not commas); use a space for thousands (10 000 and above).

Use double spacing, and wide (3 cm) margins and continuous line numbering throughout the manuscript. (Avoid full justification, i.e., do not use a constant right-hand margin.) Ensure that each new paragraph is clearly indicated. Present tables and figure legends on separate pages at the end of the manuscript. If possible, consult a recent issue of the journal to become familiar with layout and conventions. Number all pages consecutively. Provide the following data on the title page (in the order given):

Title: Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

Author names and affiliation: Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name, and, if available, the e-mail address of each author.

Corresponding author: Clearly indicate who is willing to handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that telephone and fax numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address.

Present or permanent address: If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract: A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. A structured abstract is required. For this, a recent copy of the journal should be consulted. An abstract is often presented separate from the article, so it must be able to stand alone. References should

therefore be avoided, but if essential, they must be cited in full, without reference to the reference list. Non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Keywords: Immediately after the abstract, provide keywords, using British spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations: Define abbreviations that are not standard in this field at their first occurrence in the article: in the abstract but also in the main text after it. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Arrangement of the article

Subdivision of the article: Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2.), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text.' Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

- **Introduction:** State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

- **Experimental / Materials and methods:** Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

- **Theory and/or calculation:** A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction, and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

- **Discussion:** This should explore the significance of the results of the work, not repeat them.

- **Conclusions:** The main conclusions of the study should be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section

- **Acknowledgements:** Place acknowledgements, including information on grants received, before the references, in a separate section, and not as a footnote on the title page.

- **References:** See separate section, below.

- **Figure legends, tables, figures, schemes:** Present these, in this order, at the end of the article. They are described in more detail below. High-resolution graphics files must always be provided separate from the main text.

- **Text graphics:** Present incidental graphics not suitable for mention as figures, plates or schemes at the end of the article and number them 'Graphic 1' etc. Their precise position in the text can then be defined similarly (both on the manuscript and in the file). Ensure that high-resolution graphics files are provided, even if the graphic appears as part of your normal word-processed text file.

Specific remarks

Tables: Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

Nomenclature and units: Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI.

References:

Responsibility for the accuracy of bibliographic citations lies entirely with the authors.

1. Citations in the text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Unpublished results and personal communications should not be in the reference list, but may be mentioned in the text. Conference proceedings abstracts and grey literature (research reports and limited circulation documents) are not acceptable citations. Citation of a reference as 'in press' means that the item has been accepted for publication.

2. Citing and listing of web references

As a minimum, the full URL and last access date should be given. Any further information, if known (author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

3. Citing in the text

Citations in the text should be:

Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;

Two authors: both authors' names and the year of publication;

Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication. Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: "as demonstrated (Allan, 1996a, 1996b, 1999; Allan and Jones, 1995). Kramer et al. (2000) have recently shown"

4. List of references

References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters "a", "b", "c", etc., placed after the year of publication. You may use the DOI (Digital Object Identifier) and the full journal reference to cite articles in press.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2000. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51-59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 1979. *The Elements of Style*, third ed. Macmillan, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 1999. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281-304.

Preparation of illustrations

Photographs, charts and diagrams are all to be referred to as "Figure(s)" and should be numbered consecutively in the order to which they are referred.

Please provide all illustrations as separate files.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website: <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Colour figures in the printed issue can be accepted only if the authors defray the full cost. However, if together with your accepted article, you submit usable colour figures, then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in colour on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether these illustrations are reproduced in colour in the printed version. Please be informed that colour figure costs are EURO 350 for every first page. All subsequent pages cost EURO 175.

Proofs:

When your manuscript is received by the Publisher, it is considered to be in its final form. Proofs are not to be regarded as 'drafts'. One set of page proofs in PDF format will be sent by e-mail to the corresponding author, to be checked for typesetting/editing. No changes in, or additions to, the accepted (and subsequently edited) manuscript will be allowed at this stage. Proofreading is solely your responsibility.

Proofs will be sent to the author (first named author if no corresponding author is identified of multi-authored papers) and should be returned within 48 hours of receipt. Corrections should be restricted to typesetting errors; any others may be charged to the author. Any queries should be answered in full. Elsevier will do everything possible to get your article corrected and published as quickly and accurately as possible. Therefore, it is important to ensure that all of your corrections are returned to us in one all-inclusive e-mail or fax. Subsequent additional corrections will not be possible, so please ensure that your first communication is complete. Should you choose to mail your corrections, please return them to Log-in Department, Elsevier, Stover Court, Bampfylde Street, Exeter, Devon EX1 2AH, UK.

Off-Prints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail or, alternatively, 25 free paper offprints. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.

Author Enquiries

For enquiries relating to the submission of manuscripts (including electronic text and artwork) and the status of accepted manuscripts, please visit our website <http://authors.elsevier.com>. To track your accepted article, please visit <http://www.elsevier.com/trackarticle>.

Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, are provided after registration of an article for publication.