
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

**PRODUÇÃO PRIMÁRIA COM ÊNFASE NA EXCREÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA DISSOLVIDA POR POPULAÇÕES FITOPLANCTÔNICAS NATURAIS
DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA, SP.**

SEBASTIÃO ANTÔNIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal
de São Carlos como parte dos requisitos para a obtenção
do grau de Doutor em Ciências

São Carlos

2006

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

A627pp

Antônio, Sebastião.

Produção primária com ênfase na excreção de matéria orgânica dissolvida por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP / Sebastião Antônio. -- São Carlos : UFSCar, 2006.

114 p.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2006.

1. Fitoplâncto. 2. Excreção. 3. Ecologia dos reservatórios. 4. Produtividade primária. 5. Polissacarídeos extracelulares. I. Título.

CDD: 589.4 (20^a)

ORIENTADOR

Prof. Dr. Armando Augusto Henriques Vieira

Às minhas Princesas: Marilin Graciela, Alícia Leniza e WezzaViktória,
pelo apoio incondicional e por estarem sempre presentes em minha vida.

Ao meu querido pai e amigo António Sebastião (em memória) pelo legado, ensinamentos e lições de vida, por tudo que como pai soube me proporcionar. À minha querida mãe, minha verdadeira Rainha e Heroína, pelo imensurável sacrifício, amor, afeto e carinho, pelas sábias lições de vida, fonte de minha inspiração.

À Deus, pela vida, por colocar as pessoas certas em meu caminho, pela coragem que me deu para concluir o presente trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Armando Henriques Augusto Vieira pela orientação, incentivo, ensinamentos, pela oportunidade proporcionada e por tornar possível apesar das limitações e dificuldades a realização e conclusão do presente estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através do Programa Estudante Convênio de Pós Graduação pela concessão da bolsa e pelo subsídio financeiro durante a vigência do presente estudo (abril /02 a março /06).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais e ao Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos, pela infra-estrutura necessária para a realização do presente trabalho.

À Prof. Dra. Sandra Protter Gouvêa do Centro Universitário Paulista (UNICEP /São Carlos-SP) pela amizade, por suas sugestões e pela valiosa contribuição.

À Prof. Dra. Ana Tereza Lombardi pelo incentivo, ensinamentos e por suas valiosas sugestões.

Ao Prof. Dr. José Roberto Verani da Universidade Federal de São Carlos, pela amizade, pela valiosa contribuição por suas pertinentes sugestões.

Ao Prof. Dr. Irineu Bianchini Júnior da Universidade Federal de São Carlos pela amizade, por suas sugestões e pela valiosa contribuição.

Ao Prof. Dr. Abílio Lopes de Oliveira Neto da Universidade de Campinas (UNICAMP /Limeira, SP) pela amizade, por suas sugestões e pela valiosa contribuição.

À Prof. Dra. Keiko Okino Nonaka do Departamento de Fisiologia da UFSCar, pela ajuda e pela disponibilização do cintilador líquido.

Aos Profs. Dr. César Rogério de Oliveira e Mário Basílio de Matos do Departamento de Matemática da UFSCar pela ajuda na equação para quantificar a produtividade integrada.

À Roseli, à Graça, à Renata e ao João da secretaria do PPGERN - UFSCar, pelos mais de 4 anos de acompanhamento, pela paciência, prontidão e disposição em ajudar na solução das questões administrativas.

À AES Tietê pelos dados fornecidos de vazão, pluviometria TR e vento

À Claudia da Silva, pela ajuda, amor, carinho, afeto, companheirismo e compreensão.

Ao técnico, amigo e companheiro de viagens ao campo Luís Joaquim pelo indispensável apoio na realização das coletas durante o período de estudo.

Aos colegas, verdadeiros amigos e companheiros do laboratório de Ficologia: Maria José-Oliveira, Thais Bittar, Pedro Ivo Ortolano, Roseli Machado, Luís Sartori, Silvia Fatibello, Vanessa Colombo, Sandra Gouvêa e Danilo Giroldo por me terem recebido no grupo com carinho, hospitalidade e amizade. Meu apreço especial pelo incentivo e pela disponibilidade que todos sempre tiveram em me ajudar.

À todos os amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho

Para duas pessoas, dois verdadeiros amigos, me deram o prazer e a harmonia de sonhar e nunca perder a esperança, com eles tenho aprendido muito. Meu apreço e agradecimentos para o Prof. Dr. Orlando Manuel Fernandes da Mata e para o Prof. Dr. Samuel Carlos Victorino, da Faculdade de Ciências da UAN.

À minha família, meu principal suporte, em especial a Beatriz da Glória, às minhas filhas e meu filho, minha irmã Maria, meus irmãos Balduino e Lucas Paulo e, meus sobrinhos que embora distantes, sempre apoiaram e comigo compartilham todos momentos que a vida nos tem brindado.

Resumo geral (CAPES)

RESUMO (Produção primária com ênfase na excreção de matéria orgânica dissolvida por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP). O presente estudo foi realizado com frequência mensal, nos períodos de julho /03 a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. Foi usada a técnica de ^{14}C para quantificar a matéria orgânica dissolvida excretada por populações fitoplanctônicas e também para quantificar a parte da produtividade primária canalizada para a produção de PEC. Para isso, amostras de água coletadas, no ponto, em quatro profundidades (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m) da zona eufótica, foram incubadas (frascos claros e escuros) in “situ” por 4 horas com $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$. O ponto de coletas fica localizado no corpo central da represa, a cerca de 3 km a montante da barragem. As variáveis bióticas e abióticas apresentaram em geral uma distribuição vertical homogênea com variabilidade significativa apenas em escala temporal (sazonal e anual). Os maiores valores de produtividade primária de carbono total assimilado recém fotossintetizado foram obtidos em dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, meses que correspondem ao verão (chuvoso). Nesses meses, foram também registrados os maiores valores de radiação PAR (Photosynthetic Available Radiation). Esses altos valores de radiação fotossintética ativa, observados principalmente na superfície, podem ter sido a causa principal que desencadeou os mecanismos de perda de carbono e perda de excreção por fotoinibição que ocorreu na superfície da água. A porcentagem relativa de carbono orgânico particulado recém fotossintetizado representou 93,5 % do carbono total assimilado recém fotossintetizado. De igual modo, a porcentagem relativa de carbono orgânico dissolvido também recém fotossintetizado representou 6,8 % do carbono total assimilado no ponto de coletas. As concentrações mais elevadas de MOD excretada foram registradas no verão (dezembro /03,

fevereiro /04 e março /04) enquanto que no inverno as concentrações verificadas foram menores.

No verão, as porcentagens relativas de colóides extracelulares totais (COET) representaram entre 1,9 a 51,2 % do Fixtotal recém fotossintetizado, enquanto que no inverno as contribuições relativas representaram entre 1,5 a 10,6 %. Nesse mesmo período (verão), as porcentagens relativas de colóides extracelulares totais (COET) representaram entre 4,6 a 84,9 % da MOD total excretada. No inverno, as porcentagens relativas de COET representaram entre 74,0 a 93,6 % da MOD total excretada. A produção de biomassa fitoplanctônica em forma de clorofila-a e a produtividade primária acompanharam o padrão geral de excreção de matéria orgânica dissolvida, indicando a existência de uma relação direta (paralelismo) entre essas funções. As concentrações de clorofila-a, a concentração da produtividade primária e a produção de PEC excretados relacionaram-se positivamente e apresentaram uma variabilidade temporal significativa ($p \geq 0,05$) e uma homogeneidade espacial não significativa ($p < 0,05$). As condições de equilíbrio (estabilidade da coluna de água, radiação solar, temperatura, TR) e as de distúrbio (precipitação pluviométrica, vazão, vento e TR) favoreceram o surgimento de florescimentos algais de espécies consideradas como grandes produtoras de PEC. Os resultados do presente estudo permitem inferir que o reservatório de Barra Bonita pode ser considerado um ambiente eutrofizado e polimítico, cujo processo de eutrofização vem aumentando ao longo dos anos. Com uma produção de PEC estimada em torno de 15852 ton / ano (0,488 ton / ha / ano) o mesmo reservatório pode ser considerado como de alta produtividade.

Lista de figuras

Capítulo 1. Apresentação.

Figura 1.1. Localização do reservatório de Barra Bonita no estado de São Paulo e do ponto de coletas (o). Fonte: (Calijuri, 1999).

Capítulo 2. Produtividade primária por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP.

Figura 2.1. Valores sazonais médios da precipitação pluviométrica (mm) e da profundidade máxima (m) no ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de janeiro a agosto /04.

Figura 2.2. Valores sazonais de Z_{eu} e de Z_{DS} (m) observados no ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Figura 2.3. Valores sazonais médios de vazão (m^3s^{-1}) e do tempo de residência da água (dias) registrados no reservatório de Barra Bonita, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Figura 2.4. Isolinhas da temperatura ($^{\circ}C$) observadas na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

Figura 2.5. Isolinhas da concentração de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}) registradas na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

Figura 2.6. Isolinhas da variação sazonal dos valores de pH registrados na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

Figura 2.7. Isolinhas de turbidez (NTU) observadas na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

Figura 2.8. Valores sazonais integrados da concentração de clorofila-a das amostras 1 e 2 por unidade de área, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Figura 2.9. Valores sazonais médios de Tixtotal, de COPRF e de CODRF unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Figura 2.10. Densidade das classes fitoplantônicas, no período de julho /03 a janeiro /04 e, concentrações de CODT e COET no ponto de coletas nos, períodos de julho /03 a dezembro /03 e fevereiro a agosto /04.

Capítulo 3. Excreção de matéria orgânica por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP.

Figura 3.1. Valores médios sazonais da concentração da matéria orgânica dissolvida excretada em forma de carbono dissolvido real (CODR), carbono orgânico coloidal livre (COCL) e de carbono orgânico dissolvido total (CODT), por unidade de área e por hora, na zona euótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Figura 3.2. Valores sazonais médios de COET e CAPS por unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Figura 3.3. Densidade das classes fitoplantônicas, no período de julho /03 a janeiro /04 e, concentrações de CODT e COET excretados por unidade de área e por hora na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a dezembro /03 e fevereiro a agosto /04.

Lista de tabelas

Capítulo 2. Produtividade primária por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP.

Tabela 2.1. Valores de radiação fotossintética ativa ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) registrados na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

Tabela 2.2. Valores sazonais da concentração de clorofila-a da amostra 1 e 2 por unidade de volume, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /04 e de fevereiro a agosto /04.

Tabela 2.3. Valores sazonais médios da concentração de carbono orgânico total fixado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 2.4. Valores sazonais médios da concentração de COPRF por hora e por unidade de volume, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 2.5. Valores sazonais médios de CODRF por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /04, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 2.6. Valores sazonais médios de eficiência fotossintética de Fixtotal, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Capítulo 3. Excreção de matéria orgânica por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP.

Tabela 3.1. Concentração de Fixtotal por unidade de área e por hora e porcentagens relativas de CODR, de COCL, de CODT, de COET e de CAPS em relação ao Tixtotal, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Tabela 3.2. Valores da concentração de CODT excretado por unidade de área e por hora e valores de porcentagens relativas de CODR excretado, COCL excretado em relação ao CODT excretado, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Tabela 3.3. Valores sazonais médios da concentração de CODR excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 3.4. Valores sazonais médios da concentração de COCL excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a dezembro /03 e de fevereiro /04 a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 3.5. Valores sazonais médios da concentração de CODT excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 3.6. Valores sazonais médios de CAPS excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 3.7. Valores médios sazonais de COET excretados por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

Tabela 3.8. Concentração de CHO-T dissolvidos (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 2$).

Tabela 3.9. Variação sazonal de COT (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /04 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 2$).

Tabela 3.10. Variação sazonal de COD (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /04 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 2$).

Lista de Siglas, abreviaturas e definições usadas.

CAPS: colóides capsulares

Chl-a: clorofila a

CHO-T: carboidratos totais dissolvidos

COCL: carbono orgânico coloidal livre

COD: carbono orgânico dissolvido

CODR: carbono orgânico dissolvido real

CODRF: carbono orgânico dissolvido recém fotossintetizado

CODT: carbono orgânico dissolvido total (COCL + CODR)

COET: colóides extracelulares totais (COCL + CAPS)

COPRF: carbono orgânico particulado recém fotossintetizado

COT: carbono orgânico total

DO: oxigênio dissolvido

Fixtotal: carbono total assimilado recém fotossintetizado

MOD: matéria orgânica dissolvida

MOD excretada: matéria orgânica dissolvida excretada

PAR: Photosynthetic Available Radiation (radiação fotossintética ativa)

PEC: polissacarídeos extracelulares

PP: precipitação pluviométrica

TEP: partículas de exopolímeros transparentes

TR: tempo de residência da água

TU: turbidez

Z_{DS}: zona de desaparecimento do disco de Secchi

Zeu: zona eufótica

Z: profundidade máxima no ponto de coletas

Sumário

Capítulo 1. Apresentação.

Resumo geral (CAPES).....	02
1. Apresentação.....	04
2. Hipótese central.....	07
3. Objetivos.....	08
3.1. Objetivos específicos.....	08
4. Local de estudo.....	08
5. Material e métodos.....	11
5.1. Período e estação de amostragem.....	11
5.2. Variáveis abióticas.....	12
5.3. Variáveis biológicas.....	12
5.4. Eficiência fotossintética.....	13
5.5. Medidas de radioatividade.....	13
5.6. Produção primária.....	15
5.7. Produtividade primária integrada.....	16
5.8. Medidas de radioatividade da MOD excretada.....	16
5.9. Quantificação da MOD excretada.....	18
5.10. Extração e quantificação de CHO ¹⁴ C capsulares.....	18
5.11. Extração e quantificação dos CHO-T dissolvidos.....	19
5.12. Carbono orgânico total.(COT).....	20
5.13. Carbono orgânico dissolvido.(COD).....	20

6. Tratamento estatístico.....	20
Agradecimentos.....	21
Referências bibliográficas.....	22

Capítulo 2. Produtividade primária por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP.

Abstract.....	28
Resumo.....	29
Introdução.....	30
Resultados e discussão.....	33
Densidade das classes fitoplanctônicas e concentração de Chl-a e Fixtotal.....	67
Agradecimentos.....	68
Referências bibliográficas.....	69

Capítulo 3. Excreção de matéria orgânica por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP.

Abstract.....	76
Resumo.....	77
Introdução.....	78
Resultados e discussão.....	82
Densidade das classes fitoplanctônicas e CODT e COET excretados.....	101
Quantificação de PEC no reservatório de Barra Bonita.....	103
Quantificação de CHO-T dissolvidos, COT e COD.....	104
Conclusão.....	109

Agradecimentos.....	110
Referências bibliográficas.....	110

CAPÍTULO 1

APRESENTAÇÃO

HIPÓTESE

OBJETIVOS

ÁREA DE ESTUDO

MATERIAL E MÉTODOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Apresentação

O reservatório de Barra Bonita, localizado no estado de São Paulo, na latitude 22° 29' S e longitude 48° 34' W, a uma altitude de 430 metros, em uma região de transição entre os climas tropical e subtropical, é o primeiro de uma série de seis grandes reservatórios construídos no médio Tietê com o objetivo de gerar energia elétrica. O mesmo também é utilizado em atividades de lazer, como hidrovia e como depósito de despejos domésticos e industriais resultantes da intensa atividade agrícola (cana de açúcar). Definido como ecossistema eutrofizado (Rietzler, 1995) e polimítico este reservatório apresenta níveis altos de concentração de nutrientes (Calijuri, 1999) que contribuem para o surgimento e desenvolvimento de florações principalmente de *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) durante o verão e de *Aulacoseira granulata* (Bacillariophyceae) no inverno (Dellamano-Oliveira, 2006). Segundo Gouvêa et al., 2005, os produtos de excreção por florações podem contribuir significativamente para o pool de carbono orgânico dissolvido e constituir uma importante fonte de polissacarídeos extracelulares (PEC) para o sistema.

No reservatório de Barra Bonita 90 % da população fitoplanctônica é representada relativamente por poucos gêneros. Apenas 10 espécies representam cerca de 99 % da abundância relativa das espécies em certas ocasiões do ano, quando apenas três espécies (*Microcystis aeruginosa*, *Anabaena spiroides* e *Aulacoseira granulata*) representam aproximadamente 96 % das espécies o que concorda, também com os dados de biovolume (Tundisi et al., 1994; Jati, 1998).

O fitoplâncton, tanto o de água doce como o de água salgada, excreta para o meio circundante parte do carbono orgânico fotoassimilado (Lewin, 1962; Guillard & Wangersky, 1958; Hellebust, 1974; Jensen, 1984; Myklestad, 1995). A quantidade de carbono

excretado varia com a espécie e com o estado fisiológico da célula, mas em condições naturais as taxas de excreção variam geralmente entre 4 a 10 %.

Entretanto, uma característica da maioria das espécies estudadas, incluindo populações naturais, é a alta porcentagem de carboidratos extracelulares geralmente na forma de polissacarídeos de alta massa molecular nos excretados. De fato, esta porcentagem pode representar de 1 a 95% (Fogg, 1983, Guillard & Wangersky, 1958; Vieira & Myklestad, 1986) da fotossíntese líquida. Esta variação depende da disponibilidade de nutrientes, dos fatores físico-químicos como a irradiação e a temperatura, as diferenças interespecíficas e as condições fisiológicas das células (Hellebust, 1974; Guillard & Wangersky 1958; Vieira et al., 1998; Vieira & Myklestad, 1986).

Em corpos de água, microrganismos como microalgas (Lewin, 1962), cianobactérias (Drews, 1982) e bactérias (Beveridge, 1991) secretam substâncias ricas em carboidratos. Os carboidratos de origem algal encontrados em um corpo de água podem ser estruturais, de reserva ou extracelulares. Os carboidratos estruturais como a celulose (Cook, 1973) e alguns heteropolissacarídeos complexos (Beveridge, 1991) são componentes da parede celular e desempenham funções estruturais. Normalmente como polissacarídeos, os carboidratos extracelulares, além de formarem as cápsulas e bainhas de muitas espécies, podem sofrer um processo de dissolução para o meio circundante após a sua excreção. Este processo de dissolução é bastante comum e ocorre na grande maioria das espécies de microalgas (Boney, 1981; Paulsen & Vieira, 1994).

Diversas funções ecológicas têm sido atribuídas aos polissacarídeos extracelulares algais. Presume-se que essas funções tenham início logo após a produção dos polissacarídeos extracelulares (PEC), porque ao formarem as cápsulas mucilaginosas

extracelulares, esses compostos podem apresentar funções específicas viradas para a célula algal (Freire-Nordi et al., 2005).

Os exopolissacarídeos são considerados agentes atuantes na formação de agregados gelatinosos orgânicos (Alldredge et al., 1993; 1998) e de TEP (Transparent Exopolymer Particles) que são importantes na liberação e reciclagem de matéria orgânica nos ecossistemas lacustres (Grossart & Simon, 1993).

Os polissacarídeos extracelulares têm sido estudados devido à importância ecológica que podem assumir nos sistemas aquáticos (Zhou et al., 1998; Giroldo & Vieira, 2005), porquanto podem ser excelentes indicadores da origem da matéria orgânica particulada e dissolvida. Como constituintes das substâncias húmicas e fúlvicas podem levar a um melhor entendimento dos mecanismos de gênese da matéria orgânica complexa e pela susceptibilidade que têm em formar complexos com metais traços, podem controlar a biodisponibilidade destes no meio aquático (Lombardi; Vieira, 2000; Freire-Nordi et al., 2005; Gouvêa et al., 2005). Podendo ser usados como substrato por bactérias (Freire-Nordi; Vieira, 1998; Colombo et al., 2004), os polissacarídeos extracelulares podem desempenhar um papel importante em uma possível associação específica bactéria / alga (Grossart et al., 2003). Outra importante função que os polissacarídeos extracelulares podem desempenhar é a formação de TEP, que são partículas mucilaginosas amorfas de tamanho variado que podem por sua vez através de choques e agregação formar os agregados gelatinosos (lake snow) (Trent et al., 1978; Bittar, 2005). Segundo a maioria dos autores, esses agregados e TEP teriam origem principalmente nos polissacarídeos extracelulares de microalgas, aos quais populações de bactérias e outros organismos se agregam (Agis et al., 1998).

Mesmo considerando a importância ambiental dos PEC produzidos por microalgas, surpreendentemente são poucos os relatos sobre a quantificação da produtividade desses compostos em ambientes de água doce.

O presente estudo propôs-se a analisar os processos relacionados à produção primária e à excreção de matéria orgânica dissolvida por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, assim como verificar sua contribuição quanto à formação do excretado ao longo da zona eufótica. Para esta finalidade, foram realizadas coletas mensais em um único ponto de coletas do reservatório, localizado a 3 km à montante da barragem, em quatro profundidades (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m) da zona eufótica, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

2. Hipótese central

Considerando-se a enorme biomassa produzida por espécies fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita que, caracteristicamente são grandes produtoras de exopolissacarídeos na forma de bainhas e cápsulas, as taxas de liberação de compostos de alta massa molecular recém fotossintetizados devem ser altas.

3. Objetivos

O objetivo central deste trabalho foi quantificar a liberação de carbono orgânico foto-assimilado por populações fitoplanctônicas do reservatório de Barra Bonita. Entre a matéria orgânica dissolvida liberada deu-se ênfase àquela de massa molecular superior a 3 kDa, fração na qual estão localizados os colóides polissacarídeos que compõem cerca de 90 % do carbono orgânico excretado pela maioria das espécies fitoplanctônicas. A ênfase deve-se à importância que os colóides polissacarídeos têm, não só como fonte de carbono para

organismos heterótrofos, mas também na formação de agregados gelatinosos e TEP, partículas envolvidas com as rotas do fluxo de carbono não comumente abordadas.

3.1. Objetivos específicos

1. Quantificar a produção primária ao longo da zona eufótica e nas quatro diferentes profundidades amostrais (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m).
2. Quantificar a matéria orgânica excretada pelo fitoplâncton ao longo da zona eufótica e nas 4 diferentes profundidades amostrais.
3. Quantificar a parte da produção primária canalizada para a produção de compostos com massa superior a 3 kDa.

4. Local de estudo

O reservatório de Barra Bonita está localizado na bacia do médio Tietê superior, na região central do estado de São Paulo, entre os municípios de Igarapu e Barra Bonita na latitude 22° 29' a 22° 44' S e longitude 48° 10' a 48° 34' W, a uma altitude de 430 m (Fig. 1.1.). Tem uma área superficial de 32484 ha e um volume máximo de $3,6 \times 10^6$ m³ (Tundisi & Matsumura-Tundisi, 1990).

Localizado na mais populosa e desenvolvida região no interior do estado, esta região é limitada pelo vale do rio Tietê, compreendida entre Pirapora e a barragem de Barra Bonita, o reservatório foi formado inicialmente não só com o represamento das águas dos rios Tietê e Piracicaba, mas também caracterizado pela entrada de numerosos tributários de pequeno e maior porte. A região em que se encontra o reservatório, é considerada como sendo de transição entre o clima tropical e subtropical cuja sessão não é completamente definida.

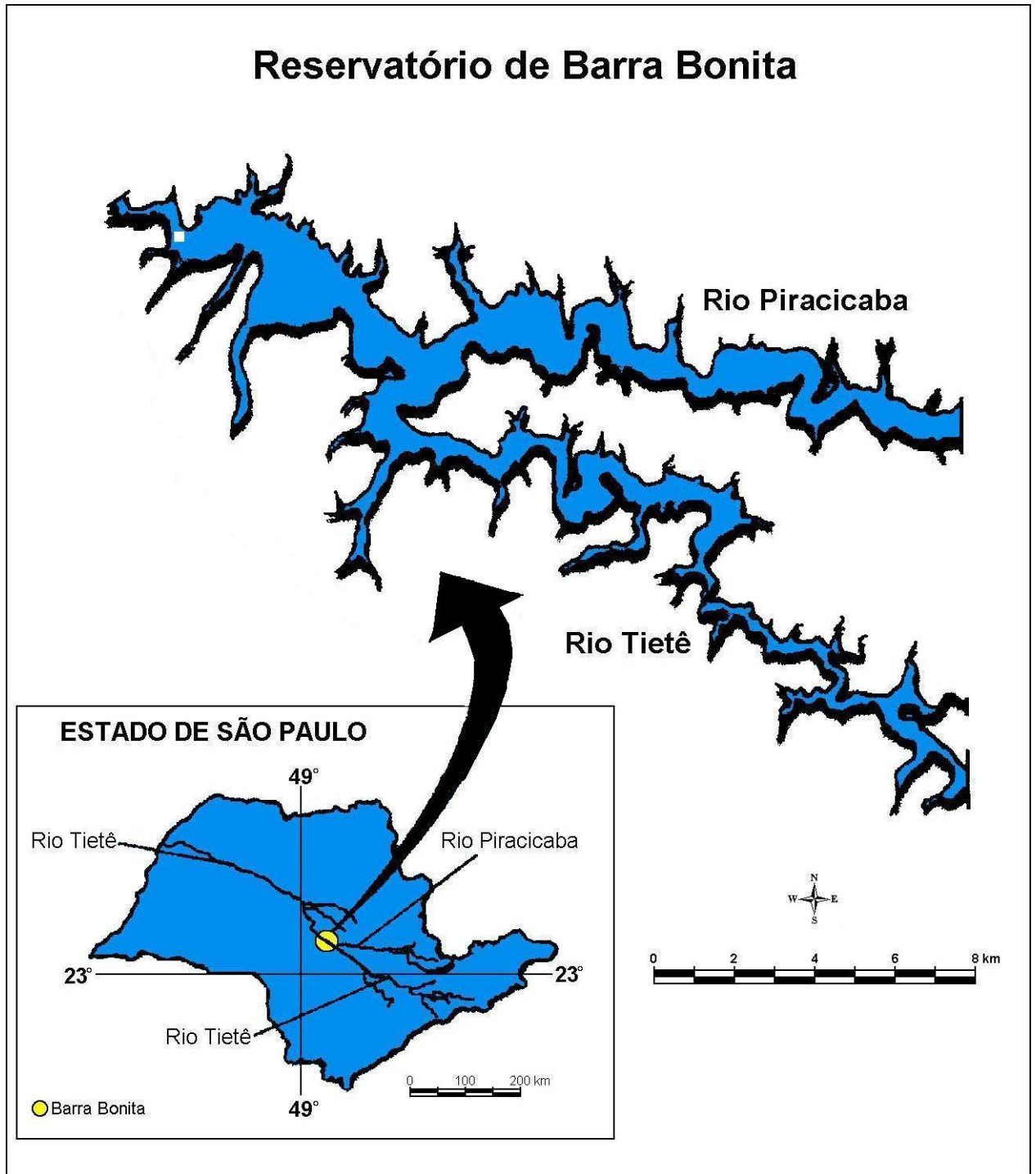


Figura 1.1. Localização do ponto (□) de coletas e do reservatório de Barra Bonita, no estado de São Paulo. Fonte: (Calijuri, 1999).

5. Material e métodos

Funcionalmente, neste trabalho, os colóides são definidos como sendo moléculas orgânicas que incorporam uma quantidade de água relativamente grande e com tamanho menor do que 0,65 μm e maior do que 3,0 kDa e que, portanto, não chegam, a ser completamente “dissolvidos” na água. Na literatura os limites do tamanho variam consideravelmente conforme a metodologia utilizada (microscópio eletrônico, por exemplo), mas os limites mais freqüentes são de 0,45 μm - 1 kDa. Entretanto, a filtração em membranas com poros de 0,45 μm de diâmetro retém comprovadamente polissacarídeos extracelulares de origem algal que ficam adsorvidos ao filtro, mas com a utilização de filtros de 0,65 μm de diâmetro de poro essa perda é minimizada. Por outro lado, moléculas menores do que 1 kDa, como pequenos peptídeos e oligossacarídeos, embora não sendo colóides, poderiam ficar retidas na fração coloidal. Nosso interesse principal são os polissacarídeos extracelulares e, como a metodologia usada não altera a concentração do excretado, achamos a nossa definição de colóide razoavelmente apropriada.

5.1. Período e estação de amostragem

Amostras de água foram coletadas em quatro diferentes profundidades amostrais (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m) em um ponto fixo de coletas localizado aproximadamente a 3 km à montante da barragem. O presente estudo foi realizado nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04, perfazendo um total de 12 coletas meses. Por não estarem de acordo com os dados obtidos durante as coletas mensais e por erros de metodologia, os dados referentes à coleta intensiva (novembro /03) foram excluídos do presente trabalho e, janeiro /04 não houve coleta mensal.

5.2. Variáveis abióticas

- Os perfis verticais das medidas de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}), da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), do pH e da turbidez (NTU) foram determinados no ponto de coleta com o aparelho Horiba, modelo U23.
- As medidas de radiação ($\mu\text{molm}^{-2}\text{ s}^{-1}$) e a profundidade da zona eufótica (Zeu) foram determinadas com o radiômetro, modelo LiCO_r LI 250 com sensor LI-193-AS.
- A transparência da água (m) foi determinada utilizando-se o disco de Secchi, de acordo com Lund & Talling, 1957.
- Os dados sobre a precipitação pluviométrica, a vazão e o tempo de residência da água (TR) foram coletados na estação meteorológica da UHE de Barra Bonita, SP e fornecidos pela AES Incorporation (operadora da UHE de Barra Bonita).

5.3. Variáveis biológicas

- **Clorofila-a:** A comunidade fitoplanctônica no reservatório foi acompanhada através da determinação da concentração de clorofila-a. As determinações foram realizadas mensalmente de acordo com o procedimento que a seguir se descreve: 1 L de amostra de água de cada profundidade (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m), em duplicata, foi filtrada em filtros de membrana de acetato de celulose de 47 mm de diâmetro e com poros de 0,45 μm de diâmetro. As concentrações de clorofila-a (mgL^{-1}) foram determinadas segundo a metodologia descrita por Talling & Driver, 1963. A extração completa foi feita com uma mistura de acetona (90 %) e dimetilsulfóxido (DMSO) na proporção 1:1.

5.4. Eficiência fotossintética

- A eficiência fotossintética foi calculada dividindo a produção primária pela concentração de clorofila-a.

5.5. Medidas de radioatividade

- As medidas de radioatividade em DPM (desintegrações do ^{14}C por minuto) dos frascos claros (transparentes) e dos frascos escuros foram determinadas utilizando o método descrito por Steemann-Nielsen, 1952; modificado por Teixeira, 1963 e por Aidar-Aragão & Vieira, 1982. O estudo foi realizado com frequência mensal através de amostragens e experimentos “in situ” como a seguir se descreve:

Amostras de água de quatro profundidades diferentes (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m) foram coletadas com garrafa tipo “Van Dorn” e acondicionadas em garrafões de plástico de 5 L. Depois de agitados, foram retirados 500 mL de água de cada garrafão plástico e colocados em 4 frascos âmbar (superfície; 1,0 m; 3,0 m e 5,0 m). Uma alíquota de 1 mL de solução de $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ (10 μCi) foi adicionada a cada frasco âmbar, cujo conteúdo foi em seguida agitado e distribuído (125 mL) em frascos de borossilicato com tampa esmerilhada, sendo 2 frascos transparentes e 1 frasco escuro. Esses frascos foram encaixados em armações metálicas em uma plataforma de incubação, permanecendo durante 4 horas em cada uma das profundidades descritas. No local, após o tempo de incubação, 10 mL de cada amostra (frascos transparentes e escuros) foi filtrada em filtros Milipore HAWP de 47 mm de diâmetro e com poros de 0,45 μm de diâmetro para quantificar a produção primária.

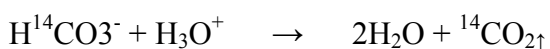
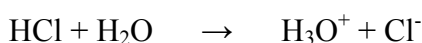
Os filtrados (para quantificação da MOD excretada pelas células fitoplanctônicas), os filtros (para quantificação da matéria orgânica particulada) foram colocados em “vials” de cintilação previamente enumerados, mantidos no escuro e transportados até ao laboratório. Após a adição de 1 mL de azida em concentração final de 50 mgL^{-1} (0,5%), os frascos transparentes e escuros foram mantidos no escuro e transportados até ao laboratório.

Para quantificação da MOD- ^{14}C excretada pelo fitoplâncton, o ^{14}C inorgânico não assimilado pelas células foi eliminado na forma de CO_2 . Para tanto o pH de cada filtrado foi ajustado para 2,8 – 3,0 e borbulhado durante 45 minutos com ar comprimido. O $^{14}\text{CO}_2$ foi captado em uma solução de 3 M de KOH.

O mecanismo da formação de $^{14}\text{CO}_2$ pode ser detalhado da seguinte forma:



Ao se adicionar HCl para baixar o pH, ocorrem as seguintes reações:



Posteriormente o pH de cada amostra foi ajustado para 6,8 – 7,0.

Finalmente, para quantificar a radioatividade (DPM) de ^{14}C orgânico dissolvido, duas alíquotas de 8 mL de cada filtrado foram colocadas em “vials” de cintilação previamente enumerados. Em cada “vial” foi acrescido de 10 mL de solução cintiladora 7T : 6R, isto é, dissolução em 7 partes de tolueno para 6 partes de Renex-95[®], (Vieira et al., 1998) sendo depois todos “vials” analisados em um cintilador líquido (Packard tricarb 1550).

Para quantificar a radioatividade do ^{14}C particulado, aos “vials” de cintilação contendo os filtros, foram adicionados 10 mL de solução cintiladora 2T : 1R, isto é, dissolução em 2 partes de tolueno para 1 parte de Renex-95[®], (Vieira, 1998) e analisados em um cintilador líquido (Packard tricarb 1550).

O ^{14}C orgânico total assimilado recém fotossintetizado foi determinado pelo somatório do ^{14}C dissolvido e de ^{14}C particulado.

As soluções cintiladoras foram feitas adicionando os componentes POPOP a 150 mgL^{-1} e PPO a 3 gL^{-1} .

PPO: 2,5 difeniloxazo.l

POPOP: (1,4 bis [2-(4- metil-5 feniloxazol)] benzeno.

Renex-95[®] é a denominação comercial de nonyl-fenol com um número médio de 9 unidades de óxido de etileno por molécula.

5.6. Produção primária

- O método descrito por Steemann-Nielsen, 1952; modificado por Teixeira, 1963 e Aragão & Vieira, 1982 foi utilizado para quantificar a produção primária nos frascos transparentes e escuros de acordo com a equação abaixo:

$$P_{\text{mgC.m}^{-3}\text{h}^{-1}} = [((\text{DPM}_{\text{luz}} - \text{DPM}_{\text{esc}}) / \text{DPM}_{\text{ad}})12720]C_{\text{inorg diss}} \quad (1)$$

Em que:

P: produção primária em $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$,

DPM_{luz}: desintegrações do ^{14}C por minuto dos frascos transparentes,

DPM_{esc}: desintegrações do ^{14}C por minuto dos frascos escuros,

DPM_{ad}: desintegrações do ^{14}C por minuto da ampola adicionada,

C_{inorg diss}: carbono inorgânico dissolvido (mgL^{-1})

5.7. Produtividade primária integrada

- A produtividade primária integrada, por unidade de área e por na zona eufótica do reservatório foi quantificada segundo a equação:

$$P_{\text{mgC.m}^{-2}\text{h}^{-1}} = D(Y + Y_d) / 2 \quad (2)$$

Em que:

$P_{\text{mgC.m}^{-2}\text{h}^{-1}}$: produtividade integrada em $\text{mgC.m}^{-2}\text{h}^{-1}$

Y : valores em $\text{mgC.m}^{-3}\text{h}^{-1}$: superfície; 1,0; e 3,0 m de profundidade,

Y_d : valores em $\text{mgC.m}^{-3}\text{h}^{-1}$: 1,0; 3,0 e 5,0 m de profundidade,

D : diferença entre superfície e 1,0 m; entre 1,0 e 3,0m e entre 3,0 e 5,0 m.

5.8. Medidas de radioatividade de MOD excretada

- No laboratório, o conteúdo restante dos frascos transparentes oriundos de cada profundidade (superfície; 1,0 m; 3,0 m e 5,0 m) foi concentrado e filtrado em um sistema de filtração tangencial (modelo: Quixstand 313 S-Watson Marlow, England) através de cartuchos de fibra oca (A/G Technology[®]) com poros menores do que 0,65 μm (XAMPLER[™] CFP-6-E-4A) e maiores de 3 kDa (XAMPLER[™] UFP-3-E-4A), obtendo-se três frações:

1. maior do que 0,65 μm constituída por célula e cápsulas.
2. menor do que 0,65 μm e maior do que 3 kDa, da qual fazem parte os colóides polissacarídeos.
3. menor do que 3 kDa, carbono orgânico dissolvido real.

Cada fração filtrada foi lavada 3 vezes também por filtração tangencial (modelo: Quixstand 313 S, Watson Marlow, England) com igual volume de água ultrapura.

Após as lavagens os volumes originais foram restaurados por concentração em rotaevaporador (Büchi 461, Switzerland) a 40 °C. O ^{14}C inorgânico não assimilado pelas células foi eliminado na forma de CO_2 . Para tanto o pH de cada amostra foi ajustado para 2,8 - 3,0. Cada amostra foi em seguida borbulhada durante 45 minutos com ar comprimido. O $^{14}\text{CO}_2$ foi captado em uma solução de 3 M de KOH. Posteriormente o pH das amostras foi ajustado para 6,8 - 7,0.

Finalmente, foram retiradas duas alíquotas de 8 mL de cada uma das frações das 4 diferentes profundidades e colocadas em “vials” de cintilação devidamente enumerados nos quais foram adicionados 10 mL de solução cintiladora 7T : 6R. Os “vials” foram depois analisados em um cintilador líquido (Packard tricarb 1550).

O carbono orgânico dissolvido total excretado (CODT) foi determinado pelo somatório do carbono orgânico coloidal livre (COCL) e do carbono orgânico dissolvido real (CODR).

Os colóides polissacarídeos excretados (COET) foram determinados pelo somatório do carbono capsular excretado (CAPS) e do carbono coloidal livre excretado (COCL).

Entre uma filtração e outra o equipamento utilizado para filtrar as amostras foi lavado de acordo com o seguinte procedimento:

1. Deixar circular cerca de 100 mL de água destilada pelos filtros com a pressão a 0 psi (sem fazer passar a água pelos poros dos filtros) por 30 minutos. Depois de descartar a água deixa-se novamente circular cerca de 100 mL de água destilada fazendo-a passar pelos poros dos filtros (5 psi), sendo depois descartada.
2. Durante 1 hora faz-se circular por duas vezes cerca de 150 mL de uma solução de 0,5 N de NaOH com a pressão a 5 psi. Depois de descartar a solução de 0,5 N de

NaOH, deixa-se circular por 30 minutos, duas vezes 150 mL de uma solução de NaOCl (2 mL/L de água) com a pressão a 5 psi.

3. Depois de descartar a solução de NaOCl, o equipamento foi lavado com água destilada fazendo circular cerca de 150 mL de água destilada por 30 minutos sem pressão (0 psi) primeiro e, por último com pressão (5 psi). Finalmente descarta-se a água.

4. Para guardar os cartuchos por uma semana, os mesmos são preenchidos com solução de NaOCl (2 mL / L). Para guardar os cartuchos por mais de uma semana, estes são preenchidos com 0,1 % de azida.

5. No intervalo de cada amostragem, o material de vidro foi conservado por 24 horas em uma solução de H₂SO₄ (10 %). Depois do descarte da solução de H₂SO₄, o material foi conservado por 24 horas em uma solução aquecida de Na₂CO₃ (cerca de 50 g / 15L de água). Após este tempo a solução de Na₂CO₃ foi descartada e, todo material de vidro foi preenchido com uma solução de HCl (2 %) que foi descartada depois de 24 horas. Finalmente todo material foi lavado com abundante água destilada.

5.9. Quantificação de MOD excretada

- A matéria orgânica dissolvida excretada, por unidade de volume e por hora, foi quantificada segundo a equação 1 (ver 5.1.6) enquanto que a integrada, por unidade de área e por hora, quantificada de acordo com a equação 2 (ver 5.1.7).

5.10. Extração e quantificação de CHO ¹⁴C-capsulares

- Do restante dos 4 frascos âmbar, foram retirados duas vezes 50 mL de amostra de cada profundidade (superfície; 1,0 m; 3,0 m e 5,0 m) e colocados em tubos de centrífuga e centrifugados por 10 minutos a 1000 G até a sedimentação das células. Os sobrenadantes foram descartados, as células precipitadas foram lavadas novamente por centrifugação com meio WC/4. Os sobrenadantes resultantes desta segunda centrifugação foram novamente descartados. Para a extração dos carboidratos capsulares foi adicionado a cada amostra 30 mL de solução de 0,2 M de pirofosfato de sódio aquecido a aproximadamente 50 °C, com agitação por uma hora. A quantificação dos carboidratos capsulares foi feita utilizando o método do fenol-sulfúrico, descrito por Dubois et al., 1956.

5.11. Extração e quantificação de CHO-T dissolvidos e capsulares

- Duas amostras de 50 mL de água de cada profundidade (0m, 1m, 3m e 5 m) foram centrifugadas por 10 minutos a 1000 G até a sedimentação das células. Os sobrenadantes foram conservados para a quantificação dos carboidratos totais dissolvidos. As células precipitadas foram lavadas novamente por centrifugação com meio WC/4. Os sobrenadantes resultantes desta segunda centrifugação foram descartados. A extração dos carboidratos (totais e capsulares) iniciais foi feita ao se adicionar a cada amostra 30 mL de solução de 0,2 M de pirofosfato de sódio aquecido a aproximadamente 50 °C, com agitação por uma hora. A quantificação dos carboidratos capsulares foi feita utilizando o método do fenol-sulfúrico, descrito por Dubois et al., 1956.

5.12. Carbono orgânico total no ponto de coleta

- Duas alíquotas de 80 mL de amostra de água de cada profundidade foram previamente filtradas em um filtro de rede com poros de diâmetro menores que 200 μm e em seguida analisadas em um analisador de carbono (TOC - V_{CPH} Shimadzu). Pelo método NPOC foi determinado o carbono orgânico total (mgL^{-1}).
NPOC (sigla inglesa para carbono orgânico não volátil).

5.13. Carbono orgânico dissolvido no ponto de coleta

- Depois de previamente filtradas em um filtro de rede com poros de diâmetro menores que 200 μm , duas alíquotas de 80 mL de amostra de água de cada profundidade foram novamente filtradas em filtros Millipore HAWP de 47 mm de diâmetro e com poros de 0,45 μm de diâmetro. Cada uma das amostras foi analisada em um analisador de carbono (TOC - V_{CPH} Shimadzu) e pelo método NPOC foi determinado o carbono orgânico total (mgL^{-1}).

6. Tratamento estatístico

Foi aplicado o teste paramétrico Anova-One Way (Tukey) com nível de significância (α) de 0,05 para verificar as diferenças temporais significativas entre as variáveis limnológicas, bióticas e abióticas enquanto para as variáveis que não apresentaram os pré-requisitos para aplicação do teste paramétrico (homogeneidade de variâncias, distribuição normal e aleatoriedade de dados) foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para verificar as diferenças espaciais verticais significativas entre as amostras. O coeficiente de correlação linear de Pearson foi aplicado para verificar a correlação entre as diferentes variáveis estudadas.

Agradecimentos

À CAPES- PEC-PG, pelo apoio financeiro, à FAPESP, processos número 00/03122-0 e 99/007766 (Projeto temático)

7. Referências bibliográficas

- AGIS, M.; UNANUE, M.; IRIBERRI, J.; HERNDL, G. J. Bacterial colonization and ectoenzyme activity in phytoplankton-derived model particles. Part II. Cleavage and uptake of carbohydrates. **Microbiol. Ecol.** 36: 66 - 74, 1998.
- AIDAR-ARAGÃO, E.; VIEIRA, A. A. H. Alguns aspectos metodológicos da medida de excreção de matéria orgânica pelo fitoplâncton por espectrofotometria de cintilação líquida. **Bolm. Inst. Oceanogr.** São Paulo 31 (1):39 - 53, 1982.
- ALLDREDGE, A. L.; PASSOW, U.; LOGAN, B. E. The abundance and significance of a class of large, transparent organic particles in the ocean. **Deep-Sea Res. I.** 1(40): 1131 - 1140, 1993.
- ALLDREDGE, A. L.; PASSOW, U.; HADDOCK, S. H. D. The characteristics and transparent exopolymer (TEP) content of marine snow formed from thecate dinoflagellates. **J. Plankton Res.** 20: 393 - 406, 1998.
- BEVERIDGE, T. J.; GRAHAM, L. L. **Microbiol. Rev.** 55:684 - 705, 1991.
- BITTAR, T. B. **Produção de TEP (Transparente Exopolimer Particles) em culturas de espécies de microalgas isoladas do reservatório de Barra Bonita (Rio Tietê, SP).** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. 87p, 2005.
- BONEY, A. D. Mucilage the ubiquitous algal attribute. **Br. Phycol. J.** 16:15 - 132, 1981.

- CALIJURI, M. C.; DEBERDT, G. L. B.; MINOTI, R. **A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande (Americana-SP)**, In: Henry, R. Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais. p.11 - 148, 1999.
- COLOMBO, V.; VIEIRA, A. A. H.; MORAES, G. Activity of glycosidases from freshwater heterotrophic microorganisms on the degradation of extracellular polysaccharide produced by *Anabaena spiroides* (Cyanobacteria). **Br. J. Microbiol.** 35: 110 - 116, 2004.
- COLOMBO, V. **Relações qualitativas e quantitativas das glicosidases com os polissacarídeos de origem algal no reservatório de Barra Bonita, SP** (em preparação).
- COOK, G. M. W.; STODDART, R. W. 1973. Surface Carbohydrates of the Eukaryotic Cell. **Academic Press**, London, pp1 - 346, 1973.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M, J. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita e sua relação com a composição e quantidade de polissacarídeos extracelulares e agregados gelatinosos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos 99p, 2006.
- DREWS, G.; WECKESSER, J. In N. G. Carr and B. A. Whitton (Eds) **The Biology of Cyanobacteria**, University of California Press, Berkeley CA. pp.333 - 357, 1982.
- DUBOIS, M.; GUILLES K. A.; HAMILTON J. K.; REBERS P. A.; SMITHS F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Anal. Chem.** (28): 350 - 356, 1956.
- FOOG, G. E. Ecological significance of extracellular products of phytoplankton photosynthesis. **Bot. Mar.**, (26): 3 - 14, 1983

- FREIRE-NORDI, C.S.; VIEIRA, A. A. H. Utilization of extracellular polysaccharides from *Ankistrodesmus densus kors.* (Chlorophyta) by heterotrophic bacteria. **Rev. Microbiol.** São Paulo, 27 (1):27 - 32, 1996.
- FREIRE-NORDI, C.S.; VIEIRA, A. A. H. Degradability of polysaccharide compounds excreted by *Ankistrodesmus densus kors.* (Chlorophyta) in cultures of natural bacterial communities. **Verh. Internat. Verein Limnol.** 26: 1685 - 1688, 1998.
- FREIRE-NORDI, C.S.; VIEIRA, A. A. H.; NASCIMENTO, O. R. The metal binding capacity of *Anabaena spiroides* extracellular polysaccharide: an EPR study. **Proc. Biochem.** 40: 2215 - 2224, 2005.
- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H. Polymeric and free sugars released by three phytoplanktonic species from freshwater tropical eutrophic reservoir. **J. Plankton Res.** 27(7): 695 - 705, 2005.
- GOUVÊA, S. P.; VIEIRA, A. A. H.; LOMBARDI, A. T. Copper and cadmium complexation by high molecular weight materials and of water from a eutrophic reservoir . **Chemosphere** 60: 1332 - 1339, 2005.
- GROSSART, H. P.; SIMON, M. Limnetic macroscopic organic aggregates (lake snow): Occurrence, characteristics and microbial dynamics in lake Constance. **Limnol. Oceanogr.** 38(3): 532 - 546, 1993.
- GROSSART, H. P.; HIETANEN, S.; PLOUG, H. Microbial dynamics on diatom aggregates in Øresund, Denmark. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** 249: 69 - 78, 2003.
- GUILLARD R. R. L.; WANGERSKY P. J. The production of extracellular carbohydrates by some marine flagellates. **Limnol. Oceanogr.** (3): 449 - 454, 1958.

- HELLEBUST, J. A. Extracellular products. In: Stewart, W. D. P. (Ed). **Algal Phycology and Biochemistry**. Botanical Monographs v 10 Blackwell Scientific, Oxford, p838 - 863, 1974.
- JATI, S. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Barra Bonita, SP**: Uma análise em diferentes escalas de tempo. Dissertação (Mestrado), USP, São Carlos, 1998.
- JENSEN, A. Excretion of organic carbon as function of nutrient stress. In: Holm-Hansen, O.; Bolis, L.; Gilles, R. (Ed). Lecture notes on coastal and estuarine studies. Marine phytoplankton and productivity. **Springer Verlag Berlin**. v. 8 p61 - 72, 1984.
- LEWIN, R. A. **Physiology and Biochemistry of Algae**. Academic Press, New York, pp1 - 929 (Ed) 1962.
- LOMBARDI, A. T.; VIEIRA, A. A. H. Copper complexation by Cyanophyta and Chlorophyta exudates. **Phycol.** 39: 118 - 125, 2000.
- LUND, J. G.; TALLING, J. F. Botanical limnological methods with special reference to the algae. **Bot. Rev.** 23(8-9): 489 - 583, 1957.
- MYKLESTAD, S. M. Release of of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides. **Sci. Total Environ.** 165: 155 - 164, 1995.
- PAULSEN, B. S.; VIEIRA, A. A. H. Structural studies on extracellular dissolved and capsular polysaccharrides produced by *Spondylosium panduriforme*. **J. Phycol.** v. 3, n 4 p638 - 641, 1994.
- RIETZLER, A. R. **Alimentação, ciclo de vida e análise de coexistência de espécies de Cyclopoida na represa de Barra Bonita**, São Paulo, 1995. 385 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP-São Carlos, 1995.

- STEEMANN-NIELSEN, E. The use of radio-active carbon (^{14}C) for measuring organic production in the Sea. **J. Cons. Int. Explor. Mer.** 18:117 - 140, 1952.
- TALLING, J. F.; DRIVER, D. Some problems in the estimation of chlorophyll-a in phytoplankton. Proc. Conference on primary productivity measurements, marine and fresh water, held. Univ. Have 1961. U.S. Atomic Energy Comm. TID-7633, p. 142 - 146, 1963.
- TEXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. **Bolm. Inst. Oceanogr.** São Paulo, 22:59 - 92, 1963.
- TRENT, J. D.; SHANKS, A. L.; SILVER, M. W. In situ and laboratory measurements on macroscopic aggregates in Monterey Bay, California. **Limnol. and Oceanogr.** 23: 626 - 635, 1978.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA TUNDISI, T. Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, São Paulo State, Southern Brazil. **Beih. Arch. Hydrobiol.** 33:661 - 676, 1990.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M.C. Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRAŠKRABA; M., TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A. (eds). **Comparative reservoir limnology and water quality management.** (Developments in Hydrobiology) Kluwer Academic Publishers, Netherlands: 25 - 55, 1993.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, M. T.; ROCHA, O.; HENRY, R.; CALIJURI, M.C. Mecanismos de funcionamento em represas (estrutura e função) em relação às bacias hidrográficas (bases biogeofísicas e usos). **Relatório científico no 2. USP /UFSCar /UNESP**, 1994.

VIEIRA, A. A. H.; MYKLESTAD, S. Production of extracellular carbohydrate in cultures of *Ankistrodesmus densus*. **J. Plankton Res.** v. 8 p985 - 994, 1986.

VIEIRA, A. A. H.; LOMBARDI, A. T.; SARTORI, A. L. Release of dissolved organic matter in a tropical strain of *Synura petersenii* (Chrysophyceae) grown under high irradiances. **Phycol.** v. 37 p357 - 362, 1998.

ZHOU J.; MOPPER, K.; PASSOW, U. The role of surface active carbohydrates in the formation of transparent exopolymer particles by bubble adsorption of seawater. **Limnol. Oceanogr.** 43: 1860 - 1871, 1998.

CAPÍTULO 2
PRODUÇÃO PRIMÁRIA POR POPULAÇÕES FITOPLANCTÓNICAS NATURAIS
DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

INTRODUÇÃO

MATERIAL E MÉTODOS

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ABSTRACT- (Primary productivity of natural phytoplanktonic populations of the Barra Bonita reservoir). To quantify the primary productivity in a fixed sampling station at the Barra Bonita Reservoir, monthly sampling from July/03 to August/04 were performed in three different depths in the euphotic zone (surface; 1.0; 3.0 and 5.0 m). These were incubated in situ during 4 h with $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ using light and dark flasks. The results showed that in the summer and rainy periods (dec/03, feb/04 and mar/04), higher values of total assimilated organic carbon were obtained. Similarly, higher values of PAR (Photosynthetic Available Radiation) were obtained. The particulate organic carbon recently photosynthesized represented 93.5 %, whereas the dissolved fraction represented 6.8 % in relation to the total incorporated carbon. It was also observed that high primary productivity values were supported by high chlorophyll-a concentration, high concentration of excreted organic matter and the occurrence of algal blooms of the most abundant algal species in the reservoir. The present results indicate an increase in the eutrophication process in the reservoir.

Key words: primary productivity, reservoir, chlorophyll-a, phytoplankton, ecology of phytoplankton.

RESUMO (Produtividade primária por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita, SP). O método de ^{14}C foi utilizado para quantificar a produtividade primária. Para tal, foram realizadas coletas mensais, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As amostras de água foram coletadas em 4 profundidades da zona eufótica (superfície; 1,0; 3,0 e 5,0 m) e incubadas “in situ” por 4 horas com $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$. O ponto de coletas fica localizado a cerca de 3 km a montante da barragem. As concentrações mais elevadas de carbono orgânico total assimilado recém fotossintetizado foram obtidas nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, meses que correspondem ao verão (chuvoso). Nesses meses também foram obtidos os maiores valores de radiação PAR. Do carbono total assimilado recém fotossintetizado no ponto de coletas, 93,5 % encontrava-se na forma de carbono orgânico particulado e os restantes 6,8 % em forma de carbono orgânico dissolvido. Foi ainda observado que os altos valores de produtividade primária obtidos nesse período, foram acompanhados pelo aumento das concentrações de clorofila-a e de aumento na excreção de matéria orgânica dissolvida assim como pela ocorrência de grandes florescimentos algais das espécies abundantes e importantes produtoras de PEC. Os resultados obtidos no presente estudo indicam um aumento dos processos de eutrofização que o reservatório vem sofrendo ao longo dos anos.

Palavras-chaves: produtividade primária, reservatório, clorofila-a, fitoplâncton, ecologia de reservatórios.

Introdução

A entrada de substâncias orgânicas alóctones e a produção de matéria fotossintética pela comunidade fitoplanctônica incluem-se entre os principais processos do metabolismo dos sistemas aquáticos (Straškraba, 1973, 1980; Biddanda & Benner 1997). Estes processos têm sido utilizados para avaliar situações ecológicas em corpos de água e subsidiam as substâncias orgânicas para as cadeias tróficas imprescindíveis para as funções de transformação, desenvolvimento, respiração, crescimento e reprodução (Straškraba et al., 1993; Biddanda & Benner 1997).

Em sentido mais amplo, trata-se da produção de biomassa, cujo processo atuante é conhecido como fotossíntese. Do conhecimento geral sabe-se que através deste processo, na presença de luz solar e dióxido de carbono, a energia luminosa é convertida em energia química, armazenada em compostos orgânicos como carboidratos, lipídeos e proteínas. A quantidade de matéria orgânica nova produzida por unidade de tempo pelos organismos autótrofos é denominada produção primária e a quantidade de matéria orgânica produzida por unidade de tempo em volume de área é denominada produtividade primária. (Straškraba, 1973,1980; Straškraba et al., 1993; Biddanda & Benner 1997). Ainda de acordo com estes autores, o fitoplâncton, os microfítobentos e as macrófitas das margens constituem os principais produtores primários. Dependendo do tipo de lago ou reservatório, as microalgas e as macrófitas podem ser as principais produtoras endógenas de carbono orgânico, principalmente em corpos de águas profundos e bastante eutrofizados, com grandes e freqüentes florescimentos algais. Dependendo da espécie, 15 a 40 % do carbono fixado pela fotossíntese, pode ser encontrado na forma de carboidratos (Biddanda & Benner, 1997).

Os carboidratos dissolvidos em corpos naturais de água doce compreendem os açúcares livres, principalmente monossacarídeos livres, mas também os dissacarídeos e os

carboidratos combinados em forma de polímeros hidrolisáveis como polissacarídeos e oligossacarídeos (Gremm, 1997; Jørgensen & Jensen, 1994). Em ambientes de água doce, estes compostos podem contribuir com 1 a 30 % para o “pool” de carbono orgânico dissolvido e constituem um dos maiores componentes da fração identificável da matéria orgânica dissolvida. No entanto, nestes ambientes a ocorrência de carboidratos poliméricos é extremamente variável mas, em lagos eutrofizados as concentrações encontradas podem variar de 0,1 a 50 μM . Em ambientes bastante eutrofizados, como por exemplo o reservatório de Barra Bonita, no Rio Tietê, onde são freqüentes florescimentos de cianofíceas que são grandes produtoras de exopolissacarídeos, concentrações elevadas (5 – 10 mgL^{-1}) podem ser encontradas em determinadas épocas do ano (obs pessoais A.A.H. Vieira). Já os açúcares livres ocorrem em concentrações que variam em amplitudes menores, isto é, de 2,5 a 15 μM (Thurman, 1985; Münster & Chróst, 1990; Münster, 1991; Søndergaard & Borch, 1992). Mas ambientes hipereutrofizados podem alcançar concentrações de até 20 μM . Em relação aos monossacarídeos e dissacarídeos algais dissolvidos, uma das suas principais fontes em ambientes de água doce é a degradação enzimática da matéria orgânica particulada e polimérica algal, assim como a sua excreção pelas microalgas (Guillard & Wangersky, 1958; Hellebust, 1974). Porém, a maior parte dos carboidratos excretados por microalgas são poliméricos e somente uma pequena parcela é de baixa massa molecular, como monossacarídeos e dissacarídeos (Hellebust, 1974; Wood & Van Vallen, 1990; Myklestad, 1995).

A produção primária constitui a base para o conhecimento do fluxo de energia de um sistema e pode ser controlada pela interação de muitos fatores (Straškraba, 1993).

De acordo com Calijuri (1999) e Conrad (1986), o ecossistema aquático apresenta uma variabilidade espacial e temporal que é expressa em características físicas (luz,

temperatura) e químicas (nutrientes, gases dissolvidos) que resulta da própria estrutura do meio líquido (substrato) em que se desenvolve o fitoplâncton, assim como das interações com fatores atmosféricos como ventos e radiação solar. Segundo ainda estes autores, a biomassa do fitoplâncton natural depende diretamente da disponibilidade de nutrientes e do “clima” de radiação subaquática. Em reservatórios, adicionado a estes dois fatores básicos, um outro deve ser considerado: a vazão e a perda constante de material biológico devido à saída de água pelas turbinas e pelos vertedouros. O tempo de retenção, as correntezas do local e a morfologia do reservatório podem variar e ocasionar um crescimento e freqüentes florescimentos algais.

O reservatório de Barra Bonita, considerado como um sistema eutrofizado e caracterizado por condições permanentes de mistura, tem seu metabolismo regido pela radiação solar, pelo vento, pela precipitação, vazão e pelo tempo de residência da água (Calijuri, 1999).

O objetivo do presente estudo foi quantificar a parte da produção primária canalizada para a produção de matéria orgânica dissolvida excretada pelo fitoplâncton em um ponto específico do reservatório de Barra Bonita e verificar como este processo varia nos períodos chuvoso (verão) e seco (inverno).

Resultados e discussão

Na figura 2.1. são mostrados os valores sazonais médios da precipitação pluviométrica (mm) registrados no reservatório de Barra Bonita e da profundidade (m) observados na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de janeiro a agosto /04. Os maiores valores de PP foram registrados no verão (chuvoso). Nesse período, o menor valor de PP foi registrado em novembro /03 (36,1 mm), o maior valor de PP em janeiro /04 (175,1 mm) enquanto que o valor médio de PP obtido no verão (chuvoso) foi de 105,4 mm. No inverno (seco), o menor valor de PP foi registrado em agosto /04 (0,7 mm), o maior em julho /04 (67,7 mm) e o valor médio de PP obtido no inverno foi de 28,3 mm.

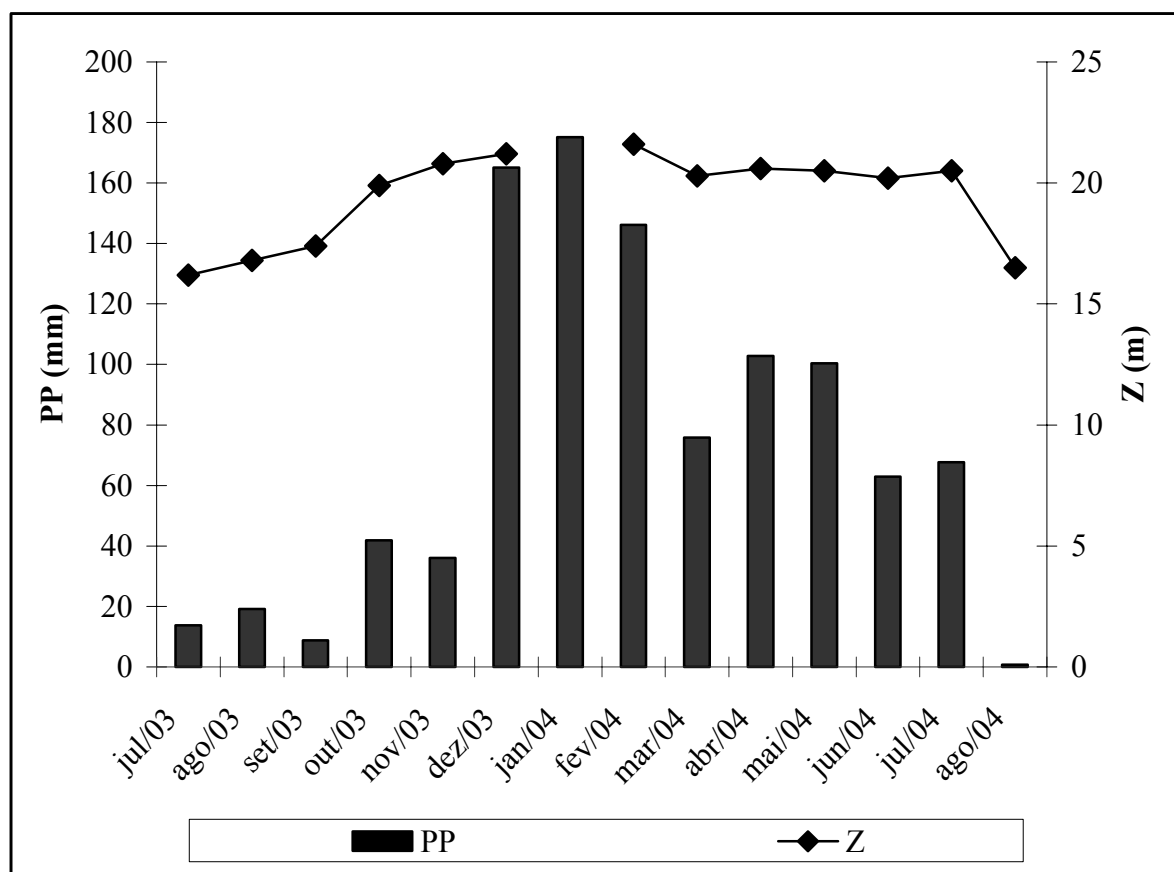


Figura 2.1. Valores sazonais médios da precipitação pluviométrica (mm) e da profundidade máxima (m) no ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de janeiro a agosto /04.

O valor médio de profundidade registrado no período de estudo no ponto de coletas foi de 20,7m. No inverno, a profundidade máxima no ponto variou entre 16,2 a 20,5 m e foi obtido nesse período um valor médio de 17,9 m de profundidade.

Os volumes de precipitação pluviométrica afetam os ecossistemas aquáticos promovendo alterações de algumas variáveis como volume, temperatura local, entrada de nutrientes e de material orgânico, principalmente por drenagens da bacia hidrográfica.

Foi considerado verão (chuvoso) o período entre outubro /03 a maio /04, período que se caracterizou pela ocorrência de chuvas. O inverno foi de julho a setembro /03 e de junho a agosto /04 e foi caracterizado pela ausência ou pela pouca ocorrência de chuvas, com exceção aos meses de junho e julho /04 que registraram valores de PP próximos àqueles registrados em alguns meses que corresponderam ao verão (Fig. 2.1.). A sazonalidade foi determinada principalmente pelos dados de PP, do vento, da vazão e pelos valores do tempo de residência da água. O aumento da profundidade máxima no ponto de coletas no verão é resultado do aumento de volume de água do reservatório devido ao aumento de drenagem no período chuvoso e assim como no do manejo operacional do reservatório. No inverno, a pouca ocorrência ou, ausência de precipitação pluviométrica resulta na diminuição do volume e dos níveis de água do reservatório, diminuindo também a profundidade máxima no ponto de coletas.

A figura 2.2. mostra os valores sazonais de Z_{eu} e de Z_{DS} (m) no ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. Durante o período de estudo, o valor médio de profundidade da zona eufótica no ponto de coletas foi de 4,4 m. No verão, o valor médio obtido foi de 3,2 m de profundidade enquanto que no inverno o valor registrado foi de 5,2. Em geral, observa-se que a profundidade da zona eufótica diminui no verão e aumenta no período seco.

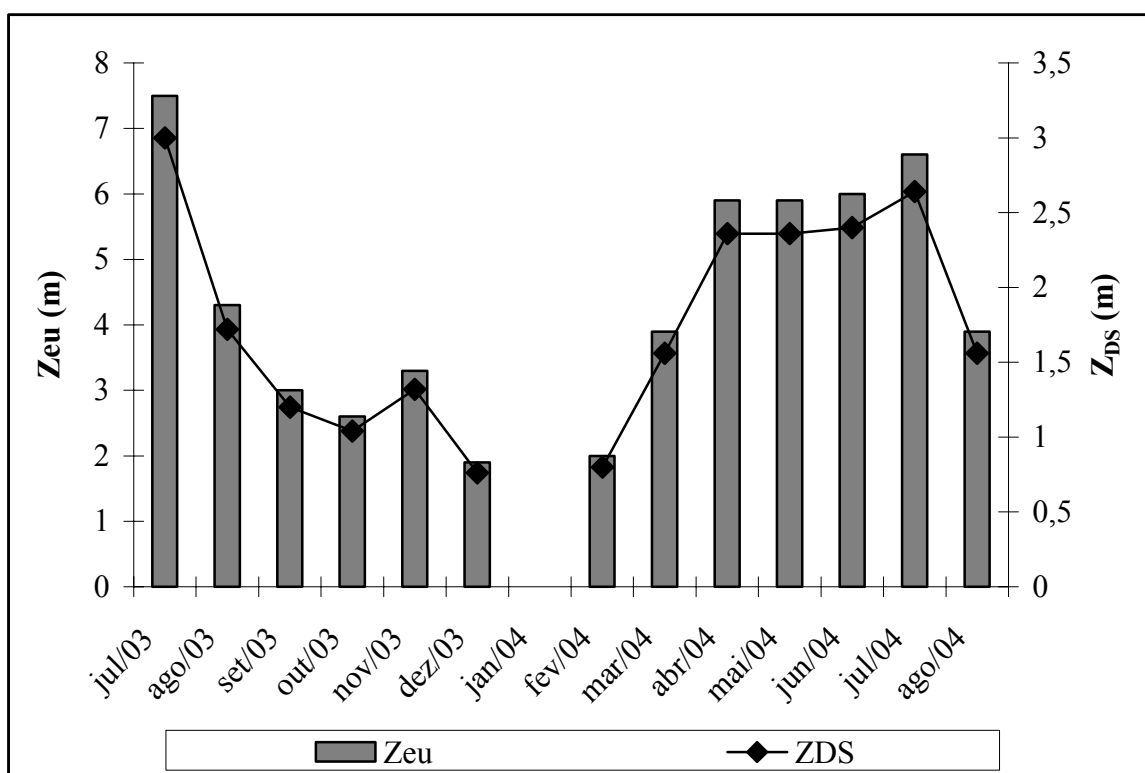


Figura 2.2. Valores sazonais de Z_{eu} e de Z_{DS} (m) observados no ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

De outubro a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04, as profundidades do desaparecimento do disco de Secchi variaram entre 0,8 a 2,4 m de e nesse período que corresponde ao verão (seco), verificou-se um valor médio de Z_{DS} de 1,5 m de profundidade.

No período de julho a setembro /03 e de junho a agosto /04, meses que correspondentes ao inverno (seco), Z_{DS} variaram entre 1,2 a 3,0 m enquanto que o valor médio obtido nesse período foi de 2,1 m de profundidade. A maior profundidade de desaparecimento do disco de Secchi foi verificada em julho /03 (3,0 m) e, a menor foi observada nos meses de dezembro /03 (0,8 m) e fevereiro /04 (0,8 m).

Existem argumentos de que para o reservatório de Barra Bonita, os fatores principais que atuam como agentes atenuadores verticais da radiação luminosa, têm sua origem no material em suspensão proveniente da drenagem superficial da bacia hidrográfica e da turbulência da água (Calijuri & Dos Santos, 2001), o que concorda com os resultados obtidos no presente estudo, porém os florescimentos algais em determinadas épocas do ano, podem também contribuir como agentes atenuadores da luz.

A figura 2.3. mostra os valores sazonais médios da vazão (m^3s^{-1}) e do TR (dias) registrados no reservatório de Barra Bonita, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As maiores vazões foram registradas no verão (chuvoso). Nesse período foi registrada em outubro /03 a menor vazão ($279,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) enquanto que as maiores foram verificadas nos meses de janeiro /04 ($999,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e fevereiro /04 ($877,8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). A vazão média registrada no período chuvoso foi de $512,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No inverno (seco), a menor vazão foi obtida em agosto /03 ($183,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), a maior em junho /04 ($511,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) enquanto que a vazão média registrada nesse período foi de ($296,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

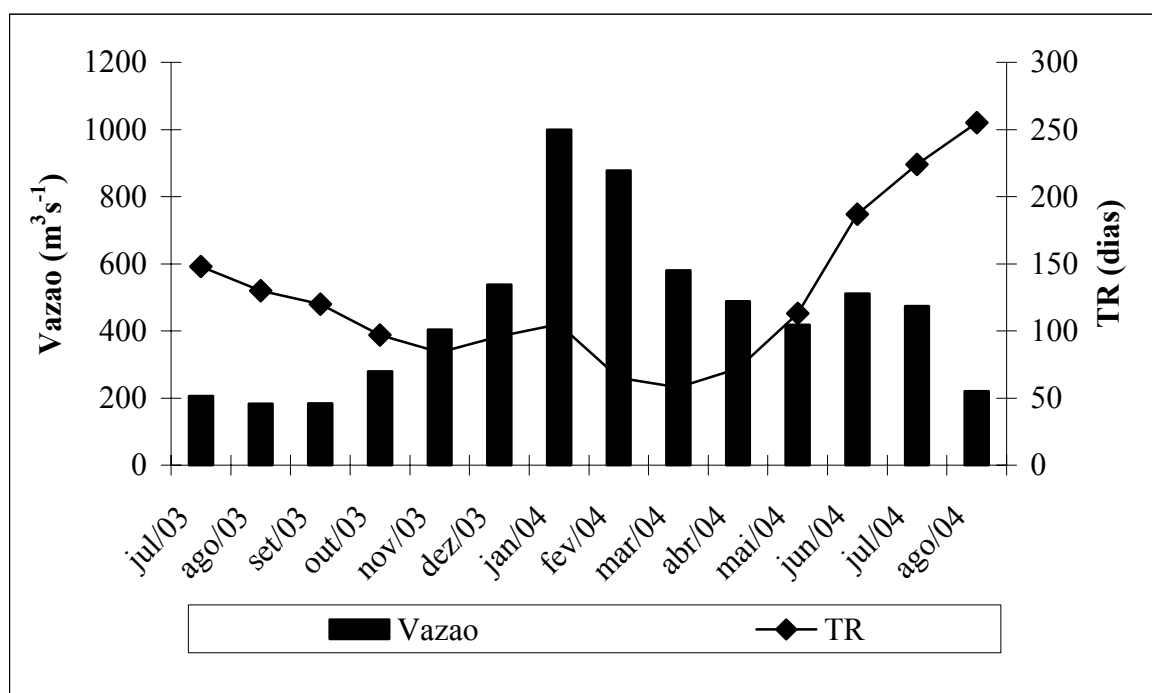


Figura 2.3. Valores sazonais médios de vazão (m^3s^{-1}) e do tempo de residência da água (dias) registrados no reservatório de Barra Bonita, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Os maiores valores de tempo de residência da água foram observados no inverno. Nesse período o maior de TR foi obtido em agosto /04 (255 dias), o menor em setembro /03 (120 dias), verificando-se nesse período um TR médio de 177,3 dias. No verão, o maior TR foi obtido em maio /04 (113 dias), o menor em março /04 (88 dias) enquanto que nesse mesmo período foi registrado um TR médio de 84,4 dias.

As variações observadas na vazão e no tempo de residência da água durante o verão e o inverno foram resultados do manejo operacional do reservatório. Estes resultados corroboram àqueles obtidos por outros autores disponíveis na literatura.

Em seu inventário, António (2004) encontrou um TR médio de 40,4 dias (desvio padrão: 11,2 dias), Jati (1998) observou um valor médio e TR igual a 115 dias (± 42). De acordo com Stráskraba & Tundisi (2000), o TR teórico do reservatório de Barra Bonita seria de 90 dias, considerado por estes como o tempo médio que geralmente é utilizado para geração de energia elétrica

Na figura 2.4. são mostrados os valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) registrados na zona eufótica (m) do ponto de coletas, nos períodos de Julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04. No verão, a temperatura menos elevada foi observada em outubro /03 ($24,1^{\circ}\text{C}$), a mais elevada obtida em fevereiro /03 ($27,6^{\circ}\text{C}$) enquanto que a média registrada nesse período foi de $25,9^{\circ}\text{C}$. No inverno, a menos elevada foi verificada em julho /03 ($21,8^{\circ}\text{C}$), a mais elevada em setembro /03 ($24,3^{\circ}\text{C}$) e a temperatura média registrada foi de $22,8^{\circ}\text{C}$.

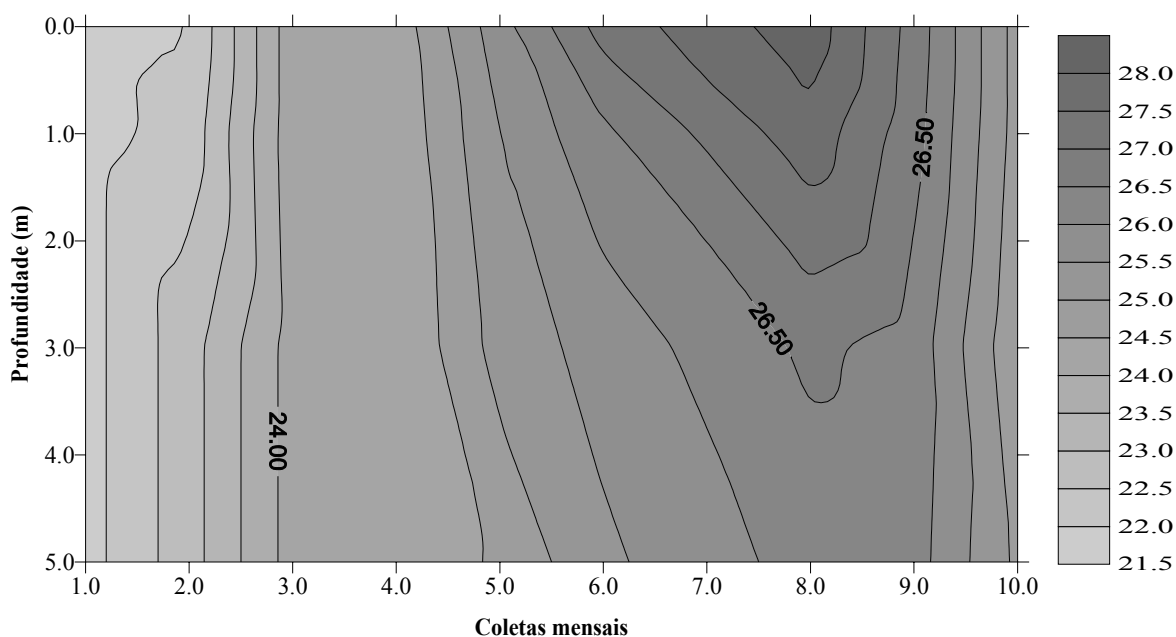


Figura 2.4. Isolinhas da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) observadas na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

(Coletas: 1,0= julho /03; 2,0= agosto /03; 3,0= setembro /03; 4,0= outubro /03; 5,0= novembro /03; 6,0= dezembro /03; 7,0= janeiro /04; 8,0= fevereiro /04; 9,0= março /04; 10= abril /04).

As temperaturas mais elevadas na superfície foram verificadas nos meses de dezembro /03 (27,2 °C), fevereiro /04 (28,3 °C) e março /04 (26,8 °C). A temperatura média registrada na superfície foi de 27,5 °C, similar às médias observadas: no verão de 2002 (Antonio, 2004), no verão de 1994 (Calijuri & Dos Santos, 2001), no verão de 1984 (De Fillipo, 1987) e no verão de 2002 (Panhota & Bianchini Jr., 2003). No inverno, a temperatura menos elevada na superfície foi verificada em julho /03 (21,8 °C), a mais elevada observada em setembro /03 (24,2 °C) enquanto que a nesse período a temperatura média registrada foi de 22,7 °C. Em geral, as temperaturas foram mais elevadas na superfície devido ao aquecimento superficial que ocorre em função da radiação solar. Segundo Calijuri & Tundisi (1990), o regime térmico do reservatório de Barra Bonita está relacionado, principalmente, com os efeitos do vento, apresentando períodos de isoterminia e estratificação no ciclo diurno. Dellamano-Oliveira, 2006 também observou estratificações térmicas durante os meses mais quentes enquanto que nos meses mais frios e devido à ocorrência de ventos, a coluna de água apresentou-se termicamente homogênea.

A figura 2.5. mostra os perfis verticais da concentração de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}) registrados na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04. A concentração de OD na zona eufótica apresentou-se em geral estratificada. No verão, o menor valor de OD foi obtido em abril /04 ($5,5 \text{ mgL}^{-1}$), o maior valor em outubro /03 ($9,6 \text{ mgL}^{-1}$) e o valor médio da concentração de OD verificado nesse período foi de $7,4 \text{ mgL}^{-1}$. No inverno, o menor valor da concentração de OD foi registrado em setembro /03 ($5,5 \text{ mgL}^{-1}$), o maior valor obtido em agosto /03 ($8,8 \text{ mgL}^{-1}$) e o valor médio de concentração de OD obtido nesse período foi de $7,7 \text{ mg.L}^{-1}$. As concentrações mais elevadas foram verificadas na superfície.

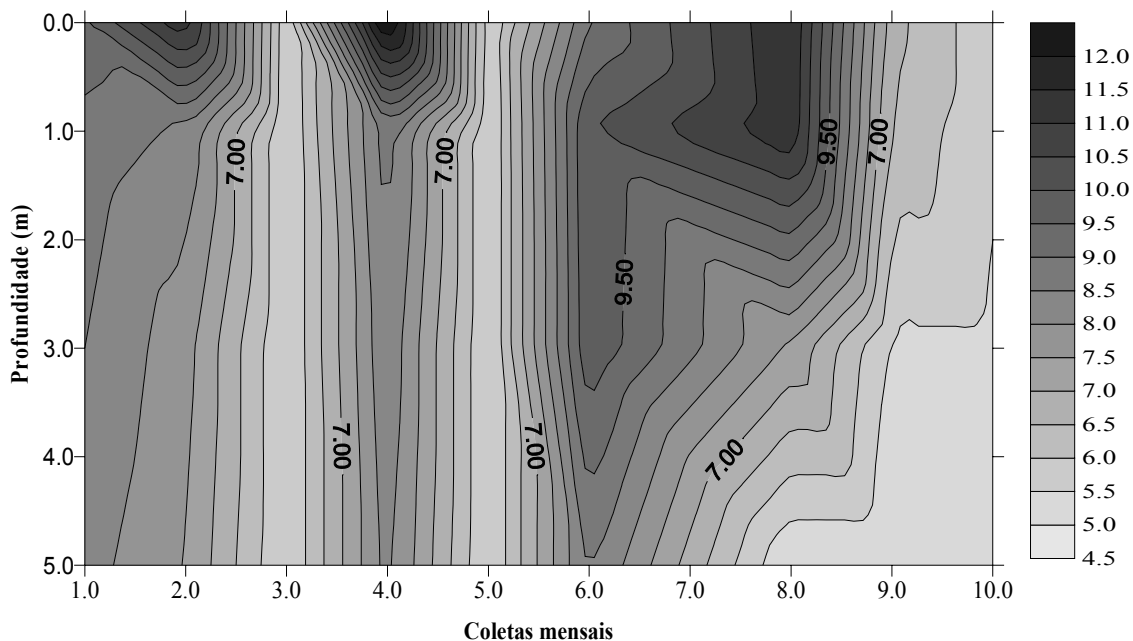


Figura 2.5. Isolinhas da concentração de oxigênio dissolvido (mgL^{-1}) registradas na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

(Coletas: 1,0= julho /03; 2,0= agosto /03; 3,0= setembro /03; 4,0= outubro /03; 5,0= novembro /03; 6,0= dezembro /03; 7,0= janeiro /04; 8,0= fevereiro /04; 9,0= março /04; 10,0= abril /04).

Este tipo de distribuição da concentração de oxigênio dissolvido caracteriza o padrão “clinogrado” (Horne & Goldman, 1994). Nos meses de setembro /03, novembro /03, março /04 e abril /04 as variações verticais das concentrações de OD foram menos acentuadas, definindo, na prática, um perfil “ortogrado”. As maiores concentrações de OD na superfície foram obtidas nos meses de agosto /03 (11,4 mgL⁻¹), outubro /03 (12,8 mgL⁻¹) e fevereiro (11,5 mgL⁻¹) enquanto que as menores concentrações de OD foram observadas nos meses de novembro /03 (5,6 mgL⁻¹) e de abril /04 (5,6 mgL⁻¹) António (2004), encontrou valores de concentração de OD variando entre 1,2 a 7,7 mgL⁻¹ no inverno enquanto que no verão a média de OD obtida foi de 5,0±1,8 mgL⁻¹. No verão de 1987 (Calijuri; Tundisi, 1990) obteve-se a média da concentração de OD obtida na superfície foi de 7,5 mgL⁻¹, estes resultados confirmam e estão de acordo com os obtidos no presente estudo.

Na figura 2.6. são mostradas as isolinhas dos valores de pH registrados na zona eufótica do ponto de coletas do reservatório de Barra Bonita, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04. Os valores de pH variaram na coluna de água. Em geral os valores encontrados na superfície foram menores, aumentando suavemente até a 3,0 metros de profundidade, mas com ligeira diminuição a 5,0 metros. De outubro /03 a abril /04 (período chuvoso), o valor médio de pH registrado foi de 7,5 enquanto que no período de julho /03 a setembro /03 (período seco) o valor médio de pH obtido foi de 6,5. Sazonalmente, os maiores valores de pH foram observados nos meses de dezembro /03, fevereiro /04, março /04 e abril /04.

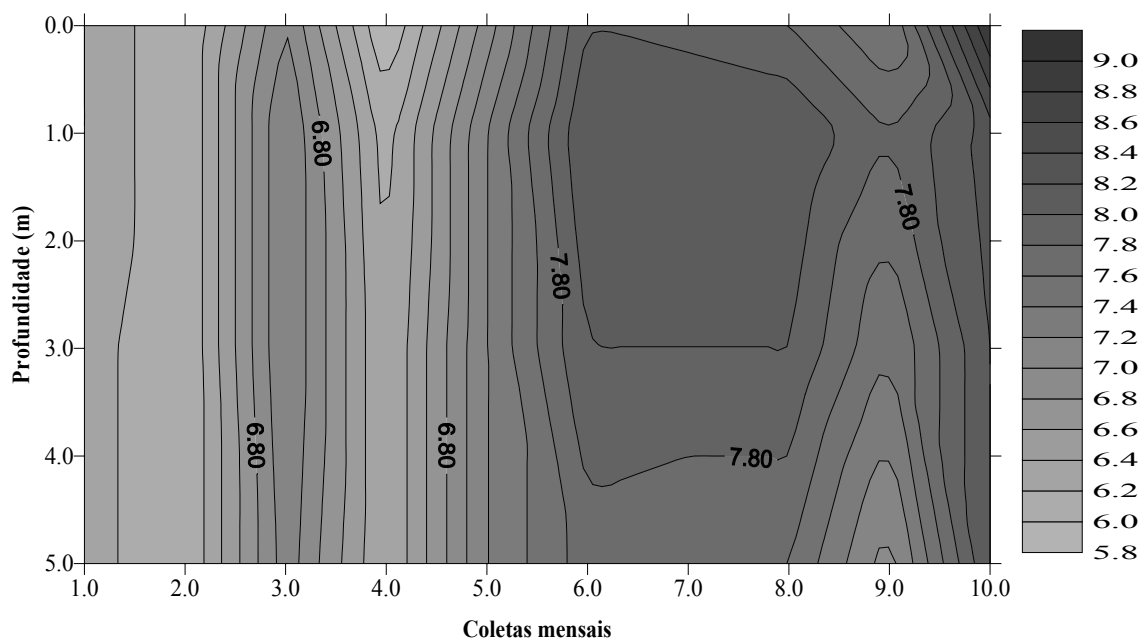


Figura 2.6. Isolinhas da variação sazonal dos valores de pH registrados na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

(Coletas: 1,0= julho /03; 2,0= agosto /03; 3,0= setembro /03; 4,0= outubro /03; 5,0= novembro /03; 6,0= dezembro /03; 7,0= janeiro /04; 8,0= fevereiro /04; 9,0= março /04; 10,0= abril /04).

O aumento dos valores de pH nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, provavelmente deve-se ao aumento da fotossíntese (Brown, 1972) porquanto nesses meses foram registradas as maiores temperaturas e os maiores valores de produtividade primária de carbono orgânico total assimilado recém fotossintetizado. Em reservatórios, as variações decorrem de vários fatores, como características geológicas, despejos e evaporação, supondo-se em geral que as alterações de pH estejam relacionadas com os processos fotossintéticos e com os processos de decomposição que geram CO_2 e outros ácidos orgânicos. A utilização de CO_2 na fotossíntese induz a liberação de íons OH^- , aumentando em consequência os valores de pH.

A figura 2.7. mostra os perfis verticais dos valores de turbidez (NTU) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04. Os maiores valores de TU no ponto foram registrados nos meses de julho /03 (36,3 NTU), novembro /03 (113,5 NTU) e dezembro /03 (151,8 NTU). De julho a setembro /03, período que corresponde ao inverno (seco), os valores de TU variaram de 10 a 36,3 NTU e o valor médio de TU registrado nesses meses foi de 18,8. No período de outubro /03 a abril /04, verão (chuvoso), os valores de TU variaram de 2 a 151,8 NTU enquanto que nesse período foi registrado um valor médio de TU igual a 48,5 NTU.

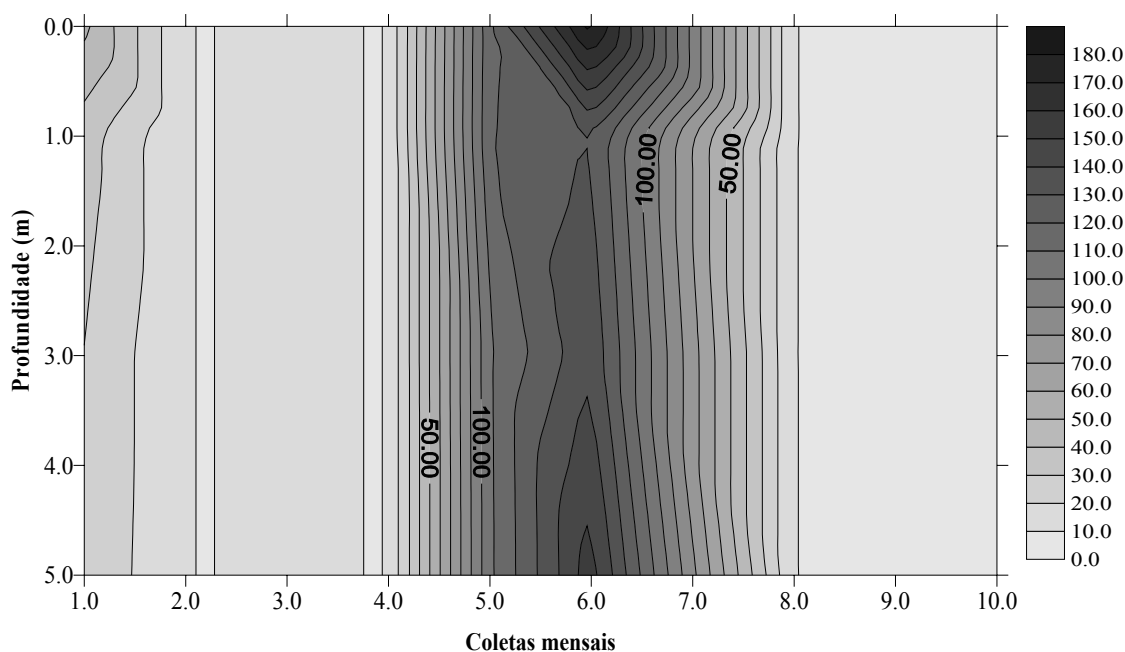


Figura 2.7. Isolinhas de turbidez (NTU) observadas na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

(Coletas: 1,0= julho /03; 2,0= agosto /03; 3,0= setembro /03; 4,0= outubro /03; 5,0= novembro /03; 6,0= dezembro /03; 7,0= janeiro /04; 8,0= fevereiro /04; 9,0= março /04; 10,0= abril /04).

Em geral, a TU na zona eufótica do ponto de coletas, apresentou-se homogênea, com poucas variações. A turbidez na água pode ser causada por materiais em suspensão, pela presença de quantidades elevadas de clorofila e por células em suspensão sendo, uma expressão da propriedade óptica que leva a luz a ser difundida e absorvida ao invés de ser transmitida em linhas retas através da água (APHA, 1999).

A tabela 2.1. apresenta os valores da radiação fotossintética ativa ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. No verão, os maiores valores de radiação (PAR) foram obtidos na superfície em dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, que corresponderam respectivamente os seguintes valores: $1675 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, $1787 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, e $1594 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. No inverno os valores de radiação fotossintética ativa na superfície variaram de 418,6 a $1237,3 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Comparativamente àqueles obtidos no verão, esses valores foram inferiores, exceção faz-se ao mês de outubro /03 que embora esteja situado no período correspondente ao verão registrou valores baixos de radiação fotossintética ativa (PAR) na superfície.

Tabela 2.1. Valores de radiação fotossintética ativa ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$) registrados na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a abril /04.

coletas		PAR ($\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$)		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	1139,2	400,9	123,1	27,0
ago/03	1180,9	562,5	50,1	6,3
set/03	1237,3	342,9	35,4	2,0
out/03	424,6	117,4	11,4	1,1
dez/03	1675,0	149,4	7,0	1,4
fev/04	1787,0	289,0	17,9	2,4
mar/04	1594,0	403,2	24,9	3,2
abr/04	546,3	211,8	22,3	9,2
mai/04	428,7	180,4	38,4	6,9
jun/04	418,6	157,5	43,0	5,6
jul/04	512,2	187,3	61,5	13,8
ago/04	1156,3	266,9	35,6	9,5

Na figura 2.8. apresentam-se os valores sazonais integrados da concentração de clorofila-a (mgChl-am^{-2}) das amostras 1 e 2 por unidade de área, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. No verão, a concentração de clorofila-a da amostra 1 variou de 72,6 a 510,4 mgChl-am^{-2} enquanto que a concentração da amostra 2 variou de 75,1 a 506,9 mgChl-am^{-2} . Nesse período, nos meses de novembro /03 (273,3 mgChl-am^{-2}), dezembro /03 (326,2 mgChl-am^{-2}), fevereiro /04 (510,4 mgChl-am^{-2}) e em março /04 (270,2 mgChl-am^{-2}) foram obtidos os maiores valores de concentração de clorofila-a da amostra 1. De maneira análoga, os maiores valores de concentração de clorofila-a da amostra 2 foram obtidos em: novembro /04 (278,3 mgChl-am^{-2}), em dezembro /04 (322,9 mgChl-am^{-2}), fevereiro /04 (506,9 mgChl-am^{-2}) e março /04 (266,6 mgChl-am^{-2}). No inverno, a concentração de clorofila-a da amostra 1 teve uma variação de 30,8 mgChl-am^{-2} a 250,0 mgChl-am^{-2} enquanto que a da amostra 2 variou de 24,7 a 255,8 mgChl-am^{-2} . No inverno, nos meses de agosto /03 (162,2 mgChl-am^{-2}), setembro /03 (250,0 mgChl-a.m^{-2}) e em agosto /04 (202,8 mgChl-am^{-2}) foram obtidos os maiores valores de concentração de clorofila-a da amostra 1. Para a amostra 2, correspondendo aos mesmos meses e período, foram obtidas as seguintes concentrações de clorofila-a: 158,2 mgChl-am^{-2} , 255,8 mgChl-am^{-2} e 197,1 mgChl-am^{-2} .

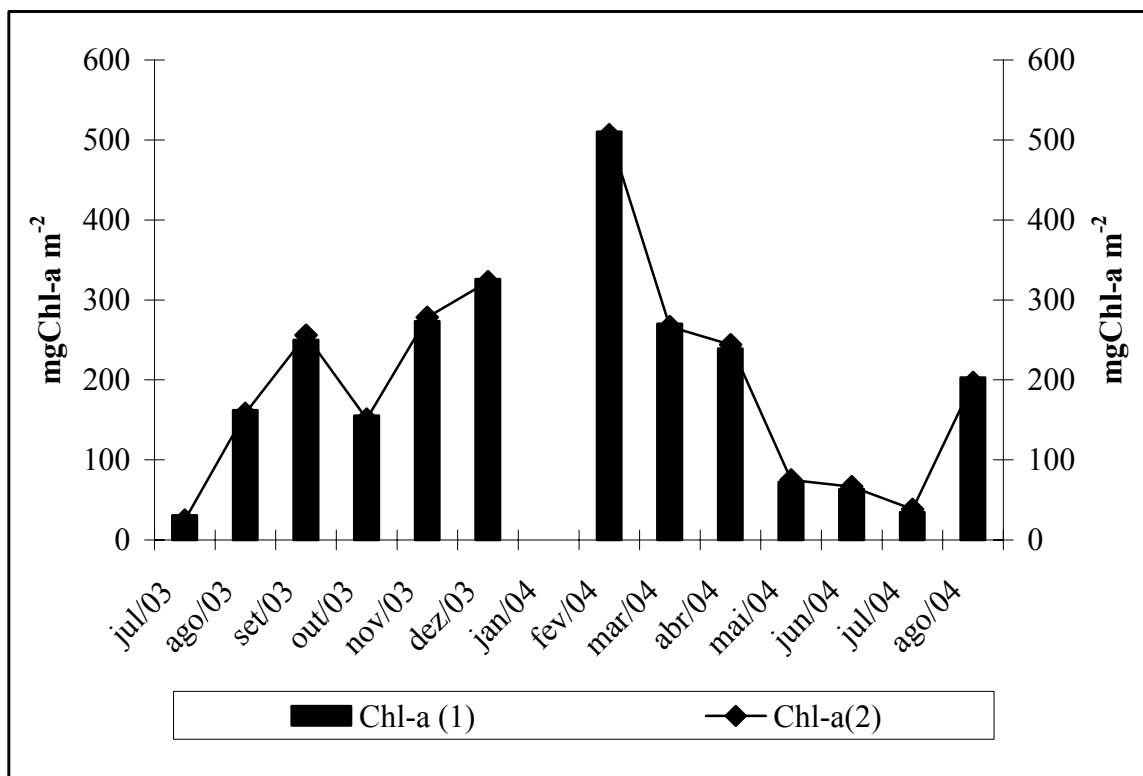


Figura 2.8. Valores sazonais integrados da concentração de clorofila-a das amostras 1 e 2 por unidade de área, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Na tabela 2.2. são mostrados os valores sazonais da concentração de clorofila-a (amostra 1 / amostra 2) por unidade de volume, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. No verão, na superfície, as concentrações de clorofila-a em ambas amostras variaram de 17,3 a 90,4 mgChl-am⁻³ e de 17,9 a 88,5 mgChl-am⁻³ respectivamente. Nos meses de dezembro /03 (64,8 / 65,5 mgChl-am⁻³), fevereiro /04 (90,4 / 88,5 mgChl-am⁻³), março /04 (62,7 / 62,0 mgChl-am⁻³) e abril /04 (40,0 / 40,8 mgChl-am⁻³) foram obtidos os maiores valores de biomassa na superfície. Na profundidade de 1 metro, a produção de biomassa em ambas amostras teve uma variação de 13,1 a 85,4 e de 13,5 a 84,2 respectivamente, registrando-se as maiores concentrações em dezembro /03 (54,1 / 55,3 mgChl-am⁻³), fevereiro /04 (85,4 / 84,2 mgChl-am⁻³), março /04 (62,7 / 62,0 mgChl-am⁻³) e em abril /04 (40,0 / 40,8 mgChl-am⁻³). A 3 metros de profundidade, as concentrações de clorofila-a em ambas amostras variaram de 10,3 a 83,3 mgChl-am⁻³ e de 10,9 a 83,1 mgChl-am⁻³ respectivamente, tendo-se obtido nos meses de dezembro /03 (51,0 / 50,0 mgChl-am⁻³), fevereiro /04 (83,3 / 83,1 mgChl-am⁻³), março /04 (29,7 / 28,4 mgChl-am⁻³) e em abril /04 (39,4 / 40,2 mgChl-am⁻³) os maiores valores de produção de biomassa. Na profundidade de 5 metros, as variações da concentração de clorofila-a registradas em ambas amostras foram de 8,7 a 81,6 mgChl-am⁻³ e de 9,2 a 80,5 mgChl-am⁻³ respectivamente e as maiores concentrações de clorofila-a nessa profundidade foram obtidas nos meses de dezembro /03 (48,8 / 49,4 mgChl-am⁻³), fevereiro /04 (81,6 / 80,5 mgChl-am⁻³), março /04 (19,1 / 20,5 mgChl-am⁻³) e abril /04 (39,0 / 39,3 mgChl-am⁻³). No inverno, as concentrações de clorofila-a na superfície variaram de 9,7 a 44,9 mgChl-am⁻³ e de 7,7 a 45,5 mgChl-am⁻³ em ambas amostras. As maiores concentrações na superfície foram obtidas nos meses de agosto /03 (31,2 / 31,3 mgChl-am⁻³), setembro /03 (44,9 / 45,5 mgChl-am⁻³) e agosto /04 (38,6 / 37,5 mgChl-am⁻³).

A 1 metro de profundidade os valores encontrados variaram de 5,8 a 44,8 mgChl-am⁻³ e de 4,2 a 45,7 mgChl-am⁻³ em ambas amostras, obtendo-se nos meses de agosto /03 (30,4 / 28,7 mgChl-am⁻³), setembro /03 (44,8 / 45,7 mgChl-am⁻³) e agosto /04 (38,6 / 37,5 mgChl-am⁻³) as maiores concentrações a 1 metro de profundidade. Na profundidade de 3 metros, a variação da biomassa foi de 3,6 a 42,8 mgChl-am⁻³ e de 3,2 a 43,7 mgChl-am⁻³ em ambas amostras e nos meses de agosto /03 (24,8 / 24,3 mgChl-am⁻³), setembro /03 (42,8 / 43,7) e agosto /04 (30,1 / 29,3 mgChl-am⁻³) foram encontrados os valores mais altos de concentração de clorofila-a. A 5 metros de profundidade, os valores encontrados variaram de 2,7 a 30,1 mgChl-am⁻³ e de 2,1 a 30,6 mgChl-am⁻³ e nos meses de agosto /03 (20,7 / 21,0 mgChl-am⁻³), setembro /03 (30,1 / 30,6 mgChl-am⁻³) e agosto /04 (24,7 / 24,2 mgChl-am⁻³) foram registrados os maiores valores de concentração de clorofila-a.

Tabela 2.2. Valores sazonais da concentração de clorofila-a da amostra 1 e 2 por unidade de volume, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /04 e de fevereiro a agosto /04.

coletas		mgChl-am ⁻³		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	9,7 / 7,7	5,8 / 4,2	3,6 / 3,3	2,7 / 2,1
ago/03	31,2 / 31,3	30,4 / 28,7	24,8 / 24,3	20,7 / 21,0
set/03	44,9 / 45,5	44,8 / 45,7	42,8 / 43,7	30,1 / 30,6
out/03	31,1 / 30,2	30,9 / 29,7	29,0 / 20,6	20,8 / 20,3
dez/03	64,8 / 65,3	54,1 / 55,3	51,0 / 50,0	48,8 / 49,4
fev/04	90,4 / 88,5	85,4 / 84,2	83,3 / 83,1	81,6 / 80,5
mar/04	66,5 / 65,4	62,7 / 62,0	29,7 //28,4	19,1 /20,5
abr/04	41,6 / 42,8	40,0 / 40,8	39,4 / 40,2	39,0 / 39,3
mai/04	17,3 / 17,9	13,1 / 13,5	10,3 / 10,9	8,7 / 9,2
jun/04	9,9 / 10,6	11,9 / 11,6	10,5 / 11,3	9,0 /8,2
jul/04	11,7 / 11,1	6,6 /6,2	3,6 / 3,2	3,0 / 3,3
ago/04	38,6 / 37,5	37,2 / 38,0	30,1 / 29,3	24,7 / 24,2

Embora problemática a comparação de resultados de biomassa expressos em clorofila-a devido às dificuldades na extração de pigmento, pelos erros metodológicos usuais e a padronização das unidades utilizadas, os resultados sobre a estimativa da biomassa no reservatório de Barra Bonita obtidos no presente estudo, podem ser comparáveis e concordam com os obtidos pelos outros autores em estudos anteriores. No verão, o valor médio da concentração de clorofila-a foi de 261,7 mgChl-am⁻² enquanto no inverno o valor médio da concentração de clorofila obtido foi de 123,7 mgChl-am⁻². Em trabalhos anteriores, encontraram os seguintes valores de clorofila-a para o reservatório de Barra Bonita: no verão,

para a comunidade total, Calijuri (1999) encontrou 148,55 mgChlam⁻² em outubro /93; 108,8 mgChlam⁻² em dezembro /03 e 438 mgChlam⁻² em abril /94.

No inverno, os maiores valores foram 26,95 mgChl-am⁻² em julho /93 e 73,93 mgChl-am⁻² em setembro /93. Ainda para o reservatório de Barra Bonita, Calijuri (1988) encontrou para a comunidade total 15,29 mgChlam⁻² no inverno e 30,62 mgChlam⁻² no verão. Sandes (1998) obteve valores que variaram de 1,8 mgChlam⁻² (05/05/93) a 28,93 mgChlam⁻² (03/05/93).

Dellamano-Oliveira (2006), observou valores maiores de concentrações de clorofila-a e de acordo com a autora, essas as altas concentrações de clorofila-a foram acompanhadas pelo registro de elevadas densidades de algas, principalmente cianofíceas, clorofíceas e criptofíceas (Fig 3.1. e Fig 3.2.). A variabilidade temporal demonstrou que podem ocorrer diferenças nas estimativas da concentração de clorofila-a, provavelmente devido à instabilidade das condições físicas e químicas do sistema provocadas pelas variáveis climatológicas e de operação do reservatório, das interações biológicas e dos ritmos dos processos fisiológicos do fitoplâncton.

Do perfil vertical, observa-se que as concentrações de clorofila-a na zona eufótica do ponto de coletas, sofrem apenas pequenas variações. As maiores variações de concentração, tanto no verão como no inverno, ocorreram a 3,0 metros de profundidade. Essas variações podem ser associadas à presença das espécies anteriormente citadas na zona eufótica. O índice de correlação linear de Pearson ($r=0,798$) obtido indicou que a clorofila-a tende a correlacionar-se positivamente com a produtividade primária. Análises de variância (ANOVA one Way) mostraram que as concentrações de clorofila-a apresentaram-se homogêneas em relação à distribuição vertical ($p > 0,05$). Porém esta mesma análise mostrou a existência de variabilidade temporal entre os dois períodos amostrados (verão e inverno).

A figura 2.9. mostra os valores sazonais médios de produtividade primária ($\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$) de carbono orgânico total assimilado (Fixtotal), de carbono orgânico particulado (COPRF) e de carbono orgânico dissolvido (CODRF) por unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04. No verão, a concentração de Fixtotal variou de 17,2 a 1682,0 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ e os picos mais altos, nesse período, foram registrados nos meses de dezembro /03 (1126,9 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$), fevereiro /04 (1682,0 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$) e março /04 (1104,9 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$). Nesses 3 meses foram também, particularmente na superfície, obtidos os maiores valores de radiação PAR (Tab. 2.1.). Contrariamente as maiores concentrações obtidas no verão, nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, a produtividade primária do Fixtotal registrou valores baixos nos meses de outubro /03, abril /04 e maio /04 (Fig. 2.9.). Comparativamente ao verão, os valores de Fixtotal obtidos no inverno, foram menores e variaram de 123,6 a 804,0 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$, coincidindo com os menores valores de radiação PAR (Tab. 2.1.) obtidos no inverno. No verão, a concentração de COPRF teve uma variação de 13,0 a 1594,0 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ enquanto que no inverno a variação foi de 117,4 a 798,2 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$. À semelhança dos valores verificados de Fixtotal, os valores mais altos de COPRF foram também obtidos nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04 que corresponderam respectivamente os seguintes valores: 1053,8; 1594,0 e 1029,0 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Quanto à concentração de CODRF, os valores de produtividade obtidos, variaram de 4,2 a 108,2 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ no verão, enquanto que no inverno a variação foi de 5,7 a 33,5 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Comparativamente aos valores de Fixtotal e de COPRF, os valores mais altos de CODRF foram obtidos no o verão, também nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. Foi encontrado um valor médio de produtividade para o Fixtotal igual a 697,8 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ no verão e de 382,7 $\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ no inverno.

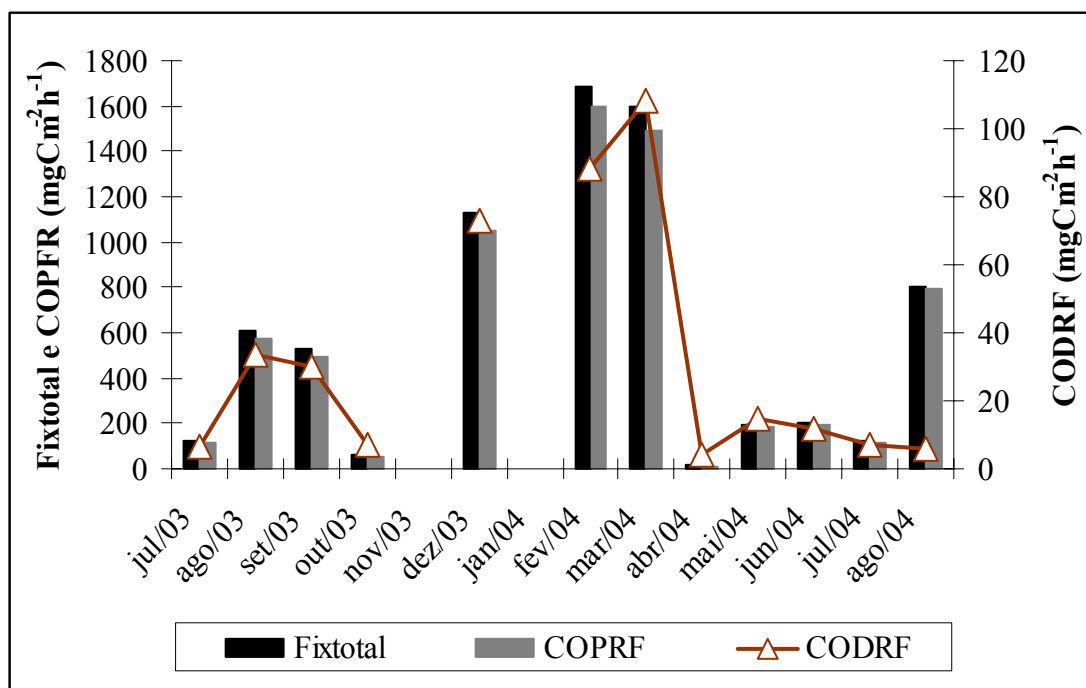


Figura 2.9. Valores sazonais médios de Tixtotal, de COPRF e de CODRF unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

Na tabela 2.3. apresentam-se os valores sazonais médios de Fixtotal por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a outubro /03, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. No verão, os meses de dezembro /03, fevereiro /04, março /04 e maio /04 foram os que registraram os valores mais altos de Fixtotal, fazendo-se exceção aos meses de outubro /03 e abril /04 que registraram valores baixos de produção primária (Tab. 2.3.). No inverno, nos meses de setembro /03, junho /04 e agosto /04 foram obtidos na superfície, os valores mais altos de Fixtotal que corresponderam respectivamente as seguintes concentrações: 141,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$; 52,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ e 125,5 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$. Tanto no verão como no inverno, houve em geral um incremento da produção de Fixtotal a 1,0 metro de profundidade, exceção se faz aos meses de abril /04 e julho /04 que registraram valores altos de produção na superfície. No verão, nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04 foram observados valores elevados de Fixtotal a 1,0 metro de profundidade correspondendo os seguintes valores: 451,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$; 783,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ e 500,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ respectivamente. No inverno, os valores mais altos foram registrados nos meses de agosto /03, setembro /03 e agosto /04 e foram respectivamente: 221,4 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$; 171,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ e 252,3 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$. A 3,0 metros de profundidade os maiores valores de Fixtotal produzidos no verão foram: 45,3 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ em dezembro /03; 16,8 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ em fevereiro /04; 14,7 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ em março /04 e 12,9 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ em maio /04 enquanto no inverno os valores mais altos foram: 64,3 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ em agosto /03 e 52,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ em junho /04. Comparados aos resultados obtidos em outras profundidades, os valores registrados a 5 metros foram menores, tanto no verão como no inverno. No verão a produção de Fixtotal a 5,0 metros variou de 1,2 a 32,8 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ enquanto que no inverno esta mesma variação foi de 0,5 a 5,8 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$.

Tabela 2.3. Valores sazonais médios da concentração de carbono orgânico total fixado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		Fixtotal ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$)		
meses	superfície	1,0m	3,0 m	5,0 m
jul/03	12,3±1,2	30,0±5,5	12,3±1,2	1,7±0,5
ago/03	34,2±0,5	221,4±4,9	64,3±2,4	4,0±0,3
set/03	141,0±3,1	171,0±2,7	9,0±1,4	5,8±2,7
out/03	14,5±1,2	18,8±0,6	14,5±1,2	1,2±0,2
dez/03	101,6±4,8	451,0±4,9	453,6±2,8	32,8±0,7
fev/04	73,0±3,3	783,2±42,3	16,8±0,4	12,7±2,1
mar/04	54,5±1,9	500,2±13,1	14,7±2,9	8,2±0,8
abr/04	3,8±0,4	3,5±0,4	3,8±0,4	1,4±0,1
mai/04	53,2±1,9	63,6±1,03	12,9±1,3	1,6±0,3
jun/04	52,0±4,0	58,7±4,7	52,0±4,0	1,4±0,2
jul/04	23,9±4,9	34,9±5,2	23,9±4,9	0,9±0,1
ago/04	125,5±2,3	252,3±5,8	39,7±5,8	0,5±0,1

Na tabela 2.4. estão representados os valores sazonais médios da concentração de COPRF por hora e por unidade de volume, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04. No verão, a produção na superfície variou de 3,8 a 101,6 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ enquanto que no inverno a variação registrada foi de 11,4 a 122,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$. A 1,0 metro de profundidade os valores de produção obtidos no verão variaram de 16,9 a 747,4 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ enquanto que no inverno a variação foi de 28,4 a 251,4 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$. À 3,0 metros de profundidade a produção de COPRF registrada no verão variou de 2,0 a 43,6 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$, variando a produção no inverno de 14,4 a 60,9 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$. A 5,0 metros de profundidade foram obtidas as seguintes variações: de 1,0 a 2,3 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ no verão e de 0,3 a 5,08 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ no inverno. Os valores obtidos na superfície mostram igualmente a ocorrência da fotoinibição da fotossíntese (Tab. 2.4.).

Tabela 2.4. Valores sazonais médios da concentração de COPRF por hora e por unidade de volume, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		COPRF ($\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$)		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	11,4±1,2	28,4±5,3	17,2±2,0	1,6±0,1
ago/03	32±0,5	209,6±3,4	60,9±2,2	3,2±0,3
set/03	131,2±2,9	157,9±2,1	7,9±1,4	5,08±2,6
out/03	12,7±1,2	16,9±0,6	2,2±0,2	0,7±0,2
dez/03	95,7±4,7	419,8±5,7	43,6±2,3	2,3±0,6
fev/04	62,2±3,2	747,4±41,5	14,4±0,3	10,9±2,0
mar/04	51,3±1,8	474,0±6,2	11,2±3,0	7,4±0,4
abr/04	3,0±0,3	2,7±0,4	2±0,1	1±0,0
mai/04	49,6±1,7	59,0±1,0	11,6±1,3	1,2±0,3
jun/04	48,9±4,0	55,3±4,4	15±1,0	1,2±0,2
jul/04	22,3±4,5	33,0±5,0	14,4±0,5	0,8±0,1
ago/04	122,2±2,3	251,4±4,4	39,5±5,8	0,3±0,1

A tabela 2.5. mostra os valores sazonais médios da concentração de CODRF por hora e por unidade de volume na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04. Contrariamente aos altos valores de produção de Tixtotal e de COPRF obtidos no verão e também no inverno, os valores de CODRF registrados em ambos períodos foram baixos. Exceção se faz aos meses de abril /04, junho /04 e agosto /04 que registraram valores altos. Os valores obtidos na superfície mostram claramente a ocorrência da fotoinibição da fotossíntese (Tab. 2.5.).

Tabela 2.5. Valores sazonais médios de CODRF por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /04, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		CODRF ($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$)		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	0,9±0,1	1,6±0,5	1,2±0,2	0,2±0,0
ago/03	2,2±0,1	11,8±2,4	3,5±0,6	0,8±0,1
set/03	9,8±0,7	13,1±1,5	1,2±0,2	0,7±0,1
out/03	1,9±0,1	1,9±0,1	0,6±0,1	0,5±0,1
dez/03	6,0±0,3	31,3±2,2	1,7±0,6	1,4±0,4
fev/04	9,9±0,5	35,8±7,2	2,4±0,2	1,9±0,2
mar/04	3,6±0,3	31,7±1,5	3,9±0,2	1,1±0,1
abr/04	0,9±0,1	0,9±0,1	0,7±0,1	0,5±0,1
mai/04	3,6±0,6	4,6±0,1	1,3±0,1	0,4±0,0
jun/04	3,4±0,1	3,3±0,5	0,9±0,2	0,2±0,0
jul/04	1,6±0,4	1,9±0,4	0,9±0,2	0,2±0,0
ago/04	3,3±0,2	1,0±0,1	0,3±0,0	0,3±0,0

A tabela 2.6. mostra os valores sazonais médios de eficiência fotossintética de Fixtotal, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04. No verão, os valores mais altos de eficiência foram obtidos a 1,0 metro de profundidade nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, meses em que também foram obtidos os valores mais altos da produção de biomassa e de Tixtotal. No inverno, os valores mais altos foram obtidos nos meses de julho /03, agosto /03 e agosto /04.

Tabela 2.6. Valores sazonais médios de eficiência fotossintética de Fixtotal, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e, de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas	Eficiência fotossintética mgC(mgChlam ⁻³ h ⁻¹)			
	meses	superfície	1,0 m	3,0 m
jul/03	1,4±0,3	7,4±1,5	5,0±0,8	1,1±0,2
ag/03	1,1±0,0	7,5±0,2	2,7±0,1	0,2±0,0
set/04	3,1±0,1	4,0±0,5	0,2±0,0	0,2±0,0
out/03	0,5±0,0	0,7±0,2	0,2±0,0	0,1±0,0
dez/03	1,6±0,1	8,4±0,1	0,9±0,1	0,7±0,1
fev/04	8,7±0,4	8,4±0,1	1,6±0,2	0,5±0,1
mar/04	8,4±0,4	8,1±0,2	0,5±0,0	0,4±0,1
abr/04	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0	0,2±0,0
mai/04	3,7±0,1	4,1±0,1	1,3±0,2	0,2±0,0
jun/04	5,1±0,3	5,0±0,4	5,0±0,1	0,2±0,0
jul/04	2,2±0,5	5,3±0,9	4,2±0,2	0,3±0,0
ago/04	4,2±1	7,4±1,0	1,4±0,2	0,2±0,0

A porcentagem relativa de COPRF em relação ao Fixtotal recém fotossintetizado variou de 87,5 a 94,8 % no verão enquanto que no inverno, a variação foi de 92,6 a 99,3 % o que mostra que a maior parte do carbono recém fotossintetizado na zona eufótica do ponto de coletas do reservatório de Barra Bonita encontra-se na forma de carbono orgânico particulado. Quanto à porcentagem relativa de CODRF em relação ao Fixtotal fixado recém fotossintetizado variou de 5,2 a 24,3 % no verão enquanto que no inverno, a porcentagem relativa variou de 0,7 a 5,8 %.

Em geral, os resultados mostram um incremento da produção primária a 1,0 metro de profundidade, seguido de um declínio a 3,0 e 5,0 metros de profundidade, os valores obtidos na superfície indicam a ocorrência da fotoinibição da fotossíntese (Tab. 2.3.). Os resultados obtidos pela aplicação da análise de variância (ANOVA one Way) indicaram que as concentrações de Fixtotal apresentaram-se homogêneas em relação à distribuição vertical ($p \geq 0,05$). Porém esta mesma análise indicou a existência de variação temporal significativa entre os dois períodos (verão e inverno). De acordo com a figura 2.9. as concentrações mais elevadas de Fixtotal foram obtidas no verão nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. O aumento da produtividade no verão pode estar relacionado com a resposta do sistema ao aumento de fósforo, das substâncias húmicas e outras substâncias resultantes do aumento da drenagem na época das chuvas. As altas concentrações de clorofila-a, o aumento da vazão, diminuição do tempo de residência da água, os processos de decomposição da matéria orgânica e a regeneração de nutrientes que resultam das elevadas temperaturas da água, podem ser também uma das prováveis causas para o aumento da produtividade primária (Fixtotal, COPRF e CODRF) durante o verão.

Antônio (2004) obteve concentrações elevadas de substâncias húmicas nos meses de março e abril /01 e em janeiro e fevereiro /02.

De acordo com este autor, as elevadas concentrações destes compostos em março e abril /01 originaram-se possivelmente do predomínio das formações de substâncias húmicas a partir de matéria orgânica autóctone sobre os processos de degradação, neste caso, as principais fontes de matéria orgânica autóctone poderiam ter sido a lixiviação de matéria orgânica vegetal (e.g. decomposição de macrófitas aquáticas) e os produtos de excreção do fitoplâncton (e.g. PEC). Ainda segundo o autor, fontes de matéria orgânica dos incrementos de substâncias húmicas ocorridos nos meses de janeiro e fevereiro /02 poderiam ter sido alóctones, provenientes da lixiviação de matéria orgânica e de ácidos húmicos e fúlvico dos solos da bacia hidrográfica, além dos aportes provenientes dos tributários e dos processos de produção primária do fitoplâncton.

Dellamano-Oliveira (2006) observou altas concentrações de clorofila-a, acompanhadas pelo registro de elevadas densidades de algas, principalmente cianofíceas, clorofíceas e criptofíceas. Outro fator responsável pelo aumento da produtividade primária no verão pode estar ligado aos maiores valores de radiação fotossintética ativa, observados nesse período (Tab. 2.1.). Corroborando os dados contidos na tabela 2.1., no reservatório de Barra Bonita durante o verão, ocorrem dias claros de céu aberto com altas intensidades luminosas que podem favorecer a ocorrência de fotoinibição na superfície, localizando-se assim os maiores valores da produtividade primária na subsuperfície (até 1,0 m de profundidade). Como é do conhecimento geral, a fotoinibição é uma função da intensidade de radiação incidente (associada à taxa de extinção vertical) e do metabolismo das espécies fitoplanctônicas. A fotoinibição é um efeito induzido, sendo assim, a intensidade, a qualidade e a duração da radiação fotossinteticamente ativa na superfície da água são variáveis importantes para a definição da taxa de produção primária bem ampla e juntamente com a

ocorrência de ventos e outros fatores externos importantes, responsáveis pelo regime polimítico do reservatório.

Para Tilzer (1973) a fotoinibição também pode ser provocada pelo acúmulo de produtos de excreção da fotossíntese. Segundo Reynolds (1984, 1997) o efeito inibitório da radiação ultravioleta sobre os sistemas fotoquímicos pode danificar as estruturas celulares e pode ser acelerado por altas concentrações de oxigênio dissolvido. Segundo ainda este autor, a fotoinibição constitui-se em mecanismo de auto-regulação do sistema de transporte de elétrons e de perda da atividade enzimática que podem levar à morte de células. Outras causas podem ser consideradas também como responsáveis pela fotoinibição, tais como:

- Alterações na densidade da água, provocando modificações na taxa de afundamento do fitoplâncton.
- Distribuição irregular ou falta de nutrientes, decorrentes de micro estratificações ou ao consumo excessivo, ou carência por causas diversas, respectivamente. Experimentos com enriquecimento artificial mostraram que essa inibição pode ser diminuída pela adição de nutrientes.
- Alterações na flutuabilidade do fitoplâncton por formação ou perda de vacúolos gasosos. A sedimentação de acordo com Talling (1956), pode assumir um papel importante na diminuição ou supressão da atividade fotossintética, próxima à superfície da água.

Contrariamente aos meses do verão, em outubro /03 (primavera) e abril /04 (outono) registraram-se valores muito baixos de produtividade primária (Fig. 2.9.), é possível que tais ocorrências estejam relacionadas com as baixas taxas de radiação (PAR) (Tab. 2.1.) registradas durante a realização das coletas nesses meses, porquanto a luz é

considerada como principal fator regulador da produtividade primária no reservatório de Barra Bonita.

Outros estudos sobre produtividade primária no reservatório de Barra Bonita foram realizados por outros autores. Calijuri (1999) encontrou no verão os seguintes valores de produtividade: $236 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ para a comunidade total e $192,32 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ para a fração menor que $20 \mu\text{m}$ em outubro /93; $252,65 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ para a comunidade total e $76,56 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ para a fração menor que $20 \mu\text{m}$ em dezembro /03; $654,05 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ para a comunidade total e $155,30$ para a fração menor que $20 \mu\text{m}$ em abril /94. Tundisi et al., 1993 determinaram os valores de produtividade do fitoplâncton em 23 reservatórios do estado de São Paulo. Em promissão obtiveram a maior produtividade, $584,04 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$ em 1979 enquanto que para Barra Bonita obtiveram $398,27 \text{ mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$, também em 1979.

Os valores das eficiências fotossintéticas mostram altas taxas de eficiência no verão, nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, verificadas principalmente na superfície, e a $1,0 \text{ m}$ de profundidade. Com o aumento da profundidade da zona eufótica, a eficiência fotossintética também diminui (Tab. 2.6.). As possíveis causas da localização das altas taxas de eficiência fotossintética na superfície e a $1,0 \text{ metro}$ de profundidade podem estar relacionadas à alta produtividade, ao registro de altas taxas de radiação (PAR), aos altos valores da produção de biomassa e a ocorrência de florescimentos algais observados no verão durante o período de estudo. Os meses de julho /03, agosto /03 e agosto /04, embora sendo meses do período seco, registraram também taxas altas de radiação (PAR), (Tab. 2.1.). Dellamano-Oliveira (2006) observou que as variações das concentrações de clorofila a ocorrem até aos 3 metros de profundidade podem estar associadas à presença das espécies mais abundantes na zona eufótica.

Comparativamente, outros resultados de eficiência fotossintética para Barra Bonita foram obtidos por outros autores. Henry et al., 1985 verificou em Barra Bonita uma taxa de assimilação máxima de $3,36 \text{ mgC}(\text{mgChl-a.h}^{-1})$ na superfície enquanto que Calijuri (1988), obteve $2,13 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$ no verão de 1987.

Em 1979, Tundisi et al., 1993 verificou que as taxas de assimilação para os 23 reservatórios do Estado de São Paulo tiveram uma variação de $0,61 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$ no reservatório de Estreito a $3,40 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$ no reservatório de Capivara. Para Barra Bonita encontrou uma taxa média de assimilação de $2,56 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$. De acordo com Curl & Small (1965) eficiências fotossintéticas com valores menores que $3 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$ indicam ambientes nos quais ocorre depleção de nutrientes, valores entre 3 e $5 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$ são típicos de sistemas situados no limite em relação à deficiência em nutrientes e, valores entre 5 e $10 \text{ mgC}(\text{mgChl-ah}^{-1})$ ocorrem em ambientes ricos em nutrientes. Apesar dos resultados das eficiências fotossintéticas obtidas a 3,0 e 5,0 metros de profundidade do ponto de coletas, o reservatório de Barra Bonita, por ser um ecossistema eutrofizado, não pode ser inserido nas três categorias acima enumeradas. Para a superfície e a 1,0 m de profundidade, os valores encontrados sugerem a existência de um sistema rico em nutrientes e, a 3,0 e 5,0 m de profundidade, o fator que regula a produtividade é a luz e não as concentrações dos nutrientes.

Os valores estimados de coeficiente de correlação linear de Pearson indicam que a produtividade primária do fitoplâncton tende a correlacionar-se positivamente com a clorofila ($r = 0,798$), resultados permitem inferir um aumento dos processos de eutrofização que o reservatório vem sofrendo ao longo dos anos.

Densidade das classes fitoplanctônicas e concentração de Chl-a e Fixtotal

A figura 2.10. mostra a relação entre a densidade das classes fitoplanctônicas, no período de julho /03 a janeiro /04 e as concentrações de clorofila-a e Fixtotal no ponto de coletas nos, períodos de julho /03 a dezembro /03 e fevereiro a agosto /04.

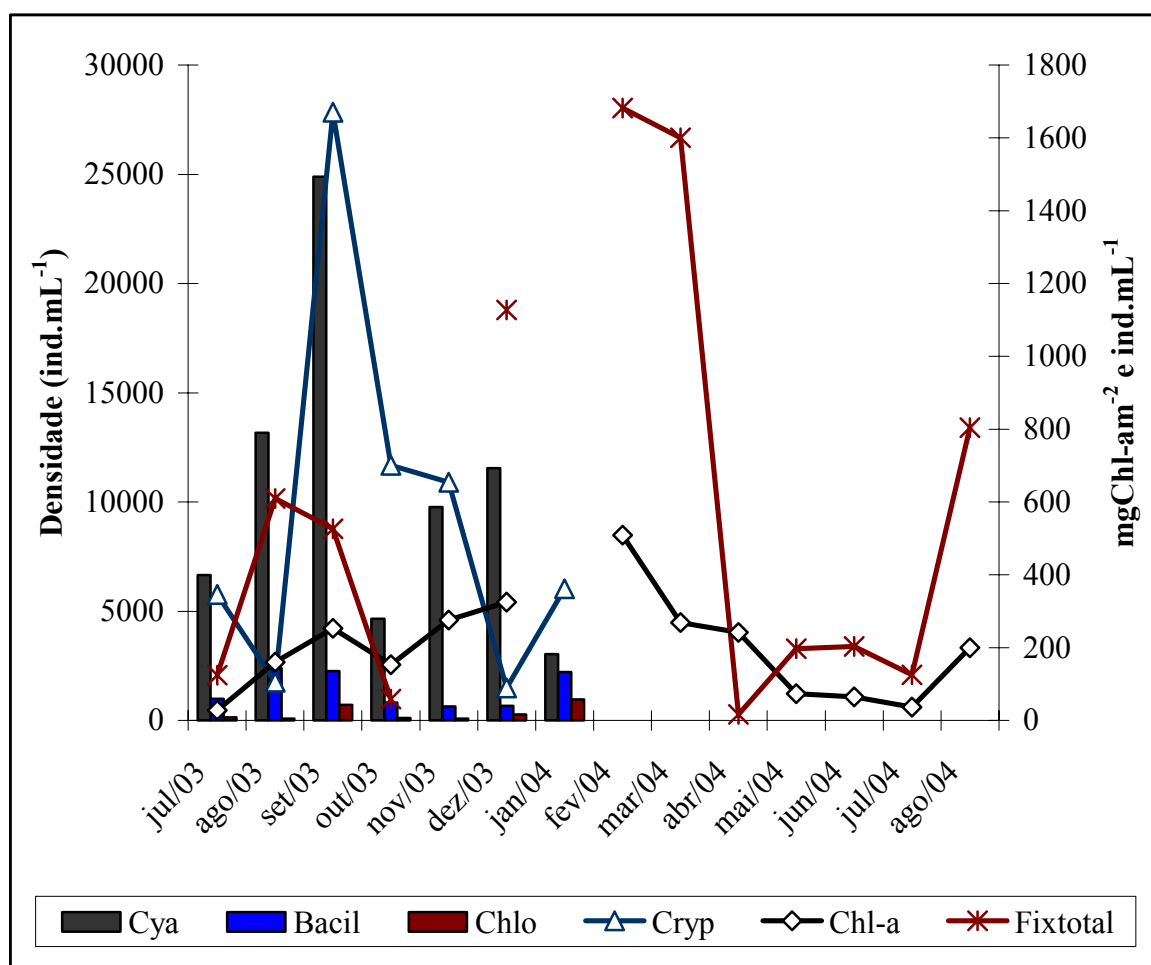


Figura 2.10. Densidade das classes fitoplanctônicas, no período de julho /03 a janeiro /04 e, concentrações de Chl-a e Fixtotal no ponto de coletas nos, períodos de julho /03 a dezembro /03 e fevereiro a agosto /04.

As concentrações de clorofila-a acompanharam o registro de elevadas densidades das espécies fitoplanctônicas mais abundantes, cianofíceas, clorofíceas, bacilariofíceas e de criptofíceas (Fig. 2.10.). De acordo com Dellamano-Oliveira (2006), as maiores concentrações ocorreram até aos 3 metros de profundidade devido à presença do fitoplâncton na zona eufótica, principalmente cianofíceas. As classes mais representativas em ordem decrescente foram de densidade foram: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae e Cryptophyceae.

As espécies mais abundantes foram dentro dessas foram: *Microcystis aeruginosa*, *M. protocystis*, células livres de *Microcystis sp.*, *Aphanocapsa elachista*, *Pseudanabena mucicola*, *planktothrix tropicalis* (Cyanophyceae), *Alaucoseira granulata*, *Cyclotella menegheniana* (Bacillariophyceae), *Monoraphidium sp.*, *Schroederia indica* (Chlorophyceae) e *Cryptomonas sp.*, (Cryptophyceae). A análise de variância não detectou variabilidade vertical e temporal significativas ($p > 0,05$) para os valores de densidade das classes. Durante as coletas de verão, a radiação solar e a estabilidade da coluna de água, contribuíram para a redução da zona eufótica e da riqueza de espécies devido principalmente à ocorrência de dos florescimentos de cianofíceas na superfície. Calijuri et al., (2002), observou que nos últimos dez anos vários autores têm demonstrado, para os reservatórios do Estado de São Paulo, uma drástica redução da Zeu e um aumento na quantidade de nutrientes, particularmente para o reservatório de Barra Bonita, indicando um acelerado processo de eutrofização neste sistema. O entorno do reservatório de Barra Bonita, que é ocupado pela monocultura de cana de açúcar, além dos despejos domésticos, industriais e da agricultura, contribuíram para o aumento na concentração de nutrientes, principalmente do fósforo. As variações nas concentrações de clorofila *a* neste período, provavelmente, foram devidas a

hidrodinâmica do reservatório, onde as altas temperaturas e a radiação solar possibilitaram a continuidade do processo fotossintético durante todo o período de estudo.

No período seco, a maior intensidade dos ventos, favoreceu a circulação e a ressuspensão de partículas através da coluna de água (aumento da turbidez) e a disponibilização dos nutrientes essenciais ao crescimento do fitoplâncton. A ressuspensão do sedimento, em decorrência do efeito do vento é uma das características comum em lagos e reservatórios rasos (Schallenberg & Burns, 2004), como é o caso do reservatório de Barra Bonita.

Agradecimentos

À CAPES- PEC-PG, pelo apoio financeiro, à FAPESP, processos número 00/03122-0 e 99/007766 (Projeto temático)

Referências bibliográficas

- ANTONIO, R. M. **Potencial de heterotrofia do reservatório de Barra Bonita (SP), com ênfase na decomposição de polissacarídeos extracelulares de espécies fitoplanctônicas.** Tese (Doutorado). PPGERN-UFSCar, São Carlos, 2004.
- APHA (American Public Health Association) **Standard methods for examination of water and wastewater**, 20th edition, Washington, 1325p, 1999.
- BIDDANDA, B.; BENNER, R. Carbon, nitrogen and carbohydrate fluxes during production of particulate and dissolved organic matter by marine phytoplankton. **Limnol. Oceanogr.** 42(3): 506 - 518, 1997.
- BROWN, A. L. **Ecology of fresh water.** London: Heinemann Educational Books, 129p. ISBN 047192279 X, 1972.
- CALIJURI, M. C. **Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplancntônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização.** Tese (Doutorado). PPG em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 293p, 1988.
- CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G. Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita – Estado de São Paulo: mecanismos de funcionamento e bases para o gerenciamento. **Ver. Bras.Biol.**, Rio de Janeiro, v 50, n.4 p893 - 913, 1990.
- CALIJURI, M. C. **A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP).** Tese de Livre Docência. USP, São Carlos. 211pp, 1999.
- CALIJURI, M. C.; DEBERDT, G. L. B.; MINOTI, R. T. **A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande (Americana-SP),** In: Henry, R. Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. p.11 - 148, 1999.

- CALIJURI, M. C.; DOS SANTOS, A. C. A. Temporal variations in phytoplankton primary production in a tropical reservoir (Barra Bonita), SP-Brazil). **Hydrobiol.**, Dordrecht, v 445p 11 - 26, 2001.
- CURL, H. J_{R.}; SMALL, L. F. Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural, marine phytoplankton communities. **Limnol. Oceanogr.** Suppl. v. 10: 67 - 73, 1965.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M, J. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita e sua relação com a composição e quantidade de polissacarídeos extracelulares e agregados gelatinosos.** Tese (Doutorado). PPGERN-UFSCar, São Carlos, 2006.
- DE FILLIPO, R. **Ciclo sazonal do fitoplâncton, fatores climáticos e hidrológicos na represa de Barra Bonita.** 90 f., il. Dissertação (mestrado). PPGERN-UFSCar, São Carlos, 1987.
- GREMM, T. J. **Dissolved carbohydrates** in streamwater determined by HPLC and pulse amperometric detection. 42: 385 - 393, 1997.
- GUILLARD R. R. L.; WANGERSKY P. J. The production of extracellular carbohydrates by some marine flagellates. **Limnol. Oceanogr.** 3: 449 - 454, 1958.
- HELLEBUST, J. A. Extracellular products In Stewart, W.D.P (Ed) **Algal physiology and biochemistry** Botanical monographs v. 10. Blackwell Scientific Publications. Oxford pp838 - 863, 1974.
- HENRY, R.; HINO, K.; GENTIL, J. G.; TUNDISI, J. G. Primary production and effects of enrichment with nitrate and phosphate on phytoplankton in the Barra Bonita reservoir (State of São Paulo, Brazil). **Int. Rev. Ges. Hidrobiol.** 70(4): 561 - 573, 1985.
- HORNE, A. J., GOLDMAN, C. R. **A treatise on limnology.** New York: MacGraw-Hill, 576p ISBN 007023673 9, 1994.

- JATI, S. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Barra Bonita (SP): Uma análise em diferentes escalas de tempo.** 147 f. il. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- JØRGENSEN, N. O. G. & JENSEN, R. E. Microbial fluxes of free monosaccharides and total carbohydrates in freshwater determined by PAD-HPLC. **FEMS Microbiol. Ecol.** 14: 79 - 94, 1994.
- MYLESTAD, S. M. Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polysaccharides. **Sci. Total Environ.** 165: 155 - 164, 1995
- MÜNSTER, U. **Extracellular enzyme activity in eutrophic and humic lakes.** In: Chróst, R. J. (Eds.) *Microbial enzymes in aquatic environments.* Springer-Verlag, New York, pp96 - 122, 1990.
- MÜNSTER, U. & CHRÓT, R. J. **Origin, composition and microbial utilization of dissolved organic matter.** In: Overbeck, J. & Chróst, R. J. (Eds.) *Aquatic microbial ecology: biochemical and molecular approaches.* Springer, New York. pp9 - 46, 1990.
- PANHOTA, R. S.; BIANCHINI, JR. I. Potential cycling of organic matter in a eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP-Brazil). **Acta Limnol. Bras.**, Boutucatu, v 15 n.2 p1 - 11, 2003.
- REYNOLDS, C. S. **The ecology of freshwater phytoplankton.** (Cambridge studies in ecology). Cambridge University Press, Cambridge 384p, 1984.
- REYNOLDS, C. S. 1997. **Vegetation process in the pelagic; a model for ecosystem theory.** (Excellence in Ecology, 9). Ecology Institute, Oldendorf. 371p, 1997.
- SANDES, M. A. **Estudos ecológicos em florescimento de *Microcystis* (Cyanobacteria-Cyanophyceae) e interações com a flora bacteriana na represa de Barra Bonita-**

- Médio Tietê/SP.** Tese (Doutorado). PPG em Ciências de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 242p, 1998.
- SØNDERGAARD, M.. & BORCH, N. H. Decomposition of dissolved organic carbon (DOC) in lakes. **Arch. Hidrobiol. Beih.** 37: 9 - 20, 1992.
- STRAŠKRABA; M. **Limnological basis for modelling reservoir ecosystem.** In: ACKERMANN, W. C.; WHITE, G. F.; WORTHINGTON, E. B. (Eds) Man made lakes: their problems and environment effects. Geophysical Monographs, 17: American Geophysical Union, Washington DC: 517 - 535, 1973.
- STRAŠKRABA; M. **The effects of physical variables on freshwater production: analyses based on models.** In: LE CREN, E. D.; LOWE-McCONNELL, R. H. (Eds). The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge (International Biological Programme, 22): 13 - 84, 1980.
- STRAŠKRABA; M. BLAŽKA, P.; BRANDL, Z.; HEJZLAR, P.; KOMÁRKOVÁ, J. KUBEČKA, I.; NESMĚRÁK, L.; PROCHÁZKOVÁ, L.; STRAŠKRABOVÁ, V.; VYHNÁLEK, V. **Framework for investigation and evaluation of reservoir water quality in Czechoslovakia.** In; STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (eds). Comparative reservoir limnology and water quality management. (Developments in Hydrobiology) Kluwer Academic Publishers, Netherlands: 169 - 212, 1993.
- THURMAN, E. M. 1985. **Organic geochemistry of natural waters.** Dordrecht, Nijhoff/Junk Po 497p, 1985.
- TILZER, M. M. Diurnal periodicity in the phytoplankton assemblage of a high mountain lake. **Limnol. Oceanogr.** 18: 15 - 30, 1973.

- TUNDISI, J.G.; T. MATSUMURA TUNDISI. Limnology and eutrophication of Barra Bonita reservoir, São Paulo State, Southern Brazil. **Beih. Arch. Hydrobiol.** 33:661 - 676, 1990.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M.C. Limnology and management of reservoirs in Brazil. In: STRAŠKRABA; M., TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A. (eds). **Comparative reservoir limnology and water quality management.** (Developments in Hydrobiology) Kluwer Academic Publishers, Netherlands: 25 - 55, 1993.
- WOOD, A. M.; VAN VALEN, L. M. Paradox lost ? On the release of energy rich compounds by phytoplankton. **Mar Microbiol.** Food Webs 4: 103 - 116, 1990

CAPÍTULO 3

MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA EXCRETADA POR POPULAÇÕES

FITOPLANCTÔNICAS DO RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA

INTRODUÇÃO

MATERIAL E MÉTODOS

RESULTADOS E DISCUSSÃO

QUANTIFICAÇÃO DOS PEC

CONCLUSÃO

ABSTRACT- (Dissolved organic matter excreted by the phytoplankton of Barra Bonita reservoir, SP). To quantify the excreted dissolved organic matter in a fixed sampling station located 3 km from the reservoir dam, monthly sampling from July /03 to August /04 were performed in three different depths in the euphotic zone (surface; 1.0 m; 3.0 m and 5.0 m). These were incubated in situ during 4 h with $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ using light and dark flasks. In the summer, the relative percent of real dissolved organic excreted carbon in relation to the total fixed carbon varied from 2.3 to 7.2 %, whereas those of total dissolved excreted varied from 3.9 to 21.2 %. The relative percent of the total extracellular colloids in relation to the total fixed carbon varied from 1.9 to 51.2 %. In relation to the total excreted organic material, the relative percent of real dissolved organic carbon varied from 24.0 to 72.4 % in the summer and from 16.7 to 45.9 % in the winter, while the relative percent of free colloidal organic carbon varied from 27.6 to 76.0 % in the summer and from 54.1 to 83.3 % in the winter. Aproximately 90.0 % of the excreted organic carbon and dissolved organic carbon in the reservoir is constituted of hydrolysable polymeric carbohydrates (polysaccharides). The present results also showed that the increase of organic excretion during the rainy season was accompanied by an increase in the total assimilated carbon (detected as primary productivity), as well as by increase in the occurrence of algal blooms of the most abundant algal species. These algal species may be considered the main source of extracellular polysaccharides to the system.

Key words: dissolved organic matter (DOM), reservoir, phytoplankton, colloids, extracellular polysaccharides.

RESUMO-(Matéria orgânica dissolvida excretada pelo fitoplâncton do reservatório de Barra Bonita, SP). Para quantificar a matéria orgânica excretada por populações fitoplanctônicas naturais do reservatório de Barra Bonita em 4 diferentes profundidades da coluna de água (0m, 1m, 3m e 5m), amostras mensais foram realizadas “in situ” de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As amostras foram coletadas em um ponto fixo localizado a cerca de 3 km à montante da barragem. No verão, as porcentagens relativas de carbono orgânico dissolvido real excretado em relação ao Fixtotal variaram de 2,3 a 7,2 %, as de dissolvido total excretado também em relação ao Fixtotal variaram de 3,9 a 21,2 % e as porcentagens relativas de colóides extracelulares totais em relação ao Fixtotal variaram de 1,9 a 51,2 %. Em relação ao excretado total as porcentagens relativas de carbono orgânico dissolvido real variaram de 24,0 a 72,4 % no verão e de 16,7 a 45,9 % no inverno enquanto que as porcentagens relativas de carbono orgânico coloidal livre variaram de 27,6 a 76,0 % no verão e de 54,1 a 83,3 % no inverno. Aproximadamente 90 % do carbono orgânico excretado e, dissolvido no reservatório é constituído por carboidratos poliméricos (polissacarídeos e oligossacarídeos) hidrolisáveis. Também foi observado que o aumento da excreção durante o período chuvoso foi acompanhado pelo aumento da concentração de clorofila-a, pelo aumento da produtividade primária e pelo aumento da ocorrência de grandes florescimentos algais das espécies fitoplanctônicas mais abundantes. Estas espécies abundantes podem ser consideradas como as principais fontes de polissacarídeos extracelulares para o sistema.

Palavras-chave: matéria orgânica dissolvida (DOM), reservatório, fitoplâncton, colóides, polissacarídeos extracelulares.

Introdução

Os carboidratos de origem algal podem ser estruturais, de reserva ou extracelulares. Os poliméricos estruturais como a celulose, xilanas, glicoproteínas, etc são componentes de paredes e de outras coberturas celulares. Estes polímeros são de um modo geral de difícil degradação pelo ataque microbiológico apresentando por esta razão um longo tempo de residência no corpo de água em comparação com outras moléculas orgânicas e tendem a acumular-se nos corpos de água sob a forma de material particulado orgânico que, dependendo do tempo de residência, podem, mais cedo ou mais tarde liberar quantidades razoáveis de monossacarídeos através da ação enzimática sobre estes compostos (Boney, 1981; Paulsen & Vieira, 1994).

Os polímeros de reserva como o amido, a crisolaminarina, o amido das cianofíceas, etc são produzidos e utilizados como fonte de energia. Mais susceptíveis à ação enzimática, estes polímeros de reserva (poliglicanos) das algas podem rapidamente liberar grandes quantidades de glicose para o meio, se eventualmente esses compostos forem expostos devido da morte celular. Polímeros de glicose (amido e celulose) utilizados como reserva energética celular ocorrem em todos os taxa a que pertencem esses organismos (Craigie, 1974) e, por isso em locais de abundância de fitoplâncton esse monossacarídeo é dominante.

Os polissacarídeos extracelulares além de formarem as cápsulas e bainhas de muitas espécies podem também sofrer um processo de dissolução para o meio circundante após a sua excreção. Este processo ocorre em quase todas as espécies de microalgas (Boney, 1981; Paulsen & Vieira, 1994). Compostos de alta massa molecular, os polissacarídeos extracelulares podem permanecer no “pool” de matéria orgânica dissolvida por mais tempo que os carboidratos de reserva e, assim como os outros compostos orgânicos estes acabam

também por sofrer a ação de bactérias ou outros organismos heterotróficos que os fragmentam e os utilizam como substrato (Freire-Nordi & Vieira, 1996, 1998). Dependendo do grupo taxonômico, os polissacarídeos extracelulares excretados por microalgas são geralmente heteropolissacarídeos ricos em galactose, fucose, arabinose, manose, xilose, incluindo ácidos urônicos que podem desempenhar, como nutriente, um papel tão importante quanto o da glicose para as bactérias e leveduras. Esses monossacarídeos são liberados sob ação enzimática ou através de outros processos como a hidrólise (Mopper et al., 1980; Burney et al., 1982). Ambientes ricos em açúcares livres ou hidrolisáveis geralmente suportam uma densa população bacteriana que pode produzir quantidades razoáveis de polissacarídeos extracelulares. Desse modo, os organismos nesse ambientes podem liberar grandes quantidades de açúcares livres ricos em galactose, fucose, arabinose, ramnose, manose, xilose e outros, além de glicose (Dunstall & Nalewajko, 1975; Yu et al., 1981; Bräutigam et al., 1988; Omar et al., 1983; Antón et al., 1988). Isso significa que os polissacarídeos bacterianos apresentam os mesmos monossacarídeos facilmente encontrados em heteropolissacarídeos excretados por microalgas (Vieira & Myklestad, 1986; Paulsen & Vieira, 1994; Lombardi & Vieira, 1998). É necessário identificar previamente os polissacarídeos liberados pelas algas e diferenciá-los daqueles produzidos por bactérias e daqueles provenientes de plantas vasculares ou de outros organismos algais. Somente a composição monomérica dos polissacarídeos não é suficiente para caracterizá-los e estabelecer sua origem.

Nos ambientes aquáticos, os polissacarídeos extracelulares algais podem desempenhar várias funções de importância ecológica antes e após o processo de degradação. Na verdade, presume-se que suas funções "ecológicas" iniciam-se logo após sua produção. Isso ocorreria, pois ao formarem as cápsulas mucilaginosas extracelulares, esses compostos apresentariam funções dirigidas para a célula algal. Entre essas presumíveis funções pode-se

citar o controle do que entra e sai da célula, a proteção contra a perda de água, a proteção contra o ataque de predadores (grazing), o auxílio na reprodução sexuada, a polarização da luz, a diminuição da taxa de afundamento, etc (Brook, 1981; Coesel, 1994; Gouvêa & Vieira, 1998, Freire-Nordi et al., 1998). Contudo, os PEC capsulares acabam também por se "dissolver" nos ambientes aquáticos.

Além da importância para a manutenção das células algais, as cápsulas e bainhas gelatinosas subsidiam populações bacterianas, desse modo supõe-se que a composição química dessas estruturas pode determinar uma relação alga / bactéria que pode ser, ou não específica. Em adição as "funções" relacionadas diretamente com a célula algal que os originou, esses compostos podem agir diretamente no ambiente e nas suas comunidades, ao formar complexos com os metais, formando substâncias húmicas e servindo de substrato como fonte de carbono. Várias espécies algais liberam para o meio circundante compostos de alta massa molecular capazes de formar complexos com metais. A afinidade entre os compostos orgânicos e os metais pode resultar em reações de complexação com sítios específicos envolvendo metais tóxicos como chumbo, cobre, e outros (Sunda & Guillard, 1976; Leppard, 1995; Lombardi & Vieira, 1998, 1999). Essa também poderia ser uma das rotas para a exportação de metais para o sedimento, fato de grande importância em ambientes aquáticos (Cho & Azam, 1988; Sigg et al., 1987). Os complexos formados entre o metal e a matéria orgânica podem ainda atuar como veículo no transporte de metais para a cadeia trófica, via ingestão dessa matéria orgânica contaminada (Xue et al., 1998, Bremer & Loutit, 1986).

Ao considerar, ainda, que os exopolissacarídeos algais são agentes atuantes na formação de agregados gelatinosos orgânicos, conhecidos como TEP (Partículas de Exopolímeros Transparentes) que podem ser ou não utilizados como substrato por vários

organismos zooplantônicos, estes elementos assumem importância ainda maior dentro de um sistema ecológico.

Por representarem a maior fração dos excretados das algas (até 90 % da MOD), esses carboidratos teriam um importante papel como fonte de carbono para as bactérias. Serviriam também como suporte "mecânico" para uma estreita relação bactéria/ alga, no caso de polímeros extracelulares que envolvem as células algais (Paerl, 1978). Outras funções podem ser citadas e, ou processos nos quais os exopolissacarídeos teriam grande importância ecológica considerando-se sua biomassa em um reservatório de alta produtividade como o de Barra Bonita, surpreendentemente são poucos os relatos sobre a quantificação da produção desses compostos em ambientes de água doce. Assim, o objetivo central desta pesquisa foi estudar os processos relacionados à produção primária fitoplanctônica e quantificar sazonalmente a produtividade primária canalizada para a formação de matéria orgânica excretada.

Resultados e discussão

A figura 3.1. mostra os valores médios sazonais integrados da concentração de MOD excretada em forma de carbono orgânico dissolvido real, carbono orgânico coloidal livre e de carbono orgânico dissolvido total por unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. Os meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04 apresentaram as maiores concentrações. Faz-se exceção ao mês de outubro que apesar de situar-se no período chuvoso, apresentou baixos valores de produtividade. No inverno, as concentrações obtidas foram baixas embora se tenha obtido valores altos de concentração de CODR, COCL e CODT em agosto e setembro /03 (Fig 3.1).

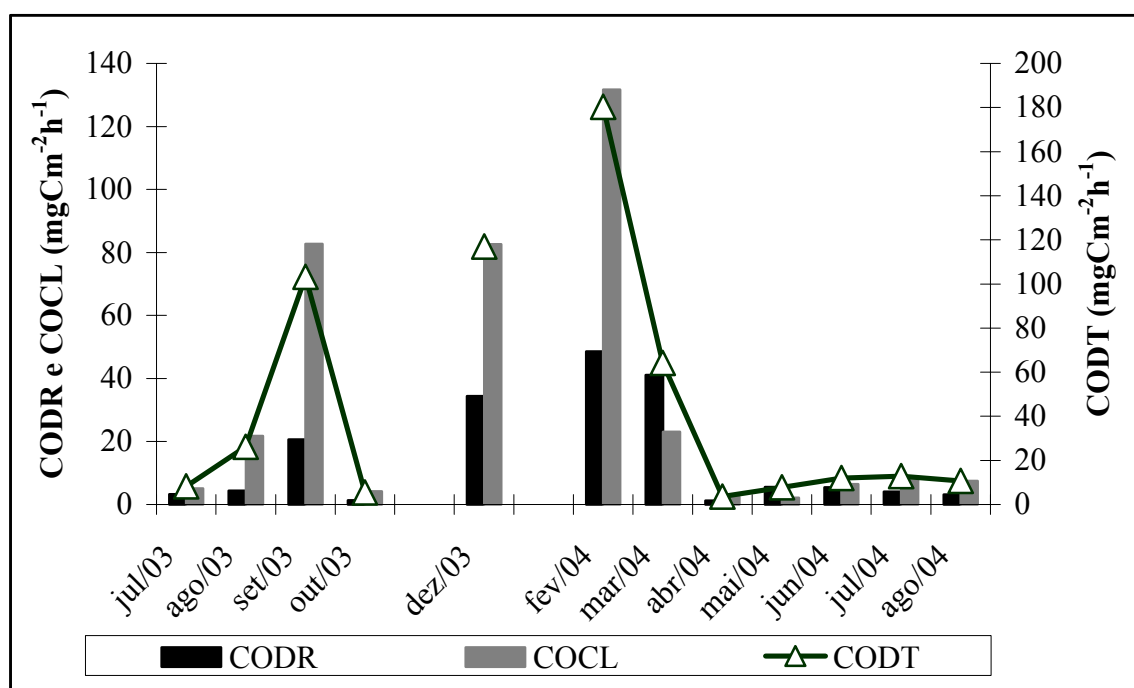


Figura 3.1. Valores médios sazonais da concentração da matéria orgânica dissolvida excretada em forma de carbono dissolvido real (CODR), carbono orgânico coloidal livre (COCL) e de carbono orgânico dissolvido total (CODT), por unidade de área e por hora, na zona euótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

A tabela 3.1. mostra os valores de porcentagens relativas de CODR, de COCL, de CODT, de CAPS e de COET, em relação ao Fixtotal, verificadas no ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. Assim, no verão, nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, as porcentagens relativas de CODR variaram entre 2,9 % (fevereiro /04) a 3,7 % (março /04) enquanto que no inverno a variação registrada situou-se entre 0,5 % (agosto /04) a 3,3 % (julho /04). A maior porcentagem relativa de CODR foi registrada em abril /04 (7,2 %). Nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, as porcentagens relativas de COCL variaram entre 2,1 % (março /04) a 7,8 % (fevereiro /04) enquanto que nos meses de junho a agosto as porcentagens relativas obtidas variaram entre 1,1 % (agosto /04) a 3,3 % (julho /04). Em setembro /03 (15,7 %) foi verificada a maior porcentagem relativa de COCL. Quanto às porcentagens relativas de CODT se situaram entre 5,8 % (março /04) a 10,7 % (fevereiro /04), no verão, entre 1,5 % (agosto /04) a 10,4 % (julho /04), no inverno enquanto que a maior porcentagem relativa de CODT foi observada em abril /04 (21,2 %). No verão, particularmente nos meses de dezembro /03, fevereiro e março /04, as porcentagens relativas do COET variaram entre 1,9 % (março /04) a 2,8 % (dezembro /03), no inverno, de junho a agosto, foi registrada uma variação entre 1,5 % (agosto /04) a 10,6 % (junho /04), tendo se registrada a maior porcentagem relativa do COET em abril /04 (51,2 %). As porcentagens relativas de CAPS, no verão variaram entre 1,6 % (março /04) a 2,5 % (dezembro /03), no inverno entre 1,5 % (agosto /04) a 9,2 % (junho /04) enquanto que a maior porcentagem relativa de CAPS foi verificada em abril /04 (10,3 %). As porcentagens relativas foram todas consideradas em relação ao carbono total fixado recém fotossintetizado.

Tabela 3.1. Concentração de Fixtotal por unidade de área e por hora e porcentagens relativas de CODR, de COCL, de CODT, de COET e de CAPS em relação ao Tixtotal, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto/ 04.

coletas	mgCm ⁻² h ⁻¹	Porcentagens (%)				
meses	Fixtotal	CODR	COCL	COD	COET	CAPS
jul/03	123,6	2,6	4,1	6,7	3,9	1,8
ago/03	609,5	0,7	3,6	4,3	6,9	6,8
set/03	525,9	3,9	15,7	19,7	5,8	5,1
out/03	58,6	2,3	7,1	9,4	9,4	5,5
dez/03	1126,9	3,1	7,3	10,4	2,8	2,5
fev/04	1682,0	2,9	7,8	10,7	2,7	2,5
mar/04	1104,9	3,7	2,1	5,8	1,9	1,6
abr/04	17,2	7,2	14,1	21,2	51,2	10,3
mai/04	197,2	2,9	1,1	3,9	2,8	1,4
jun/04	202,5	2,7	3,2	5,9	10,6	9,2
jul/04	124,7	3,3	7,1	10,4	4,8	2,1
ago/04	709,8	0,5	1,1	1,5	1,5	1,5

Na tabela 3.2. são apresentados os valores da concentração de CODT excretado por unidade de área e por hora e as porcentagens relativas de CODR, COCL em relação ao CODT excretado, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. Nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, verão, as porcentagens relativas de CODR excretado em relação ao CODT excretado variaram entre 27,0 % (fevereiro /04) a 64,0 % (março /04), no inverno, particularmente nos meses de junho, julho e agosto, as porcentagens relativas variaram entre 16,7 % (agosto /03) a 45,9 % (junho /04), obtendo-se a maior porcentagem relativa de CODR em abril /04 (72,4 %). De igual modo, nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, meses correspondentes ao verão, as porcentagens relativas de COCL em relação ao CODT excretado variaram entre 36,0 % (março /04) a 73,0 % (fevereiro /04) enquanto que no inverno a variação registrada situou-se entre 54,1 % (junho /04) a 83,3 % (agosto /04).

Tabela 3.2. Valores da concentração de CODT excretado por unidade de área e por hora e valores de porcentagens relativas de CODR excretado, COCL excretado em relação ao CODT excretado, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

coletas	$\text{mgCm}^{-2}\text{h}^{-1}$	Porcentagens (%)	
meses	CODT	CODR	COCL
jul/03	8,3	38,6	61,4
ago/03	26,1	16,7	83,3
set/03	103,3	20,0	80,0
out/03	5,5	24,0	76,0
dez/03	117,0	29,5	70,6
fev/04	180,3	27,0	73,0
mar/04	64,2	64,0	36,0
abr/04	3,6	33,6	66,4
mai/04	7,7	72,4	27,6
jun/04	12,0	45,9	54,1
jul/04	12,9	31,3	68,7
ago/04	10,7	29,3	70,7

A tabela 3.3. mostra as concentrações de CODR excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As maiores concentrações, variando entre 2,3 a 5,5 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (superfície), entre 7,8 a 11,4 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (1,0 m), entre 1,2 a 9,5 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (3,0 m) e entre 0,2 a 0,6 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (5,0m), foram registradas no verão, principalmente nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. Verifica-se que nesses meses, houve um incremento da concentração a 1,0 m de profundidade seguido de um declínio a 3,0 m de profundidade. O declínio da concentração é mais acentuado a 5 metros de profundidade. Contrariamente aos valores registrados no verão, no inverno, os valores de concentração obtidos no inverno foram menores. No inverno, as concentrações verificadas tiveram as seguintes variações ao longo do perfil vertical: entre 0,3 a 1,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (superfície), entre 0,7 a 1,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (1,0 m), entre 0,5 a 1,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (3,0 m) e entre 0,2 a 0,9 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (5,0 m).

Tabela 3.3. Valores sazonais médios da concentração de CODR excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /4 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		CODR ($\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$)			
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m	
jul/03	0,3±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,2±0,0	
ago/03	0,6±0,1	1,2±0,1	0,7±0,1	0,4±0,0	
set/03	1,9±0,1	6,3±0,7	2,7±0,3	1,0±0,1	
out/03	0,2±0,0	0,4±0,0	0,2±0,0	0,1±0,0	
dez/03	2,5±0,7	9,7±1,4	6,2±1,0	0,3±0,0	
fev/04	5,5±0,5	11,4±1,2	9,5±1,2	0,6±0,1	
mar/04	2,3±0,2	7,8±0,5	1,2±0,1	0,2±0,0	
abr/04	0,6±0,1	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0	
mai/04	1,4±0,2	1,2±0,1	0,7±0,1	0,5±0,1	
jun/04	0,8±0,2	1,0±0,1	1,0±0,1	0,9±0,1	
jul/04	1,2±0,3	0,8±0,2	0,5±0,1	0,3±0,1	
ago/04	0,8±0,1	0,7±0,1	0,5±0,0	0,2±0,0	

Na tabela 3.4. são mostrados os valores sazonais médios da concentração de COCL excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As maiores concentrações, variando entre 4,8 a 25,4 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (superfície), entre 5,3 a 22,3 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (1,0 m), entre 2,9 a 20,9 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (3,0 m) e entre 2,2 a 20,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (5,0m), foram registradas no verão, principalmente nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. Verifica-se nesses meses, que as maiores concentrações foram observadas na superfície e decrescem com a profundidade. O declínio da concentração é mais acentuado a 5 metros de profundidade. Contrariamente aos valores registrados no verão, no inverno, os valores de concentração obtidos no inverno foram menores. No inverno, as concentrações verificadas tiveram as seguintes variações ao longo do perfil vertical: entre 0,6 a 2,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (superfície), entre 1,3 a 5,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (1,0 m), entre 0,7 a 5,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (3,0 m) e entre 0,4 a 1,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (5,0 m).

Tabela 3.4. Valores sazonais médios da concentração de COCL excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a dezembro /03 e de fevereiro /04 a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		COCL ($\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$)			
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m	
Jul/03	0,6±0,2	1,3±0,1	0,9±0,1	0,4±0,1	
ago/03	1,4±0,2	5,0±0,3	5,0±0,6	0,5±0,1	
Set/03	7,5±0,1	25±2,5	10,6±0,3	4,0±0,3	
out/03	0,6±0,1	1,2±0,1	0,6±0,1	0,3±0,0	
dez/03	20,2±3,8	15,6±1,3	10,9±1,0	9,6±1,4	
Fev/04	25,4±3,0	22,3±1,0	20,9±0,2	20,2±2,6	
mar/04	4,8±0,2	5,3±0,3	2,9±0,2	2,2±0,1	
abr/04	0,3±0,0	0,5±0,1	0,5±0,1	0,3±0,0	
mai/04	0,6±0,1	0,5±0,1	0,3±0,0	0,2±0,0	
Jun/04	1,2±0,2	1,7±0,9	0,7±0,1	0,6±0,1	
Jul/04	2±0,1	1,7±0,1	1,4±0,1	1±0,1	
ago/04	1,2±0,1	1,6±0,1	1,3±0,3	0,6±0,1	

A tabela 3.5. mostra os valores médios da concentração de CODT excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As maiores concentrações, variando entre 22,7 a 30,9 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (superfície), entre 13,0 a 33,7 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (1,0 m), entre 4,0 a 30,7 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (3,0 m) e entre 2,3 a 20,7 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (5,0m), foram registradas no verão, principalmente nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. Verifica-se que nesses meses, houve um incremento da concentração a 1,0 m de profundidade seguido de um declínio a 3,0 m de profundidade. O declínio da concentração é mais acentuado a 5 metros de profundidade. Contrariamente aos valores registrados no verão, no inverno, os valores de concentração obtidos no inverno foram menores. No inverno, as concentrações verificadas tiveram as seguintes variações ao longo do perfil vertical: entre 0,9 a 3,2 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (superfície), entre 2,5 a 6,0 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (1,0 m), entre 1,3 a 5,8 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (3,0 m) e entre 0,6 a 1,5 $\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ (5,0 m).

Tabela 3.5. Valores sazonais médios da concentração de CODT excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		CODT ($\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$)		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	0,9±0,2	2,0±0,2	1,5±0,2	0,6±0,1
ago/03	2,0±0,1	6,0±0,3	5,8±0,2	0,8±0,1
set/03	9,5±0,1	31,2±3,0	13,3±1,2	4,8±0,4
out/03	0,8±0,2	1,5±0,1	0,7±0,1	0,4±0,1
dez/03	22,7±2,4	25,3±2,7	17,0±2,9	9,9±2,3
fev/04	30,9±3,4	33,7±2,2	30,7±3,2	20,7±2,5
mar/04	27,9±1,4	13,0±0,7	4,0±0,1	2,3±0,2
abr/04	0,9±0,1	0,6±0,1	0,6±0,1	0,5±0,1
mai/04	2,0±0,2	1,7±0,1	1±0,1	0,6±0,1
jun/04	2,0±0,2	2,7±0,2	1,6±0,2	1,5±0,1
jul/04	3,2±0,3	2,5±0,3	1,3±0,2	0,7±0,1
ago/04	2,5±0,6	2,7±0,9	2±0,1	0,9±0,3

A figura 3.2. mostra os valores sazonais médios da concentração de COET e de CAPS excretados por unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. Os valores mais elevados de COET e Caps excretados foram registrados durante o verão, nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04, faz-se exceção ao mês de outubro que apresentou baixos valores de colóides excretados totais e de colóides capsulares. No inverno, as concentrações mais altas de COET e CAPS foram obtidas em agosto e setembro /03 (Fig. 3.2.). No verão, as concentrações de COET representaram as seguintes porcentagens relativas em relação Fixtotal: 2,8 % em dezembro /03, 2,7 % em fevereiro /04 e 1,9 % em março /04 enquanto no inverno, as porcentagens relativas reportadas representaram 6,9 % em agosto /03 e 5,8 % em setembro /03 (Tab. 3.1.). Em relação ao CAPS, no verão, as porcentagens relativas em relação ao Tixtotal foram 2,5 % em dezembro /03; 2,5 em fevereiro /04 e 1,6% em março /04 enquanto que no inverno, as porcentagens reportadas foram de 6,8 % em agosto /03 e 5,1 % em setembro /03 (Tab. 3.1.). Quanto às porcentagens relativas de CAPS excretado em relação COET foram de 25,3 % em dezembro /03; 24,0 % em fevereiro /04 e 42,5 % em março /04 enquanto que no inverno as porcentagens relativas obtidas foram 65,5% em agosto /03 e 24,3% em setembro /03 (Tab. 3.2.).

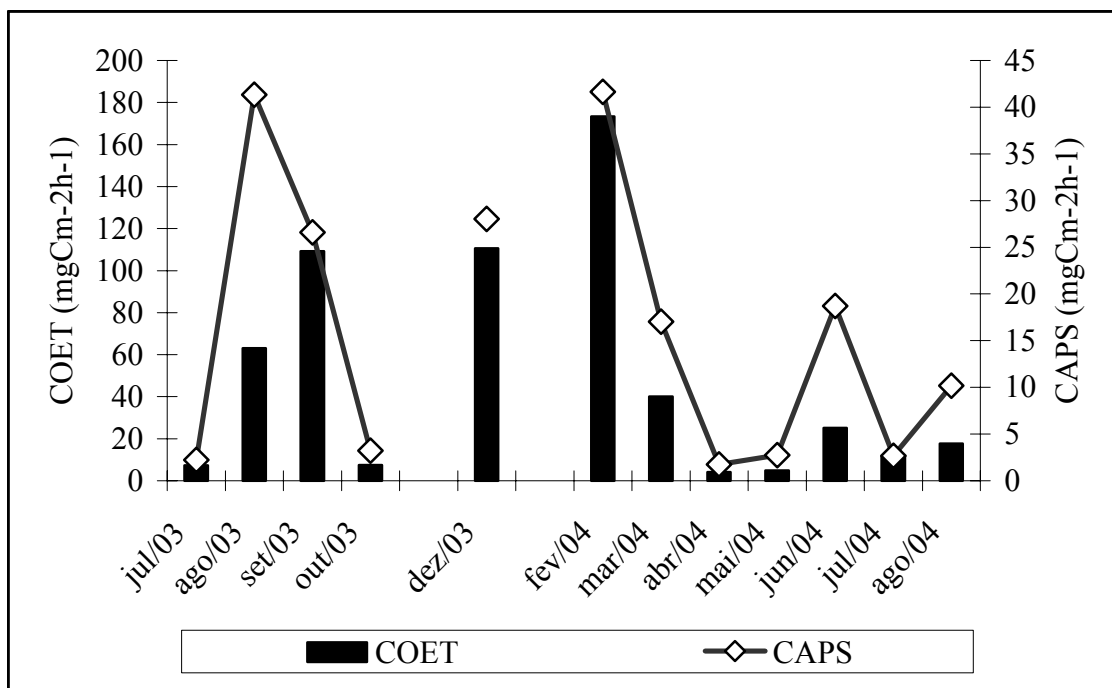


Figura 3.2. Valores sazonais médios de COET e CAPS por unidade de área e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a outubro /03, dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04.

As tabelas 3.6. e 3.7. mostram respectivamente os valores sazonais médios da concentração de CAPS e COET excretados por unidade de volume por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. A produção de COET excretado está diretamente relacionada à produtividade sazonal representada em uma parcela considerável de carbono total fixado. Para o CAPS, observa-se que ao contrário do ocorre com o Fixtotal e com o COCL, no verão (chuvoso), as concentrações de CAPS na superfície foram maiores do que a 1,0 m de profundidade, o que pode refletir, pelo menos em parte, sobre a origem das cápsulas ou de células flutuantes dispostas na superfície. Porém, para o mês de março /04 houve um declínio demasiadamente acentuado da excreção a 1,0 m de profundidade. Em geral, as concentrações mais altas foram obtidas no verão, principalmente nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. No inverno, a excreção registrada foi menor. Quanto ao perfil vertical, as concentrações de CAPS e COET, apresentaram homogeneidade espacial tanto no verão como no inverno ($p \geq 0,05$), mas apresentaram heterogeneidade temporal nos dois períodos ($p < 0,05$).

Tabela 3.6. Valores sazonais médios de CAPS excretado por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		CAPS ($\text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$)			
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m	
Jul/03	0,5±0,1	0,6±0,1	0,3±0,1	0,2±0,0	
ago/03	2,4±0,2	9,8±0,4	6,7±0,6	6,2±0,5	
set/03	3,7±0,6	4,5±0,5	4,7±0,3	4,6±0,1	
out/03	1,3±0,2	0,5±0,1	0,4±0,1	0,3±0,1	
dez/03	9,7±2,0	5,4±0,4	3,0±0,4	1,7±0,1	
fev/04	10,8±1,5	9,2±0,3	4,9±0,2	3,0±0,1	
mar/04	14,6±0,5	0,8±0,1	0,4±0,2	0,2±0,0	
abr/04	0,4±0,1	0,4±0,1	0,3±0,1	0,2±0,0	
mai/04	0,9±0,1	0,5±0,1	0,4±0,1	0,2±0,0	
jun/04	2,3±0,3	5,4±0,5	2,2±0,1	1,6±0,1	
jul/04	0,6±0,2	0,6±0,1	0,4±0,0	0,3±0,1	
ago/04	0,6±0,1	2,9±0,1	1,5±0,3	0,9±0,1	

Tabela 3.7. Valores médios sazonais de COET excretados por unidade de volume e por hora, na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 4$).

coletas		COET ($\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$)		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	1,2±0,2	1,8±0,2	0,6±0,1	0,6±0,1
ago/03	3,8±0,2	14,7±0,6	11,7±0,4	6,5±0,5
set/03	11,3±0,7	29,5±2,9	15,3±1,2	8,4±0,3
out/03	1,9±0,2	1,6±0,1	1,0±0,1	0,5±0,2
dez/03	29,8±5,7	21,0±1,4	13,8±2,7	11,3±2,4
fev/04	36,3±4,4	31,4±1,2	25,7±2,0	23,2±2,6
mar/04	19,4±0,7	6,0±0,2	3,3±0,2	2,3±0,2
abr/04	0,7±0,1	0,9±0,1	0,6±0,1	0,5±0,1
mai/04	1,4±0,1	1,0±0,1	2,8±0,1	0,3±0,1
jun/04	3,5±0,2	7,0±0,5	2,8±0,1	2,2±0,4
jul/04	2,5±0,2	2,3±0,2	1,7±0,1	1,3±0,1
ago/04	1,7±0,2	4,5±0,2	2,8±0,3	1,5±0,1

Os resultados da produção de matéria orgânica dissolvida liberada concomitantemente à fixação de carbono mostram que as taxas de liberação de carbono orgânico estão diretamente relacionadas às de fotossíntese considerando-se a comunidade fitoplanctônica como um todo. O que significa que com a metodologia, fatores que interferem nas taxas de liberação de uma determinada espécie não são discriminados. Tais fatores são a idade celular, a fotoinibição agindo em um determinado espaço de tempo em uma determinada espécie ou a limitação de um determinado nutriente durante um certo período (Hellebust, 1974; Vieira; Myklestad, 1986; Fogg, 1983). Quer no verão como no inverno, as concentrações de CODR (monossacarídeos, dissacarídeos, pequenos oligossacarídeos,

aminoácidos, peptídeos e ácidos orgânicos), COCL, e CODT, foram diretamente proporcionais as concentrações de Fixtotal recém fotossintetizado. No verão, as porcentagens relativas de CODR, em relação ao Fixtotal, variaram entre 2,3 a 7,2 %, enquanto que no inverno, as mesmas porcentagens variaram entre 0,5 a 3,9 %. Em relação ao CODT excretado, as porcentagens relativas de CODR, variaram entre 24,0 a 72,4 % no verão e entre 16,7 a 45,9% no inverno. Quanto às porcentagens relativas de COCL, em relação ao Fixtotal, estas variaram entre 1,1 a 14,1 % no verão enquanto que no inverno as variações situaram-se entre 1,1 a 15,7 %. Em relação ao CODT excretado, as porcentagens relativas de COCL obtidas, variaram entre 27,6 a 76,0 % no verão e entre 54,1 a 83,3 % no inverno, variando as porcentagens relativas de CODT excretado, em relação ao Fixtotal, entre 3,9 a 21,1 % no verão e entre 1,5 a 19,7 % no inverno. As porcentagens relativas de COET excretados, em relação ao Fixtotal, variaram 1,9 a 51,2 % no verão e entre 1,5 a 10,3 % no inverno enquanto que as porcentagens relativas do CAPS excretados, também em relação ao Fixtotal, variaram de 1,4 a 10,3 % no verão e entre 1,5 a 9,2 % no inverno.

Dellamano-Oliveira (2006) observou que, a comunidade fitoplanctônica do reservatório da Barra Bonita, ambiente considerado eutrofizado, foi representada quantitativamente, principalmente, por poucas espécies (*Microcystis aeruginosa*, células livres de *Microcystis sp.*, *Pseudoanabaena muciola*, *Anabaena spiroides*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cryptomonas sp.*, *Dictyosphaerium pulchellum*, e *Schroederia indica*). Algumas dessas espécies são consideradas como grandes produtoras de polissacarídeos extracelulares (De Phillips; Vincenzini, 1998; Hoagland et al., 1993; Giroldo; Vieira, 2002; Shin et al., 2003). Com o aumento da eutrofização, como tem ocorrido no reservatório de Barra Bonita nos últimos anos, a tendência é que o número de espécies

produtoras de mucilagens como *Microsytis sp.* e *Anabaena spiroides*, aumente, podem provocar também o aumento da quantidade de polissacarídeos dissolvidos (Tien et al., 2002).

As variações sazonais encontradas nas taxas de excreção da matéria orgânica dissolvida refletem por outro lado à ocorrência de florescimentos algais, como é o caso das elevadas taxas de carbono total assimilado e excretado que ocorreram no verão durante os meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04. O aumento das taxas de excreção e do Fixtotal ocorridos no verão, foram acompanhadas por concentrações elevadas de clorofila-a e também pelo registro de elevadas densidades de algas principalmente cianofíceas, clorofíceas, bacilariofíceas e criptofíceas. Como os florescimentos sazonais são quase que inexoravelmente da espécie do gênero *Microcystis*, principalmente *Microcystis aeruginosa* e *Anabaena spiroides*, grandes produtoras de mucilagens extracelulares, seria esperado que o aumento da produção de colóides totais extracelulares coincidissem com a ocorrência desses florescimentos algais. Considera-se que os carboidratos poliméricos compõem, como citado, a maior parte dos colóides liberados por excreção da matéria orgânica dissolvida e a quase totalidade dos colóides capsulares, incluindo outros tipos de coberturas mucilaginosas, como “filmes” envoltórios e matrizes coloniais. A relação fitoplâncton / carboidratos dissolvidos foi já confirmada por outros autores. Soares (1992) encontrou em seus estudos na represa do Broa indícios que apontavam a comunidade fitoplanctônica como sendo a principal contribuinte para o aumento da concentração de carboidratos dissolvidos. Hayakawa (2004) e Satoh et al. (1986) também observaram, para os lagos japoneses, a relação entre a concentração de carboidratos totais e as altas densidades fitoplanctônicas de cianofíceas e diatomáceas, isto é, entre *Aphanothece clathrata* e *Microcystis aeruginosa*. Faganelli et al. (1995) estudaram as variações sazonais dos carboidratos particulados no Golfo do Trieste e encontraram uma correlação significativa entre carboidratos particulados e a biomassa fitoplanctônica e, a

importância do crescimento excessivo do fitoplâncton representado no caso pelas diatomáceas como importante fonte de carboidratos, principalmente polissacarídeos para o ambiente marinho. Esses crescimentos excessivos do fitoplâncton (florescimentos algais) são característicos de muitos ecossistemas aquáticos e embora permaneçam por poucos dias ou semanas, acredita-se que o estado fisiológico do fitoplâncton durante a ocorrência dos mesmos, pode ser determinante para a composição da matéria orgânica excretada (Mykkestad, 1995; Giroldo; Vieira, 2002). De acordo com Shin et al. (2003) a composição taxonômica do fitoplâncton é provavelmente o mais importante parâmetro que determina a composição dos produtos fotossintéticos. Florescimentos senescentes de *Microcystis aeruginosa* e de *Anabaena spiroides* que são normalmente grandes produtoras de polissacarídeos extracelulares compostos das coberturas, aumentam a produção de colóides livres excretados na fração “dissolvida” quando, devido à idade celular, os processos de citocinese são inibidos, mas não o aparelho fotossintético que continua a fixar carbono, o qual é desviado para os polissacarídeos, que são compostos ricos em carbono.

Considerando os dois períodos estudados, o inverno apresentou baixas taxas de excreção, de produção de biomassa fitoplanctônica e de produtividade primária. Estes dados conferem com os encontrados por Dellamano-Oliveira (2006), ao observar que no período seco, as concentrações de polissacarídeos poliméricos na coluna de água diminuem, sendo a diminuição acompanhada por uma redução na densidade das espécies. Colombo (em preparação) também observou nesta época uma redução na atividade enzimática total, na concentração de carboidratos totais, cuja maioria são poliméricos e, na densidade bacteriana. Esta queda de acordo com Colombo poderia ser interpretada como o final de um evento de degradação dos carboidratos liberados pelo fitoplâncton.

No presente estudo, valores elevados de produtividade primária, concentrações elevadas de matéria orgânica dissolvida excretada e de clorofila-a foram obtidas no verão, causados provavelmente pelo aumento da drenagem na época das chuvas, aumento da temperatura, pela diminuição do tempo de residência da água, pelo aumento da vazão, do fósforo, das substâncias húmicas, de outras substâncias dissolvidas e pelo aumento da decomposição da matéria orgânica e da regeneração de nutrientes. Em decorrência de sua relação direta com a fixação fotossintética, em alguns meses foi observado na superfície da água um aumento da excreção quando a fotossíntese sofre um processo de inibição, aumento que pode ter sido meramente ocasionado pela diminuição de carbono total fixado que se verifica na superfície e pode ser relacionado ao grau de estresse ocasionado às células fitoplanctônicas expostas às altas intensidades luminosas na superfície.

O aumento sazonal da produção de colóides totais, produzidos pelo fitoplâncton nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março /04 coincidem também com o aumento da ocorrência de agregados gelatinosos (Dellamano-Oliveira, 2006) e com o aumento de quantidade de TEP (Fatibello, 2003). Ambas as partículas são formadas por polissacarídeos coloidais e, portanto estão relacionados diretamente com a quantidade de colóides de origem algal, pelo menos a sua maioria, como já citado anteriormente. E, como também já citado, os polissacarídeos extracelulares representam cerca de 90% de colóides e, 100% dos capsulares.

Densidade das classes fitoplanctônicas e concentrações de CODT e COET excretados

A figura 3.3. mostra a relação entre a densidade das classes fitoplanctônicas, no período de julho /03 a janeiro /04 assim como as concentrações de CODT e COET excretados por unidade de área e por hora na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a dezembro /03 e fevereiro a agosto /04.

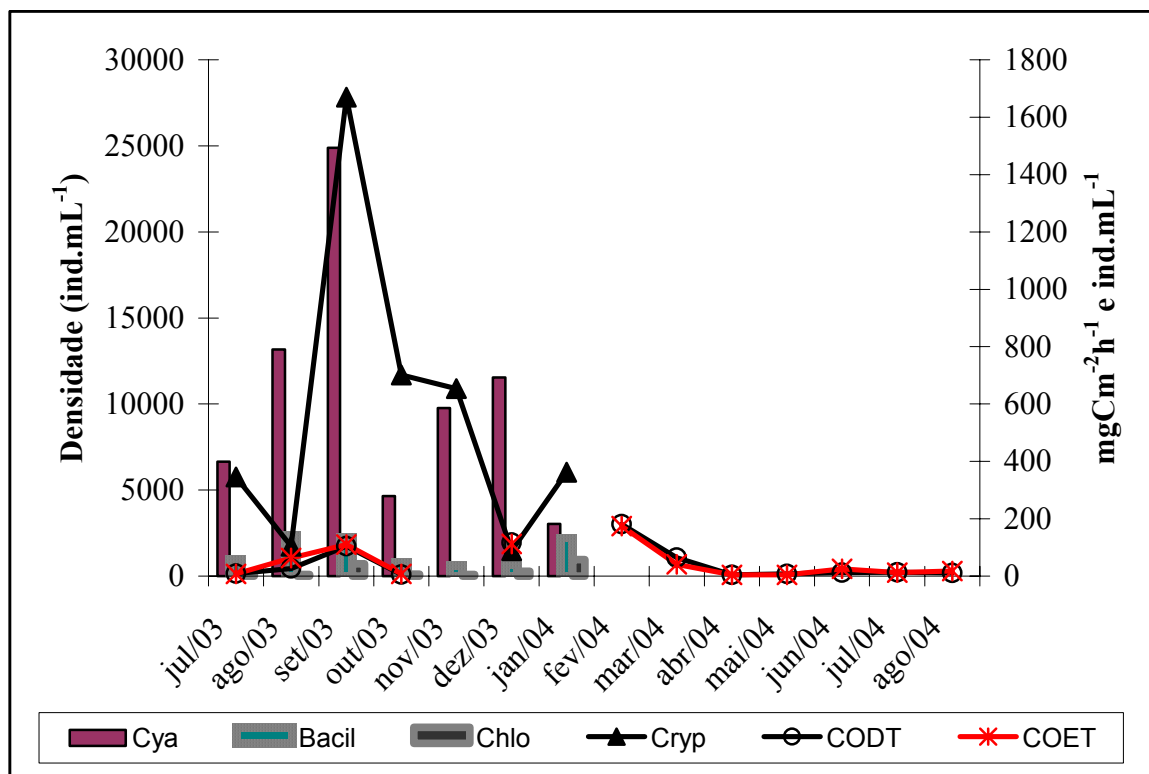


Figura 3.3. Densidade das classes fitoplanctônicas, no período de julho /03 a janeiro /04 e, concentrações de CODT e COET excretados por unidade de área e por hora na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho /03 a dezembro /03 e fevereiro a agosto /04.

Em ambos períodos, a abundância relativa das classes Cyanophyceae e Bacillariophyceae representadas, principalmente pelas colônias de *M. aeruginosa* e células livres de *Microcystis sp.* e filamentos de *A. granulata*, respectivamente, foi notavelmente maior, quando comparada com as demais classes encontradas neste estudo. A ocorrência de florações de diferentes espécies de cianofíceas, principalmente de *Microcystis sp.* é freqüentemente observada neste reservatório. Provavelmente, o regime polimítico do reservatório não permite a formação de grandes colônias de *Microcystis* contribuindo para a desagregação das mesmas e favorecendo a ocorrência das células livres (O'Brien et al., 2004). Segundo Reynolds (1999), o fator crucial para a ocorrência freqüente da dominância das cianofíceas, especialmente de *Microcystis sp.*, é a sua habilidade em permanecer suspensa e regular sua flutuação na coluna de água, de suportar severas alterações diárias na intensidade de mistura do sistema, além de ser considerada uma espécie S-estrategista. As diatomáceas, principalmente *Aulacoseira granulata*, apresentaram-se abundantes nos meses mais secos, onde a coluna de água apresentou-se instável, em função da ação dos ventos, associada às concentrações de sílica.

Durante o verão, as condições de equilíbrio (elevadas temperaturas, estabilidade da coluna de água, menor tempo de residência e alta irradiação solar) provavelmente predominaram, favorecendo a ocorrência, principalmente das cianofíceas. No inverno, devido à ação dos ventos, ao registro de temperaturas mais amenas, à menor vazão e o maior tempo de residência da água, permitiram a coexistência das espécies.

Quantificação de PEC no reservatório de Barra Bonita

Considerando que a represa de Barra Bonita ocupa uma área superficial de 32484 hectares e uma vez quantificada a matéria orgânica dissolvida excretada, produzida pelo fitoplanctôn no ponto de coletas, foi possível estimar a produção de polissacarídeos extracelulares de origem algal (PEC) no reservatório de Barra bonita. Assim foram estimadas as seguintes quantidades de PEC:

- CODR: 4970 ton / ano (0,153 ton / ha / ano)
- COCL: 10882 ton / ano (0,335 ton / ha / ano)
- CAPS: 4223 ton / ano (0,13 ton / ha / ano)
- CODT (CODR + COCL): 15852 ton / ano (0,488 ton / ha / ano)
- COET (COCL + CAPS): 15105 ton / ano (0,465 ton / ha / ano)

Os resultados do presente estudo são similares aos obtidos por estimativas teóricas baseadas em índices de produtividade primária que apontam para 12000 ton / ano (0,36 ton / ha / ano) a quantidade de polissacarídeos extracelulares de origem algal produzidos no reservatório de Barra Bonita (Vieira, comunicação pessoal).

Quantificação dos CHO-T dissolvidos, COT e COD no ponto de coletas.

Na tabela 3.8. são mostrados os valores sazonais da concentração de CHO-T dissolvidos (mgL^{-1}), na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As concentrações de CHO-T no ponto de coletas variaram entre 16,7 a 54,0 mgL^{-1} (Tab. 3.1.) tendo as concentrações mais elevadas ocorrido em nos meses de dezembro /03 (36,1 mgL^{-1}), fevereiro /04 (52,9 mgL^{-1}) e março /04 (36,9 mgL^{-1}).

Tabela 3.8. Concentração de CHO-T dissolvidos (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 2$).

coletas		CHO-T (mgL^{-1})		
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m
jul/03	16,8±0,6	17,0±2,2	16,8±0,4	16,7±0,8
ago/03	21,5±1,2	25,5±1,2	22,7±0,6	21,0±0,6
Set/03	22,2±0,4	23,8±1,1	22,3±1,2	21,3±1,0
out/03	18,5±0,7	20,9±1,5	19,5±0,4	19,3±0,8
dez/03	42,5±1,2	41,7±1,2	32,0±2,6	28,0±2,2
fev/04	54,0±1,1	53,3±2,3	53,2±2,1	51,2±2,1
mar/04	40,1±1,2	40,1±1,2	38,5±0,6	28,8±1,2
abr/04	21,1±2,9	21,9±0,6	19,5±0,6	18,7±0,6
mai/04	27,9±3,3	20,3±3,7	19,8±0,3	19,0±0,4
jun/04	39,3±2,3	37,7±1,2	37,6±1,2	33,0±2,1
jul/04	30,0±2,0	26,3±2,2	22,3±1,2	20,7±1,2
ago/04	22,3±1,2	21,5±2,3	19,0±1,4	17,8±1,3

No reservatório, os CHO-T no reservatório podem ter tido origem autóctone ou alóctone. No inverno, as fontes podem ter sido provavelmente alóctone, devido à baixa produção primária obtida nesse período. Já as concentrações de CHO-T no verão podem ter sido de origem autóctone porquanto nesse período registraram-se picos elevados de produção primária.

Na Tabela 3.9. são mostradas as concentrações de COT (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas nos, períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a agosto /04. As concentrações de COT no ponto de coletas variaram entre 4,2 a $10,8 \text{ mgL}^{-1}$ (Tab. 3.2.) tendo as concentrações mais elevadas ocorrido, no verão, nos meses de dezembro /03 ($10,1 \text{ mgL}^{-1}$), fevereiro /04 ($10,3 \text{ mgL}^{-1}$) e março /04 ($8,33 \text{ mgL}^{-1}$). No inverno, as maiores concentrações de COT foram registradas nos meses de julho /03 ($8,3 \text{ mgL}^{-1}$) e agosto /03 ($8,3 \text{ mgL}^{-1}$).

Tabela 3.9. Variação sazonal de COT (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /04 e de fevereiro a agosto /04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 2$).

coletas		COT (mgL^{-1})			
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m	
jul/03	$8,6 \pm 0,4$	$8,5 \pm 0,3$	$8,4 \pm 0,2$	$8,3 \pm 0,2$	
ago/03	$8,5 \pm 0,2$	$8,2 \pm 0,08$	$8,3 \pm 0,5$	$8,0 \pm 0,07$	
set/03	$8,0 \pm 0,08$	$7,4 \pm 0,2$	$7,4 \pm 0,4$	$7,4 \pm 0,07$	
out/03	$6,8 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,2$	$6,3 \pm 0,07$	$6,1 \pm 0,2$	
dez/03	$10,7 \pm 0,2$	$10,5 \pm 0,07$	$10,1 \pm 0,2$	$8,9 \pm 0,2$	
fev/04	$10,8 \pm 0,3$	$10,7 \pm 0,07$	$10,5 \pm 0,7$	$9,2 \pm 0,2$	
mar/04	$8,8 \pm 0,4$	$8,7 \pm 0,07$	$8,5 \pm 0,07$	$7,2 \pm 0,2$	
abr/04	$5,8 \pm 0,2$	$5,8 \pm 0,07$	$5,8 \pm 0,07$	$5,2 \pm 0,2$	
mai/04	$5,7 \pm 0,08$	$5,5 \pm 0,4$	$5,0 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,06$	
jun/04	$4,6 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,04$	
jul/04	$4,6 \pm 0,08$	$4,6 \pm 0,07$	$4,5 \pm 0,07$	$4,2 \pm 0,04$	
ago/04	$6,4 \pm 0,3$	$6,3 \pm 0,2$	$5,9 \pm 0,2$	$5,8 \pm 0,07$	

A tabela 3.10. mostra as concentrações de COD (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /03 e de fevereiro a outubro /04. As concentrações de COD no ponto de coletas variaram entre 3,7 a $9,7 \text{ mgL}^{-1}$ (Tab. 3.3.) tendo as concentrações mais elevadas ocorrido, no verão, nos meses de dezembro /03 ($7,5 \text{ mgL}^{-1}$), fevereiro /04 ($9,1 \text{ mgL}^{-1}$) e março /04 ($6,9 \text{ mgL}^{-1}$). No inverno, as maiores concentrações de COT foram registradas nos meses de julho /03 ($7,2 \text{ mgL}^{-1}$), de agosto /03 ($6,9 \text{ mgL}^{-1}$) e de setembro /03 ($6,9 \text{ mgL}^{-1}$).

Tabela 3.10. Variação sazonal de COD (mgL^{-1}) na zona eufótica do ponto de coletas, nos períodos de julho a dezembro /04 e de fevereiro a agosto/ 04 (O erro reportado corresponde ao erro da média de $n = 2$).

coletas		COD (mgL^{-1})			
meses	superfície	1,0 m	3,0 m	5,0 m	
jul/03	$8 \pm 0,07$	$7,8 \pm 0,4$	$7,2 \pm 0,2$	$7,1 \pm 0,2$	
ago/03	$7,2 \pm 0,2$	$7,1 \pm 0,2$	$6,8 \pm 0,07$	$6,1 \pm 0,3$	
set/03	$7,5 \pm 0,2$	$7,1 \pm 0,2$	$6,6 \pm 0,2$	$6,4 \pm 0,07$	
out/03	$6,1 \pm 0,07$	$5,8 \pm 0,07$	$5,6 \pm 0,07$	$5,1 \pm 0,07$	
dez/03	$8,3 \pm 0,6$	$7,6 \pm 0,4$	$6,7 \pm 0,7$	$5,9 \pm 0,3$	
fev/04	$9,7 \pm 0,4$	$9,3 \pm 0,2$	$8,7 \pm 0,5$	$8,4 \pm 0,07$	
mar/04	$7,7 \pm 0,4$	$6,7 \pm 0,2$	$6,5 \pm 0,7$	$6,4 \pm 0,07$	
abr/04	$4,7 \pm 0,07$	$4,7 \pm 0,07$	$4,6 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,2$	
mai/04	$4,8 \pm 0,07$	$4,5 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,07$	$4,6 \pm 0,2$	
jun/04	$3,7 \pm 0,2$	$3,7 \pm 0,2$	$3,8 \pm 0,07$	$3,8 \pm 0,07$	
jul/04	$3,9 \pm 0,2$	$3,9 \pm 0,07$	$3,8 \pm 0,07$	$3,7 \pm 0,07$	
ago/04	$5,6 \pm 0,2$	$4,7 \pm 0,07$	$4,5 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,07$	

As concentrações de COD e as de COT apresentaram uma relação (positiva) com as concentrações de CHO-T ($r = 0,47$). Porém este índice poder ser considerado baixo e sugere fraca relação, indicando uma certa refratabilidade dos carboidratos em alguns meses. Porém, as concentrações de COT e COD correlacionaram-se positivamente ($r = 0,98$), sugerindo este índice uma forte relação entre ambas concentrações. Assim sugere-se que a MOD do reservatório sazonalmente possua fontes predominantes e distintas (fitoplâncton, macrófitas aquáticas, despejos agrícolas, emissões de efluentes domésticos e industriais) e, conseqüentemente distintos graus de refratabilidade. Estes eventos podem possivelmente ser os responsáveis pelas elevadas concentrações de COD e CHO-T dissolvidos neste ambiente. Como mostrados nas tabelas 3.8., 3.9. e 3.10., elevadas concentrações de CHO-T dissolvidos, de COT e de COD na zona eufótica do ponto de coletas foram verificadas no verão, principalmente nos meses de dezembro /03, fevereiro /04 e março/ 04. No inverno, as concentrações obtidas foram menores. As concentrações de CHO-T, de COT e de COD parecem acompanhar o padrão geral do Fixtotal e da excreção de matéria orgânica. Em geral, as concentrações mais elevadas ocorreram nos meses mais quentes, ou seja, naqueles em que se registraram maiores precipitações pluviométricas, menor tempo de residência da água e altas densidades de cianofíceas, bacilariofíceas, clorofíceas e criptofíceas. O efeito inibitório não foi observado, constatando-se que as concentrações mais elevadas foram encontradas nas profundidades onde ocorreram as maiores taxas de eficiência fotossintética, isto é, na superfície e a 1,0 m de profundidade.

Conclusão

- Com base nos índices de produtividade primária, o reservatório de Barra Bonita pode ser considerado um ambiente eutrofizado e polimítico, cujo processo de eutrofização vem aumentando ao longo dos anos.
- A de excreção de matéria orgânica dissolvida acompanhou o padrão geral da produção de biomassa fitoplanctônica em forma de clorofila-a e da produtividade primária, indicando a existência de uma relação direta (paralelismo) entre essas funções.
- As concentrações de clorofila-a e a produção de PEC excretados relacionaram-se positivamente, apresentando variabilidade temporal significativa ($p \geq 0,05$) e uma homogeneidade espacial não significativa ($p < 0,05$).
- As condições de equilíbrio (estabilidade da coluna de água, radiação solar, temperatura, TR) e as de distúrbio (precipitação pluviométrica, vazão, vento e TR) foram propícias para o surgimento de florescimentos algais de espécies consideradas como grandes produtoras de PEC.
- No verão, os colóides extracelulares totais excretados (COET) variaram entre 1,9 a 51,2 % do carbono orgânico total assimilado recém fotossintetizado enquanto que no inverno a porcentagem situou-se entre 1,5 a 10,6 %.
- No verão, os colóides extracelulares totais (COET) excretados representaram entre 4,6 a 84,9 % do excretado total (MOD total excretada), enquanto que no inverno, a porcentagem de COET em relação ao excretado total variou de 74,0 a 93,6 %.

Agradecimentos

À CAPES- PEC-PG, pelo apoio financeiro, à FAPESP, processos número 00/03122-0 e 99/007766 (Projeto temático)

Referências Bibliográficas

- ANTÓN, J.; MESEGUER, I.; VALER, F. R. Production of an extracellular polysaccharide by *Haloferax mediterranei*. *Appl. Environ. Microbiol.* 54(10): 2381 - 2386, 1988.
- BONEY, A. D. Mucilage the ubiquitous algal attribute. *Br. J. Phycol.* 16:15 - 132, 1981.
- BÄRÄUTIGAM, E.; FIEDLER, F.; WOITZIK, D.; FLAMMANN, H. T.; WECKESSER, J. Capsule polysaccharide-protein-peptidoglycan complex in the cell envelope of *Rhodobacter capsulatus*. *Arch. Microbiol.* 150: 567 - 573, 1988.
- BREMMER, P. J.; LOUTIT, M. W. Bacterial polysaccharide as a vehicle for entry of Cr (III) to food chain. *Mar. Environ. Res.* 20: 235 - 248, 1986.
- BROOK, A. J. **The biology of desmids**. Botanical Monographs v.16, Blackwell Scientific, Oxford p276, 1981.
- BURNEY, C. M.; DAVIS, P. G.; JOHNSON, K. M.; SIEBURTH, J. MCN. The relationships of microbial trophic groups and in situ dissolved carbohydrate dynamics in the Caribbean Sea. *Mar. Biol.* 67: 311 - 322, 1982.
- CHO, B. C.; AZAM, F. Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. *Nature* 332: 441 - 443, 1988.
- COESEL, P. F. M. On the ecological significance of a mucilaginous envelope in planktic desmids. *Algolog. Stud.* 73: 65 - 74, 1994.

- CRAIGIE, J. S. Storage products. In: Stewart, W. D. ZP. (Ed.). **Algal physiology and biochemistry**. Botanical monographs v. 10. Blackwell Scientific, Oxford p206 - 235, 1974.
- DELLAMANO-OLIVEIRA, M, J. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório de Barra Bonita e sua relação com a composição e quantidade de polissacarídeos extracelulares e agregados gelatinosos**. Tese (Doutorado) PPGERN-UFSCar 99p, 2006.
- DE PHILIPPS, R.; VICENZINI, M. Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications. **FEMS Microbiol. Rev.** 22: 151 - 175, 1998.
- DUNSTALL, T. G.; NALEWAJKO, C. Extracellular release in planktonic bacteria. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 19: 2643 - 2649, 1975.
- FAGANELI, J.; KOVCAC, N.; LESKOVSEK, H.; PEZDIC, J. Sources and fluxes of particulate organic matter in shallow coastal waters characterised by summer macroaggregate formation. **Biogeochem.** 29: 71 - 88, 1995.
- FOGG, G. E. The ecological significance of extracellular products of phytoplankton photosynthesis. **Bot. Mar.** v.26 p3 - 14, 1983.
- FREIRE-NORDI, C. S.; VIEIRA, A. A. H. Degradability of polysaccharide compounds excreted by *Ankistrodesmus densus kors.* (Chlorophyta) in cultures of natural bacterial communities. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 26:1685 - 1688, 1998.
- FREIRE-NORDI, C. S.; VIEIRA, A. A. H. Utilization of extracellular polysaccharides from *Ankistrodesmus densus kors.* (Chlorophyta) by heterotrophic bacteria. *Rev. Microbiol. São Paulo* 27 (1):27 - 32, 1996.

- GIROLDO, D.; VIEIRA, A. A. H. An extracellular sulfated fucose rich polysaccharide produced by a tropical strain of *Cryptomonas obovata* (Cryptophyceae). **J. Appl. Phycol.** 14: 185 - 191, 2002
- GOUVÊA, S. P.; VIEIRA, A. A. H. Estudos sobre as cápsulas mucilaginosas de *Spondylosium panduriforme*. An. IV Congresso Latino-Americano de Ficologia. Caxambu 423 - 437p, 1998.
- HAYAKAWA, K. Seasonal variations and dynamics of dissolved carbohydrates in lake Biwa. **Org. Geochem.** 35: 169 - 179, 2004.
- HELLEBUST, J. A. Extracellular products. In: Stewart, W.D.P. (Ed.). **Algal phyecology and biochemistry**. Botanical Monographs v. 10 Blackwell Scientific, Oxford pp838 - 863, 1974.
- HOAGLAND, K. D.; ROSOWSKI, J. R.; GRETZ, R.; ROEMER, S. C. Diatom extracellular polymeric substances: function, fine structure, chemistry and physiology. **J. Phycol.** 29: 537 - 566, 1993.
- LEPPARD, G. G. The characterisation of algal and microbial mucilages and their aggregates in aquatic ecosystems. **Sci. Total Environ.** 165: 103 - 131, 1995.
- LOMBARDI, A. T.; VIEIRA, A. A. H. Copper and lead complexation by high molecular weight compounds produced by *Synura sp* (Chrysophyceae). **Phycol.** 37(1): 34 - 39, 1998.
- LOMBARDI, A. T.; VIEIRA, A. A. H. Copper complexation by metabolites excreted by some freshwater Cyanophyceae and Chlorophyceae at stationary and exponential growth phases. *Phycologia*, 39: 118 - 125, 1999.
- MOPPER, K.; DAWSON, R; LIEBZEIT, G.; ITTEKKOT, V. The monosacharides spectra of natural waters. **Mar. Chem.** 10: 55 - 66, 1980.

- MYKLESTAD, S. M.. Release of extracellular products by phytoplankton with special emphasis on polyssacharides. **The Science of the total environmental** 165: 155 - 164, 1995.
- OMAR, A. S.; FLAMMANN, H. T.; GOLECKI, J. R.; WECKESSER, J. Detection of capsule and slime polysaccharide layers in two strains of *Rhodopseudomonas capsulate*. **Arch. Microbiol.** 134: 114 - 117, 1983.
- PAERL, H. W. Role of bacteria in promoting N₂ fixation by *Anabaena sp* in aquatic habitats. **Microbiol. Ecol.** 4: 215 - 231, 1978.
- PAULSEN, B. S.; VIEIRA, A. A. H. Structural studies on extracellular dissolved and capsular polysacharrides produced by *Spondylosium panduriforme*. **J. Phycol.** v 3 n. 4 p638 - 641, 1994
- SATOH, Y.; HAYASHI, H.; NAKAMOTO, N.; OKINO, T. Regulating factors of the concentration of dissolved carbohydrates in a central water column of lake Suwa, Japan. **Arch. Hydrobiol**, 105(3): 299 - 319, 1986.
- SHIN, K. H.; HAMA, T.; HANDA, N. Effect of nutrient conditions on the composition of photosynthetic products in the East China Sea and surrounding waters. **Deep-Sea Res. II** 50: 389 - 401, 2003.
- SIGG, L.; STURM, M.; KISTLER, D. Vertical transport of heavy metals by settling particles. **Limnol. Oceanogr.** 32(1): 112 - 130, 1987.
- SOARES, F. S. **Estudo dos carboidratos dissolvidos livres e combinados na represa do Broa (SP) e sua relação com a comunidade fitoplanctônica.** Tese-(Doutorado) PPG-ERN/UFSCar 127p, 1992.
- SUNDA, W. G.; GUILLARD, R. R. Relationship between cupric ion activity and the toxicity of copper to phytoplankton. **J. Mar. Res.** 34: 511 - 529, 1976.

- TIEN, C. J.; KRIVTSOV, V.; LEVADO, E.; SIGEE, D. C.; WHEITE, K. N. Occurrence of cell-associated mucilage and soluble extracellular polysaccharides in *Rhoderne Mere* and their possible significance. **Hydrobiol.** 485(1-3): 245 - 252, 2002.
- VIEIRA, A. A. H.; MYKLESTAD, S. Production of extracellular carbohydrate in cultures of *Ankistrodesmus densus*. **J. Plankton Res.** v. 8 p985 - 994, 1986.
- XUE, H. B.; STUMM, W.; SIGG, L. The binding of heavy metals to algal surfaces. **Water Res.** 22: 917 - 926, 1998.
- YU, N. X.; HISAMATSU, M.; AMEMURA, A. & HARADA, T. Occurrence of two extracellular acidic polysaccharides as products of *Rhizobium melliotti* 201. **Carboh. Polym.** 1: 23 - 30, 1981.