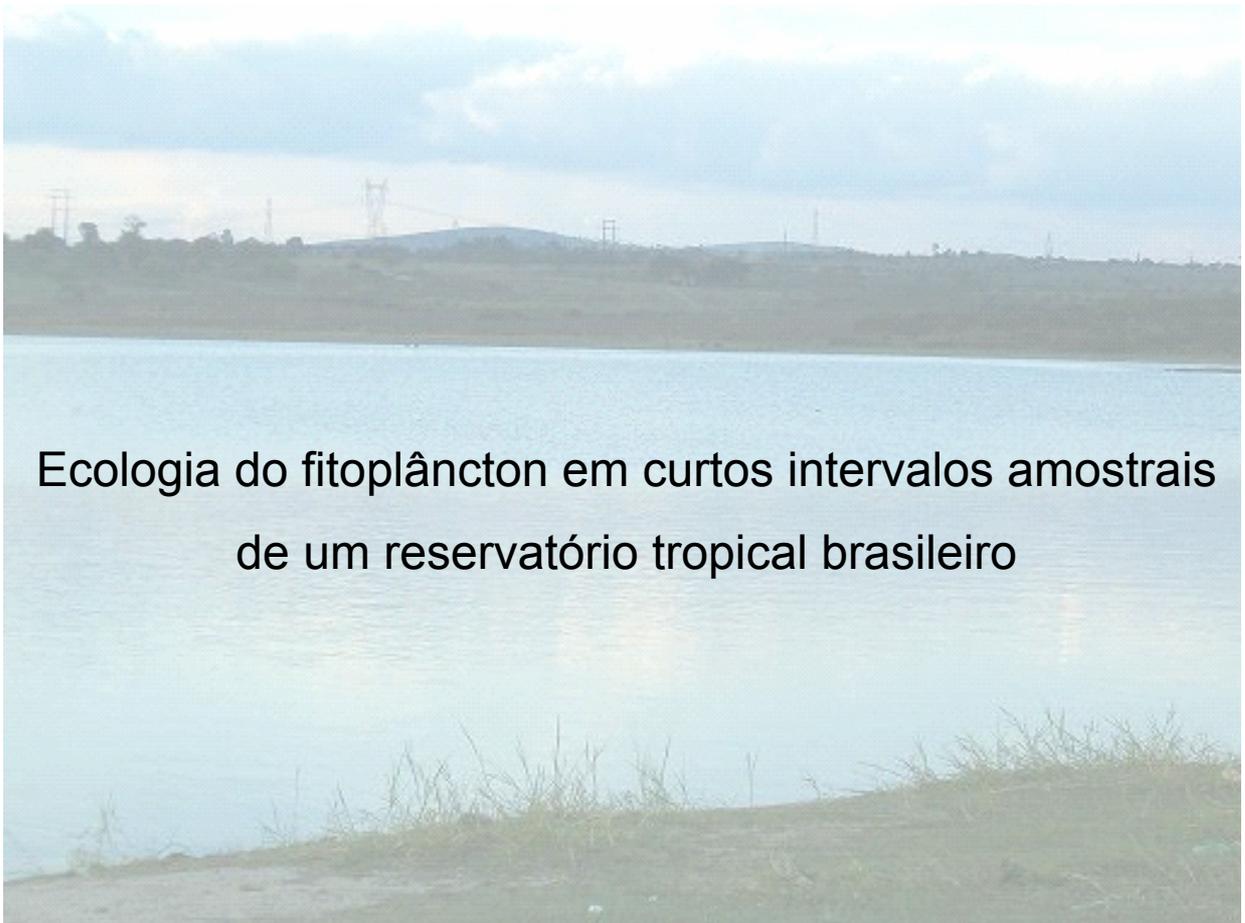


Ênio Wocyli Dantas



Ecologia do fitoplâncton em curtos intervalos amostrais
de um reservatório tropical brasileiro

Recife, 2006.

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

D192e Dantas, Ênio Wocyli
Ecologia do fitoplâncton em curtos intervalos amostrais
de um reservatório tropical brasileiro / Ênio Wocyli Dantas. –
2006.
55 f. : il.

Orientadora: Ariadne do Nascimento Moura.
Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Biologia.
Inclui bibliografia e anexo.

CDD 589.4

1. Fitoplâncton
2. Reservatório
3. Pernambuco
- I. Moura, Ariadne do Nascimento
- II. Título

Ênio Wocyli Dantas

Ecologia do fitoplâncton em curtos intervalos amostrais
de um reservatório tropical brasileiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (PPGB) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Botânica.

ORIENTADORA:

Profa. Dra. Ariadne do Nascimento Moura

CONSELHEIROS:

Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa

Profa. Dra. Maria do Carmo de Bittencourt-Oliveira

Recife, 2006.

Ecologia do fitoplâncton em curtos intervalos amostrais de um reservatório tropical brasileiro

ÊNIO WOCYLI DANTAS

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora:

Orientadora: _____

Dra. Ariadne do Nascimento Moura
Presidente/ UFRPE

Examinadores: _____

Dra. Elcida de Lima Araújo
Titular/ UFRPE

Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva-Cunha
Titular/ UFPE

Dr. William Severi
Titular/ UFRPE

Dra. Elba Maria Nogueira Ferraz
Suplente/ CEFET-PE

Data da aprovação: / / 2006.

Recife
2006

Dedicatória

A meus pais, Luiz e Diana, que sempre lutaram para proporcionar o melhor para mim, sem nunca perderem a postura, a responsabilidade e o amor. Que em todas as lições souberam mostrar o verdadeiro sentido de viver com dignidade. A meus irmãos, Wallace e Emanuel, pela vivência, carinho e apoio, respeitando e compartilhando de minhas escolhas. A todos eles que constituem o meu princípio, meu meio, meu tudo: a minha vida!

*Com carinho,
Ênio Wocylí Dantas.*

*“Engraçado é viver solto em um gel,
E não ter movimento suficiente
Para vencer as forças externas,
Para fazer o que bem entender,
Da maneira que sempre sonhou.*

*O jeito é se submeter ao sabor das correntes,
E ter que encontrar nutrientes,
Onde o fluxo incerto o levar.
Passar por entre estratos,
Adaptar-se a limitação dos recursos,
Vencer a competição com os outros,
Sobreviver em um mundo sem ar.
Torcendo pela decomposição,
Vibrando com a ressuspensão
Almejando a energia solar.*

*Difícil é escapar das suas duas guerras:
A resistência pela carência,
O massacre pelos opressores.
E olhe que seus predadores,
São mais fortes e insensíveis,
Superam as correntes,
E os tem como nutrientes.*

*Mesmo assim estas algas conseguem viver,
Garantem seu fitness,
Criam suas estratégias,
Que embora simples, são eficazes.
Elas nos ensinam
Que apesar de todas as turbulências,
A esperança é a última que morre.
Vamos deixar de reclamar
E criar a nossa própria estratégia,
Pois não adianta procurarmos porquês,
Adianta pensarmos em onde queremos chegar.*

Ênio Wocylô Dantas, 24/01/06.

Agradecimentos

Tudo começou em Juiz de Fora. Parece-me que foi ontem... Agradeço aos meus velhos guerreiros, Jandeson e Jackeline por toda a força. Sonhos partilhados, lutas comuns. Da mesma forma não podia deixar de lembrar de Amanda, o barco não afundou graças a você. Mas o sonho, apenas arquitetado, teria que ser consumado, e quanta dificuldade para terminar o meu curso de Biologia. Valiosas foram à ajuda de todos os meus colegas de turma, em especial a Rute, com quem partilhei do mesmo sofrimento. Bom... o primeiro passo para a consumação foi a seleção, mas para isto, Karina era a amiga de Zelma, que era amiga de Etham, que era o meu orientador... ufa! Valeu por tudo. Não bastava só prestar uma seleção, quão valiosa foi a oração de todos os que torciam por mim. Agradeço a madrinha Fátima e a todos os integrantes do grupo de oração Chama Viva. Passei... Graças a Deus.

Ah... Recife! Desde o dia em que pisei meus pés e respirei o ar desta cidade, naquela SBPC de 2003, algo já me dizia que aquela não era a última vez que viria aqui... morei em três lugares diferentes. Dividi apartamento com Tereza Deiró, Teresa Cristina, Matilde, Heraldinho, Douglas, Kaio e, mais especialmente, com Juliana (Ju Baia), Aracelli (Celli), Marcos (Lêfêfe) e Marciene. E porque não lembrar também de Liana e Li, quantos momentos partilhamos juntos. Obrigado, meus amigos.

No início vieram as disciplinas. Como me contentava por cada lição aprendida. Agradeço as professoras Elcida, Irenilda, Enide, Ariadne, Margareth, Sônia, Carmen; aos professores Paulo de Jesus, Tabarelli, Reginaldo. E por que não lembrar de Mari, Suzene, Terezinha, Rejane Pimentel, Rejane Mansur, Ulysses e Egídio. Lições não só profissionais, mas de vida.

E pensar que iria trabalhar com o perifiton. Quantas pessoas passaram pela minha vida neste propósito. De Mariquinha, Maria, ao pessoal da Base de São João do Cariri. Meus sinceros agradecimentos ao acolhedor povo de Alagamar. Não quero destacar ninguém, pois das 23 famílias, todas estão no meu coração... do mais simples senhor, a mais pura criança, a mais bela das minhas oito noivas. Quanta história... quase voltava casado, mas foi o casamento do perifiton que se desfez. Entre traumas e decepções, veio a superação e a vitória, tudo graças a ajuda de meus colegas de laboratório. Abraços para Silvana, Manoela, Ladjane, Emanuel, Juarez, Danilo, Bruno e Helton. Ainda mais forte foi a contribuição pessoal e profissional dos meus grandes colegas Giulliani, Travassos e Ise. Obrigado por tudo, estas coisas a gente nunca esquece.

Quão importantes foram os amigos que formei durante o estágio docência. Meus admiráveis alunos, vocês vieram alegrar os meus dias de tanta luta... e quanta luta, do zero, do nada, um novo recomeço. Carinho especial, eu posso deixar a todos, mas quero manifestar atenção a Patrícia Tavares, Patrícia Lima, Hellen, Jamile, Adriana, Suzi, Liliâne, Carol, Mariana, Andressa, Débora Monteiro, Joyce, Julliana, Luana, Karina, Marcondes, Wálber, Gildo, Marcelo, Jaime, Davi, Nylber, valeu a força. Mas também tiveram as discussões ecléticas do RU e do Laboratório de Macroalgas. A hora do almoço teve uma outra conotação. O momento de esquecer das tarefas e construir solidariedade, discutir assuntos diversos e

conhecer um pouco das outras realidades. Abraços a Jackeline, Angélica, Patrícia Cunha, Andressa, Roberta, Lucilene, Danielle, Khey, Nadja, Fátima, Paula, Douglas, Suellen, Raiana e Giselle.

Veio o fitoplâncton, o cenário muda do Cariri paraibano para o Agreste pernambucano. Lembranças ao povo sofrido de Garanhuns. Lembranças ao pessoal da química, Fran, Juliana e Amanda, que me ajudaram no momento crítico. Lembranças ao pessoal amigo que conheci em Recife e ao grupo de oração Fonte de Vida. Abraços a Rose, Laís, Natália, Carol, Betinha, Andréa, Cléia, Hélio, Teixeira e Diego. Obrigado pelo carinho! Eita... e meus amigos da Botânica... a turma que entrou comigo, e aqueles que conheci depois... obrigado por tudo. Desculpe se esquecer alguém, mas quero tentar... abraços para Alissandra, Amanda, Cláudio, Eduardo, Rodrigo, Graça, Jacira, Roberta, Cléber, Daniel, Francisco, Iranildo, Reinaldo, Rosilda, Clarissa, Elifábia, Joabe, João, Luciana, Maria, Priscila e Viviane. Sem esquecer também Iana e Marcelo da Floresta, Viviane do zooplâncton, Marcellê (Delícia) e o pessoal da xérox de Matemática, Rose, Silvana, Luci e Marisa. Entre as drenagens linfáticas e as massagens, era nos lanchinhos que toda a dieta ia por água abaixo... doces lembranças a Simone e a dona Margarida. Não poderia deixar seu Mana, seu Luiz, Silvana, Patrícia, Leide e Érica passarem despercebidos... que maravilha, vocês também foram importantes! Em suma, agradeço ao PPGCB e ao CNPq pelo suporte financeiro e técnico, por meio dos processos 130109/2004-5 e 503850/2003-9.

Agradeço as contribuições da pré-banca através das opiniões dos professores Elcida, Elba, Maria da Glória e William Severi. Mas, foram meus alicerces científicos que me deram suporte para produzir este produto. A matéria-prima partiu da sabedoria e experiência do meu comitê de orientação, o produto final, nada mais foi que uma ação conjunta entre todas as partes. À Maria do Carmo e Etham, por suas contribuições, e à Ariadne os meus mais expressivos agradecimentos, por tudo aquilo que me ensinou e proporcionou. Obrigado pela confiança e amizade.

Por falar em pessoas especiais, me reporto a minha terra e coloco meus amigos Adriana, Allysson, Márcia, Ruceline, Shirley e Tereza, como peças-chave do meu sucesso. Sem contar também da alegria de minha sobrinha Gabriela e do apoio de Damásio e Lindalva. Obrigado! Mas, qual o sentido de tudo isso, se não fosse a minha família... do meu avô a meus tios e tias, primos e primas, todos eles com suas palavras de apoio ajudaram-me a ter coragem de encarar toda esta batalha. Carinho especial a minha madrinha Ana e minha tia Inácia. A meus pais e irmãos, não basta apenas agradecer, pois esta dissertação e futuro título são dedicados a eles, razão de todo o meu esforço e luta. Eu os amo grandemente.

Por fim, entre tantas histórias, tantos altos e baixos, quedas e recomeços, era no silêncio que as minhas energias eram recompostas, era com o meu Pai do Céu que o filme passava novamente pela minha cabeça. Deus me mostrou as saídas dos erros, as lições dos meus fracassos, a luz para o impossível. Sem Ele, não poderia fazer nada, dedicar isto a ninguém, nem escrever sequer uma linha deste trabalho. Hoje, tenho a confiança e a certeza que o sonho foi realizado, a meta foi alcançada, e dentre os resultados mais importantes disso tudo, destaco para mim, a maturidade. Obrigado a todos...

Lista de tabelas

- Tabela 1:** Média e desvio padrão das variáveis físicas e químicas do reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil, durante o período estudado.....37
- Tabela 2:** Biomassa dos principais táxons e grupos fitoplanctônicos encontrados no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **a** = E₁ seco, **b** = E₁ chuvoso, **c** = E₂ seco, **d** = E₂ chuvoso.....38
- Tabela 3:** Resultado do ANOVA para avaliação das diferenças temporal e espacial dos principais táxons no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. E₁ = Estação 1, E₂ = Estação 2, (*) = $p < 0,05$, (**) = $p < 0,01$, (***) = $p < 0,001$, n.s.=diferença não significativa.....39
- Tabela 4:** Correlações das principais variáveis abióticas e bióticas (n=48), com os dois primeiros componentes da ACP. As correlações significativas encontram-se em negrito.....40

Lista de figuras

- Figura 1:** Variação espacial e temporal da temperatura da água no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **a** = E₁ seco, **b** = E₂ seco, **c** = E₁ chuvoso, **d** = E₂ chuvoso.....41
- Figura 2:** Variação espacial e temporal dos principais elementos nitrogenados no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **1** = 12:00hs, **2** = 16:00hs, **3** = 20:00hs, **4** = 00:00hs, **5** = 04:00hs, **6** = 08:00hs.....42
- Figura 3:** Variação espacial e temporal dos principais elementos fosforados no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **1** = 12:00hs, **2** = 16:00hs, **3** = 20:00hs, **4** = 00:00hs, **5** = 04:00hs, **6** = 08:00hs.....43
- Figura 4:** Variação espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **a** = E₁ seco, **b** = E₂ seco, **c** = E₁ chuvoso, **d** = E₂ chuvoso.....44
- Figura 5:** Ordenação pela ACP das unidades amostrais e das variáveis bióticas e abióticas significativas no estudo. O eixo 1 separou os períodos seco e chuvoso. O eixo 2, as unidades amostrais do período chuvoso. Abreviações: E1= Estação 1, E2 = Estação 2, Sup = subsuperfície, Fun = fundo, Temp = temperatura da água, pH = pH, Oxig = oxigênio dissolvido, Cond = condutividade elétrica, Turb = turbidez da água, PT = fósforo total, PTD = fósforo total dissolvido, P-PO₄ = ortofosfato, NT = nitrogênio total, NO₃ = nitrato, NO₂ = nitrito, Cry = *Cryptomonas ovata*, Cyc = *Cyclotella meneghiniana*, Cyl = *Cylindrospermopsis raciborskii*, Mae = *Microcystis aeruginosa*, Mfl = *Microcystis flos-aquae*, Syn = *Synedra rufipes*.....45
- Figura 6:** Mapa de localização do reservatório de Mundaú- PE.....50

Sumário

Lista de tabelas

Lista de figuras

Resumo

Abstract

1 – Introdução.....	1
2 – Revisão bibliográfica	
2.1 – Estudos fitoplanctônicos no mundo.....	2
2.2 – Estudos fitoplanctônicos no Brasil.....	4
3 – Referências bibliográficas.....	8
 Manuscrito (Dinâmica da comunidade fitoplanctônica em curtos intervalos amostrais em um reservatório tropical brasileiro).....	 14
 Resumo.....	 15
Abstract.....	16
1. Introdução.....	16
2. Material e métodos.....	17
3. Resultados.....	20
4. Discussão.....	23
5. Agradecimentos.....	31
6. Referências bibliográficas.....	31
 Anexos.....	 46
 Normas de submissão da revista Freshwater Biology.....	 51

Dantas, Ênio Wocylí, mestrando pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, fevereiro de 2006. *Ecologia do fitoplâncton em curtos intervalos amostrais de um reservatório tropical brasileiro*. Ariadne do Nascimento Moura (Orientadora), José Etham de Lucena Barbosa e Maria do Carmo de Bittencourt-Oliveira (Conselheiros).

Resumo: Apesar da importância do fitoplâncton na compreensão da ecologia de reservatórios, não há até o momento trabalhos efetivamente publicados para o estado de Pernambuco que se baseiam em intervalos amostrais curtos. Assim, este trabalho objetivou estudar a ecologia do fitoplâncton, evidenciando suas relações com os fatores abióticos, bem como demonstrando sua distribuição espacial e temporal no reservatório de Mundaú, Garanhuns-PE, durante um curto intervalo amostral. As coletas foram realizadas nos dois períodos sazonais, seco e chuvoso, em duas estações amostrais, na limnética (0,1m e 8m) e litorânea (0,1m e 2m). As amostras de fitoplâncton foram preservadas em lugol acético a 4% e contadas em microscópio invertido Zeiss Axiovert. Simultaneamente, foram medidas variáveis abióticas utilizando-se aparelhos de campo. Em laboratório foram feitas análises químicas das séries de nitrogênio e fósforo. O sistema de Garanhuns apresentou para o período seco, um padrão térmico de estratificação, águas anóxicas, pH alcalino, águas relativamente turbidas se comparadas ao período chuvoso que se mostrou, ao contrário, uma coluna desestratificada, águas bem oxigenadas com um pH próximo a neutralidade e uma turbidez muito elevada, especialmente próxima ao sedimento. Quanto aos nutrientes, o nitrogênio foi o elemento limitante nos dois períodos sazonais, enquanto que para o fósforo, as maiores concentrações de fósforo orgânico dissolvido foram detectadas no período seco, e as de fósforo particulado, no chuvoso. Em termos de associações fitoplânctônicas, o sistema apresentou diferenças espaço-temporal bem evidentes. As cianobactérias, além de serem o grupo dominante, com mais de 80% da biomassa total, foi o único que mostrou diferenças significativas com a profundidade, apresentando biomassas estatisticamente mais elevadas na subsuperfície. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Associação **Sn**) surgiu como a espécie mais importante em termos populacionais, sendo dominante durante o período de estudo. Os fatores que determinaram sua floração foram a reduzida camada fótica, elevadas temperaturas, pH alcalino e baixa relação N:P.

Palavras-chave: fitoplâncton, reservatórios, Pernambuco.

Dantas, Ênio Woclyli, mestrando pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, fevereiro de 2006. *Ecologia do fitoplâncton em curtos intervalos amostrais de um reservatório tropical brasileiro*. Ariadne do Nascimento Moura (Orientadora), José Etham de Lucena Barbosa e Maria do Carmo de Bittencourt-Oliveira (Conselheiros).

Abstract: Despite of the importance of the phytoplankton to the ecological comprehension of the reservoirs, there is no publications in reference to the Pernambuco State focusing short intervals of sampling. In order, this objective of this study was the ecology of the phytoplankton, emphasizing its relationships with the abiotic factors, as well as demonstrating the spatial and temporal distribution in the Mundaú reservoir, Garanhuns-PE, during a short sampling interval. The samples were made in the two sazonal periods, dry and rainy, in two sampling stations, in the limnetic (0.1 and 8m) and the littoral (0.1m and 2m). The samples of the phytoplankton were preserved in acetic lugol 4% and were counted under an inverted microscopy Zeiss Axiovert. Simultaneously, were measured abiotic variables using field instruments. In the laboratory were made chemical analysis from the nitrogen and phosphorus series. The Garanhuns system showed to the dry period a thermal standard of stratification, anoxic water, alkaline pH, water relatively turbid when compared with the rainy season. This season was the opposite, without stratification, water well oxygenated with a neutral pH and a high turbidity, specially close the sediment. The nitrogen was the limiting element at the two seasonal periods, while the organic phosphorus showed the highest concentrations during the dry period and the particulate phosphorus occurred during the rainy period. The phytoplanktonic associations showed spatial-temporal differences well evident. The cyanobacteria, besides its dominance characteristic, with more than 80% of the total biomass, was the only that showed significant differences related with the profundity, showing statistically higher biomass in the subsurface. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Association **Sn**) arising as the most important specie considering populations, is dominant during the experimental period. The factors that determined the flowering were the reduced photic layer, higher temperatures, alkaline pH, and the lower N:P ratio.

Key-Words: phytoplankton, reservoirs, Pernambuco.

1 – Introdução

Os ambientes aquáticos são sujeitos a alta variabilidade temporal e espacial resultante da interação entre as variáveis físicas, químicas e biológicas. Estes eventos promovem freqüentes reorganizações nas comunidades bióticas que buscam equilibrar sua estrutura e dinâmica às pressões a que são submetidas. Enquanto em ambientes lóticos, a constante movimentação das águas pode gerar um fluxo turbulento, nos lênticos, o caráter estacional propicia a formação de estratos verticais bem definidos. Neste contexto, os reservatórios posicionam-se como sistemas intermediários, pois apresentam uma compartimentalização horizontal, devido ao represamento de sistemas lóticos, formando assim regiões de influência de rio e outras de caráter lacustre (Tundisi, 1990).

O represamento dos sistemas lóticos perenes ou intermitentes são realizados, em geral, para atender diversos usos. A grande maioria dos reservatórios brasileiros, por exemplo, foi construída para suprir, principalmente, as demandas hidroelétricas e de abastecimento de água. Entretanto, os recursos hídricos superficiais estão sendo deteriorados rapidamente, devido às múltiplas atividades humanas que se desenvolvem com grande intensidade nas bacias hidrográficas. Nisto, o comprometimento do estado trófico dos sistemas, especialmente com o aporte de nitrogênio e fósforo, pode levar à formação de severos problemas que inviabilizam seus diversos usos.

A eutrofização, pois, determina uma seqüência bem conhecida de efeitos negativos sobre a qualidade da água. As mais evidentes mudanças afetam diretamente o componente biótico dos recursos hídricos, com acentuado aumento da biomassa planctônica e mortandade massiva de peixes. Além do mais, acarretam mudanças nas características físicas e químicas do sistema, como a redução da transparência da água e do oxigênio hipolimnético.

O conhecimento da composição e abundância dos organismos planctônicos constitui um fator essencial na discriminação do estado trófico dos sistemas, bem como na avaliação da utilização dos recursos aquáticos. O estudo das associações planctônicas pode responder às mudanças ambientais e configurar em descritores fundamentais nos gradientes espaciais e temporais dos reservatórios. Entre os fatores que influenciam a composição e dinâmica do plâncton em reservatórios, podem ser citados o tempo de retenção da água, o regime térmico, os processos advectivos e os gradientes físicos e químicos (Nogueira, 2000).

O fitoplâncton, em particular, constitui uma comunidade biótica diretamente relacionada à produção do sistema, qualidade e viabilidade do recurso hídrico, tendo um papel-chave em medidas de gerenciamento ambiental, pois respondem rapidamente às variações provocadas por ação antrópica ou naturais. Neste cenário, o rápido metabolismo devido, em parte, às altas temperaturas nos sistemas aquáticos tropicais, associado à alta instabilidade dos sistemas rasos torna estudos de curta escala de tempo essenciais à compreensão da ecologia de comunidades fitoplanctônicas.

Apesar da importância da comunidade fitoplanctônica para a compreensão da ecologia de reservatórios, até o momento não há trabalhos publicados para o Estado de Pernambuco, que se baseiem em intervalos amostrais curtos. A carência de publicações abarcando variações em escalas temporais curtas também é admitida para a literatura mundial (Huszar & Giani, 2004).

O reservatório de Mundaú, inserido na região hidrográfica de mesmo nome, constitui um dos depositários de parte dos esgotos domésticos da cidade de Garanhuns, Pernambuco, bem como fonte para o abastecimento público desta mesma cidade. Neste ambiente aquático já foram detectadas algas potencialmente tóxicas, com densidades superiores às recomendadas (SRH, 2000), ratificando a implementação de um sistema de monitoramento contínuo. As amostragens a curtos intervalos amostrais neste corpo hídrico permitirão um aprofundamento da compreensão da dinâmica da comunidade fitoplanctônica, com destaque para as algas potencialmente tóxicas, vindo a fornecer informações para o estabelecimento de uma base fundamental para o gerenciamento da qualidade da água. Assim, este trabalho objetivou estudar a ecologia do fitoplâncton, evidenciando suas relações com os fatores abióticos, bem como demonstrando sua distribuição espacial e temporal no reservatório de Mundaú, Garanhuns, PE, um sistema tropical, durante um curto intervalo amostral.

2 – Revisão bibliográfica

2.1 – Estudos fitoplanctônicos no mundo

A revisão de literatura em escala mundial reuniu, especificamente, trabalhos realizados em reservatórios nos últimos vinte anos. Foram tomados, especialmente,

aqueles de espaço amostral curto, de modo a contribuir sobremaneira à realização deste estudo. Eles concentram-se principalmente em países europeus.

Nestes tipos de estudos envolvendo períodos curtos de coleta, destacam-se o monitoramento e os programas circadianos. Os reservatórios, quando depositários de nutrientes advindos de meios antrópicos ou naturais, são fatalmente acometidos de proliferações algais, principalmente cianobactérias, capazes de produzir toxinas que comprometem sua utilização (Watanabe *et al.*, 1996). Deppe *et al.* (1999) testaram estratégias ecotecnológicas para redução de blooms de *Microcystis* em reservatórios hipereutróficos alemães, enquanto Briand *et al.* (2002) traçaram o contexto ambiental dos blooms de *Cylindrospermopsis raciborskii*, identificando sua capacidade competitiva nos diferentes sistemas lênticos franceses. Ahn, Chung & Oh (2002) encontraram alta correlação das taxas N:P com as cianobactérias em reservatórios coreanos, aumentando significativamente quando as algas encontram-se em floração.

Dos artigos que enfocam a dinâmica fitoplanctônica, merecem destaque o desenvolvido por Arauzo & Cobelas (1994). Estes autores evidenciaram que as relações entre os grupos algais *r* e *K* mudavam com o período de estudo. Naselli-Flores (2003), trabalhando em lagos italianos, sugeriu estratégias de manejo em função das conseqüências do efeito da flutuação do nível d'água. Segundo o autor, as atenções devem ser voltadas às áreas urbanas no controle das descargas externas, de modo a aumentar a vida útil dos sistemas, bem como garantir um potencial hídrico para seu aproveitamento.

Os ritmos circadianos são programas biológicos endógenos que temporizam os eventos metabólicos, fisiológicos, e/ou comportamentais a ocorrerem em fases ótimas do ciclo diário (Suzuki & Johnson, 2001). O número de trabalhos que consideram estes ritmos dentre as algas cresceu significativamente, e cada vez mais, surgem trabalhos sobre uma variedade de fenômenos rítmicos apresentado pelas algas, incluindo a taxia (fototaxia e quimiotaxia), temporização da divisão celular, capacidade fotossintética, bioluminescência, expressão gênica, sensibilidade à luz UV e muitos outros (Johnson & Golden, 1999; Nikaido & Johnson, 2000).

Os ciclos diários, portanto, refletem claramente a dinâmica de vários processos circadianos do ecossistema aquático, contribuindo tanto na compreensão ecológica como fisiológica das interações que nela se inserem. Outrossim, constitui uma importante ferramenta metodológica na obtenção de resultados fundamentais na proposição de metas de gerenciamento ambiental. Em se tratando de artigos

enfocando investigações nictemerais podem ser citados os estudos de Jones (1991) que avaliaram as vantagens da migração vertical do fitoplâncton em sistemas lênticos finlandeses. Dentre elas, o autor aponta a fuga dos predadores e o acesso a áreas mais ricas em nutrientes. Figueroa *et al.* (1997), trabalhando num reservatório espanhol, correlacionaram o espectro de atenuação luminosa com a distribuição do fitoplâncton, mostrando que o grupo das diatomáceas e dos dinoflagelados são responsáveis por alterações na qualidade luminosa.

2.1 – Estudos fitoplanctônicos no Brasil.

Desde o artigo pioneiro de Braun (1952) em lagos de inundação da planície do rio Tapajós, até dezembro de 1998, Huszar & Silva (1999) levantaram 156 publicações, das quais 71% foram da década de 90. Mereceram destaque por estes autores, o fato dos trabalhos concentrarem-se na região Sudeste e em ambientes lênticos, sobretudo reservatórios.

Dentre os trabalhos envolvendo comunidades fitoplanctônicas em reservatórios nos últimos 15 anos, foram selecionados para esta revisão, especialmente aqueles de cunho ecológico, com amostragens em curtos intervalos, fazendo parte de teses de doutorado, dissertações de mestrado, capítulos de livro e artigos científicos.

Na região Sudeste, os estudos concentram-se no Estado de São Paulo, onde foram investigados importantes sistemas de produção de energia hidroelétrica e abastecimento. Calijuri & Dos Santos (1996) avaliaram as variações temporais do fitoplâncton no reservatório de Barra Bonita sob a ótica, da produção primária e estratégias ecológicas da comunidade biológica. Em suas constatações, o sistema apresentou curtos intervalos de desequilíbrios explicados pela hipótese de distúrbio intermediário e uma produtividade três vezes maior que o observado 15 anos atrás. Dos Santos & Calijuri (1998) e Bittencourt-Oliveira *et al.* (2005), em experimentos com amostras provenientes deste reservatório, encontraram, respectivamente, um rápido crescimento de C-estrategistas em microcosmos e um pronunciado ritmo circadiano de *Microcystis panniformis* Komárek *et al.* na produção de microcistinas.

Beyruth (2000), realizando coletas semanais no reservatório de Guarapiranga, analisou o comprometimento do ambiente pelas algas procarióticas. A ressurgência, os *inputs* de nutrientes advindos da bacia de drenagem e a senescência das algas do litoral favoreceram a floração de cianobactérias. O autor sugere a restrição dos

despejos *in natura* e o controle da eutrofização, como necessários para a melhoria da qualidade da água.

No reservatório das Garças, Ramírez & Bicudo (2002, 2005) correlacionaram as variáveis físicas e climáticas com a comunidade fitoplanctônica, por meio de amostragens nictemeraias. Os mesmos classificaram o sistema como cinético turbulento e polimítico quente descontínuo. A intensidade do estresse para as algas deveu-se à pouca penetração de luz na coluna d'água, sendo a temperatura da água a variável ambiental que melhor explica a distribuição algal em suas unidades amostrais. Tucci & Sant'Anna (2003) estudaram a dinâmica de *Cylindrospermopsis raciborskii*, relacionando-a com fatores ambientais. Os autores explicaram a transformação estrutural da comunidade fitoplanctônica, antes dominada por *Microcystis aeruginosa*. Para eles, o desenvolvimento dos bancos de macrófitas no reservatório acarretou competição pelo fósforo, colabando as populações de *Microcystis*, e provocando sua substituição por táxons menos exigentes por este recurso, no caso, *C. raciborskii*. Crossetti & Bicudo (2005) concluíram que estas algas R e S-estrategistas eram gradualmente substituídas por C-estrategistas ao longo da sucessão, quando estudadas em mesocosmos.

Em outro reservatório localizado na reserva biológica do Parque Estadual Fontes do Ipiranga, Lopes, Bicudo & Ferragut (2005) realizaram um estudo nictemeral para determinarem quais os principais fatores ambientais relacionados com a dinâmica das principais associações algais existentes no sistema. Diferentemente do lago eutrófico das Garças, dominadas por associações de cianobactérias, especialmente **M** e **Sn**, neste reservatório oligotrófico, as Chlorophyta constituíram o maior componente fitoplanctônico, representado pelas associações **X₂** e **F**.

Em Minas Gerais, o reservatório de Pampulha foi a área de estudo de Figueredo & Giani (2001). Para eles, as mudanças climáticas, especialmente a precipitação, são importantes fatores na explicação das variáveis sazonais das algas, induzindo rápidas mudanças na dominância específica e na diversidade. Petrucio & Barbosa (2004), trabalhando em quatro sistemas lênticos da bacia do Médio Rio Doce, mostraram que a produção do bacterioplâncton é essencial no metabolismo geral destes ambientes, principalmente naqueles ricos em matéria orgânica.

Marinho & Huszar (2002), no reservatório de Jurtunaíba – RJ, avaliaram as condições físicas e disponibilidade nutricional como fatores controladores da

biomassa e composição fitoplanctônica. Em suas pesquisas, os mesmos identificaram dois estágios: um de baixa biomassa, dominada pelas algas C-estrategistas *Aulacoseira distans* e *Cryptomonas marsonii* (associações **D** e **H**, respectivamente), correlacionadas positivamente com nitrato, e outro de alta biomassa, dominada por algas S e R-estrategistas. *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena spiroides* e *Cylindrospermopsis raciborskii* (associações **M**, **H** e **Sn**, respectivamente), portanto, correlacionaram-se positivamente com a temperatura e luminosidade.

Ainda no estado do Rio de Janeiro, Panosso *et al.* (2003) realizaram experimentos no reservatório de Funil, evidenciando o papel dos copépodos do gênero *Notodiaptomus* sobre as associações de cianobactérias, tanto de linhagens tóxicas como não-tóxicas.

No Norte, o lago Batata-PA é o sistema mais bem estudado, disponibilizando de importantes contribuições ecológicas ao estudo de algas, não só Brasil como no mundo. Diversos trabalhos foram publicados com enfoque especialmente voltado às associações fitossociológicas propostas por Reynolds (1997), sendo úteis na revisão do modelo teórico e funcional das populações algais de Reynolds *et al.* (2002). A caracterização biótica do sistema foi realizada por Huszar & Reynolds (1997). Huszar *et al.* (1998) realizam comparações ecológicas com mais dois sistemas lênticos da região Sudeste, concluindo o poder do uso das associações fitoplanctônicas como mais expressivo que os índices abióticos na classificação do estado trófico dos sistemas tropicais. Melo & Huszar (2000) também realizam estudos mais intensos, como variações diárias, no entendimento do fitoplâncton deste sistema, evidenciando as propriedades físicas do ambiente como determinantes das estratégias algais. Por se tratar de uma planície de inundação, a sucessão das espécies relacionou-se com o nível da água. Em seus resultados, Chlorococcales (**X₁**), que toleraram melhor as condições de corrente foram substituídas por Zignematales (**T**) e Oscilaltoriales (**S**), melhores competidores durante a estratificação térmica.

Vale ressaltar também os trabalhos de Keppeler & Hardy (2004) em um corpo aquático do Acre. Os mesmos atestaram o efeito de cianoprocariotos na estrutura da comunidade zooplanctônica, onde a influência destas algas promoveu a migração vertical destes animais em busca de outros organismos mais palatáveis em camadas mais inferiores do sistema.

Na Bahia, França & Coimbra (1998) publicaram em revista regional o primeiro artigo enfocando amostragens nictemerais no Nordeste. Entretanto, seus trabalhos foram de cunho eminentemente florístico não realizando quaisquer inferências ecológicas e/ou fisiológicas nos seus resultados.

Na Paraíba, Barbosa (1996) estudou a variação temporal e distribuição das concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos na água, aspectos ecológicos e comportamento nictemeral do fitoplâncton e de parâmetros hidrológicos na represa de Gramame, Alhandra. Em seu trabalho, os padrões vertical e temporal foram dominados quali e quantitativamente por clorófitas, num meio cujas condições tróficas alternavam-se de oligo a mesotróficas. Barbosa (2002) estudou os condicionantes limnológicos e biológicos do fenômeno *El niño* em um importante reservatório de abastecimento da região semi-árida do Estado. De acordo com os seus resultados, a interação seca extrema e chuvas concentradas em curto período, foram os maiores determinantes da alta variabilidade interanual das variáveis estudadas e as reduzidas variações espaciais dos eixos horizontal e vertical do sistema.

No Rio Grande do Norte, Costa (1999) realizou um estudo nictemeral do fitoplâncton na Barragem Eng. Armando Ribeiro Gonçalves em dois períodos sazonais. Em seus resultados, o longo tempo de residência influenciou a concentração dos nutrientes e o sucesso ecológico das cianobactérias, com maiores densidades no período chuvoso, principalmente na subsuperfície.

Araújo (2000), estudando um sistema lacustre dos Lençóis Maranhenses, caracterizou a comunidade fitoplanctônica atendendo ao ciclo hidrológico da região, observando um predomínio de clorófitas em riqueza e cianobactérias em densidade. O sistema foi caracterizado como oligotrófico, tendo baixa densidade de algas, mas apresentando alta diversidade e equitatividade nos períodos estudados.

No estado de Pernambuco, após o “caso da hemodiálise”, desencadeada em 1996, no município de Caruaru, onde dezenas de pacientes renais faleceram devido a hepatotoxinas provenientes da água contaminada por cianobactérias (Jochimsen *et al.*, 1998, Bittencourt-Oliveira & Molica, 2002), as pesquisas de abordagem ecológica relacionadas a estes organismos aumentaram significativamente. Entretanto, os estudos de cunho ecológico, resumem-se a amostragens pontuais (Bouvy *et al.*, 2000; Falcão *et al.*, 2002; Lazzaro *et al.*, 2003), sazonais (Huszar *et al.*, 2000), mensais e bimensais (Bouvy *et al.*, 1999, 2001, 2003).

Alguns trabalhos foram desenvolvidos no Estado atendendo amostragens quinzenais, e de acompanhamentos diários. Bressan (2001), em escalas quinzenais de coleta, buscou reconhecer os padrões espaciais e temporais de populações de *C. raciborskii* e os fatores reguladores de sua dominância no reservatório de Tabocas. Seus dados convergem às conclusões de que a dominância desta alga é favorecida por altas temperaturas, pH alcalino e baixas intensidades luminosas e teores de fósforo baixos. As associações de algas mais representativas no sistema foram **S** e **Sn**, relacionadas à habilidade de se desenvolverem nas condições de luminosidade e fósforo apresentadas pelo sistema.

No reservatório de Botafogo, Lira (2005) avaliou a estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica, em dois períodos amostrais (chuvoso e seco), a partir de coletas semanais. De acordo com seus resultados, a disponibilidade de luz e nutrientes foram os fatores de maior influência ao desenvolvimento das algas. O sistema foi caracterizado como hipereutrófico e dominado por fitoflagelados, especialmente *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg.

Molica et al. (2005), estudou o reservatório de Tapacurá, entre o período de 19 de março a 30 de maio de 2002. Os mesmos detectaram florações de quatro tipos diferentes de cianobactérias, que foram sendo substituídas uma a uma. A dominância oscilou de *Anabaena spiroides*, *Pseudanabaena* sp., *C. raciborskii* e *M. aeruginosa*. A partir do teste de bioensaios em camundongos foram detectados neurotoxinas nas florações de *A. spiroides* e *C. raciborskii*, mas a presença de saxitoxinas foi confirmada apenas para *C. raciborskii* através de testes moleculares.

Diante do que foi exposto e da visível carência de trabalhos de curtos intervalos amostrais, especialmente para Pernambuco, o presente estudo visou estudar a ecologia do fitoplâncton, evidenciando suas relações com os fatores abióticos, bem como sua distribuição vertical e temporal no reservatório de Mundaú, Nordeste brasileiro, a partir de amostragens em curto intervalo de tempo.

3 – Referências bibliográficas

Ahn, C.Y., Chung, A.S. & Oh, H.M. (2002) Rainfall, phycocyanin, and N:P ratios related to cyanobacterial blooms in a Korean large reservoir. *Hydrobiologia*, **474** (1-3), 117-124.

- Araújo, A. (2000) *Análise limnológica e caracterização do fitoplâncton de um sistema lacustre em curto período de tempo (estações seca e chuvosa) - no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, Maranhão (02°19' - 02°45'S e 42°44' - 43°29'W)*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Arauzo, M. & Cobelas, A. (1994) Phytoplankton strategies and time scales in a eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, **291**, 1-9.
- Barbosa, J.E.L. (1996) *Comportamento nictemeral do fitoplâncton e de parâmetros hidrológicos na represa de Gramame, Alhandra – Paraíba*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Barbosa, J.E.L. (2002) *Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico Semi-árido nordestino*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- Beyruth, Z. (2000) Periodic disturbances, trophic gradient and phytoplankton characteristics related to cyanobacterial growth in Guarapiranga Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Hydrobiologia*, **424**, 51-65.
- Bittencourt-Oliveira, M.C. & Molica, R. (2003) Cianobactéria invasora: aspectos moleculares e toxicológicos de *Cylindrospermopsis raciborskii* no Brasil. *Biociência: Ciência e Desenvolvimento*, **30**, 82-90.
- Bittencourt-Oliveira, M.C., Kujbida, P., Cardozo, K.H.M., Carvalho, V.M., Moura, A.N., Colepicolo, P. & Pinto, E. (2005) A novel rhythm of microcystin biosynthesis is described in the cyanobacterium *Microcystis panniformis* Komárek *et al.* *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **326**, 687-694.
- Bouvy, M., Molica, R., De Oliveira, S., Marinho, M. & Becker, B. (1999) Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. *Aquatic Microbial Ecology*, **20**(3), 285-297.
- Bouvy, M., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M. & Moura, A. (2000) Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, **23**, 13-27.
- Bouvy, M., Molica, R., Oliveira, S., Marinho, M. & Beker, B. (2001) Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow resevoir in the semi-arid region of northest Brazil. *Aquatic Microbial Ecology*. **20**, 285-297.

- Bouvy, M., Nascimento, S. M., Molica, R. J. R. & Ferreira, A. (2003) Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, **493**, 115-130.
- Braun, R. (1952) Limnologische Untersuchungen an einigen seen im Amazonas gebiet. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrobiologie*, **14**, 1-128.
- Bressan, F.A. (2001) *Fatores reguladores da dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszyska) Seenayya & Subba-Raju no reservatório Tabocas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Briand, J.F., Robillot, C., Quiblier-Llobéras, C., Humbert, J.F., Couté, A. & Bernard, C. (2002) Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Water Research*, **36**, 3183-3192.
- Calijuri, M.C., Dos Santos, A.C.A. (1996) Short-term changes in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil): emphasis on the phytoplankton communities. *Hydrobiologia*, **330**: 163-175.
- Costa, I.A.S. (1999) *Ecologia dinâmica da comunidade fitoplanctônica da barragem Engº Armando Ribeiro Gonçalves, Assu/RN*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Crossetti, L.O. & Bicudo, C.E.M. (2005) Structural and functional phytoplankton responses to nutrient impoverishment in mesocosms placed in a shallow eutrophic reservoir (Garças pond), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, **541**, 71-85.
- Deppe, T., Ockenfeld, K., Meybohm, A., Optiz, M. & Benndorf, J. (1999) Reduction of *Microcystis* blooms in a hypereutrophic reservoir by a combined ecotechnological strategy. *Hydrobiologia*, **409**, 31-38.
- Dos Santos, A.C.A. & Calijuri, M.C. (1998) Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, **367**, 139-152.
- Falcão, D.P.M., Moura, A.N., Pires, A.N., Bouvy, A.H.B., Marinho, M., Ferraz, A.C.N. & Silva, A.M. (2002) Diversidade de microalgas planctônicas de mananciais localizados nas zonas fitogeográficas: Mata, Agreste e Sertão do Estado de Pernambuco In: *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco* (Eds M. Tabarelli, A.M. Silva), v. 1, pp. 63-77. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Recife.
- Figueredo, C.C. & Giani, A. (2001) Seasonal variation in the diversity and species richness of phytoplankton in a tropical eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, **445**(1-3), 165-174.

- Figuerola, F.L., Ruiz, R., Saez, E., Lucena, J. & Niell, F.X. (1997) Spectral light attenuation and phytoplankton distribution during a daily cycle in the reservoir of La Concepcion, Southern Spain. *Archiv Für Hydrobiologie*, **140**(1), 71-90.
- França, L.M.B. & Coimbra, M.M.L. (1998) Fitoplâncton coletado num período de 24 horas no reservatório de Itaparica (PE/BA). *CDU*, **4**, 69-83.
- Huszar, V.L.M. & Giani, A. (2004) Amostragem da comunidade fitoplanctônica: reflexões e caminhos. In: *Amostragem em Limnologia* (Eds C.E.M. Bicudo, D.C. Bicudo), pp. 22-32. Rima, São Carlos.
- Huszar, V.L.M. & Reynolds, C.S. (1997) Flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*, **346**, 169-181.
- Huszar, V.L.M. & Silva, L.H.S. (1999) A estrutura da comunidade fitoplanctônica no Brasil: Cinco décadas de estudos. In: *Limnotemas* (Sociedade Brasileira de Limnologia), n.2, 17 pp.
- Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Domingos, P., Marinho, M. & Melo, S. (1998) Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. *Hydrobiologia*, **369-370**, 59-71.
- Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Marinho, M., Domingos, P. & Sant'Anna, C.L. (2000) Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*, **424**, 67-77.
- Jochimsen, E.M., Carmichael, W.W.J., Cardo, D.M., Cookson, S.T., Holmes, C.E.M., Antunes, B.C., Melo Filho, D.A., Lyra, T.M., Barreto, V.S.T., Azevedo, S.M.F.O. & Jarvis, W.R. (1998) Liver failure and death after exposure to microcystins at a hemodialysis center in Brazil. *New England Journal Medicine*, **338**, 873-878.
- Johnson, C.H. & Golden, S.S. (1999) Circadian programs in cyanobacteria: adaptiveness and mechanism. *Annual Review of Microbiology*, **53**, 389-409.
- Jones, R.I. (1991) Advantages of diurnal vertical migrations to phytoplankton in sharply stratified, humic forest lakes. *Archiv für Hydrobiologie*, **120**, 257-266.
- Keppeller, E.C. & Hardy, E.R. (2004) Vertical distribution of zooplankton in the water column of Lago Amapá, Rio Branco, Acre, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, **21**(2), 169-177.
- Lazzaro, X., Bouvy, M., Ribeiro-Filho, R.A., Oliviera, V.S., Sales, L.T., Vasconcelos, A.R.M. & Mata, M.R. (2003) Do fish regulate phytoplankton in shallow eutrophic Northeast Brazilian reservoirs? *Freshwater Biology*, **48**, 649-668.

- Lira, G.A.S.T. (2005) *Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica do reservatório de Botafogo – Região Metropolitana do Recife-PE*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Lopes, M.R.M., Bicudo, C.E.M. & Ferragut, C. (2005) Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. *Hydrobiologia*, **542**, 235-247.
- Marinho, M.M. & Huszar, V.L.M. (2002) Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Archiv für Hydrobiologie*, **153**(3),443-468.
- Melo, S. & Huszar, V.L.M. (2000) Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brazil): diel variation and species strategies. *Journal of Plankton Research*, **22**(1), 63-76.
- Molica, R.J.R., Oliveira, E.J.A., Carvalho, P.V.V.C., Costa, A.N.S.F., Cunha, M.C.C., Melo, G.L. & Azevedo, S.M.F.O. (2005) Occurrence of saxitoxins and an anatoxin-a(s)-like anticholinesterase in a Brazilian drinking water supply. *Harmful Algae*, **4**, 743-753.
- Naselli-Flores, L. (2003) Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr Deep Lake and Mr Shallow Lake. *Hydrobiologia*, **506-509**, 13-21.
- Nikaido, S.S. & Johnson, C.H. (2000) Daily and circadian variation in survival from ultraviolet radiation in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, **71**, 758-65.
- Nogueira, M.G. (2000) Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicator of environmental compartmentalization in Jurumirim reservoir (Paranapanema River), São Paulo, Brazil. *Hydrobiologia*, **431**(2-3), 115-128.
- Panosso, R., Carlssoni, P., Kozlowsky-Suzuki, B., Azevedo, S.M.F.O. & Graneli, E. (2003) Effect of grazing by a neotropical copepod, *Notodiaptomus*, on a natural cyanobacterial assemblage and on toxic and non-toxic cyanobacterial strains. *Journal of Plankton Research*, **25**(9), 1169-1175.
- Petrúcio, M.M. & Barbosa, F.A.R. (2004) Diel variations of phytoplankton and bacterioplankton production rates in four lakes in the middle Rio Doce basin (southeastern Brazil). *Hydrobiologia*, **513**, 71-76.
- Ramirez, J.J. & Bicudo, C.E.M. (2002) Variation of climatic and physical co-determinants of phytoplankton community in four nictemeral sampling days in a

- shallow tropical reservoir, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **62**(1), 1-14.
- Ramirez, J.J. & Bicudo, C.E.M. (2005) Diurnal and spatial (vertical) dynamics of nutrient (N, P, Si) in four sampling days (summer, fall, winter and spring) in a tropical shallow reservoir and their relationships with the phytoplankton community. *Brazilian Journal of Biology*, **65**(1), 141-157.
- Reynolds, C. S. (Ed) (1997) *Vegetation processes in the Pelagic. A Model for Ecosystem Theory*. ECI, Oldendorf.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L. & Melo, S. (2002) Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, **24**(5), 417-428.
- Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (SRH). (2000) *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – Documento Síntese*, Recife, 267pp.
- Suzuki, L. & Johnson, C.H. (2001) Algae know the time of day: Circadian and photoperiodic Programs. *Journal of Phycology*, **37**, 933-942.
- Tucci, A. & Sant'Anna, C.L. (2003) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya & Subba Raju (Cyanobacteria): variação semanal e relações com fatores ambientais em um reservatório eutrófico, são Paulo, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, **26**(1), 97-112.
- Tundisi, J.G. (1990) Perspectives for ecological modeling of tropical and subtropical reservoirs in South America. *Ecological Modelling*, **52**(1/2), 7-20.
- Watanabe, M.F., Harada, K., Charmichael, W.W. & Fujiki, H. (1996) *Toxic Microcystis*. CRC Press, Boca Raton, 262pp.

Manuscrito

Trabalho a ser enviado para publicação na
Revista Freshwater Biology

EFEITOS BOTTOM-UP NO FITOPLÂNCTON EM UM RESERVATÓRIO TROPICAL BRASILEIRO

Ênio Wocyli Dantas¹, José Etham de Lucena Barbosa², Maria do Carmo Bitencourt-Oliveira³ e Ariadne do Nascimento Moura⁴

¹PPGB/UFRPE eniowocyli@yahoo.com.br

²Depto. de Ciências Biológicas/UEPB

³Depto. de Ciências Biológicas – ESALQ/USP

⁴PPGB/Depto. de Biologia/UFRPE

Resumo:

1. Estudo em curto intervalo amostral foi conduzido em um reservatório hipereutrófico brasileiro, visando determinar a dinâmica da comunidade fitoplanctônica, em função de variáveis físicas e químicas, contribuindo assim para o conhecimento das associações algais em ambientes tropicais.
2. As associações fitoplanctônicas que mais se destacaram são do grupo funcional **Sn**, formado por *Cylindrospermopsis raciborskii*, que predominou no sistema em ambos períodos sazonais. O sucesso da espécie, especialmente no período seco, foi favorecido pela maior disponibilidade de fósforo, menores valores de NO₃, limitação de nitrogênio, pH mais alcalino e estabilidade térmica.
3. No período seco, a desmineralização do fósforo no sedimento e a atelomixia na região litorânea do sistema, contribuíram para a ressuspensão de frústulas de diatomáceas (associações **B** e **D**). No período chuvoso, o aporte alóctone de elementos particulados acarretou uma menor disponibilidade de recursos, que explicaram o desenvolvimento das associações **M** e **Lm** (S-estrategistas) mais evidentes que o período seco. A presença dos criptomonados (associação **Y**) ocorreu no período chuvoso, quando os fatores físicos acentuados limitaram o desenvolvimento de predadores.
4. O fitoplâncton no reservatório de Mundaú mostrou uma forte influência *bottom-up*, tanto para o estabelecimento de florações, como no controle e reorganização de sua estrutura.

Palavras-chave: reservatório hipereutrófico, Nordeste brasileiro, atelomixia, baixo N:P, *Cylindrospermopsis raciborskii*.

Abstract:

1. A study of short interval sampling was conducted in a Brazilian hypereutrophic reservoir to determine the dynamic of phytoplanktonic community in relation to physical and chemical variables, contributing to the knowledge of algal associations in tropical environments.
2. The more detached phytoplanktonic associations were from **Sn** functional group, consisted of *Cylindrospermopsis raciborskii*, and predominant in the system on both seasonal periods. Highest phosphorus disponibility, lower NO₃ levels, nitrogen limitation, pH alkaline and thermal stability favored the blooms, especially during the dry season.
3. During dry season, phosphorus demineralization in the sediment and the atelomixis in the shoreline contributed to the resuspension of frustule of diatom (associations **B** and **D**). In rainy season, the arrival of diversified particulate elements provoked a lower disponibility of resources explaining the development of associations **M** and **Lm** (S-strategists), more evident than in dry season. The cryptomonad (association **Y**) occurred in rainy season when accented physic factors limited the development of predators.
4. The phytoplankton in Mundaú Reservoir is under a strong bottom-up influence, both to blooms establishment and control and reorganization of its structure.

Key Words: hypereutrophic reservoir, northeast Brazil, atelomixis, low N:P ratio, *Cylindrospermopsis raciborskii*.

1. Introdução

Os ecossistemas aquáticos possuem uma variabilidade espacial e temporal promovida pelo alto grau de incerteza com relação às comunidades fitoplanctônicas. Esta variabilidade, resultado da interação de fatores bióticos e abióticos, provoca constantes reorganizações tanto na abundância relativa como na composição das espécies do fitoplâncton.

Dentre os corpos hídricos que melhor expressam estas alterações, estão os reservatórios, considerados sistemas intermediários entre rios e lagos. Neles, a existência de gradientes horizontais e verticais subordinados a um fluxo em direção à barragem caracteriza compartimentos cuja extensão depende da contribuição

alóctone e do tempo de residência da água. A redução da velocidade, promovida pelo represamento, leva à sedimentação do material particulado carregado pelos tributários. Deste modo, definem-se as zonas de influência do rio, de transição e lacustre (Tundisi, 1990).

Nos últimos anos, a degradação destes ambientes aquáticos vem ocorrendo de forma acelerada, em razão do aumento da quantidade de despejos que chegam a estes sistemas. A eutrofização, especialmente a de origem antrópica, desponta como um dos principais processos contribuintes desta degradação, vindo a repercutir sobremaneira na manutenção das comunidades biológicas, através da quebra da estabilidade do ecossistema (Esteves, 1998).

Dentro deste contexto, o estudo da comunidade fitoplanctônica possui importante participação em medidas de gerenciamento ambiental, pois o seu curto ciclo de vida permite respostas rápidas às variações do meio, quer sejam antropogênicas ou naturais. Estas respostas são reflexos de fatores controladores primários e secundários, relacionados, respectivamente, aos níveis de nutrientes (efeito *bottom-up*) e ao controle por predadores (efeito *top-down*). Entretanto, alguns estudos têm mostrado que, em sistemas eutróficos e hipereutróficos, o efeito *top-down* é limitado pelo grande desenvolvimento de algas impalatáveis, sendo o controle da biomassa fitoplanctônica mais relacionados aos efeitos *bottom-up* (Kasprzak, Lathrop & Carpenter, 1999; Benndorf *et al.*, 2002).

Apesar da importância do fitoplâncton para a compreensão da ecologia de reservatórios, não há, até o momento, para o Estado de Pernambuco, trabalhos publicados que se baseiem na observação de ciclos limnológicos em intervalos amostrais curtos, num período de 24 horas. A carência de publicações abordando variações em escalas temporais curtas, também é admitida para a literatura mundial (Huszar & Giani, 2004).

Assim, este trabalho objetivou estudar a influência dos efeitos abióticos na distribuição vertical e temporal da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Mundaú, Garanhuns, PE, durante um curto espaço de tempo, caracterizando os fatores que dirigem o desenvolvimento das principais associações algais.

2. Material e Métodos

A bacia hidrográfica do rio Mundaú possui, em toda sua extensão, uma área de cerca de 4.090,39Km², dos quais 2.155,70Km² estão localizados no Estado de

Pernambuco e 1.934,690Km² no Estado de Alagoas. A região é caracterizada por apresentar um clima tropical úmido, com temperaturas médias em torno de 23°C, marcado por duas estações bem definidas, o período de seca e o período de chuvas. A estação chuvosa ocorre entre fevereiro e agosto, coincidindo com o período frio, quando a temperatura do ar chega a menos que 15°C (INMET, 2005). O reservatório de Mundaú localiza-se a uma altitude de 716m, no município de Garanhuns, no Agreste de Pernambuco, Brasil, nas coordenadas 08°56'47''S e 36°29'33'' W. Este reservatório foi construído com a finalidade de abastecimento público e possui uma capacidade de acumulação de 1.968.600m³ de água, e sua bacia de drenagem recebe parte dos esgotos domésticos de Garanhuns (SHR, 2000).

As coletas foram realizadas em dois períodos sazonais, seco (24/25 de janeiro de 2005) e chuvoso (7/8 de junho de 2005), cobrindo um intervalo amostral de 20 horas. Optou-se por horários de coleta que atendessem a amostragens no período claro (12:00h, 16:00h e 08:00h) e escuro (20:00h, 00:00h e 04:00h). As amostras para os teores de nutrientes e para as análises do fitoplâncton total, foram coletadas à subsuperfície e no ponto mais profundo, na região limnética (E₁) e litorânea (E₂), com o auxílio de uma garrafa de *van Dorn*. Na região limnética, a profundidade máxima foi de 9 metros e na região litorânea de 2,5 metros, sendo as coletas realizadas a 8 e 2 metros, respectivamente.

Em campo, a maioria das variáveis abióticas foi determinada por meio de equipamentos, cujas medidas, exceto pH, foram obtidos *in situ*. As variáveis analisadas a partir destes aparelhos foram: temperatura da água e oxigênio dissolvido, por meio de oxímetro Schott, Handylab OX1; condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (STD), através de condutivímetro Schott, Handylab LF1; turbidez, com microprocessador turbidímetro Hanna Instruments, HI 93703 e; pH, através de potenciômetro de bancada Digimed, DMPH-2. A transparência da água foi obtida por meio de um disco de Secchi, com 25cm de diâmetro. O cálculo da zona eufótica foi obtida pelo produto da profundidade de Secchi com a constante 2,7, de acordo com Margalef (1983). Foi considerada estratificação térmica, quando a diferença de temperatura entre a subsuperfície e o fundo foi superior a 1,5°C, de acordo com Frempong (1981).

As amostras qualitativas de fitoplâncton foram coletadas com o auxílio de rede de plâncton, com abertura de malha de 25µm, sendo posteriormente

aconditionadas em recipientes plásticos com capacidade de 100ml e fixadas com formol a 4%. Alíquotas de 100ml foram retiradas diretamente do reservatório e fixadas com lugol acéticos até o momento de análise.

Em laboratório, as análises das variáveis abióticas para obtenção dos teores de nitrogênio total ($\mu\text{g.NT.L}^{-1}$), nitrito ($\mu\text{g.N-NO}_2\text{.L}^{-1}$) e nitrato ($\mu\text{g.N-NO}_3\text{.L}^{-1}$) seguiram metodologias propostas por Valderrama (1981), Mackereth, Heron & Talling (1978) e Golterman, Clymo & Ohnstad (1971), respectivamente. Já as análises do fósforo total ($\mu\text{g.PT.L}^{-1}$) e fosfato total dissolvido ($\mu\text{g.PDT.L}^{-1}$) e ortofosfato ($\mu\text{g.P-PO}_4\text{.L}^{-1}$), foram feitas adotando-se metodologias expressas em Valderrama (1981) e Strickland & Parsons (1965), respectivamente. Os teores de fósforo particulado ($\mu\text{g.PP.L}^{-1}$) e fósforo orgânico dissolvido ($\mu\text{g.POD.L}^{-1}$), foram determinados a partir das diferenças entre PT e PTD, e PTD e P-PO₄, respectivamente.

Para a identificação dos táxons, as amostras foram examinadas em microscópio Zeiss, modelo Axioskop com ocular de medição acoplada. A densidade fitoplanctônica (ind.L^{-1}) foi estimada segundo o método de sedimentação em câmara, conforme Utermöhl (1958), utilizando-se microscópio invertido Zeiss, modelo Axiovert 135M, em aumento 400x. Os valores de biovolume foram determinados através de fórmulas descritas em Hillebrand *et al.* (1999) e, posteriormente convertidos para biomassa, expressa em mg.L^{-1} de massa fresca. O enquadramento das associações fitoplanctônicas foi embasado em Reynolds (1997). Foi seguido o modelo C-S-R para determinação das estratégias de sobrevivência das algas, de acordo com Reynolds (1997).

Os resultados obtidos foram tratados através de estatística descritiva, analisando-se a amplitude de variação dos dados e sua dispersão em torno das médias, bem como, as variações ocorrentes durante o intervalo amostral de 20 horas, entre as profundidades, horários, estações e os períodos sazonais estudados. A análise de variância (ANOVA) foi calculada para cada estação amostral, adotando $p < 0,05$. Neste caso, foram incluídos os táxons e grupos fitoplanctônicos que alcançaram mais de 2% da biomassa total em qualquer unidade amostral. O programa estatístico utilizado foi o BioEstat 3.0 (Ayres *et al.*, 2003).

O táxon que alcançou biomassa superior a 5% em qualquer unidade amostral foi considerado na Análise de Componentes Principais (ACP). Em conjunto, estes táxons corresponderam a um valor superior a 90% da biomassa total. Quanto aos fatores ambientais, estes foram escolhidos com base em matriz de correlação de

Pearson (r), e foram considerados apenas aqueles que apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) com pelo menos um dos táxons selecionados. Conseqüentemente, seis variáveis bióticas e onze variáveis abióticas foram ordenadas através da Análise de Componentes Principais, por meio do programa estatístico NTSYS versão 2.1 para Windows.

3. Resultados

Variáveis físicas e químicas da água – Baseado nas características físicas e químicas mostradas na Tabela 1, o sistema de Garanhuns é classificado como hipereutrófico, tendo limitação por nitrogênio em ambos os períodos sazonais. O mesmo apresentou para o período seco, um padrão térmico de estratificação (figura 1a, b), águas anóxicas, maior potencial hidrogênio iônico, águas relativamente turbidas se comparadas ao período chuvoso que se mostrou, ao contrário, uma coluna desestratificada (figura 1c, d), águas bem oxigenadas com um pH próximo à neutralidade, chegando inclusive a valores mais ácidos, e uma turbidez muito elevada, especialmente próxima ao sedimento. Todos os parâmetros abióticos mostraram diferenças significativas com a sazonalidade. No período seco, a temperatura da água, oxigênio dissolvido, turbidez e pH apresentaram diferenças com relação à profundidade, sendo os valores mais elevados na subsuperfície. Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos tiveram os menores coeficientes de variação (0,38% e 0,31%), não apresentando variabilidade vertical e temporal ao longo dos períodos claro e escuro. No período chuvoso, foi detectada hipóxia próximo ao sedimento, que sugere um padrão clinogrado mais pronunciado que no período seco.

Entre as estações de coleta, não foi evidenciada diferença estatística quanto às variáveis ambientais estudadas. Entretanto, diferentemente da região limnética (E_1) para o período seco, foi possível observar na região litorânea (E_2), uma nítida circulação térmica a partir da meia noite, mantendo a desestratificação até o início do horário claro (figura 1b). Além deste fator, evidenciou-se em E_2 uma coluna mais oxigenada que E_1 , no período seco, e menos turbida no período chuvoso (tabela 1). Em ambos os períodos e estações detectaram-se, a partir da conversão dos valores de Secchi, pequena camada fótica (<1m).

A análise dos nutrientes do período seco (tabela 1) revelou diferenças com a profundidade nas concentrações do nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), fósforo

total dissolvido (PTD) e ortofosfato (P-PO₄) sendo seus valores maiores no fundo ($p < 0,01$). Para nitrato (NO₃) e nitrito (NO₂), houve uma irregular distribuição vertical e temporal com médias e variações não diferentes estatisticamente. Estas duas formas nitrogenadas apresentaram, também, diferenças horizontais marcantes. Os níveis de NO₃ foram maiores na E₁ e de NO₂ na E₂. Quanto ao período chuvoso, observou-se um aumento dos teores dos elementos nitrogenados (figura 2) e do PT e uma redução dos elementos fosforados dissolvidos (figura 3). As diferenças verticais foram também significativas apenas para a E₂, onde os teores de NT, NO₃, NO₂ e PT foram significativamente maiores ($p < 0,01$) próximos ao sedimento.

Os elevados coeficientes de variação dos nutrientes inorgânicos apresentaram acentuado padrão de claro-escuro. Para o período seco, na subsuperfície, os elementos nitrogenados foram mais elevados nos horários escuros, enquanto os elementos fosforados nos horários claros (figuras 2 e 3). No período chuvoso, os horários escuros mostraram sempre os maiores valores, exceto na subsuperfície, ao meio dia, para os teores de PTD, P-PO₄ e NO₃.

Variáveis bióticas – A flora fitoplanctônica esteve representada por 70 táxons infragenéricos. A maior riqueza de espécies foi encontrada para as Chlorophyta, correspondendo a 54,29% dos táxons identificados. Estas foram seguidas pelas Cyanophyta (20,00%), Bacillariophyta (14,29%), Euglenophyta (8,57%), Dinophyta (1,43%) e Xantophyta (1,43%).

A densidade fitoplanctônica variou de $2,82 \cdot 10^7$ a $1,82 \cdot 10^8$ ind.L⁻¹, enquanto a biomassa variou de 11,7 a 92,1mg.L⁻¹. Ambas foram constituídas especialmente pelas Cyanophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta e Cryptophyceae. As Cyanophyta, além de serem o grupo dominante (tabela 2), com mais de 80% da biomassa total, foi o único que mostrou diferenças significativas com a profundidade, apresentando densidades estatisticamente mais elevadas na subsuperfície ($F=18,255$, $p < 0,01$). Não foi registrada diferença estatística das divisões fitoplanctônicas na E₂ durante o período chuvoso. A biomassa total apresentou também diferenças sazonais e espaciais, sendo menores na estação chuvosa (figura 4). No período seco, o aumento da biomassa fitoplanctônica ocorreu a partir de 00:00h, tendo um pico nas primeiras horas da manhã, especialmente na E₁ (figura 4a). Nestes horários, registrou-se uma diminuição dos teores de fósforo particulado (PP) e um aumento de fósforo orgânico dissolvido (POD). Para o período chuvoso, as maiores biomassas foram registradas na E₁ e nos horários claros do dia, apresentando uma considerável redução a partir de 00:00h (figura 4c).

Em termos de associações fitoplanctônicas, o sistema apresentou diferenças espaço-temporal bem evidentes. Todos os táxons considerados neste estudo, com biomassas superiores a 2% em alguma das estações, mostraram diferenças significativas entre os períodos sazonais (tabela 3). Destes, *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszinska) Seenayya et. Subba-Raju, *Geitlerinema amphibium* (Agardh ex Gomont) Anagnostidis, *Cyclotella meneghiniana* Kützing e *Synedra rupens* Kützing, tiveram biomassas significativamente maiores no período seco (tabela 2), enquanto que *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *M. flos-aquae* (Wittr.) Kirchn., *Chlorella vulgaris* Chodat e *Cryptomonas ovata* Ehrenberg mostraram biomassas superiores no período chuvoso (tabela 2).

Cylindrospermopsis raciborskii (Woloszinska) Seenayya et. Subba-Raju foi a espécie mais importante em termos populacionais, sendo dominante durante o período de estudo (tabela 2). No período seco, a espécie apresentou diferenças estatísticas com a profundidade nas duas estações (tabela 3), apresentando biomassas maiores na subsuperfície da E₁, e próximo ao sedimento na E₂. No período chuvoso, as diferenças só foram detectadas na E₁, onde *C. raciborskii* apresentou uma maior biomassa na subsuperfície.

No período seco, a espécie *Synedra rupens* subdominou no sistema, com biomassa superior a 5%, em ambos horários e estações. Na E₁, *Cyclotella meneghiniana* contribuiu com 5% da biomassa, especialmente próximo ao sedimento. Pela análise de variância mostrada na tabela 3, as duas diatomáceas, *S. rupens* e *C. meneghiniana*, não apresentaram diferenças estatísticas com a profundidade, entretanto, *S. rupens* mostrou diferenças espaciais significativas, com biomassas maiores na E₂ (tabela 2a, c). No período chuvoso, *C. raciborskii* foi dominante seguida de *Microcystis aeruginosa*, especialmente na subsuperfície de ambas estações. Outros táxons, como *Microcystis flos-aquae*, *Cryptomonas ovata* e *S. rupens* também foram importantes, obtendo biomassas superiores a 5% em pelo menos uma das profundidades ou estações de coleta. *M. flos-aquae* e *C. ovata* foram mais abundantes na subsuperfície, sendo que *C. ovata* mostrou biomassas mais significativas na E₂ (tabela 2b, d).

Outros táxons, embora não alcançando 5% da biomassa total em nenhum horário, são apresentados neste trabalho, principalmente por possuírem densidades superiores a 10% do total de indivíduos. Independente de períodos sazonais, *G. amphibium* apresentou biomassa estatisticamente maior próximo ao sedimento,

enquanto *C.vulgaris* apresentou uma biomassa mais elevada especialmente na subsuperfície da E₂ (tabela 3).

As principais variáveis bióticas e abióticas que se relacionam com a variabilidade das unidades amostrais foram identificadas pela análise de componentes principais (ACP), que também explicou os fatores ambientais que determinaram a variação da comunidade fitoplanctônica ao longo do tempo e do espaço. Os *eigenvalues* dos eixos 1 e 2 explicaram 72,53% da variância dos dados e os coeficientes de correlação entre os parâmetros e os dois primeiros eixos de ordenação da ACP estão dispostos na tabela 4. A projeção das variáveis no espaço pode ser observada pela figura 5. O componente 1 da ACP explicou as diferenças sazonais no presente estudo, agrupando no lado positivo de seu eixo, as unidades amostrais referentes ao período seco e, no lado negativo do mesmo eixo, as unidades amostrais do período chuvoso (figura 5). Os fatores que explicam este componente incluem variáveis físicas, como temperatura e pH (associadas positivamente) e condutividade (associadas negativamente), variáveis químicas, como P-PO₄ (0,75), PTD (0,86), e NT (-0,85), bem como variáveis bióticas, como *C. raciborskii*, *C. meneghiniana* e *S. rufens*, associadas positivamente ao eixo (tabela 4).

O componente 2, explicou principalmente as diferenças verticais do período chuvoso, onde no lado negativo do eixo, o componente reuniu as unidades amostrais da subsuperfície, enquanto o seu lado positivo, associou as amostras coletadas na E₁, referentes a 8m de profundidade (figura 5). Os fatores que se relacionaram à variância deste componente foram principalmente fatores químicos, tendo o oxigênio associando-se negativamente ao eixo, e turbidez e os teores de PT relacionando-se positivamente (tabela 4).

4. Discussão

Fatores abióticos – A dinâmica de nutrientes no sistema esteve diretamente ligada à temperatura, às concentrações de oxigênio dissolvido e ao pH.

A estratificação térmica em sistemas eutrofizados promove pronunciada anoxia no hipolímnio e uma supersaturação no epilímnio, conforme visto por vários autores estudando as mais diversas regiões do mundo (Frempong, 1981; Bouvy *et al.*, 2003; Chellappa & Costa, 2003; Naselli-Flores, 2003; Heo & Kim 2004). Ela reflete condições típicas de estabilidade que permitem o desenvolvimento de fases

mais avançadas de sucessão das comunidades biológicas (Dos Santos & Calijuri, 1998).

A nítida mistura noturna, acompanhada de desestratificação térmica, foi especialmente notada no período seco, na E₂. Este fenômeno é típico de ambientes tropicais e já foi descrito para reservatórios pernambucanos (Bouvy *et al.*, 2003), bem como em outros sistemas tropicais brasileiros (Barbosa & Padisák, 2002; Lopes, Bicudo & Ferragut, 2005) e também do mundo (p.e. Naselli-Flores, 2003). A atelomixia, como é chamada, promove a distribuição dos nutrientes para o epilímnio (Naselli-Flores, 2003) e pode contribuir para uma maior oxigenação da coluna d'água. Além do mais, pode influenciar na estrutura e composição da comunidade fitoplanctônica, contribuindo para conservar as espécies não móveis em suspensão (Barbosa & Padisák, 2002). Este fenômeno foi evidente na E₂, principalmente pela menor camada de mistura, detectada pela coleta realizada no intervalo de 2 metros. Na E₁, o deslocamento da termoclina pode ter ocorrido, visto a redução térmica notada na subsuperfície, mas que não foi suficiente para homogeneizar toda a coluna d'água. Assim, a influência deste evento, no sistema de Mundaú, pode ter um efeito centrípeto, em direção aos compartimentos mais profundos do reservatório, conferindo à região litorânea, o papel de controlar os principais eventos biológicos da região limnética.

A deoxigenação dos corpos aquáticos apresenta uma relação com a rápida mineralização da matéria orgânica ainda na coluna d'água, o que provoca o aumento dos teores de amônia (NH₄) no sistema (Bouvy *et al.*, 2003). Somando-se também a rápida mineralização dos elementos particulados com as elevadas temperaturas das regiões tropicais (Huszar, Werneck & Esteves, 1994), este cenário pode refletir um excelente mecanismo autóctone de controle *bottom-up* das comunidades biológicas dentro dos ecossistemas aquáticos. A deoxigenação da coluna d'água, pois, contribui com eventos de decomposição, processos de desnitrificação e liberação de fósforo aprisionado no sedimento. Estes fenômenos resultam em menores concentrações de nitrogênio e elevados níveis de fósforo, evidenciando e explicando a baixa relação N:P encontrada em Mundaú.

Dokuil & Teubner (2000) acrescentam que as taxas de NH₄ favorecem o desenvolvimento de cianobactérias não heterocitadas, enquanto NO₃ permite o sucesso de algas eucarióticas. Apesar deste estudo não ter realizado medições de NH₄, acredita-se que suas concentrações estiveram provavelmente elevadas, de acordo com os eventos explicados anteriormente. Apesar das consideráveis

concentrações de NO_3 no sistema (tabela 1), provavelmente estas não estiveram relacionadas ao desenvolvimento de organismos eucarióticos, mas aos eventos de desnitrificação antevindos pelas condições anóxicas.

A desnitrificação é um processo-chave no ciclo do nitrogênio, pois diminui a quantidade desse elemento para os produtores primários, visto que os gases produzidos (N_2O e N_2) geralmente se difundem para a atmosfera. Além de absorver radiação, o óxido nitroso ainda provoca a destruição da camada protetora da Terra (Rodhe, 1990), pois este gás é precursor do NO que reage na estratosfera com o ozônio. Analisando as condições físicas e químicas do reservatório de Mundaú, e conhecendo as reações de desnitrificação, podemos inferir que ocorreu uma maior produção de N_2 que N_2O no processo, uma vez que em pH mais elevado, a enzima óxido nitrato redutase não é inibida e, portanto, o N_2O é facilmente reduzido a N_2 (Knowles, 1982).

Deste modo, o fósforo parece ser um dos elementos-chave no desenvolvimento fitoplanctônico do sistema. O fósforo entra no ecossistema por lixiviação, escoamento superficial ou por transporte subterrâneo. Este carreamento alóctone é intensificado com as chuvas e com *inputs* domésticos, agrícolas e/ou industriais nos tributários que formam a bacia de drenagem nos sistemas. Haja vista, o principal tributário do reservatório, o rio Mundaú, apresentar-se intermitente durante o período seco, as contribuições autóctones parecem desempenhar um papel mais relevante que o alóctone. A intermitência dos tributários acarreta no sistema um elevado tempo de residência da água e seu fluxo depende preferencialmente dos fenômenos pluviométricos (Tundisi, 1990). Assim, o fósforo bem como os demais elementos são acumulados no reservatório, especialmente depositados junto ao sedimento.

Vários autores tratam da influência da turbulência em eventos de ressuspensão do fósforo (p.e. Chalar & Tundisi, 2001). Entretanto, a estratificação térmica é o primeiro indício de que este fator não foi expressivo na liberação do fósforo no sedimento do reservatório de Mundaú. Alguns trabalhos admitem que as condições anóxicas do hipolímnio provocam a redução do sedimento, facilitando deste modo, a liberação de fósforo para a coluna d'água (Heo & Kim, 2004).

A produção de biomassa algal requer uma elevada demanda de carbono, advinda provavelmente das formas de carbono inorgânico dissolvido, que em pH próximo de 8, constituem-se preferencialmente de bicarbonatos (Talling, 1976). Como a constituição química dos organismos é constante, e segue a razão de

Redfield, de 106C: 16N: 1P, a absorção de fósforo determina a quantidade de carbono inorgânico dissolvido na coluna d'água, que pode influenciar a pressão parcial do CO₂ nas águas superficiais (Broecker, 1982). Este evento pode contribuir para uma maior entrada de CO₂ atmosférico para os ecossistemas aquáticos e, outrossim, na minimização dos efeitos de aquecimento global.

Dinâmica fitoplanctônica – A eutrofização é um problema ambiental que ocorre em corpos aquáticos naturais e artificiais em todo o mundo. Dentre seus impactos negativos encontra-se a deteriorização da qualidade da água, resultando em uma significativa perda no valor econômico e ambiental da mesma. Neste contexto, a elevada produção algal contribui com a depleção de oxigênio no hipolímnio, levando a um aumento das cargas internas de fósforo (Heo & Kim, 2004). O fósforo tem sido evidenciado como o fator ambiental mais correlacionado com a biomassa de cianobactérias (Calijuri, Dos Santos & Jati, 2002). Alguns autores relacionam a dominância destas algas nos sistemas límnicos, geralmente trazendo efeitos negativos na redução da transparência da água, na diminuição da biodiversidade, na produção de substâncias tóxicas e na formação de blooms capazes de produzir gosto e odores indesejáveis (Bouvy *et al.*, 2000).

Várias hipóteses explicam o sucesso destes organismos nos ecossistemas aquáticos. Embora possam constituir importantes componentes em sistemas oligo e mesotróficos (Hecky & Kling, 1987; Huszar & Caraco, 1998), as cianobactérias são freqüentemente associadas com condições eutróficas, conseguindo dominar em altas temperaturas (Shapiro, 1990), baixa luminosidade (Padisák & Reynolds, 1998), alto pH (Reynolds & Walsby, 1975), elevadas concentrações de nutrientes (Watson, McCauley & Downing, 1997) e baixa relação N:P (Smith, 1983). Deste modo, as cianobactérias representam um grupo de organismos algais capazes de viver numa grande amplitude de condições ambientais, possibilitando-os dominar facilmente na grande maioria dos sistemas de água doce. Todas estas situações podem ser observadas no reservatório de Mundaú e que, em conjunto, explicam e justificam o desenvolvimento de elevada densidade de cianoprocaríotos.

O reservatório de Mundaú apresentou tanto táxons heterocitados como não heterocitados de Cyanophyta, e por táxons filamentosos bem como coloniais. Assim, foram encontrados tanto Nostocales, como Oscillatoriales e Chroococcales. Mundaú pode ser considerado, portanto, um ambiente importante na compreensão e caracterização das diferentes associações de cianobactérias. O sistema, entretanto,

mostrou-se dominado por Nostocales, enquanto que os outros grupos apenas subdominaram em alguns horários dos períodos claro e escuro.

Ambientes aquáticos rasos geralmente apresentam uma maior influência dos eventos ambientais (Salmaso, 2003). Isso pode ser pontuado como um importante fator que define a abundância e composição do fitoplâncton em sistemas tropicais (Marinho & Huszar, 2002). A mistura diária promove uma menor penetração luminosa agravada durante os períodos de maior biomassa, sendo intensificada em sistemas rasos (Tundisi, 1990). Em Mundaú, os táxons coloniais de cianobactérias mais significativos pertencem ao gênero *Microcystis* e constituem as associações **M**, representada por *M. aeruginosa*, e **Lm**, relacionada a *M. flos-aquae*, segundo Reynolds (1997). De acordo com vários estudos relacionados ao desenvolvimento de associações **M** e **Lm**, os mesmos consideram que os táxons de *Microcystis* mostraram um comportamento adaptativo em ambientes com deficiência luminosa, podendo coexistir com sucesso (Kruk *et al.*, 2002). Ao contrário de vários trabalhos que enfocam o sucesso de *Microcystis* em sistemas estáveis (p.e. Calijuri *et al.*, 2002), o fato de apresentarem biomassas mais representativas no período de desestratificação térmica, deve-se a sua estratégia de sobrevivência (S-estrategistas) de desenvolver-se melhor em condições de deficiência de nutrientes, uma vez que no período chuvoso, apesar dos elevados níveis de substâncias nitrogenadas e fosforadas, estas se encontravam particulados e, portanto, teoricamente indisponíveis para a comunidade biótica.

Para as espécies filamentosas, Mischke (2003) evidencia um paradoxo diretamente ligado à sucessão das Nostocales e Oscillatoriales. As Nostocales constituem as associações **H**, onde muitas delas exigem uma alta demanda de luz e temperatura e sobrevivem bem em sistemas com depleção, especialmente de nitrogênio (Dokuil & Teubner, 2000). As Oscillatoriales, por sua vez, dentro das associações **S**, são caracterizadas por viverem em ambientes túrbidos e em condições de deficiência luminosa (Reynolds, 1997). O auto-sombreamento provocado pelo grande desenvolvimento das heterocitadas, já promove reduzida disponibilidade luminosa, o que facilmente produz a sua sucessão, levando a seu colapso. Este é o paradoxo teorizado por Mischke (2003), onde a biomassa das Nostocales representa um importante *pool* de nitrogênio, disponibilizado às Oscillatoriales por lise celular.

Neste cenário, aparece um táxon capaz de fixar nitrogênio, mas que por sua vez, também consegue tolerar baixa luminosidade (Pádisák & Reynolds, 1998;

Dokuil & Teubner, 2000). *Cylindrospermopsis raciborskii* tem sido evidenciada como uma espécie oportunista (Isvánovics *et al.*, 2000), capaz de manter populações perenes especialmente em sistemas tropicais (Briand *et al.*, 2002). Sua ecologia mais próxima das Oscillatoriales fez com que Pádisak & Reynolds (1998) deslocassem esta espécie para uma nova associação dita **Sn**, onde se caracterizam por viverem em sistemas quentes e misturados, sendo capazes de tolerar deficiência de luz e nitrogênio. Dentre as estratégias que facilitam a dominância deste táxon, encontram-se a capacidade de proliferar em elevadas temperaturas, preferir NH₃ a NO₃ (Saker, Neilan & Griffiths, 1999), possuir afinidade ao fósforo, sendo inclusive capaz de estocá-lo (Isvánovics *et al.*, 2000), além de serem freqüentemente reportadas como resistentes a herbivoria (Fabbro & Duivenvoorden, 1996) e conseguirem regular sua posição na coluna d'água, especialmente nos períodos de estratificação térmica (Pádisak, 1997).

A dominância de *C. raciborskii* vem sendo intensamente estudada, não somente no mundo, mas também no Brasil (Huszar *et al.*, 2000; Marinho & Huszar, 2002), especialmente no Nordeste (Chellappa & Costa, 2003) e mais intensamente em Pernambuco (Bouvy *et al.*, 1999, 2000). Todos os autores relacionam suas florações a um conjunto de vários fatores, mas a característica ambiental mais freqüentemente relacionada à sua dominância é a reduzida disponibilidade de luz (Pádisak, 1997). Apesar de serem reconhecidamente algas potencialmente tóxicas, apenas cepas asiáticas e australianas foram demonstradas como produtoras de cilindrospermopsinas (Chonudomkul *et al.*, 2004).

De acordo com Briand *et al.* (2002), três conjuntos de fatores são relacionados à formação de *blooms* de *C. raciborskii*. O primeiro relaciona-se a fenômenos térmicos. Esta espécie, comumente desenvolve-se num espectro de 21°C a 32°C (McGregor & Fabbro, 2000), intervalo que se ajusta perfeitamente às condições de um reservatório em região tropical. A temperatura também influencia na germinação de acinetos, estrutura formada pelas cianobactérias, como *C. raciborskii*, diante de condições ambientais desfavoráveis. Pádisak (1997) mostrou que temperaturas entre 22°C e 23,5°C são preponderantes para a germinação dos acinetos. A ausência ou a baixa quantidade de acinetos nos tricomas encontrados em Mundáu evidencia as ótimas condições ambientais, mesmo durante o período chuvoso, no desenvolvimento de *C. raciborskii*. Um segundo fator envolvido na proliferação de *C. raciborskii* é a luminosidade. A reduzida transparência da água durante os blooms promove vantagens competitivas de *C. raciborskii* em relação a

outras Nostocales (Briand *et al.*, 2002). Os nutrientes se mostram também como importantes fatores ambientais relacionados às florações de *C. raciborskii*. Dentre os nutrientes mais intensamente relacionados, encontram-se os níveis de fósforo (Bouvy *et al.*, 1999) e NH_3 (Saker *et al.*, 1999). Entretanto, o desenvolvimento desta espécie pode ocorrer inclusive quando as concentrações destes nutrientes encontram-se em seus níveis mais baixos (Bouvy *et al.*, 2000), especialmente por sua capacidade de estocar fósforo (Isvánovics *et al.*, 2000) e de fixar o nitrogênio através da produção de heterócitos (Pádisak, 1997). Assim, podemos considerar esta espécie como sendo R-estrategista de acordo com Reynolds (1997).

As Chlorophyta foram representadas especialmente por Chlorococcales, que geralmente são de pequeno tamanho e possuem uma alta relação área/volume. Isso favorece sua capacidade de absorção de nutrientes, conferindo-lhes uma vantagem adaptativa, especialmente em águas oligotróficas (Negro, De Hoyos & Veja, 2000). De acordo com as linhas fitossociológicas de Reynolds (1997), as algas encontradas no reservatório, p.e. *Chlorella vulgaris*, *Monoraphidium contortum*, são agrupadas nas associações X_1 . De acordo com este autor, estes tipos algais sobrevivem em ambientes rasos misturados, toleram estratificação, mas são sensíveis às deficiências de nutrientes. Huszar *et al.* (2000) abrem um parêntese sobre estas espécies, por desenvolverem-se em ambientes com alta disponibilidade de luz e nutrientes. Estas condições caracterizam-nas como organismos C-estrategistas. Pelas condições observadas no reservatório, a reduzida camada eufótica em ambos os períodos proporcionou uma desvantagem ao sucesso destas espécies. Huszar *et al.* (2000) mostraram que, em geral, as Chlorococcales possuem um comportamento oportunista, e que o surgimento destas algas ocorre em resposta às rápidas mudanças na disponibilidade nutricional, em vista de sua alta capacidade reprodutiva. Assim, a mistura no período chuvoso pode ter promovido condições que explicaram um maior desenvolvimento destas algas em relação ao período seco.

A seleção de espécies de Bacillariophyta ocorre, geralmente, quanto à limitação por sílica, visto a baixa exigência nutricional deste grupo a outros elementos, como o nitrogênio ou o fósforo (Marinho & Huszar, 2002). Entretanto, alguns estudos já mostraram que as diatomáceas podem ser potencialmente limitadas em baixas concentrações de nitrogênio inorgânico (Interlandi, Kilham & Theriot, 1999). A relativa importância deste grupo em sistemas eutróficos é favorecida periodicamente pelas mudanças na disponibilidade de nutrientes e na transparência da água (Sommer, 1988). Os táxons representados no sistema,

Synedra rupens e *Cyclotella meneghiniana*, estão agrupados, respectivamente, nas associações **D** e **B**, sendo característicos de sistemas rasos, túrbidos e enriquecidos (principalmente *S. rupens*), mas geralmente sensíveis à depleção de nutrientes. A associação **B**, apesar de ser característica de ambientes mesotróficos, também foi encontrada em sistemas hipereutróficos por Kruk *et al.* (2002). Para o período seco, a condição de estratificação térmica não acompanhou a estratificação de oxigênio, levando a uma maior distribuição de nutrientes, especialmente fósforo. Sommer (1988) relaciona as diatomáceas como ótimas competidoras por fósforo solúvel reativo e isso pode justificar as maiores biomassas registradas no período seco. Tilman & Kilham (1976) evidenciaram que a espécie *Cyclotella meneghiniana* apresenta uma maior dependência de fósforo que de sílica, justificando mais uma vez sua ocorrência em Mundaú, especialmente no período seco, quando os níveis de fósforo dissolvido explicaram o desenvolvimento das comunidades bióticas. Assim, as diatomáceas encontradas neste trabalho, são caracterizadas como R-estrategistas, uma vez, que se desenvolveram bem em condições de baixa intensidade luminosa e apresentaram fortes relações com os níveis de fósforo para sua manutenção. A estratificação térmica no período seco e a estratificação de oxigênio no período chuvoso representam importantes indícios que os eventos físicos não foram expressivos na possível promoção de uma ressuspensão eficiente das frústulas das diatomáceas no reservatório, inviabilizando a sua dominância e limitando seu desenvolvimento em ambos períodos sazonais. Entretanto, a atelomixia, no período seco, pode ter contribuído para as maiores biomassas das diatomáceas na E₂, bem como influído na sua distribuição horizontal.

Os fitoflagelados também mostraram importância em Mundaú, principalmente no período chuvoso. Seu principal representante, *Cryptomonas ovata*, pertence ao grupo funcional **Y** de Reynolds (1997). Estes são encontrados usualmente em sistemas eutrofizados e apresentam um comportamento adaptativo em ambientes com deficiência luminosa (Kruk *et al.*, 2002). As maiores biomassas deste táxon, em Mundaú, ocorreram especialmente, no período chuvoso, em condições de desestabilização térmica. Romo & Miracle (1995) admitem que o desenvolvimento de populações de criptomonadas se faz imediatamente após a ocorrência de chuvas que promovam a circulação da coluna d'água e ressuspensão de nutrientes aprisionados no sedimento. Portanto, as criptomonadas possuem uma estratégia intermediária entre os colonizadores (C-estrategistas) e os ruderais (R-estrategistas).

Pela Análise de Componentes Principais, observou-se que o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica no período seco, foi influenciado especialmente pela disponibilidade de fósforo. As correlações positivas do conjunto biótico com os elementos fosforados indicam que os efeitos *bottom-up* podem ter atuado no controle da biomassa fitoplanctônica (Benndorf *et al.*, 2002). Embora a estabilidade térmica e o pH alcalino estarem contribuindo para o desenvolvimento das associações **B**, **D** e **Sn**, o *input* autóctone de fósforo, promovido pela desmineralização, foi um fator relevante na dinâmica da comunidade fitoplanctônica.

No período chuvoso, a diminuição da biomassa algal foi influenciada pelo evento de mistura térmica e estratificação química. O aumento dos teores de nutrientes particulados de origem alóctone influenciou o desenvolvimento do fitoplâncton, promovendo eventos de reorganização da comunidade (Salmaso, 2003). Estas condições contribuíram para o estabelecimento de associações **Sn**, **M**, e **Lm**, pelas suas estratégias de flutuabilidade, e associações **Y**, por sua capacidade de deslocamento. Assim, a comunidade fitoplanctônica, no reservatório de Mundaú, Garanhuns, Pernambuco, Brasil, mostrou uma forte influência *bottom-up*, tanto para o estabelecimento de florações, como no controle e reorganização de sua estrutura.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a ajuda da Dra. Lezilda Carvalho Torgan, pela elucidação taxonômica da espécie de *Synedra rupens*, e o suporte financeiro do Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal Rural de Pernambuco e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, através dos processos 130109/2004-5 e 503850/2003-9.

6. Referências Bibliográficas

- Ayres, M., Ayres Jr., M., Ayres, D.L. & Dos Santos, A.A. (2003) *BioEstat, aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas*. Belém-PA, Brasil.
- Barbosa, F.A.R. & Padisák, J. (2002) The forgotten lake stratification pattern: atelomixis, and its ecological importance. *Verhandlungen der internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **28**, 1385-1395.

- Benndorf, J., Böing, W., Koop, J. & Neubauer, I. (2002) Top-down control of phytoplankton: the role of time scale, lake depth and trophic state. *Freshwater Biology*, **47**, 2282-2295.
- Bouvy, M., Molica, R., De Oliveira, S., Marinho, M. & Becker, B. (1999) Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. *Aquatic Microbial Ecology*, **20**(3), 285-297.
- Bouvy, M., Falcão, D., Marinho, M., Pagano, M. & Moura, A. (2000) Occurrence of *Cylindrospermopsis* (Cyanobacteria) in 39 brazilian tropical reservoirs during the 1998 drought. *Aquatic Microbial Ecology*, **23**, 13-27.
- Bouvy, M., Nascimento, S. M., Molica, R. J. R. & Ferreira, A. (2003) Limnological features in Tapacurá reservoir (northeast Brazil) during a severe drought. *Hydrobiologia*, **493**, 115-130.
- Briand, J.F., Robillot, C., Quiblier-Llobéras, C., Humbert, J.F., Couté, A. & Bernard, C. (2002) Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France. *Water Research*, **36**, 3183-3192.
- Broecker, W.S. (1982) Glacial to interglacial changes in ocean chemistry. *Progress in Oceanography*, **11**, 151-197.
- Calijuri, M.C., Dos Santos, A.C.A. & Jati, S. (2002) Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP, Brazil). *Journal of Plankton Research*, **24**(7), 617-634.
- Chalar, G. & Tundisi, J.G. (2001) Phosphorus fractions and fluxes in the water column and sediments of a tropical reservoir (Lobo-Broa, SP). *International Review Hydrobiologie*, **86**(2), 183-194.
- Chellappa, N.T. & Costa, M.A.M. (2003) Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. *Acta Oecologica*, **24**, S3-S10.
- Chonudomkul, D., Youngmanitchai, W., Theeragool, G., Kawachi, M., Kasai, F., Kaya, K. & Watanabe, M.M. (2004) Morphology, genetic diversity, temperature tolerance and toxicity of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanobacteria) strains from Thailand and Japan. *FEMS Microbiology and Ecology*, **48**, 345-355.
- Dokuil, M.T. & Teubner, K. (2000) Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia*, **438**, 1-12.

- Dos Santos, A.C.A. & Calijuri, M.C. (1998) Survival strategies of some species of the phytoplankton community in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, **367**, 139-152.
- Fabbro, L.D. & Duivenvoorden, L.J. (1996) Profile of a bloom of the cyanobacteria *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wolozynska) Seenaya and Subba Raju in the Fitzroy River in tropical center Queensland. *Marine and Freshwater Research*, **47**, 685-694.
- Frempong, E. (1981) Diel variation in the abundance, vertical distribution, and species composition of phytoplankton in a eutrophic English Lake. *The Journal of Ecology*, **69**(3), 919-939.
- Golterman, H., Clymo, R.S. & Ohnstad, M.A.M. (Eds) (1971) *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. 2nd ed. IBP Handbook n° 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Hecky, R. & Kling, H.J. (1987) Phytoplankton ecology of the great lakes in the rift valleys of central Africa. *Archiv für Hydrobiologie Beihefte Ergebnisse der Limnologie*, **25**, 197-228.
- Heo, W. & Kim, B. (2004) The effect of artificial destratification on phytoplankton in a reservoir. *Hydrobiologia*, **524**, 229-239.
- Hillebrand, H., Dürselen, C., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T. (1999) Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, **35**, 403-424.
- Huszar, V.L.M. & Caraco, N.F. (1998) The relationship between phytoplankton composition and physical-chemical variables: a comparison of taxonomic and morphological-functional descriptors in six temperate lakes. *Freshwater Biology*, **40**(4), 679-696.
- Huszar, V.L.M., Werneck, A.M. & Esteves, F.A. (1994) Dinâmica fitoplanctônica (48h) da comunidade fitoplanctônica em relação aos principais fatores abióticos na lagoa Juparanã, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, **54**(1), 111-134.
- Huszar, V.L.M., Silva, L.H.S., Marinho, M., Domingos, P. & Sant'Anna, C.L. (2000) Cyanoprokaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiologia*, **424**, 67-77.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Parâmetros meteorológicos*. Disponível em: <http://reia.inmet.gov.br/climatologia/ger_mapa11.php>. Acesso em: 30 de junho de 2005.

- Interlandi, S.J., Kilham, S.S. & Theriot, E.C. (1999) Responses of phytoplankton to varied resource availability in large lakes of the Greater Yellowstone Ecosystem. *Limnology and Oceanography*, **44**, 668-682.
- Istvánovics, V., Shafik, H.M., Préssing, M. & Juhos, S. (2000) Growth and phosphate uptake kinetics of the cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanophyceae) in a throughflow cultures. *Freshwater Biology*, **43**, 257-275.
- Kasprzak, P., Lathrop, R.C., & Carpenter, S.R. (1999) Influence of different sized *Daphnia* species on chlorophyll concentration and summer phytoplankton community structure in eutrophic Wisconsin lakes. *Journal of Plankton Research*, **21**, 2161-2174.
- Knowles, R. (1982) Denitrification. *Microbiology Review.*, **46**(1), 43-70.
- Kruk, C., Mazzeo, N., Lacerot, G. & Reynolds, C.S. (2002) Classification schemes for phytoplankton a local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. *Journal of Plankton Research*, **24**(9), 901-912.
- Lopes, M.R.M., Bicudo, C.E.M. & Ferragut, M.C. (2005) Short term spatial and temporal variation of phytoplankton in a shallow tropical oligotrophic reservoir, southeast Brazil. *Hydrobiologia*, **542**, 235-247.
- Mackereth, J.J.H., Heron, J. & Talling, J.F. (Eds) (1978) *Water analysis: some revised methods for limnologists*. Kendall: Titus Wilson & Son Ltd (Freshwater Biological Association. Scientific Publication n° 36).
- Margalef, R. (Ed) (1983) *Limnologia*. Ed. Omega, S. A. Barcelona.
- Marinho, M.M. & Huszar, V.L.M. (2002) Nutrient availability and physical conditions as controlling factors of phytoplankton composition and biomass in a tropical reservoir (Southeastern Brazil). *Archiv für Hydrobiologie*, **153**(3), 443-468.
- McGregor, G.B. & Fabbro, L.D. (2000) Dominance of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Nostocales, Cyanoprocyota) in Queensland tropical and subtropical reservoirs: implications for monitoring and management. *Lakes and Reservoir: Research and Management*, **5**, 195-205.
- Mischke, U. (2003) Cyanobacteria associations in shallow polytrophic lakes: influence of environmental factors. *Acta oecologica*, **24**, S11-S23.
- Naselli-Flores, L. (2003) Man-made lakes in Mediterranean semi-arid climate: the strange case of Dr Deep Lake and Mr Shallow Lake. *Hydrobiologia*, **506-509**, 13-21.
- Negro, A.I., De Hoyos, C. & Veja, J.C. (2000) Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaíso reservoir (NW Spain). *Hydrobiologia*, **424**, 25-37.

- Padisák, J. (1997). *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptative cyanobacterium: worldwide distribution and review of its ecology. *Algological Studies*, **107**, 563-593.
- Padisák, J. & Reynolds, C.S. (1998) Selection of phytoplankton associations in lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with special reference to the cyanoprokariotes. *Hydrobiologia*, **384**, 41-53.
- Reynolds, C.S. (Ed) (1997) Vegetation processes in the Pelagic. A Model for Ecosystem Theory. ECI, Oldendorf.
- Reynolds, C.S. (1998) The state of freshwater ecology. *Freshwater biology*, **39**, 741-753.
- Reynolds, C.S. & Walsby, A.E. (1975) Water blooms. *Biological Reviews*, **50**, 437-81.
- Rodhe, H. (1990) A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. *Science*, **248**, 1217-1219.
- Romo, S. & Miracle, M.R. (1995) Diversity of the phytoplankton assemblages of a polimittic hypertrophic lake. *Archiv für Hydrobiologie*, **132**, 363-384.
- Saker, M.L., Neilan, B.A. & Griffiths, D.J. (1999) Two morphological forms of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolated from Solomon Dam, Palm Island, Queensland. *Journal of Phycology*, **35**, 599-606.
- Salmaso, N. (2003) Life strategies, dominance patterns and mechanisms promoting species coexistence in phytoplankton communities along complex environmental gradients. *Hydrobiologia*, **502**, 13-36.
- Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco (SRH). (2000) *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco* – Documento Síntese, Recife, 267pp.
- Shapiro, J. (1990) Current beliefs regarding dominance of blue-greens: the case for importance of CO₂ and pH. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **24**, 38-54.
- Smith, V.H. (1983) Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, **221**, 669-671.
- Strickland, J.D. & Parsons, T.R. (1965) A manual of sea water analysis. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, **125**, 1-185.
- Sommer, U. (1988) Growth and survival strategies of plankton succession. In: Plankton Ecology – Succession in Plankton Communities (Ed U. Sommer), pp. 57-106. Springer Series of Contemporary Bioscience.
- Talling, J.F. (1976) The depletion of carbon dioxide from lake water by phytoplankton. *Journal of Ecology* **64**, 79-121.

- Tilman, D. & Kilham, S.S. (1976) Phosphate and silicate uptake and growth kinetics of the diatoms *Asterionella Formosa* and *Cyclotella meneghiniana* in batch and semi-continuous culture. *Journal of Phycology*, **12**, 375-383.
- Tundisi, J.G. (1990) Perspectives for ecological modeling of tropical and subtropical reservoirs in South America. *Ecological Modelling*, **52**(1/2), 7-20.
- Utermöhl, H. (1958) Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **9**, 1-38.
- Valderrama, G.C. (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry* **10**, 109-122.
- Watson, S.B., McCauley, E. & Downing, J.A. (1997) Patterns in phytoplankton taxonomic composition across temperate lakes of differing nutrient status. *Limnology and Oceanography*, **42**, 487-495.

Tabela 1: Média e desvio padrão das variáveis físicas e químicas do reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil, durante o período estudado.

Variável	Período	Estação/ profundidade			
		E ₁		E ₂	
		0,1m	8m	0,1m	2m
Secchi (m)	Seco	0,30		0,35	
	Chuvoso	0,30		0,30	
T°C	Seco	27,42 ± 0,54	25,35 ± 0,31	27,92 ± 0,76	27,02 ± 0,87
	Chuvoso	23,45 ± 0,24	22,80 ± 0,33	23,48 ± 0,39	23,25 ± 0,29
O ₂ diss. (mg.L ⁻¹)	Seco	0,98 ± 0,75	0,32 ± 0,19	1,28 ± 0,86	0,95 ± 0,71
	Chuvoso	7,00 ± 0,77	1,48 ± 1,20	6,37 ± 0,81	5,98 ± 0,88
Cond. (uS.cm ⁻¹)	Seco	397,33 ± 1,51	394,17 ± 3,19	397,00 ± 1,67	391,17 ± 2,14
	Chuvoso	722,83 ± 80,11	531,67 ± 24,56	672,67 ± 16,29	676,00 ± 17,13
STD (mg.L ⁻¹)	Seco	350 ± 1,10	346,67 ± 2,34	350,17 ± 1,72	344,67 ± 1,97
	Chuvoso	652,33 ± 65,76	481,17 ± 21,96	610,00 ± 14,64	613,50 ± 15,51
Turbidez (NTU)	Seco	34,42 ± 2,33	23,76 ± 5,28	34,75 ± 2,32	31,22 ± 4,11
	Chuvoso	54,37 ± 6,99	398,00 ± 119,07	40,15 ± 9,96	42,24 ± 13,69
pH	Seco	8,28 ± 0,14	7,16 ± 0,06	8,29 ± 0,12	7,74 ± 0,35
	Chuvoso	7,28 ± 0,12	6,87 ± 0,14	7,10 ± 0,11	7,20 ± 0,32
NT (µg.L ⁻¹)	Seco	56,94 ± 7,07	87,00 ± 18,61	54,84 ± 15,09	71,38 ± 21,90
	Chuvoso	124,56 ± 49,65	215,98 ± 28,92	155,84 ± 40,82	186,22 ± 78,10
NO ₃ (µg.L ⁻¹)	Seco	181,50 ± 44,03	249,17 ± 118,02	157,96 ± 102,73	175,62 ± 84,78
	Chuvoso	246,97 ± 31,40	677,30 ± 87,56	278,68 ± 39,05	287,74 ± 24,71
NO ₂ (µg.L ⁻¹)	Seco	5,58 ± 3,52	20,07 ± 36,35	24,48 ± 29,05	10,46 ± 18,63
	Chuvoso	27,24 ± 13,85	173,59 ± 32,71	31,73 ± 16,77	36,03 ± 17,63
PT (µg.L ⁻¹)	Seco	104,94 ± 6,80	137,96 ± 19,15	102,06 ± 13,85	110,68 ± 12,82
	Chuvoso	75,63 ± 7,70	304,68 ± 45,75	85,47 ± 11,85	83,94 ± 11,28
PTD (µg.L ⁻¹)	Seco	49,21 ± 7,74	70,43 ± 6,84	49,74 ± 7,37	57,59 ± 4,10
	Chuvoso	15,55 ± 17,75	8,07 ± 10,31	7,66 ± 6,95	4,54 ± 5,31
PO ₄ (µg.L ⁻¹)	Seco	80,63 ± 6,13	93,56 ± 13,75	79,10 ± 6,29	76,82 ± 12,91
	Chuvoso	43,13 ± 30,90	34,25 ± 21,38	44,31 ± 39,58	30,70 ± 12,23
PP (µg.L ⁻¹)	Seco	55,72 ± 9,63	67,53 ± 19,89	52,33 ± 10,42	53,09 ± 15,24
	Chuvoso	60,08 ± 19,51	296,61 ± 46,36	77,82 ± 12,62	79,40 ± 10,23
POD (µg.L ⁻¹)	Seco	35,63 ± 7,88	54,67 ± 6,51	36,41 ± 7,35	44,66 ± 5,09
	Chuvoso	9,83 ± 13,00	3,64 ± 6,92	3,48 ± 3,06	1,93 ± 3,11
N:P	Seco	1,21 ± 0,21	1,39 ± 0,19	1,19 ± 0,29	1,47 ± 0,56
	Chuvoso	3,62 ± 1,31	1,60 ± 0,33	4,09 ± 1,21	4,93 ± 1,89

Tabela 2: Biomassa dos principais táxons e grupos fitoplanctônicos encontrados no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **a** = E₁ seco, **b** = E₁ chuvoso, **c** = E₂ seco, **d** = E₂ chuvoso.

a	Profundidade/ horário											
	0,1m						8m					
	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00
<i>C. raciborskii</i>	38.27	46.93	44.60	54.36	67.44	74.51	24.88	26.28	20.53	36.59	32.42	19.15
<i>M. aeruginosa</i>	1.28	1.14	1.08	0.27	1.04	2.56	0.83	0.97	0.34	0.94	0.94	0.69
<i>M. flos-aquae</i>	0.73	0.00	0.00	0.00	0.37	1.82	0.37	0.00	0.00	0.18	0.00	0.19
<i>C. meneghiniana</i>	1.56	1.46	1.07	2.11	1.64	2.63	1.40	1.14	0.20	1.07	3.25	1.37
<i>S. rupens</i>	1.67	1.64	2.52	2.15	3.34	4.73	2.68	2.76	1.58	2.72	3.05	1.85
<i>C. ovata</i>	0.13	0.26	0.13	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Cyanophyta	42.95	50.52	47.43	57.02	71.28	82.07	28.03	29.12	21.61	39.49	35.55	21.61
Chlorophyta	0.83	0.86	0.72	0.54	1.00	2.18	2.02	1.32	0.48	0.89	0.81	0.66
Bacillariophyta	3.23	3.13	3.87	4.44	5.38	7.45	4.09	4.13	1.92	3.93	6.84	3.45

b	Profundidade/ horário											
	0,1m						8m					
	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00
<i>C. raciborskii</i>	33.57	28.91	31.10	23.54	22.05	31.24	10.00	8.98	9.36	13.50	12.74	8.96
<i>M. aeruginosa</i>	1.75	0.67	2.15	1.75	0.81	1.35	0.27	0.28	0.27	1.42	0.67	0.65
<i>M. flos-aquae</i>	0.73	0.73	2.91	1.09	1.82	1.09	0.00	0.37	0.36	0.00	0.73	0.35
<i>C. meneghiniana</i>	0.00	0.59	0.39	0.26	0.26	0.46	0.13	0.20	0.13	0.12	0.13	0.06
<i>S. rupens</i>	0.18	0.13	0.40	0.21	0.43	0.10	0.20	1.18	0.13	0.15	0.34	0.16
<i>C. ovata</i>	0.90	0.64	0.77	0.26	0.39	0.64	0.00	0.00	0.00	0.49	0.39	0.12
Cyanophyta	38.76	31.46	39.21	27.72	26.15	35.37	11.35	11.07	10.91	15.86	15.70	10.71
Chlorophyta	1.04	0.64	1.69	0.85	0.76	0.93	0.80	0.61	0.49	0.71	1.00	0.83
Bacillariophyta	0.87	0.99	0.97	0.47	0.69	0.78	0.33	1.76	0.26	0.27	0.47	0.22

c	Profundidade/ horário											
	0,1m						2m					
	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00
<i>C. raciborskii</i>	41.77	42.28	29.23	54.78	32.42	39.01	57.15	65.14	46.59	42.36	58.62	56.03
<i>M. aeruginosa</i>	0.13	0.00	0.13	0.40	0.13	0.26	1.25	0.54	1.94	0.97	1.75	0.54
<i>M. flos-aquae</i>	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00	0.00	0.75	0.00	0.56	0.00	1.09	1.09
<i>C. meneghiniana</i>	1.12	1.50	1.44	2.28	1.31	1.69	1.40	2.02	1.61	0.80	1.76	2.86
<i>S. rupens</i>	4.03	4.01	4.40	6.40	3.46	5.03	4.25	4.26	4.44	3.46	4.76	7.29
<i>C. ovata</i>	0.12	1.54	0.37	0.00	0.25	0.12	0.26	0.26	0.13	0.26	0.00	0.64
Cyanophyta	42.70	43.43	30.00	57.73	33.44	40.53	62.47	68.11	51.71	45.37	64.77	59.02
Chlorophyta	1.02	1.21	0.94	1.17	0.85	1.30	1.03	0.90	1.08	0.68	0.83	1.44
Bacillariophyta	5.63	5.56	6.05	9.12	4.77	7.20	6.11	6.77	6.21	4.72	6.52	10.20

d	Profundidade/ horário											
	0,1m						2m					
	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00	12:00	16:00	20:00	0:00	4:00	8:00
<i>C. raciborskii</i>	22.55	14.15	15.04	18.80	23.20	18.45	24.48	15.69	16.05	19.98	22.85	14.98
<i>M. aeruginosa</i>	0.65	2.33	0.39	2.33	1.21	1.29	2.69	2.07	0.90	1.25	0.94	1.55
<i>M. flos-aquae</i>	0.00	0.35	0.00	0.70	1.82	0.35	2.18	0.00	0.35	0.75	1.09	0.35
<i>C. meneghiniana</i>	0.19	0.19	0.19	0.31	0.59	0.69	0.07	0.19	0.19	0.27	0.39	0.06
<i>S. rupens</i>	0.19	0.12	0.21	0.21	0.24	0.11	0.24	0.22	0.24	0.29	0.14	0.16
<i>C. ovata</i>	0.86	1.61	0.25	0.49	0.51	0.37	0.77	1.48	0.86	0.79	0.51	0.25
Cyanophyta	25.28	18.60	16.34	22.83	27.90	21.64	31.58	18.81	18.29	24.00	26.76	18.43
Chlorophyta	0.76	1.15	0.51	0.69	0.40	0.75	0.50	0.56	0.57	0.45	0.78	0.56
Bacillariophyta	0.38	0.31	0.39	0.52	0.82	0.80	0.30	0.41	0.70	0.55	0.75	0.22

Tabela 3: Resultado do ANOVA para avaliação das diferenças temporal e espacial dos principais táxons no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. E₁=Estação 1, E₂= Estação 2, (*)= $p < 0,05$, (**) = $p < 0,01$, (***) = $p < 0,001$, n.s.= diferença não significativa.

Táxon	Variável	Período/ estação			
		Seco		Chuvoso	
		E ₁	E ₂	E ₁	E ₂
<i>C. raciborskii</i>	Profundidades	18,945**	8,291*	75,235***	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	n.s.		n.s.	
	Períodos	52,446***			
<i>G. amphibium</i>	Profundidades	6,281*	7,128*	5,305*	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	n.s.		n.s.	
	Períodos	7,500**			
<i>M. aeruginosa</i>	Profundidades	n.s.	15,711**	7,485*	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	n.s.		n.s.	
	Períodos	4,129*			
<i>M. flos-aquae</i>	Profundidades	n.s.	n.s.	9,117*	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	n.s.		n.s.	
	Períodos	5,385*			
<i>C. meneghiniana</i>	Profundidades	n.s.	n.s.	5,387*	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	n.s.		n.s.	
	Períodos	93,494***			
<i>S. rufus</i>	Profundidades	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	24,959***		n.s.	
	Períodos	123,244***			
<i>C. vulgaris</i>	Profundidades	n.s.	7,674*	n.s.	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	24,164***		4,845*	
	Períodos	4,950*			
<i>C. ovata</i>	Profundidades	6,122*	n.s.	10,658**	n.s.
	Horários	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Estações	4,657*		7,793*	
	Períodos	11,167**			

Tabela 4: Correlações das principais variáveis abióticas e bióticas (n=48), com os dois primeiros componentes da ACP. As correlações significativas encontram-se em negrito.

Variável	Componente 1	Componente 2
Temperatura	0,937	0,071
Oxigênio dissolvido	-0,621	-0,716
Condutividade elétrica	-0,789	-0,528
Turbidez	-0,551	0,730
pH	0,800	-0,125
Nitrogênio total	-0,847	0,120
Fósforo total	-0,362	0,882
Fósforo total dissolvido	0,865	0,221
Ortofosfato	0,748	0,170
<i>C. raciborskii</i>	0,845	-0,163
<i>C. meneghiniana</i>	0,868	0,087
<i>S. rupens</i>	0,882	0,169
Explicabilidade (%)	48,90	23,63

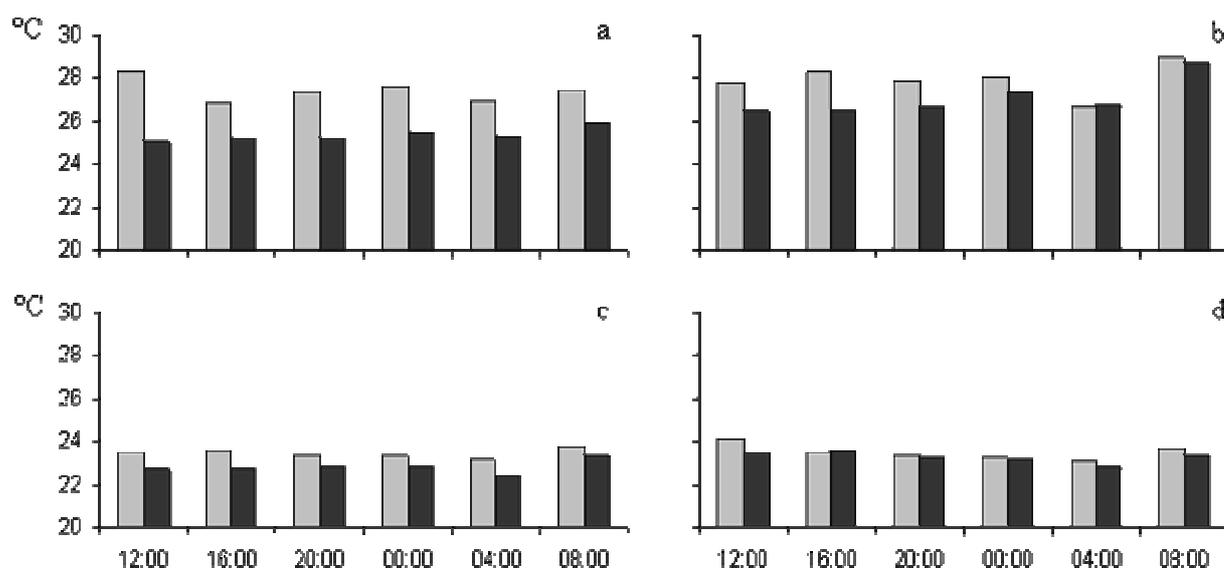


Figura 1: Variação espacial e temporal da temperatura da água no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **a** = E₁ seco, **b** = E₂ seco, **c** = E₁ chuvoso, **d** = E₂ chuvoso

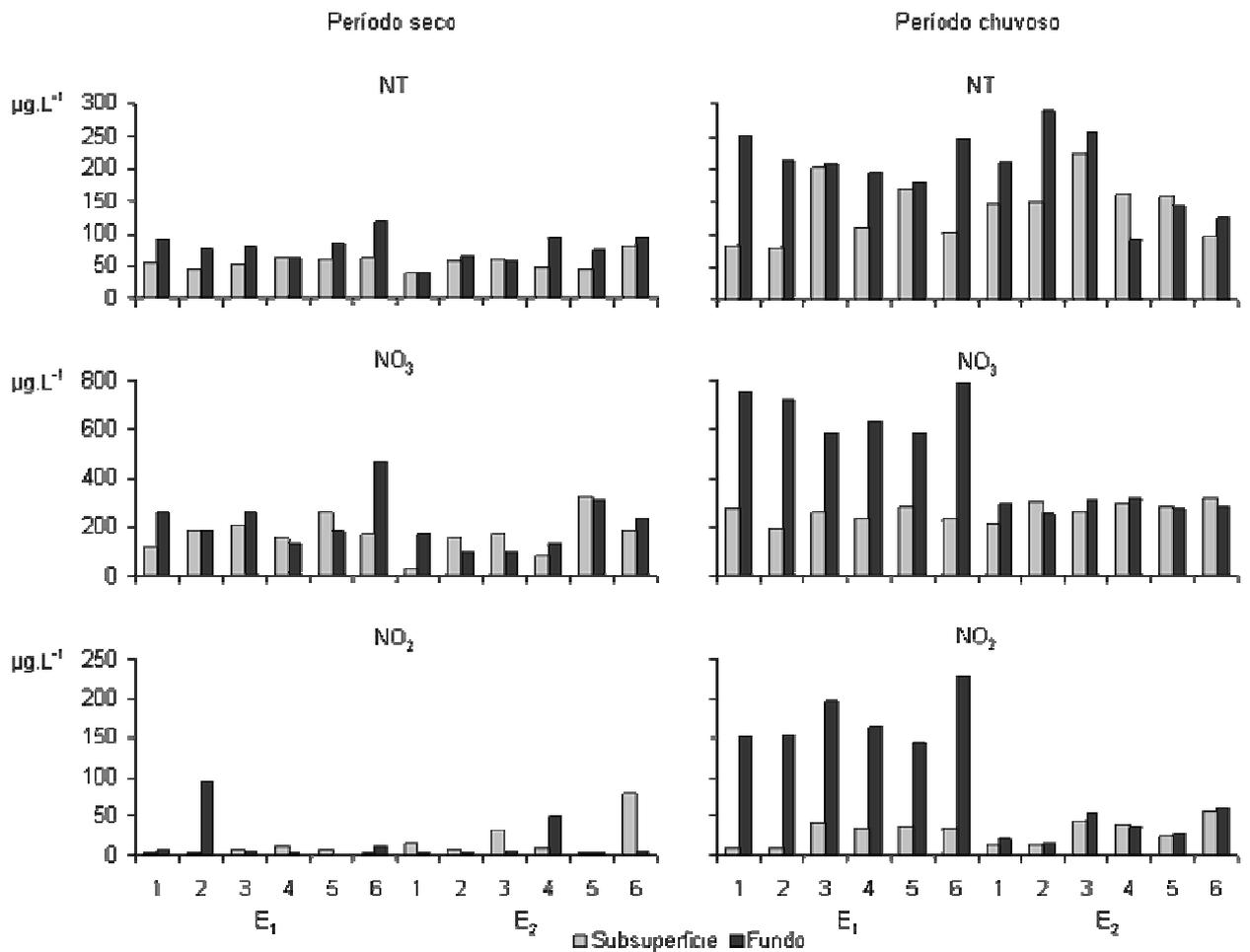


Figura 2: Variação espacial e temporal dos principais elementos nitrogenados no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **1** = 12:00hs, **2** = 16:00hs, **3** = 20:00hs, **4** = 00:00hs, **5** = 04:00hs, **6** = 08:00hs.

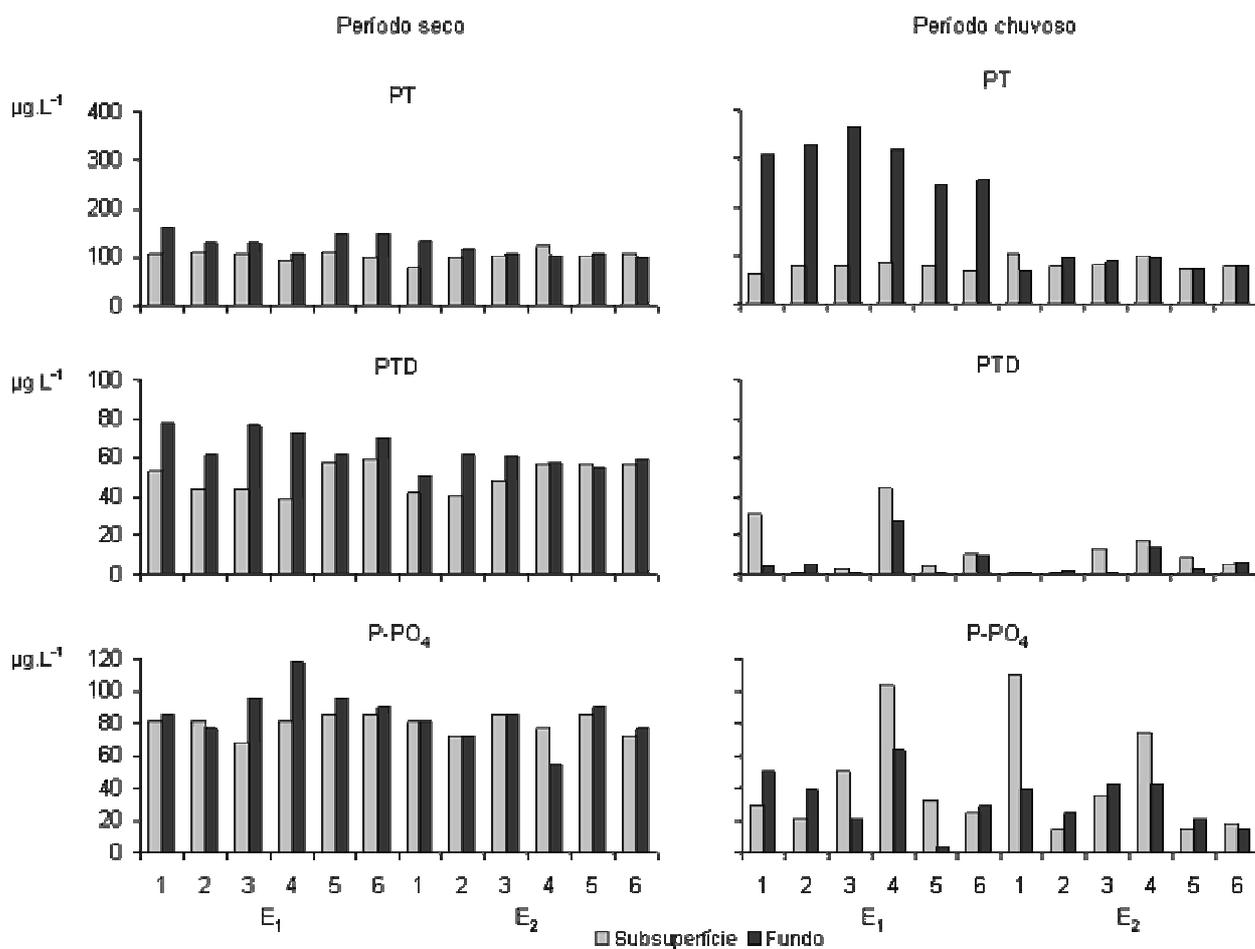


Figura 3: Variação espacial e temporal dos principais elementos fosforados no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. 1= 12:00hs, 2 = 16:00hs, 3 = 20:00hs, 4 = 00:00hs, 5 = 04:00hs, 6 = 08:00hs.

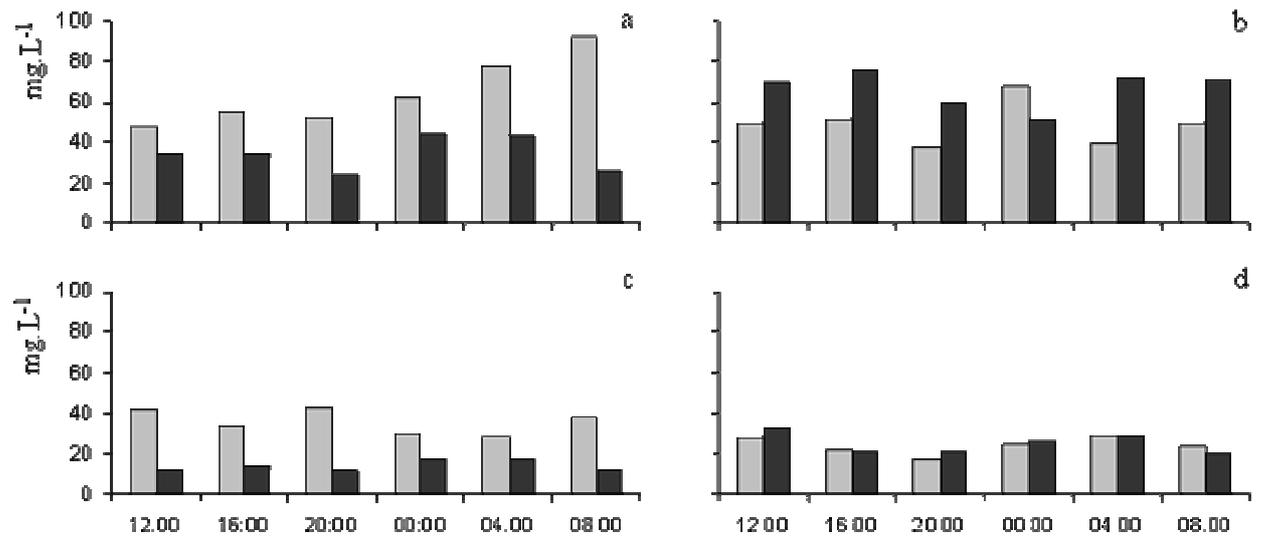


Figura 4: Variação espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica no reservatório de Mundaú, Pernambuco, Brasil. **a** = E₁ seco, **b** = E₂ seco, **c** = E₁ chuvoso, **d** = E₂ chuvoso

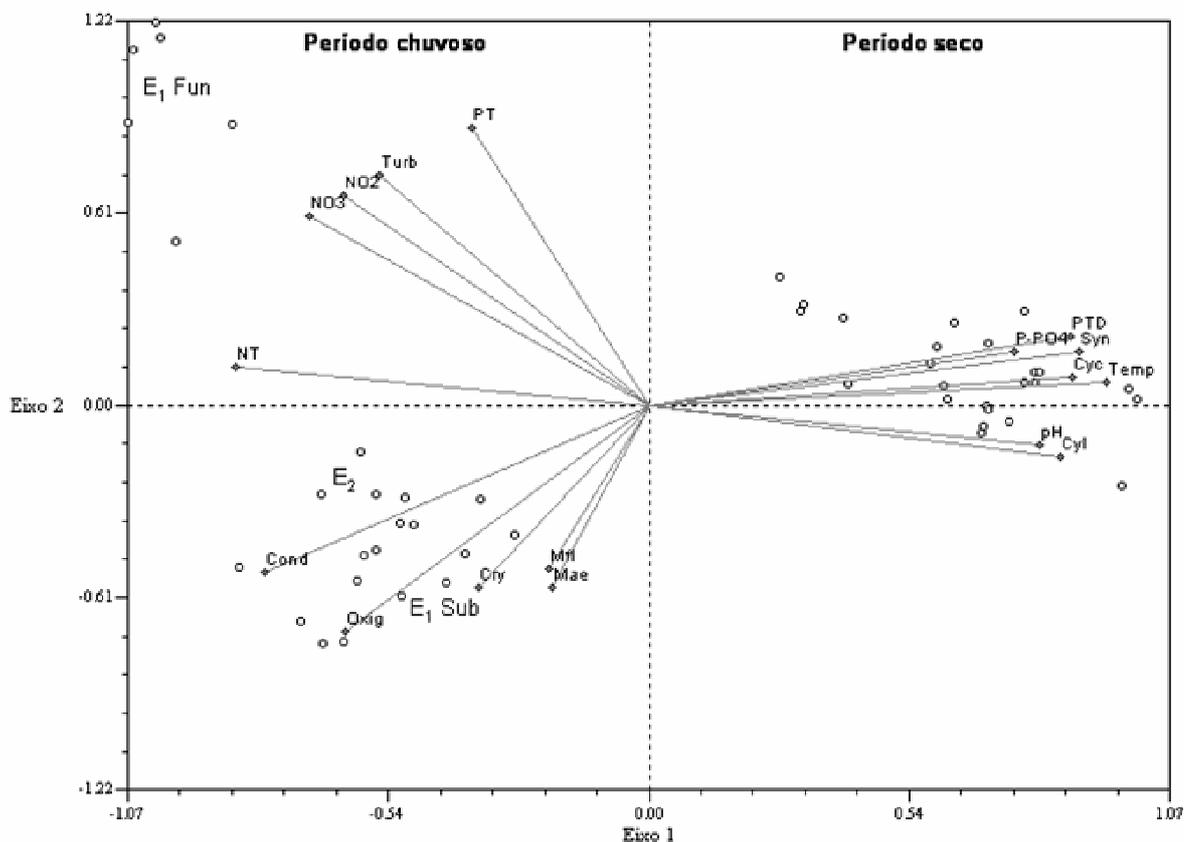


Figura 5: Ordenação pela ACP das unidades amostrais e das variáveis abióticas e bióticas significativas no estudo. O eixo 1 separou os períodos seco e chuvoso. O eixo 2, as unidades amostrais do período chuvoso. Abreviações: E₁= Estação 1, E₂= Estação 2, Sub= subsuperfície, Fun= fundo, Temp= temperatura da água, pH= pH, Oxiq= oxigênio dissolvido, Cond= condutividade elétrica, Turb =turbidez da água, PT= fósforo total, PTD= fósforo total dissolvido, P-PO₄= ortofosfato, NT= nitrogênio total, NO₃= nitrato, NO₂= nitrito, Cry= *Cryptomonas ovata*, Cyc= *Cyclotella meneghiniana*, Cyl= *Cylindrospermopsis raciborskii*, Mae= *Microcystis aeruginosa*, Mfl= *Microcystis flos-aquae*, Syn= *Synedra rupens*.

Anexos

Sinopse 1: Microalgas fitoplanctônicas do reservatório de Mundaú.

BACILLARIOPHYCEAE

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simosen

Aulacoseira granulata var. *angustissima* Müller

Cyclotella meneghiniana Kützing

Diploneis ovalis (Hilse) Clève

Eunotia major (Wm Smith) Rabenhorst

Eunotia monodon Ehrenberg

Gomphonema augur Ehrenberg

Navicula cuspidata Kützing

Pleurosigma sp.

Synedra rupens Kützing

CHLOROPHYCEAE

Actinastrum hantzschii Lagerheim

Ankistrodesmus gracilis (Reinsch) Korsikov

Botryococcus protuberans W. & G. S. West

Chorella vulgaris Chodat

Closteriopsis acicularis (G. M. Smith) Belcher & Swale

Closterium parvulum Nägeli

Coelastrum microporum Nägeli

Coelastrum pseudomicroporum Korsikov

Crucigenia quadrata Morren

Dictyosphaerium ehrenbergianum Naegeli

Dictyosphaerium pulchellum Wood

Golenkinia radiata Chodat

Kircheneriela lunaris (Kirchn.) Möebius

Kircheneriela obesa (W. West) Schmidle

Micractinium pusillum Fresenius

Monoraphidium circinale (Nygaard) Nygaard

Monoraphidium pusillum (Printz) Komárkova-Legnerová

Monoraphidium arcuatum (Korsikov) Hindák

Monoraphidium contortum (Thret) Komárkova-Legnerová

Monoraphidium griffithii (Berkel) Komárkova-Legnerová

Pediastrum tetras (Ehrenberg) A. Braun
Scenedesmus acuminatus (Langerheim) Chodat
Scenedesmus acuminatus var. *bernardii* (G.M. Smith) Dedussenko
Scenedesmus acutus Meyen
Scenedesmus arcuatus Lemmermann
Scenedesmus bernardii G. M. Smith
Scenedesmus bicaudatus (Hansgirg) Chodat
Scenedesmus ecornis (Ehrenberg) Chodat
Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brébisson
Scenedesmus quadricauda var. *parvus* G. M. Smith
Tetraedron gracilis (Reinsch) Hansgirg
Tetraedron caudatum (Corda) Hansgirg
Tetraedron incus (Teiling) G. M. Smith
Tetraedron mediocris Hindák
Tetraedron minimum (A. Braun) Hansgirg
Tetraedron triangulare (Chodat) Komárek
Tetraedron victoriae Wolosynska
Tetrastrum elegans Playfair

CYANOPHYCEAE

Chroococcus limneticus Lemmermann
Chroococcus minutus Kützing
Chroococcus turgidus Kützing
Cylindrospermopsis raciborskii (Wolz.) Seenayya et Subba-Raju
Geitlerinema amphibium (Agardh ex Gomont) Anagnostidis
Microcystis aeruginosa (Kützing) Kützing
Microcystis flos-aquae (Wittr) Kirchn.
Microcystis panniformis Komárek *et al.*
Microcystis wesenbergii (Komárek) Komárek
Merismopedia minima Beck
Merismopedia punctata Meyen
Pseudanabaena catenata Lauterborn
Raphidiopsis mediterranea Skuja
Spirulina sp.

EUGLENOPHYCEAE

Euglena oxyuris Schmarda

Euglena sp.

Lepocinclis ovum (Ehrenberg) Lemmermann

Phacus sp.

Trachelomonas oblonga Lemmermann

Trachelomonas volvocina Ehrenberg

DINOPHYCEAE

Gymnodinium sp.

CRYPTOPHYCEAE

Cryptomonas ovata Ehrenberg

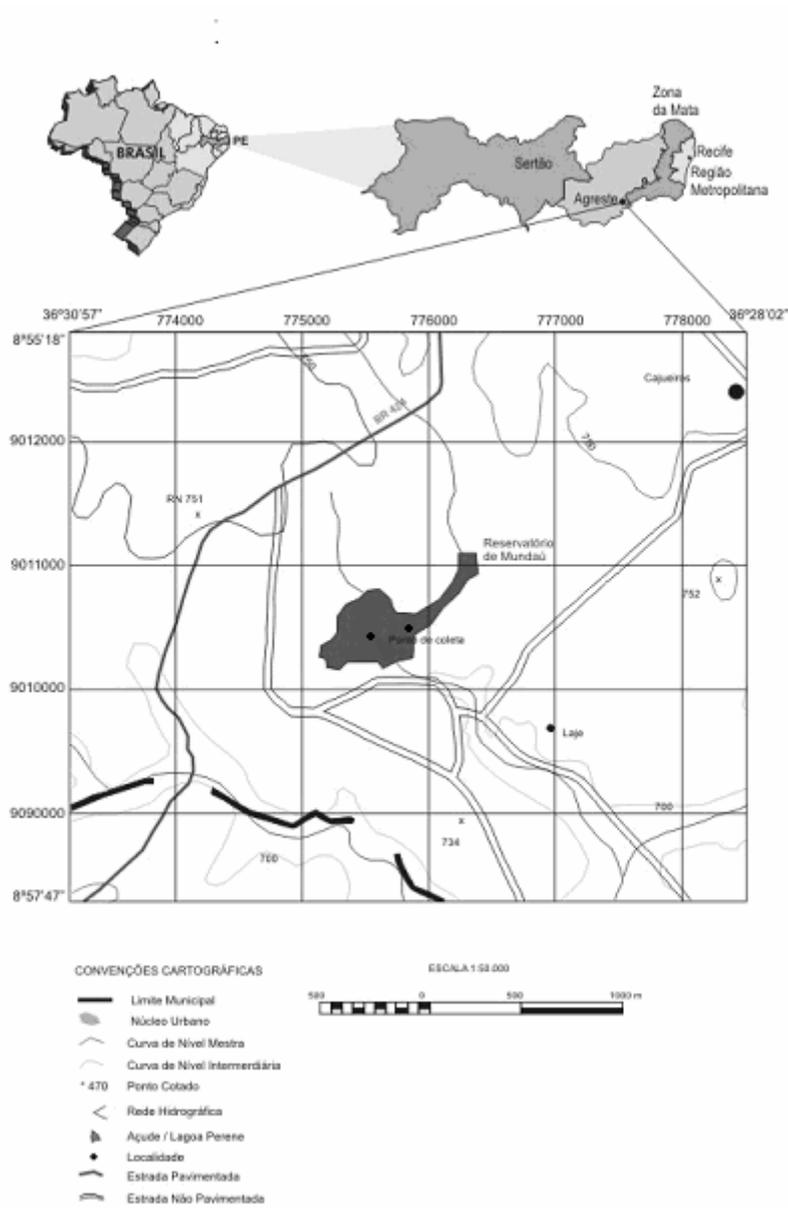


Figura 6- Mapa de localização do reservatório de Mundaú- PE.

Normas de submissão da Revista *Freshwater Biology*

Freshwater Biology

Edited by:

Alan G. Hildrew and Colin R. Townsend.

ISI Journal Citation Reports® Ranking: 2004: 9/84 (Marine & Freshwater Biology)

Impact Factor: 2.205

Author Guidelines

Did you know... *Freshwater Biology* has no page charges?

NEW: Online production tracking is now available for your article through Blackwell's Author Services.

Author Services enables authors to track their article - once it has been accepted - through the production process to publication online and in print. Authors can check the status of their articles online and choose to receive automated e-mails at key stages of production so they don't need to contact the production editor to check on progress. Visit www.blackwellpublishing.com/bauthor for more details on online production tracking and for a wealth of resources including FAQs and tips on article preparation, submission and more.

SUBMISSION OF MANUSCRIPTS

Three copies of each manuscript should be sent to the appropriate Editor as listed below:

Editors

Regular papers (Northern Hemisphere)

Professor A.G. Hildrew
School of Biological Sciences
Queen Mary, University of London
London, E1 4NS
UK

Regular papers (Southern Hemisphere)

Professor C.R. Townsend
Department of Zoology
University of Otago
PO Box 56
Dunedin
New Zealand

Associate Editors

Applied issues

Professor R.K. Johnson
Department of Environmental Assessment
Swedish University of Agricultural Sciences
PO Box 7050
SE-75007
Uppsala
Sweden

Special Issues

Enquiries and proposals should be addressed to:

Dr M O Gessner
Department of Limnology
EAWAG
Limnological Research Centre
CH 6047 Kastanienbaum
Switzerland

Please refer to the [Guidelines for Guest Editors of Special Issues](#)

Freshwater Biology publishes 2-3 themed issues each year which are available at the special single-issue price

of £25.00 each. Visit the [Special Issues](#) page for more information.

SUBMISSION GUIDELINES

The text should be typed on one side of the paper, double spaced, with ample margins.

(a) *Title page*. This should include the title, list of authors names, institute or laboratory of origin, name, postal address and email address of the author to whom proofs should be sent, an abbreviated title for use as a running head line and five keywords, which should be relevant for literature searching and each normally comprising not more than two words.

(b) *Summary*. All papers should include a summary, in short numbered paragraphs, limited to about 3% of the length of the text. This should provide a concise statement of the scope of the work and its principal findings and be fully intelligible without reference to the main text.

(c) *Introduction*. This should contain a clear statement of the reason for doing the work, outlining essential background information but should not include either the results or conclusions.

(d) *Methods*. This should be concise but provide sufficient details to allow the work to be repeated. Suppliers of materials should be named and their location (town, state/county, country) included.

(e) *Results*. This should not include material appropriate to the Discussion.

(f) *Discussion*. This should highlight the significance of the results and place them in the context of other work.

(g) *Acknowledgments*.

(h) *References*.

(i) *Tables*.

(j) *Figure legends*.

(k) *Illustrations*. The original drawings should not be sent until the Editor requests them.

WELFARE AND LEGAL POLICY

Researchers must have proper regard for conservation and animal welfare considerations. Attention is drawn to the 'Guidelines for the Use of Animals in Research' published in each January issue of the journal *Animal Behaviour* since 1991. Any possible adverse consequences of the work for populations or individual organisms must be weighed against the possible gains in knowledge and its practical applications. Authors are required to sign a declaration that their work conforms to the legal requirements of the country in which it was carried out ([see below](#)), but editors may seek advice from referees on ethical matters and the final decision will rest with the editors.

Submission

Submitted manuscripts must be accompanied by the following signed declarations, either in the covering letter or on the [Authors Declaration Form](#)

(i) that the work as submitted has not been published or accepted for publication, nor is being considered for publication elsewhere, either in whole or substantial part.

(ii) that all authors and relevant institutions have read the submitted version of the manuscript and approve its submission.

(iii) that all persons entitled to authorship have been so included.

(iv) that the work conforms to the legal requirements of the country in which it was carried out, including those relating to conservation and welfare, and to the journals policy on these matters ([see above](#)).

Manuscripts must be in English and spelling should conform to the *Concise Oxford Dictionary of Current English*. Editors reserve the right to modify manuscripts that do not conform to scientific, technical, stylistic or grammatical standards, and minor alterations of this nature will normally be seen by authors only at the proof stage.

ONLINE OPEN

OnlineOpen is a pay-to-publish service from Blackwell that offers authors whose papers are accepted for publication the opportunity to pay up-front for their manuscript to become open access (i.e. free for all to view and download) via the Blackwell Synergy website. Each OnlineOpen article will be subject to a one-off fee of £1250 (equivalent to \$2500) to be met by or on behalf of the Author in advance of publication. Upon online publication, the article (both full-text and PDF versions) will be available to all for viewing and download free of charge. The print version of the article will also be branded as OnlineOpen and will draw attention to the fact that the paper can be downloaded for free via the Blackwell Synergy service.

Any authors wishing to send their paper OnlineOpen will be required to complete the combined payment and copyright licence form available [here](#). (Please note this form is for use with OnlineOpen material ONLY). Once complete this form should be sent to the Production Editor along with the rest of the manuscript materials at the time of acceptance or as soon as possible after that (preferably within 24 hours to avoid any delays in

processing). Do not inform the Editorial Office that you intend to publish your paper OnlineOpen before acceptance.

The copyright statement for OnlineOpen authors will read:

© [date] The Author(s)
Journal compilation © [date] Blackwell Publishing Ltd

AUTHOR MATERIAL ARCHIVE POLICY

Please note that unless specifically requested, **Blackwell Publishing will dispose of all hardcopy or electronic material submitted two months after publication.** If you require the return of any material submitted, please inform the editorial office or production editor as soon as possible if you have not yet done so.

SCIENTIFIC NAMES

The complete scientific name (genus, species and authority) should be cited for every organism when first mentioned except that the authority should not be given in the title or summary. Tables are often useful in collating specific names and, if used in this way, should be referred to early in the text. Subsequent to its first appearance in the text, the generic name may be abbreviated to an initial except where intervening references to other genera would cause confusion. Common names of organisms, if used, must be accompanied by the correct scientific name on first mention. Latin names should be italicized.

ABBREVIATIONS AND UNITS

Full names with uncommon abbreviations must be given with the first mention; new abbreviations should be coined only for unwieldy names and should not be used at all unless the names occur frequently. In the title and summary unusual abbreviations should be identified, in the introduction and discussion they should be used sparingly. SI units are preferred. Contributors should consult the Royal Society pamphlet *Quantities, Units and Symbols* (1975) and the IBP pamphlet *Quantities Units and Symbols for IBP Synthesis* (1975).

TABLES, FIGURES AND ILLUSTRATIONS

Each table must be typed on a separate sheet, with a fully informative caption as a heading. Tables should be numbered consecutively with Arabic numerals. Column headings should be brief, with units of measurement in parentheses. Vertical lines should not be used to separate columns. Electronic tables should be provided in an editable format (.rtf or .doc). All illustrations (including photographs) are classified as figures and should be numbered consecutively.

Figures and their lettering/numbering should be suitable for 50% reduction and should be drawn or grouped so that on reduction they will fit within the type area (165 × 220 mm). Where parts of figures need to be identified, lower case letters should be used.

Authors are encouraged to submit artwork electronically where possible. Please save vector graphics (e.g. line artwork) in Encapsulated Postscript Format (EPS), and bitmap files (e.g. half-tones) in Tagged Image File Format (TIFF). Halftones should have a resolution of at least 300 d.p.i. and line drawings at least 800 d.p.i. Ideally, vector graphics that have been saved in metafile (.WMF) or pict (.PCT) format should be embedded within the body of the text file. Even when electronic material is available original drawings, good glossy prints or laser printed diagrams should also be provided for the printers in case the electronic file is unreadable. Please see our guidelines [here](#).

Any hand-drawn figures should be in Indian ink on good-quality drawing paper, strong tracing paper or faint-ruled graph paper, not bigger than A4 size.

Legends to figures should be typed in sequence on a separate sheet. In the full-text online edition of the journal, legends may be truncated in abbreviated links to the full screen version. Therefore the first 100 characters of any legend should inform the reader of key aspects of the figure.

Each table and figure should have the authors name and the number written on the back in pencil.

The approximate position of table and figures should be indicated in the margin of the typescript.

COLOUR ILLUSTRATIONS

It is the policy of Freshwater Biology for authors to pay the full cost for the reproduction of their colour artwork. The cost of colour printing in this Journal has recently gone down, with the first figure costing 150 GBP and all subsequent figures 50 GBP each. Therefore, please note that if there is colour artwork in your manuscript when it is accepted for publication, Blackwell Publishing require you to complete and return a colour work agreement form before your paper can be published. This form can be downloaded as a PDF* [here](#). If you are unable to download the form, please contact the Production Editor at: Production Editor – Freshwater Biology, Blackwell Publishing, 101 George Street, Edinburgh, EH2 3ES, UK and they will be able to email or FAX a form to you.

Once completed, please return the form to the Production Editor at the above address.

Any article received by Blackwell Publishing with colour work will not be published until the form has been returned.

* To read PDF files, you must have Acrobat Reader installed on your computer. If you do not have this program, it is available as a free download from the following web address:

<http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>

REFERENCES

References should be made by giving the authors name with the year of publication in parentheses. When reference is made to a work by three authors all names should be given when cited for the first time and thereafter using only the first name and adding *et al.*; for four or more authors the first name followed by *et al.* should be used on all occasions. If several papers by the same author and from the same year are cited, a, b, c, etc., should be put after the year of publication. References should be listed in alphabetical order at the end of the paper in the following standard form:

Seddon B. (1972) Aquatic macrophytes as limnological indicators. *Freshwater Biology*, **2**, 107-130.

Titles of journals should not be abbreviated. Unpublished material, except for PhD theses, should not be included among the references.

DISKS

The editor will request submission of accepted articles, including any artwork (see above), on disk. Text should be submitted in an editable format, e.g. .rtf or .doc. An accurate hardcopy, including figures, must accompany each disk, together with details of the type of computer used, the software employed, and the disk system if known (a form will be supplied for the submission of such information). Particular attention should be taken to ensure that articles submitted in this way adhere exactly to the journal style in all respects.

EXCLUSIVE LICENCE FORM

Authors will be required to sign an Exclusive Licence Form (ELF) for all papers accepted for publication. Signature of the ELF is a condition of publication and papers will not be passed to the publisher for production unless a signed form has been received. Please note that signature of the Exclusive Licence Form does not affect ownership of copyright in the material. (Government employees need to complete the Author Warranty sections, although copyright in such cases does not need to be assigned). After submission authors will retain the right to publish their paper in various medium/circumstances (please see the form for further details). To assist authors an appropriate form will be supplied by the editorial office. Alternatively, authors may like to download a copy of the form [Here](#).

A [File Description Form](#) must be completed for all electronic submission of manuscripts.

PROOFS

The corresponding author will receive an email alert containing a link to a web site. A working e-mail address must therefore be provided for the corresponding author. The proof can be downloaded as a PDF (portable document format) file from this site. Acrobat Reader will be required in order to read this file. This software can be downloaded (free of charge) from the following web site:

<http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>.

This will enable the file to be opened, read on screen and printed out in order for any corrections to be added. Further instructions will be sent with the proof. Hard copy proofs will be posted if no e-mail address is available. Excessive changes made by the author in the proofs, excluding typesetting errors, will be charged separately.

OFFPRINTS

Authors will be provided with electronic offprints of their paper. Paper offprints may be ordered at prices quoted on the order form, which accompanies proofs, *provided that* the form is returned with the proofs. The cost is more if the order form arrives too late for the main print run. Offprints are normally dispatched within three weeks of publication of the issue in which the paper appears. Please contact the publishers if offprints do not arrive: however, please note that offprints are sent by surface mail, so overseas orders may take up to six weeks to arrive. Electronic offprints are sent to the first author at his or her first email address on the title page of the paper, unless advised otherwise; therefore please ensure that the name, address and email of the receiving author are clearly indicated on the manuscript title page if he or she is not the first author of the paper.

ONLINE EARLY

Freshwater Biology is covered by Blackwell Publishing's *OnlineEarly* service. *OnlineEarly* articles are complete full-text articles published online in advance of their publication in a printed issue. Articles are therefore available as soon as they are ready, rather than having to wait for the next scheduled print issue. *OnlineEarly* articles are complete and final. They have been fully reviewed, revised and edited for publication, and the authors' final corrections have been incorporated. Because they are in final form, no changes can be made after online publication. The nature of *OnlineEarly* articles means that they do not yet have volume, issue or page numbers, so *OnlineEarly* articles cannot be cited in the traditional way. They are therefore given a Digital Object Identifier (DOI), which allows the article to be cited and tracked before it is allocated to an issue. After print publication, the DOI remains valid and can continue to be used to cite and access the article. More information about DOIs can be found at: <http://www.doi.org/faq.html>. To receive an e-mail alert once your article has been published, please see [this page](#).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)