

**VARIAÇÃO NICTEMERAL DE VARIÁVEIS
LIMNOLÓGICAS NO RESERVATÓRIO DE
SALTO GRANDE (AMERICANA – SP)**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100008539

André Jean Deberdt



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

ORIENTADORA: Prof^a Dr^a Maria do Carmo Calijuri

São Carlos
1999

Class.	TESE - EESC
Cutt.	3820
Tombo	017/00

31100006539

S/S 1070633

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

D286v Deberdt, André Jean
Variação nictemeral de variáveis limnológicas no
reservatório de Salto Grande (Americana - SP) / André
Jean Deberdt. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Ciência da Engenharia Ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Maria do Carmo Calijuri.

1. Variação nictemeral. 2. Estratificação
hidráulica. 3. Fitoplâncton. I. Título.

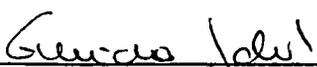
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Bacharel **ANDRÉ JEAN DEBERDT**

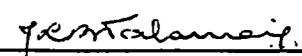
Dissertação defendida e aprovada em 22-10-1999
pela Comissão Julgadora:



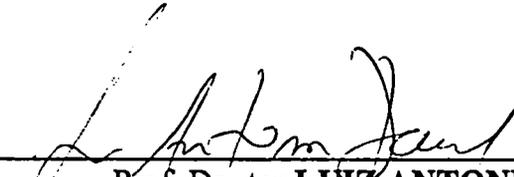
Profa. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



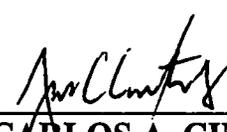
Doutora **ENEIDA SALATI**
(Instituto de Ecologia Aplicada)



Profa. Doutora **JANDIRA LIRIA BISCALQUINI TALAMONI**
(UNESP - Campus de Bauru)



Prof. Doutor **LUÍZ ANTONIO DANIEL**
Coordenador da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



JOSE CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

À minha esposa, pois sem seu apoio este projeto não se concretizaria.

À minha filha, por todos os momentos de alegria e felicidade.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra. Maria do Carmo Calijuri, pela valiosa orientação, amizade e paciência despendidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos: Amândio, Luci, Miro, Marcelo e Beto pelo suor, dedicação e amizade ao longo das coletas e dos trabalhos de laboratório.

Aos funcionários: Ivan, Paulo, Catarina, e em especial à Regina e Claudete pela atenção e amizade ao longo estes anos.

A todos os colegas que de uma forma ou de outra contribuíram com este trabalho, principalmente ao amigo Ricardo pela inestimável ajuda nos trabalhos “*in situ e in vitro*”.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – CRHEA, pela infraestrutura oferecida para o desenvolvimento os trabalhos de laboratório.

À Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, pela infra-estrutura oferecida para o desenvolvimento do trabalho de campo, e em especial a Clemir A. Belém por toda atenção despendida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudo concedida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	II
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	III
LISTA DE SÍMBOLOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUÇÃO	7
1.1. OBJETIVOS	11
2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO	12
2.1. CLIMA	14
2.2. GEOMORFOLOGIA	15
2.3. GEOLOGIA	15
2.4. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	17
3.2. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS	18
3.2.1. Radiação Solar	18
3.2.2. Vento	18
3.2.3. Precipitação Total	18
3.2.4. Temperatura do ar	19
3.3. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	19
3.3.1. Tempo Médio de Residência da Água	19
3.3.2. Radiação Solar Subaquática	20
3.3.3. Transparência da Água - Coeficiente de Extinção da Luz - Coeficiente de Atenuação do Contraste Vertical	20
3.3.4. Temperatura da Água	21
3.3.5. Oxigênio Dissolvido	21
3.3.6. pH, Alcalinidade e Formas de Carbono Inorgânico	21
3.3.7. Condutividade Elétrica	22
3.3.8. Material em Suspensão	22

3.3.9.	Nutrientes	22
3.4.	VARIÁVEIS BIOLÓGICAS	25
3.4.1.	Clorofila <i>a</i> e Feofitina	25
3.4.2.	Comunidade Fitoplanctônica	26
4.	RESULTADOS	31
4.1.	VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS	31
4.1.1.	Radiação Solar	31
4.1.2.	Vento	31
4.1.3.	Precipitação	31
4.1.4.	Temperatura do Ar	32
4.2.	VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	32
4.2.1.	Tempo Médio de Residência da Água	32
4.2.2.	Radiação Solar Subaquática	35
4.2.3.	Transparência da Água - Coeficiente de Extinção da Luz - Coeficiente de Atenuação do Contraste Vertical	35
4.2.4.	Temperatura da Água e Densidade	36
4.2.5.	Oxigênio Dissolvido	39
4.2.6.	pH	39
4.2.7.	Condutividade Elétrica	39
4.2.8.	Alcalinidade	43
4.2.9.	Formas de Carbono Inorgânico	43
4.2.10.	Material em Suspensão	46
4.2.11.	Nutrientes	49
4.3.	VARIÁVEIS BIOLÓGICAS	55
4.3.1.	Clorofila <i>a</i> e Feofitina	55
4.3.2.	Comunidade Fitoplanctônica	59
5.	DISCUSSÃO	73
5.1.	FATORES CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS	73
5.2.	PERFIL VERTICAL DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS	76
5.3.	VARIÁVEIS BIOLÓGICAS AO LONGO DO CICLO NICTEMERAL	80
6.	CONCLUSÕES	85
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização da estação de coleta no reservatório de Salto Grande (Americana –SP). 13
- Figura 2:** Isolinhas de temperatura [°C] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 37
- Figura 3:** Isolinhas de densidade nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 38
- Figura 4:** Isolinhas de oxigênio dissolvido [mg.l⁻¹] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 40
- Figura 5:** Isolinhas de pH nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 41
- Figura 6:** Isolinhas de condutividade [$\mu\text{S.cm}^{-1}$] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 42
- Figura 7:** Perfis da concentração de material em suspensão total, inorgânico e orgânico nos diferentes horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 47
- Figura 8:** Isolinhas das concentrações de clorofila *a* [mgChl*a*.l⁻¹] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 56
- Figura 9:** Perfis das concentrações de clorofila *a* e feofitina nos diferentes horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 57
- Figura 10:** Densidade da classe Cyanophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 63
- Figura 11:** Densidade da classe Chlorophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 64
- Figura 12:** Densidade da classe Cryptophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 65
- Figura 13:** Densidade da classe Chlorophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 66
- Figura 14:** Porcentagem de contribuição média das diferentes classes no Reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 e nos dias 3 e 4/07/96. 69
- Figura 15:** Abundância relativa dos organismos mais abundantes no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 69

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Informações sobre o Reservatório de Salto Grande. 14
- Tabela 2:** Variáveis climatológicas, no Reservatório de Salto Grande, no período de 09 a 10 de janeiro de 1996 e 03 a 04 de julho de 1996. 33
- Tabela 3:** Variações diárias da precipitação, da insolação e da temperatura média no período de 08 a 11 de janeiro de 1996 e 02 a 05 de julho de 1996. 33
- Tabela 4:** Precipitação mensal e horas de insolação, vento, temperatura do ar e tempo médio de residência da água (TR), no período de julho de 1995 a agosto de 1996. 34
- Tabela 5:** Variações diárias do volume do reservatório, da vazão e do tempo médio de residência da água (TR) no período de 08 a 11 de janeiro de 1996 e 02 a 05 de julho de 1996. 34
- Tabela 6:** Radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) a zero metros, limite da zona eufótica (Z_{euf}), coeficiente de extinção da luz (m^{-1}), profundidades em que o disco de Secchi desapareceu (Z_{DS}), profundidade máxima ($Z_{máx}$), $Z_{euf}/Z_{máx}$ e coeficiente de atenuação do contraste vertical (K) no período de 09 a 10 de janeiro de 1996 e 03 a 04 de julho de 1996. 36
- Tabela 7:** Alcalinidade e concentrações de carbono inorgânico, dióxido de carbono total e livre, bicarbonato e carbonato nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 44
- Tabela 8:** Concentrações de nitrito, nitrato, amônio e nitrogênio orgânico total em $\mu gN/l$ nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 51
- Tabela 9:** Concentrações de fosfato inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total em $\mu gP/l$ e silicato reativo em $mgSi/l$ nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 53
- Tabela 10:** Razão N/P nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 55
- Tabela 11:** Índices de diversidade, equidade, riqueza e dominância, e número de espécies encontrados durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b). 71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE _x	- Coeficiente de Extinção da Luz
Chl _a	- Clorofila <i>a</i>
K	- Coeficiente de Atenuação do Contraste Vertical
Q	- Vazão defluente
R.F.A.	- Radiação Fotossinteticamente Ativa
TR	- Tempo médio de residência da água
V	- Volume
Z	- Profundidade
Z _{euf}	- Profundidade da zona eufótica
Z _{af}	- Profundidade da zona afótica
Z _{max}	- Profundidade máxima
Z _{DS}	- Profundidade do Disco de Secchi

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	- graus Celsius
cm	- centímetro
E	- Einstein
h	- hora
km	- quilômetro
km ²	- quilômetro quadrado
l	- litro
m	- metro
m ²	- metro quadrado
m ³	- metro cúbico
m ³ /s	- metro cúbico por segundo
meq	- miliequivalente
meq/l	- miliequivalente por litro
mg	- miligrama
mg/l	- miligrama por litro
ml	- mililitro
mm	- milímetro
org.	- organismo
org./l	- organismo por litro
s	- segundo
μ	- micron
μE/m ² s	- microeinsten por metro quadrado por segundo
μg	- micrograma
μg/l	- micrograma por litro
μm	- micrômetro
μS	- microsiemens
μS/cm	- microsiemens por centímetro

RESUMO

DEBERDT, A. J. (1998). **Variação Nictemeral de Variáveis Limnológicas no Reservatório de Salto Grande (Americana - SP)**. São Carlos, 1999. 96p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O reservatório de Salto Grande está localizado na região central do estado de São Paulo, na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, recebendo atualmente grande quantidade de efluentes domésticos, resíduos industriais e agrícolas provenientes dos usos e ocupação dos solos. Visando acompanhar a variação ambiental das variáveis limnológicas durante 24 horas, foram realizadas coletas de dados, nesse reservatório, em duas épocas distintas do ano (verão/96 e inverno/96), culminando com os períodos de maior e menor precipitação. As variáveis analisadas de 3 em 3 horas foram: climatológicas (radiação solar, vento, precipitação e temperatura do ar), hidrológicas (tempo médio de residência da água no reservatório, vazão vertida e turbinada, radiação solar subaquática, transparência da água, temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, formas de carbono, condutividade, material em suspensão e nutrientes) e biológicas (clorofila *a*, feofitina e comunidade fitoplânctônica). Uma das características mais importantes observadas neste estudo foi a presença de estratificação hidráulica, impedindo a mistura completa da coluna d'água. Apesar de não ter ocorrido a formação de uma termoclina típica, o reservatório apresentou estratificação química em praticamente todos os horários. Na variação de verão a temperatura variou de 23,8 °C a 24,6 °C e na variação de inverno de 18,2 °C a 21,0 °C. A concentração de oxigênio dissolvido variou de 1,16 mg/l a 5,12 mg/l durante a variação de verão e de 2,34 mg/l a 8,58 mg/l durante a variação de inverno. As maiores concentrações de nutrientes foram obtidas durante a variação de verão, em função do material alóctone carregado pelas chuvas e a maior diversidade fitoplânctônica foi observada no inverno, em função do maior tempo de residência da água e da maior estabilidade no sistema.

Palavras-chave: variação nictemeral; estratificação hidráulica; fitoplâncton

ABSTRACT

DEBERDT, A. J. (1998). **Diel Variation of Limnological Variables in the Salto Grande Reservoir (Americana - SP)**. São Carlos, 1999. 96p Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The Salto Grande Reservoir is located in the central area of São Paulo state, in the Piracicaba river basin, receiving great amount of domestic, industrial and agricultural residues originated by the use and occupation of the soil. Seeking to accompany the environmental variability of limnological parameters in the course of 24 hours, samples were collected from that reservoir, in two periods of the year (summer/96 and winter/96), coinciding with greater and smaller rainfall periods. The analysed variables in over 3 hour periods were: climatological (sun radiation, wind velocity, rainfall and air temperature), hydrological (medium time of residence of the water in the reservoir, water outflow and turbine outflow, subaquatic solar radiation, water transparency, water temperature, dissolved oxygen, pH, alkalinity, carbon forms, conductivity, suspended material and nutrients) and biological (chlorophyll *a*, feofitin and phytoplankton community). One of the more important characteristics observed in this study was the presence of hydraulic stratification, impeding the complete mixture of the water column. In spite of not having formed of a typical thermocline, the reservoir presented chemical stratification in practically every time span. In the summer diel variation, the temperature varied from 23,8 °C to 24,6 °C and, in the winter diel variation, from 18,2 °C to 21,0 °C. The concentration of dissolved oxygen varied from 1,16 mg/l to 5,12 mg/l, during the summer diel variation, and from 2,34 mg/l to 8,58 mg/l, during the winter diel variation. The largest nutrient concentrations were obtained during the summer diel variation due to the amount of material dragged by the rain into the reservoir. The largest phytoplankton diversity was obtained in the winter diel variation due to greater time of residence of the water and greater stability in the system.

Keywords: diel variation; hydraulic stratification; phytoplankton.

1. INTRODUÇÃO

O conjunto de alterações físicas e químicas que afetam a biota de um reservatório dificulta a obtenção de técnicas unificadas que possibilitam um manejo generalizado desse tipo de ecossistema. Cada reservatório pode apresentar diferentes graus de degradação, oriundos de ações antrópicas ou próprio da região onde foi construído. Desta forma, quanto maior o número de informações obtidas a partir de diferentes ecossistemas aquáticos, maior será a capacidade de previsão e manejo destes ambientes.

O conhecimento e a caracterização dos diversos reservatórios existentes no Brasil devem constituir um dos principais objetivos da pesquisa limnológica, uma vez que fornecerá subsídios para uma melhor compreensão dos problemas limnológicos básicos de regiões tropicais, principalmente nos ecossistemas que vêm sofrendo fortes impactos devido à ação antrópica, possibilitando, certamente, uma maior compreensão para uma utilização mais racional dos recursos hídricos, segundo conceitos ecológicos de conservação e manejo de ecossistemas aquáticos.

Dos muitos parâmetros de fundamental importância para os lagos e reservatórios de regiões tropicais, provavelmente as flutuações apresentadas pelas variáveis limnológicas, ao longo de um ciclo de 24 horas, assumem um papel fundamental na caracterização dos corpos d'água, já que são, basicamente, os determinantes dos processos biológicos e bioquímicos que ali se desenvolvem. Esta importância se torna ainda maior, quando se compara o caráter relativamente uniforme das variações sazonais e suas ações sobre os ambientes e comunidades, razoavelmente bem conhecidas, com a grande variação observada em períodos de 24h, as quais determinam ciclos diurnos, geralmente caracterizados por profundas

sempre previsíveis, senão específicas para cada ambiente em particular (BARBOSA, 1981).

Nos climas tropicais, a dinâmica das variáveis limnológicas depende, principalmente, das características locais do corpo d'água, uma vez que flutuações sazonais bem marcadas, como as encontradas em regiões temperadas, são fortemente reduzidas (GANF & HORNE, 1975), seja pelo foto-período praticamente uniforme por quase todo o ano, seja pelas condições de luz e temperatura que geralmente excedem os níveis limitantes ao crescimento. Desta forma, o comportamento das variáveis limnológicas em regiões tropicais estão profundamente relacionados com as características específicas de cada ambiente, podendo apresentar grandes variações na amplitude.

Segundo OLIVEIRA (1993), tendo em vista grande variabilidade a que estão sujeitos os ecossistemas aquáticos tropicais, o problema de escalas de abordagem torna-se ainda mais fundamental. Esta questão foi bem discutida por HARRIS (1980) e COBELAS & ARAUZO (1994), segundo os quais fenômenos fisiológicos, tais como fotossíntese e respiração, ocorrem em termos de microescala (segundos ou minutos); fenômenos de crescimento e reprodução em termos de mesoescala (horas ou dias) e fenômenos de sucessão, em termos de macroescala (semanas ou anos). Assim, o estudo dos ciclos nictemerais permite avaliar o comportamento das comunidades em função de eventos fisiológicos (renovação da biomassa) e migração, principalmente (GAVILÁN DIAZ, 1990).

De acordo com HUSZAR *et al* (1987), muitos são os fatores bióticos e abióticos que influem nas distribuições horizontal, vertical e temporal do fitoplâncton em ecossistemas aquáticos continentais, sendo difícil sua interpretação conjunta. Dentre as inúmeras variáveis estudadas, é de fundamental importância o conhecimento do regime térmico e suas implicações, principalmente em lagos tropicais. TALLING (1957) encontrou em lagos na África uma marcada estratificação térmica durante o dia e isotermya durante a noite, acompanhada de variação vertical do fitoplâncton. Em outro lago, também na África, GANF (1974) e GANF & HORNE (1975) encontraram diferentes fases do ciclo térmico, sempre com uma estreita relação com o fitoplâncton. BARBOSA (1981), num estudo realizado em um lago monomítico no

Parque Estadual do Vale do Rio Doce - MG - Brasil, encontrou variações térmicas predominantemente no epilímnio, enquanto SIMONATO (1986), na Represa do Lobo - SP - Brasil, observou um gradiente superficial durante o dia, deslocando-se para baixo da coluna à noite.

O aquecimento na superfície do corpo d'água produz diferenças de densidade, provocando reorganizações periódicas das variáveis ao longo da coluna d'água. Isso afeta diretamente a comunidade fitoplanctônica, seja na distribuição vertical de biomassa, na diversidade e nas alterações resultantes dos processos fisiológicos. Por outro lado, a circulação vertical induzida pelo vento se superpõe às diferenças causadas pelo aquecimento, ocasionando um processo de turbulência com marcantes implicações ecológicas e biológicas (GAVILÁN DIAZ, 1990).

Um outro fator importante nos ciclos nictemerais, principalmente no que diz respeito à distribuição do fitoplâncton e à concentração de clorofila, é a luz. Variações nictemerais na intensidade luminosa estimulam a migração do fitoplâncton, notadamente de flagelados, como foi observado por TILZER (1973), estudando um lago de altitude. Em regiões tropicais, onde a intensidade luminosa alcança taxas elevadas, deve se levar em conta o fenômeno da fotoinibição (REYNOLDS, 1984; DEBERDT, 1997). De uma forma geral, a complexidade na análise dos padrões dos processos fisiológicos da comunidade fitoplanctônica, está relacionada com uma série de fatores endógenos e exógenos, onde variações diárias de luminosidade provocam respostas em termos de taxas fotossintéticas e respiratórias, absorção de nutrientes, liberação de enzimas e excretas, bem como reprodução e outros processos fisiológicos (REYNOLDS, 1984).

Quando se trabalha com a comunidade fitoplanctônica de um reservatório, os aspectos do procedimento operacional para usos múltiplos são fundamentais. Os reservatórios construídos para produção de energia elétrica exigem um sistema operacional que produz várias mudanças nos mecanismos de funcionamento durante o ano. Numa represa, a frequência de chuva e o volume de precipitação regem sua operação: na estação chuvosa, após alcançar o limite de estocagem, o vertedouro passa a controlar o volume da represa, aumentando o fluxo e

conseqüentemente diminuindo o tempo de residência da água, de nutrientes e de organismos dentro do sistema (CALIJURI & TUNDISI, 1990).

Alguns trabalhos que abordam as variações nictemerais de parâmetros físicos, químicos e biológicos são encontrados na literatura mundial, tanto para as regiões temperadas (TILZER, 1973, 1984; ARVOLA, 1984; ARVOLA *et al*, 1987), como para ambientes sub-tropicais e tropicais (TALLING, 1957; ICHIMURA, 1960; VERMA, 1967; GANF, 1974; EGBORGE, 1979). Para ambientes continentais brasileiros, ainda são poucas as pesquisas realizadas, principalmente em se tratando de reservatórios eutróficos. ESTEVES *et al.* (1988) avaliaram as variações físico-químicas em duas lagoas costeiras fluminenses. BARBOSA (1981) e HUSZAR *et al* (1987) realizaram estudos com a produção primária e a estrutura da comunidade fitoplanctônica em lagoas da região Sudeste do Brasil. SIMONATO (1986) realizou um estudo na represa do Lobo, onde foi verificada a forte influência do vento sobre este sistema e GAVILÁN DIAZ (1990) constatou que a estratificação hidráulica provocada pela tomada d'água para as turbinas foi um fator fundamental na dinâmica do reservatório de Barra Bonita.

A realização de trabalhos em reservatórios com alto grau de degradação, como no caso do reservatório de Salto Grande, é fundamental para o aprimoramento de metodologias que visam o entendimento da dinâmica das variáveis ambientais, bem como o um manejo integrado desse tipo de ecossistema.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo verificar as mudanças ocorridas na coluna d'água ao longo do ciclo nictemeral, em função das principais variáveis climatológicas e hidrológicas, em duas épocas do ano (estação chuvosa e seca) no Reservatório de Salto Grande (Americana -SP).

Para que este objetivo fosse cumprido, as seguintes metas foram realizadas:

a) Determinação das variáveis climatológicas (radiação solar, vento, precipitação e temperatura do ar), hidráulicos (tempo médio de residência da água no reservatório e vazões vertida e turbinada) e hidrológicos, dentre eles os físicos (radiação solar subaquática, transparência da água e temperatura da água), os químicos (oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, formas de carbono, condutividade, material em suspensão e nutrientes) e os biológicos (clorofila α , feofitina e comunidade fitoplanctônica), ao longo do ciclo nictemeral em duas épocas do ano.

b) Determinação da composição quantitativa e qualitativa e a distribuição da comunidade fitoplanctônica na coluna d'água no período de 24 horas, em duas épocas do ano (verão e inverno).

c) Determinação das interrelações entre as variáveis climatológicas, o sistema operacional da barragem e as variáveis hidrológicas, ao longo do ciclo nictemeral, nas duas épocas do ano.

2. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DE ESTUDO

O reservatório de Salto Grande pertence à sub-bacia do rio Atibaia que faz parte da bacia do rio Piracicaba, localizada na porção centro leste do estado de São Paulo, uma das regiões de maior crescimento econômico do país. A barragem represa o rio Atibaia a aproximadamente 700 metros a montante da confluência deste com o rio Jaguari, ambos formadores do rio Piracicaba.

A represa de Salto Grande começou a ser construída em 1940 e foi concluída em 1949, entrando em funcionamento em 1950, com a finalidade de gerar energia elétrica. Atualmente, tem como principal função o aproveitamento hidroelétrico pela USAM (Usina Hidroelétrica de Americana), além de servir também à irrigação, piscicultura, recreação e abastecimento. Está situada no município de Americana, estado de São Paulo, a 22°44' de latitude sul e 44°19' de longitude oeste, numa altitude de 530 m (figura 1).

A bacia de contribuição dessa represa tem área da ordem de 2770 km², sendo seu maior afluente o rio Atibaia, com vazão média da ordem de 38,74 m³/s. A área inundada mínima é de 10,55 km² e a área máxima de inundação é de 13,25 km², com profundidade média da ordem de 8,00 m atingindo o valor máximo de 19,80 m, aproximadamente (tabela 1).

O reservatório tem como única drenagem significativa a alimentá-lo, o rio Atibaia. Além desse rio, apenas pequenos córregos deságuam no reservatório, sendo que o maior deles possui aproximadamente 5 km de extensão. Essas drenagens são mais extensas na margem esquerda do reservatório, pois na margem direita o interflúvio é bastante estreito devido ao fato do rio Jaguari estar muito próximo (TEIXEIRA, 1997).

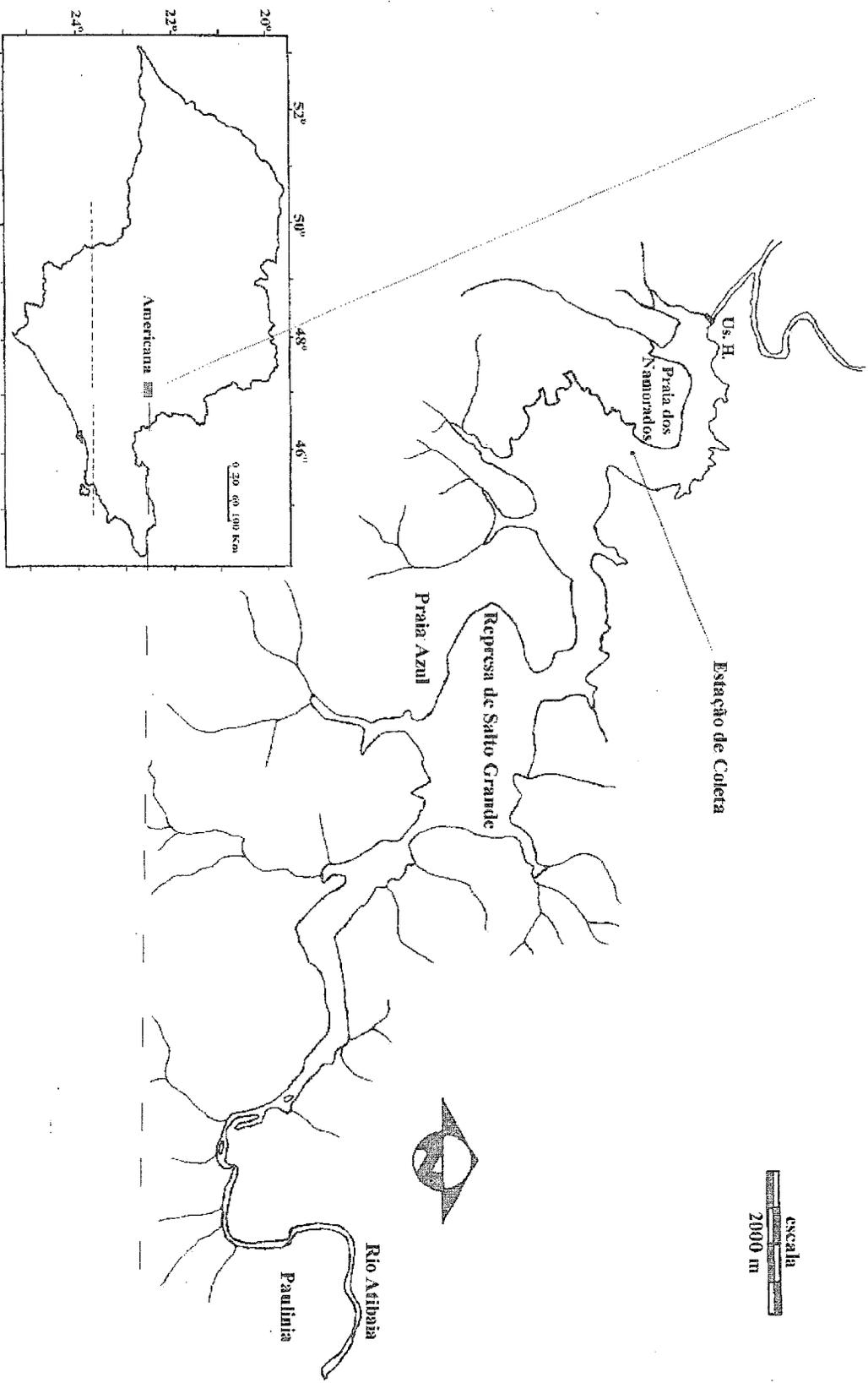


Figura 1: Localização da estação de coleta no reservatório de Salto Grande (Americana -SP).

Tabela 1: Informações sobre o Reservatório de Salto Grande.

01.	Rio	Atibaia
02.	Município	Americana
03.	Estado	São Paulo
04.	Início de Funcionamento	1.949
05.	Área de Drenagem	2.770 km ²
06.	Área Mínima Inundada	10,55 km ²
07.	Área Máxima Inundada	13,80 km ²
08.	Perímetro do Reservatório	64 km
09.	Comprimento do Reservatório	17 km
10.	Volume Máximo do Reservatório	10,6x10 ⁷ m ³
11.	Descarga Máxima Vertida	936 m ³ /s
12.	Capacidade Efetiva	33,6 Mw
13.	Produtividade Média	0,254 Mw/m ³ /s
14.	Geração Média	9,0 Mw
15.	Tomada D'água	Barragem (porção inferior)
16.	Tempo de residência (1996)	15,7 ▶ TR ▶ 83,1 (dias)

Fonte: CPFL – Usina Hidrelétrica de Salto Grande

2.1. CLIMA

De acordo com a classificação internacional de KÖPPEN, a sub-bacia do rio Atibaia apresenta no trecho superior, formado pelas micro-bacias do rio Atibainha e do rio Cachoeira, um clima tipo CFb, isto é, temperado brando, sem estação seca e com verão suave, e nos trechos médio e inferior, um clima do tipo Cwa, temperado brando com inverno seco e verão quente.

A temperatura média anual varia de 18 °C no trecho superior da sub-bacia a 20 °C, no trecho inferior. Os maiores valores de precipitação são encontrados no trecho superior (1500 mm/ano) e os menores, no trecho inferior (1300 mm/ano), sendo os meses de dezembro a fevereiro os mais chuvosos e os meses de junho a agosto, os mais secos (COELHO, 1993).

2.2. GEOMORFOLOGIA

O reservatório de Salto Grande situa-se em uma área da Depressão Periférica Paulista dominada por colinas amplas, com interflúvios de área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, e vertentes com perfis retilíneos a convexos. As declividades são baixas (<15%) e as amplitudes locais são inferiores a 100 metros. Às margens do reservatório, as colinas têm seus topos nivelados em torno de 600 metros. Como o nível d'água do mesmo se encontra próximo à cota de 532 metros, há um desnível aproximado de 70 metros entre o topo das colinas e a lâmina d'água (COELHO, 1993).

2.3. GEOLOGIA

A sub-bacia do rio Atibaia tem seu limite superior nas rochas cristalinas do Planalto Atlântico e em seu baixo curso atravessam rochas sedimentares paleozóicas da bacia do rio Paraná, além de alguns corpos de rochas intrusivas básicas de idade juro-cretácica. As unidades lito-estratigráficas do Planalto Atlântico cortadas pela sub-bacia são: Complexo Paraíba do Sul, Complexo Amparo, Grupo São Roque, Suite Granítica Sintectônica Fácies Cantareira e Suites Graníticas Indiferenciadas. Em seu trecho final, até o reservatório de Salto Grande, o rio Atibaia percorre rochas da borda leste da bacia do rio Paraná. Aí afloram rochas paleozóicas da Formação Itararé, rochas extrusivas básicas e sedimentos cenozóicos indiferenciados (SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1994).

2.4. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A qualidade da água do rio Atibaia apresenta-se num processo crescente de deterioração, causado, sobretudo, pela alta densidade urbana e industrial principalmente em seu trecho inferior. Na foz do ribeirão Anhumas, o rio Atibaia recebe parte dos esgotos domésticos e industriais da cidade de Campinas. Mais a jusante, o rio recebe os despejos do Polo Petroquímico de Paulínia, que apresenta uma alta concentração de indústrias, e também recebe os esgotos domésticos e industriais da cidade de Paulínia.

As vertentes da margem direita do reservatório de Salto Grande encontram-se tomadas por canaviais em sua quase totalidade, restando manchas restritas de capoeira e mata natural, que aparecem como matas ciliares nas pequenas drenagens e nas margens do reservatório. Já na margem esquerda, a ocupação do solo é mais diversificada. A área dessa margem encontra-se toda ocupada por chácaras de veraneio, clubes e áreas de lazer públicas, como a praia Azul e a dos Namorados, totalmente urbanizadas, com densidade populacional relativamente elevada, e consideradas como bairros da cidade de Americana. As poucas áreas livres das margens são tomadas por pastagens, capoeiras e reduzidíssimas manchas de mata natural. Em áreas mais afastadas das margens existem plantações de café e cana, de pequenas dimensões (COELHO, 1993).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Um dos aspectos mais importantes de um trabalho científico é a escolha dos métodos de investigação. Para que os trabalhos possibilitem avanços nos estudos limnológicos e permitam realizar predições sobre o comportamento ecológico dos lagos e a estrutura das comunidades de águas continentais em função de diversos tipos de impactos, é necessário que exista uma padronização metodológica (CALIJURI, 1985).

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada nas recomendações do manual do IBP (GOLTERMAN et al., 1978; VOLLENWEIDER, 1974), com algumas modificações para a análise química (MACKERETH et al., 1978; APHA, 1985; STRICKLAND & PARSONS, 1960), tendo sido aplicada com grande sucesso em diversos ecossistemas aquáticos do Brasil.

As coletas foram realizadas em duas épocas distintas do ano (verão/1996 e inverno/1996), culminando com os períodos de maior e menor precipitação, em intervalos regulares de 3 em 3 horas, ao longo de 24 horas. Os horários escolhidos foram: 8h, 11h, 14h, 17h, 20h, 23h, 2h, 5h e 8h. A estação de coleta definida para este estudo situa-se a 22°43' de latitude sul e 47°16' de longitude oeste (figura 1). A escolha do ponto foi feita a partir de coletas preliminares, levando-se em conta as características ambientais e operacionais (acesso à estação).

3.2. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

3.2.1. Radiação Solar

As medidas de radiação solar incidente foram feitas às 8, 11, 14 e 17 horas, na superfície do corpo d'água. Para isso, foi utilizado um "Quanta-Meter" Ly-Cor entre 400-700 nm (i.e. no visível) de sensibilidade.

Os valores de insolação (horas/dia) foram obtidos junto ao Instituto Agronômico de Campinas (Campinas/SP), coletados na estação climatológica do Município de Limeira.

3.2.2. Vento

As medidas horárias de velocidade média do vento no reservatório de Salto Grande foram obtidas através de um anemômetro totalizador Windwed da R. Fuess, instalado a 2,5 m do solo, com valores em quilômetros por hora.

As médias mensais de velocidade do vento foram obtidas junto ao Instituto Agronômico de Campinas (Campinas/SP), coletadas na estação climatológica do Município de Limeira.

3.2.3. Precipitação Total

Os valores diários de precipitação total foram obtidos na Usina da CPFL (1994), no reservatório de Salto Grande e os valores mensais de precipitação total foram obtidos junto ao Instituto Agronômico de Campinas (Campinas/SP), coletadas na estação climatológica do município de Limeira.

3.2.4. Temperatura do ar

Medidas da temperatura média do ar foram obtidas na superfície da água, com um termistor Toho Dentan com acuracidade de 0,1°C.

3.3. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

As profundidades de coleta de água, para as análises químicas e biológicas, foram definidas com base nos perfis térmico e de oxigênio dissolvido, determinados a partir das medições realizadas com o equipamento HORIBA U-10.

As amostras de água foram coletadas com garrafa de "Van Dorn", de PVC, com 5 litros de capacidade. O material coletado foi transportado para o laboratório em galões de plástico tendo sido imediatamente analisado e fixado.

3.3.1. Tempo Médio de Residência da Água

Valores mensais do tempo médio de residência da água para o Reservatório de Salto Grande foram calculados para o período de julho de 1995 à julho de 1996. Os valores diários foram calculados baseados na fórmula:

$$\overline{TR} = \frac{V}{86400Q}$$

Onde:

TR = tempo médio de residência (dias)

V = volume máximo operacional do Reservatório

Q = vazão defluente média do período (m³/s)

3.3.2. Radiação Solar Subaquática

A radiação solar subaquática foi determinada com um "Quanta-Meter" Ly-Cor entre 400-700 nm (i.e. na faixa do visível) de sensibilidade (Lambda Instruments). As medidas foram feitas a cada 0,25 metros, em $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$, o que permitiu obter um perfil completo em termos de quanta de energia, no interior da massa d'água.

3.3.3. Transparência da Água - Coeficiente de Extinção da Luz - Coeficiente de Atenuação do Contraste Vertical

O coeficiente de extinção da luz foi obtido a partir da regressão linear dos valores de profundidade pelo logaritmo neperiano da radiação fotossinteticamente ativa.

O coeficiente de atenuação do contraste vertical foi calculado a partir de medidas efetuadas com o "Disco de Secchi" de 0,30 m de diâmetro, pintado de branco, e suspenso por uma corda previamente marcada de 10 em 10 centímetros.

De acordo com KIRK (1986), as profundidades nas quais o disco desapareceu, foram transformadas em coeficiente de atenuação do contraste vertical, através da fórmula:

$$K = \frac{9}{Z_{\text{DS}}}$$

Onde:

K = coeficiente de atenuação do contraste vertical

Z_{DS} = profundidade na qual o disco desaparece, em metros

3.3.4. Temperatura da Água

As leituras de temperatura, na coluna d'água, foram obtidas de 25 em 25 centímetros, com um termistor Toho Dentan com acuracidade de 0,1°C.

3.3.5. Oxigênio Dissolvido

A concentração de oxigênio dissolvido na água foi determinada a cada 50 centímetros, através do método eletrométrico, com medidas diretas em mg/l. O equipamento utilizado para essas medições foi o HORIBA U-10.

3.3.6. pH, Alcalinidade e Formas de Carbono

A água coletada nas profundidades pré-estabelecidas foi acondicionada em frascos âmbar (250 ml), a fim de evitar a formação de bolhas e impedir a exposição a luz. Essas amostras foram conduzidas imediatamente ao laboratório, onde foram realizadas as medidas a partir de sub-amostras de 100 ml.

Foram utilizados para as medidas de pH e alcalinidade, um pHmetro e uma bureta manual de pistão da marca Metrohm, segundo as técnicas descritas em GOLTERMAN & CLYMO (1969). A partir dos dados, foram calculados os valores de CO₂ total, HCO₃⁻, CO₂ livre e CO₃²⁻ segundo a metodologia descrita em MACKERETH et al. (1978).

Também foram realizadas medidas de pH a cada 50 centímetros na coluna, utilizando-se o equipamento U-10 da HORIBA.

3.3.7. Condutividade Elétrica

As medições de condutividade foram obtidas com um condutivímetro Hidrocean, de leitura direta em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e com o equipamento U-10 da HORIBA, de leitura direta na coluna d'água em mS/cm .

Assim como para o pH (através do pHmetro) e alcalinidade, as medidas com o condutivímetro foram realizadas no laboratório, logo após a coleta das amostras.

3.3.8. Material em Suspensão

O material em suspensão total foi determinado através da técnica gravimétrica, descrita em TEIXEIRA et al. (1965). A diferença de peso dos filtros totalmente secos, antes e após a filtração, forneceu a quantidade de material em suspensão na água, em mg/l .

3.3.9. Nutrientes

As amostras para as análises de nutrientes totais, após a coleta, foram colocadas em frascos de polietileno e congeladas. As amostras para adeterminação dos nutrientes dissolvidos foram filtradas à vácuo, em filtros de fibra de vidro, AP 40 (Millipore) antes de serem colocadas nos frascos de polietileno. Os nutrientes determinados no laboratório foram os seguintes:

3.3.9.a. Nutrientes inorgânicos dissolvidos

O Nitrato resulta da oxidação enzimática do amônio, tendo o nitrito como intermediário. No processo fotossintético, o amônio é a forma diretamente

assimilável pelo organismo, enquanto que o nitrato deve passar, obrigatoriamente, à forma de amônio dentro da célula (CARMOUZE, 1994). Segundo MACKERETH et al. (1978), para a determinação, o nitrato é quantitativamente reduzido a nitrito por cádmio amalgamado. O nitrito assim produzido entra então em uma reação química chamada diajotação da sulfanilamida. Em seguida, esta reage à N-1-naftil etilenodiamina, em reação chamada acoplamento, que fornece um corante azóico de cor magenta. A quantidade de nitrito original presente foi descontada do total obtido. Os valores são expressos em $\mu\text{gN/l}$.

O nitrito aparece nas águas naturais como um composto intermediário, resultante da redução bacteriana do nitrato, ou mais comumente da oxidação do amônio (CARMOUZE, 1994). O método utilizado na determinação do nitrito, segundo MACKERETH et al. (1978), baseia-se na reação em meio ácido, com sulfanilamida e bicloridrato de N-1-naftil etilenodiamina, formando um composto colorido róseo, o qual é determinado espectrofotometricamente a 543 nm, sendo o resultado normalmente expresso em $\mu\text{gN/l}$.

O nitrogênio amoniacal dissolvido na água encontra-se sob forma ionizada, NH_4^+ , e não ionizada, NH_3 . A primeira forma de nitrogênio inorgânico liberado pela respiração é o amônio (CARMOUZE, 1994). Segundo a metodologia descrita em KOROLEFF (1976), o radical amônio reage com hipoclorito em solução moderadamente alcalina (pH entre 8,0 a 11,5), formando monocloramina. O produto formado, em presença de fenol e um excesso de hipoclorito catalisado por íons nitroprussiato, forma o azul de indofenol, o qual obedece a lei de Beer com concentrações baixas, inferiores a $500 \mu\text{g de N-NH}_3 \cdot \text{l}^{-1}$. A leitura é feita espectrofotometricamente a 630 nm. Os valores são expressos em $\mu\text{gN/l}$.

O fósforo total dissolvido e fosfato inorgânico foram determinados segundo metodologia descrita em STRICKLAND & PARSONS (1960). O propósito da digestão com persulfato é transformar os esteres orgânicos do fósforo em fosfato. Em solução ácida, o íon ortofosfato (PO_4^-) forma um complexo amarelo com molibdato, o qual é reduzido a um complexo azul pelo ácido ascórbico. Íons antimônio são utilizados para modificar o composto colorido, dando-lhe maior intensidade. A

sensibilidade deste método pode ser aumentada extraindo o complexo azul em um solvente orgânico. A leitura é feita espectrofotometricamente a 882 nm. Os valores são expressos em $\mu\text{gP/l}$.

As formas dissolvidas de sílica predominante nas águas naturais são o ácido ortossilícico, SiO_4H_4 e sua base conjugada, SiO_4H_3^- . O princípio do método da determinação do silicato reativo, segundo GOLTERMAN et al. (1978), consiste na formação de ácido sílico-molibdico (coloração amarela), pela adição de molibdato de sódio em meio ácido. Este composto, quando posteriormente reduzido ao azul heteropolar de molibdênio, pelo cloreto estanoso, torna o método muito mais sensível. A leitura é feita espectrofotometricamente a 815 nm. Os valores são expressos em mgSi/l .

3.3.9.b. Nutrientes totais

O nitrogênio orgânico total foi determinado pelo método da digestão ácida de Kjeldahl, baseada na degradação da matéria orgânica em meio fortemente ácido, sob temperatura elevada, formando o íon amônio (GOLTERMAN et al., 1978), no equipamento BÜCHI, modelo 322 (unidade de destilação), 435 (unidade de digestão), 343 (unidade de controle) e 412 (unidade depuradora). Os resultados são expressos em $\mu\text{gN/l}$.

O fósforo total é determinado sob a forma de ortofosfato, após digestão do material orgânico. O método utilizado foi a digestão por via úmida, utilizando o persulfato de potássio, seguido pelo método do azul fosfo-molibdico que usa o ácido ascórbico (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1985). Os resultados foram expressos em $\mu\text{gP/l}$.

3.3.9.c. Razão N/P

Para determinação da razão N/P, foram somadas as concentrações de massas atômicas de nitrogênio presente no nitrato, no nitrito e no nitrogênio amoniacal mais a parcela orgânica de nitrogênio total e posteriormente, divididas pela concentração de massa atômica de fósforo total. Além dos nutrientes prontamente disponíveis para a comunidade fitoplanctônica, foram consideradas as parcelas orgânicas, pois o acelerado metabolismo dos organismos planctônicos faz com que esses nutrientes possam ser rapidamente mineralizados, tornando-se novamente disponíveis.

3.4. VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

3.4.1. Clorofila *a* e Feofitina

Os teores de clorofila *a* e feofitina foram determinados segundo a técnica descrita em uma norma holandesa (Nederlandse Norm - NEN 6520,1981), baseada em NUSCH & PALME (1975), MOED & HALLEGRAEFF (1978) e NUSCH (1980). Foram determinadas as concentrações totais e as concentrações em partículas menores que 20 micrômetros, para o que, parte da amostra foi filtrada em rede de 20 micrômetros de porosidade.

Após a coleta, as amostras foram levadas ao laboratório e filtradas à vácuo, em filtros de fibra de vidro AP 40 (Millipore). O volume filtrado variou de 400 a 500 ml, dependendo da amostra. Os filtros, após a filtragem, foram acondicionados em envelopes de papel e colocados em frascos escuros, com sílica gel; foram conservados a baixa temperatura (-20°C).

A extração do pigmento foi feita utilizando-se como solvente, um volume de 10 ml de etanol 80% a quente (75°C), sob baixa iluminação. Para finalizar essa etapa, foi provocado um choque térmico em água fria.

As absorvâncias das amostras foram lidas no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda 665 nm e 750 nm. Após essa primeira leitura, as amostras foram acidificadas com HCl 0,4N (~ 0,05 ml) até atingir um pH próximo de 2,7. Foi realizada nova leitura.

Para o cálculo foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Clorofila } a = 27,9 \cdot (E_b - E_a) \cdot V$$

$$\text{Feofitina} = 27,9 \cdot [(1,7 E_a) - E_b] \cdot V$$

Onde:

E_b = diferença das leituras entre 665nm - 750nm antes da acidificação

E_a = diferença das leituras entre 665nm - 750nm depois da acidificação

$V = \frac{\text{volume de solvente usado para extrair a amostra, em ml (10 ml)}}{\text{volume de água filtrada, em l} \cdot \text{caminho óptico da cubeta do espectrofotômetro, em cm (1cm)}}$

Os resultados são expressos em $\mu\text{g/l}$.

3.4.2. Comunidade Fitoplanctônica

3.4.2.a. Análise Qualitativa

Para a análise qualitativa, as amostras de água foram coletadas com a garrafa de "Van Dorn" e com uma rede com malha de 20 micrômetros, posteriormente acondicionadas em frascos de vidro e fixadas com formol 4%, para posterior exame da composição do fitoplâncton.

A identificação dos organismos fitoplanctônicos foi realizada com um microscópio binocular, com o auxílio de literatura especializada (BOURRELLY, P., 1972, 1981 e 1985; CASTRO, A. A. J. et al., 1991; CASTRO, A. A. J., 1993; Ettl, H., 1978; GEITLER, L., 1932; KOMÁREK, J., 1991; KOMÁREK, J & AGNOSTIDIS, K., 1989; KOMÁREK, J. & FOTT, B., 1983; KOMÁRKOVÁ-

LEGNEROVÁ, J. & CRONBERG, G., 1992; KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & CRONBERG, G., 1994; KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J. & ELORANTA, P., 1992; NOGUEIRA, I. de S., 1991; POCHMANN, A., 1942; PRESCOTT, G. W. et al. (1982); TORGAN, L. C., 1997; XAVIER, M. B., 1994 e XAVIER, M. B., 1996) e consultas aos especialistas do Instituto de Botânica, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

3.4.2.b. Análise Quantitativa

Para a análise quantitativa foram coletadas amostras utilizando a garrafa de "Van Dorn", posteriormente acondicionadas em frascos de vidro e fixadas com lugol (10 g de iodo, 20 g de KI, 200 ml de água destilada com 20 g de ácido acético). Todas as amostras foram guardadas em local escuro até o momento da identificação e contagem.

A análise quantitativa foi feita utilizando-se o método descrito em UTHERMÖHL (1958), que consiste na distribuição ao acaso dos indivíduos no fundo das câmaras de sedimentação. Foram utilizadas câmaras com um volume de 10 ml. O tempo de sedimentação, em horas foi, no mínimo, três vezes a altura da câmara, em cm (WETZEL & LIKENS, 1991).

O número de campos contados foi determinado através de uma curva de estabilização, que foi obtida plotando-se num gráfico o número de campos contados pelo aparecimento de espécies novas. No ponto em que a curva se estabilizou, obteve-se o número de campos necessários para amostrar, inclusive, as espécies mais raras.

Para a contagem, foi utilizado um microscópio invertido ZEISS, com aumento de 400x.

Densidade Fitoplanctônica

O número de organismos por litro foi calculado a partir dos resultados obtidos da fórmula (WETZEL & LIKENS, 1991):

$$\text{No./ml} = \frac{C \times A_t}{A_f \times F \times V}$$

Onde:

No./ml = número de organismos por mililitro = densidade

C = número de organismos contados

A_t = área total do fundo da câmara de sedimentação, em mm²

A_f = área de um campo de contagem, em mm²

F = número de campos contados

V = volume da amostra sedimentada, em ml

Porcentagem de Contribuição das Classes

Para análise da porcentagem de contribuição das classes, foi determinada a densidade de cada classe e a densidade total em cada amostra contada. Depois, estes valores foram aplicados na seguinte fórmula:

$$\text{PCC} = \frac{D_c}{D_t} \times 100$$

Onde:

PCC = porcentagem de contribuição de cada classe

D_c = densidade de cada classe

D_t = densidade total

Abundância Relativa

A abundância relativa foi estimada considerando-se o número de indivíduos de cada táxon em relação ao total de indivíduos. Os grupos de abundância entre 50 e 100% foram considerados dominantes, entre 30 e 49% abundantes, entre 10 e 29% comuns, entre 1 e 9% ocasionais e menores que 1% raros (McCLOUGH & JACKSON, 1985).

Número de Espécies Encontradas

Considerou-se como número de espécies encontradas, o número de espécies que apareceu em cada amostra contada.

Índices de Diversidade, Equidade, Riqueza e Dominância

Embora existam vários métodos para estimar a biodiversidade, a função de Shannon-Weaver (SHANNON, 1948) é a mais aplicada. Sendo assim, utilizou-se a seguinte fórmula para calcular o Índice de Diversidade de Shannon:

$$H'' = - \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

Onde:

H'' = índice de diversidade de Shannon

S = número de espécies na amostra

n_i = números de indivíduos da espécie i

$N = - \sum_{i=1}^s n_i$ = número total de indivíduos

Segundo PIELOU (1975), a diversidade máxima pode ser encontrada quando todas as espécies estiverem igualmente distribuídas. Neste caso, o índice de diversidade pode ser considerado como uma medida da equidade, a qual é expressa como a razão entre a diversidade real e a diversidade hipotética (distribuição uniforme das espécies), de acordo com a fórmula abaixo:

$$E = \frac{H''}{H''_{\max}}$$

ou como porcentagem:

$$E\% = 100 \times \frac{H''}{H''_{\max}}$$

Onde:

E = equidade

H'' = índice de diversidade de Shannon

H''_{max} = log₂ S = número de diversidade específica máxima teórica, resultante da distribuição uniforme de todas as espécies na amostra.

Os valores de equidade variam entre 0 e 1, sendo que equidade igual a 1 representa a condição em que as espécies estão igualmente distribuídas. A equidade representa de que forma os indivíduos estão distribuídos entre os táxons, e a riqueza de uma amostra equivale ao número total de táxons nela presente (POOLE, 1974).

O índice de riqueza e o índice de dominância foram calculados de acordo com as fórmulas propostas por SIMPSON (1949) apud ODUM (1988):

$$d = \frac{S-1}{\log N}$$

$$c = \sum (n_i / N)^2$$

Onde:

d = índice de riqueza

c = índice de dominância

4. RESULTADOS

4.1. VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS

4.1.1. Radiação Solar

A radiação solar média obtida na superfície da água foi inferior na variação de verão, com valores entre $125 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (8 horas do dia 10/01/96) e $1200 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (14 horas do dia 09/01/96), se comparada à variação de inverno, com valores entre $130 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (8 horas do dia 03/07/96) e $1350 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (14 horas do dia 03/07/96) (tabela 2). O período de insolação no inverno foi aproximadamente 3 vezes maior que no verão (tabela 3).

4.1.2. Vento

A velocidade média do vento foi inferior na variação de verão ($1,62 \text{ km/h}$) se comparada à variação de inverno ($2,3 \text{ km/h}$) (tabela 2). Em janeiro de 1996, a velocidade média do vento foi de $7,92 \text{ km/h}$ e em julho deste mesmo ano, foi de $2,7 \text{ km/h}$ (tabela 4).

4.1.3. Precipitação

Na variação de verão, a precipitação mínima foi de $3,4 \text{ mm}$ no dia 10/01/96 e a máxima de $23,2 \text{ mm}$ no dia 09/01/96, data em que foram realizadas as coletas. A precipitação foi nula na variação de inverno (tabela 3). Em janeiro de 1996 choveu $366,5 \text{ mm}$, enquanto em julho do mesmo ano choveu apenas $2,3 \text{ mm}$ (tabela 4), ficando assim bem diferenciados os períodos de chuva e seca.

4.1.4. Temperatura do Ar

A temperatura média do ar obtida na superfície do corpo d'água foi maior na variação de verão, com uma média de 22,3 °C, sendo a mínima de 21,2 °C às 5 horas do dia 10/01/96 e a máxima de 24,3 °C às 14 horas do dia 09/01/96. Na variação de inverno, a média dos dias de coleta foi de 17,5 °C, sendo a mínima de 14,0 °C às 8 horas do dia 04/07/96 e a máxima de 22,8 °C às 14 horas do dia 03/07/96 (tabela 2). A temperatura média do mês de janeiro de 1996 foi de 24,2 °C e a do mês de julho de 1996 foi de 16,6 °C (tabela 4).

4.2. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

4.2.1. Tempo Médio de Residência da Água

O tempo de residência da água no reservatório de Salto Grande foi 3,6 vezes maior no inverno, que no verão. A média mensal do tempo de residência da água no mês de janeiro de 1996 foi de 20,82 dias e a média mensal do tempo de residência da água no mês de julho de 1996 foi de 75,42 dias (tabela 4).

O tempo médio de residência da água no reservatório foi aproximadamente 7 vezes menor durante a variação de verão (9,57 dias) comparado à variação de inverno (65,61 dias). O volume do reservatório foi menor durante a variação de verão ($101,38 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) comparado à variação de inverno ($104,18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$). Como já era esperado, a vazão do reservatório na variação de verão foi aproximadamente 5 vezes maior ($2943 \text{ m}^3/\text{s}$) que na variação de inverno ($441 \text{ m}^3/\text{s}$) (tabela 5).

Tabela 2: Variáveis climatológicas, no Reservatório de Salto Grande, no período de 09 a 10 de janeiro de 1996 e 03 a 04 de julho de 1996.

Datas	Radiação Solar ($\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$)	Vento (km/h)	Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$)
VERÃO (1996)			
08 HORAS	155	1,23	22,2
11 HORAS	840	1,37	22,6
14 HORAS	1200	1,63	24,3
17 HORAS	250	2,41	22,6
20 HORAS	*	1,94	22,7
23 HORAS	*	1,32	21,7
02 HORAS	*	1,44	21,5
05 HORAS	*	1,53	21,2
08 HORAS	125	1,72	22,3
INVERNO (1996)			
08 HORAS	130	2,81	17,5
11 HORAS	700	2,54	18,0
14 HORAS	1350	4,16	22,8
17 HORAS	600	3,92	22,6
20 HORAS	*	2,32	17,8
23 HORAS	*	1,64	15,7
02 HORAS	*	1,63	15,5
05 HORAS	*	0,56	14,2
08 HORAS	*	1,14	14,0

*Dados ausentes devido à inexistência de radiação solar no período.

Tabela 3: Variações diárias da precipitação, da insolação e da temperatura média no período de 08 a 11 de janeiro de 1996 e 02 a 05 de julho de 1996.

Datas	Precipitação (mm)	Insolação (horas/dia)	Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$)
VERÃO (1996)			
08 DE JANEIRO	36,8	0,5	22,8
09 DE JANEIRO	23,2	0,0	22,5
10 DE JANEIRO	3,4	3,1	22,0
11 DE JANEIRO	40,0	0,2	24,0
INVERNO (1996)			
02 DE JULHO	0,0	8,0	17,3
03 DE JULHO	0,0	2,9	21,1
04 DE JULHO	0,1	6,3	17,9
05 DE JULHO	0,0	-	16,6

Tabela 4: Precipitação mensal e horas de insolação, velocidade média do vento, temperatura do ar e tempo médio de residência da água (TR), no período de julho de 1995 a agosto de 1996.

Datas	Precipitação (mm)	Insolação (horas/dia)	Vento (km/h)	Temperatura do Ar (°C)	TR (dias)
ANO DE 1995					
JULHO	51,3	5,2	8,28	19,6	46,18
AGOSTO	1,3	7,1	11,52	21,8	69,30
SETEMBRO	48,7	4,2	15,12	21,5	87,11
OUTUBRO	165,7	3,1	10,8	21,0	58,66
NOVEMBRO	138,6	4,2	11,88	22,1	62,32
DEZEMBRO	226,6	2,8	10,8	23,1	57,15
ANO DE 1996					
JANEIRO	366,5	2,1	7,92	24,2	20,82
FEVEREIRO	277,6	2,3	10,44	24,5	26,40
MARÇO	200,7	2,4	7,92	23,6	15,71
ABRIL	61,7	6,5	10,44	21,9	36,83
MAIO	21,2	4,6	2,8	18,2	63,49
JUNHO	38,9	4,5	2,7	17,7	83,70
JULHO	2,3	4,6	2,7	16,6	75,42
AGOSTO	26,7	8,7	2,6	20,2	83,12

Tabela 5: Variações diárias do volume do reservatório, da vazão e do tempo médio de residência da água (TR) no período de 08 a 11 de janeiro de 1996 e 02 a 05 de julho de 1996.

Datas	Volume (10 ⁶ m ³)	Vazão (m ³ /s)	TR (dias)
VERÃO (1996)			
08 DE JANEIRO	100,19	2899,46	9,60
09 DE JANEIRO	101,37	2930,40	9,61
10 DE JANEIRO	102,42	2955,71	9,63
11 DE JANEIRO	101,55	2987,05	9,44
INVERNO (1996)			
02 DE JULHO	104,17	440,05	65,76
03 DE JULHO	104,23	439,96	65,81
04 DE JULHO	104,23	443,96	65,22
05 DE JULHO	104,11	440,29	65,68

4.2.2. Radiação Solar Subaquática

Na água, a radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) a zero metros no verão, variou de $54 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (10/01/96 às 8 h) a $500 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (09/01/96 às 11 h e 14 h), com o limite da zona eufótica predominantemente a 1,00 metro de profundidade, variando apenas às 11 horas do dia 09/01/96, passando a 0,75 metros. Na variação de inverno, a R.F.A. a zero metros variou de $49 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (03/07/96 às 8 h) a $560 \mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ (03/07/96 às 14 h), com o limite da zona eufótica variando entre 2,25 metros de profundidade (03/07/96 às 14 h e 17 h) e 3,25 metros de profundidade (03/07/96 às 11 h) (tabela 6).

4.2.3. Transparência da Água - Coeficiente de Extinção da Luz - Coeficiente de Atenuação do Contraste Vertical

O coeficiente de extinção da luz foi maior na variação de verão, oscilando entre $3,7 \text{ m}^{-1}$ a $3,8 \text{ m}^{-1}$ ao longo dia 09/01/96 e $4,3 \text{ m}^{-1}$ às 8 horas do dia 10/01/96. No inverno, o coeficiente de extinção da luz variou de $1,3 \text{ m}^{-1}$ (09/01/96 às 11 h) a $1,6 \text{ m}^{-1}$ (09/01/96 às 14 h) (tabela 6).

As profundidades nas quais o disco de Secchi desapareceu foram menores na variação de verão, variando entre 0,25 metros (09/01/96 às 17 h) e 0,3 metros nos demais horários. Na variação de inverno, as profundidades variaram entre 1,0 metro (03 e 04/07/96 às 17 h e 8 h, respectivamente) e 0,7 metros (03/07/96 às 14 h) (tabela 6).

Os coeficientes de atenuação do contraste vertical foram maiores na variação de verão, variando de 36,00 (09/01/96 às 17 h) a 30,00 (demais horários). Na variação de inverno esses coeficientes variaram de 12,86 (03/07/96 às 14 h) a 9,00 (03 e 04/07/96 às 17 h e 8 h, respectivamente) (tabela 6).

Tabela 6: Radiação fotossinteticamente ativa (R.F.A.) a zero metros, limite da zona eufótica (Z_{euf}), coeficiente de extinção da luz (m^{-1}), profundidades em que o disco de Secchi desapareceu (Z_{DS}), profundidade máxima ($Z_{máx}$), $Z_{euf}/Z_{máx}$ e coeficiente de atenuação do contraste vertical (K) no período de 09 a 10 de janeiro de 1996 e 03 a 04 de julho de 1996.

Datas	RFA – 0m ($\mu E \cdot m^{-2} s^{-1}$)	Z_{euf} (m)	CEX (m^{-1})	Z_{DS} (m)	$Z_{máx}$ (m)	$Z_{euf}/Z_{máx}$	K (m^{-1})
VERÃO (1996)							
08 HORAS	71	1,00	3,8	0,30	11,6	0,09	30
11 HORAS	500	0,75	3,7	0,30	11,6	0,06	30
14 HORAS	500	1,00	3,7	0,30	11,6	0,09	30
17 HORAS	110	1,00	3,8	0,25	11,6	0,09	36
08 HORAS	54	1,00	4,3	0,30	11,6	0,09	30
INVERNO (1996)							
08 HORAS	49	3,00	1,5	0,90	16,0	0,19	10
11 HORAS	310	3,25	1,3	0,90	14,0	0,23	10
14 HORAS	560	2,25	1,6	0,70	14,0	0,16	12
17 HORAS	300	2,25	1,4	1,00	15,0	0,15	9
08 HORAS		2,75		1,00	14,0	0,20	9

4.2.4. Temperatura da Água e Densidade

A temperatura da água apresentou uma diferença de aproximadamente 5 °C de uma época para outra. Na variação de verão, a temperatura mínima registrada foi de 23,8°C e a máxima de 24,6 °C, com a formação de uma microestratificação entre 0,0 e 6,0 metros a partir das 14 horas até às 23 horas. Na variação de inverno, a temperatura mínima registrada foi de 18,2 °C e a máxima de 21,0 °C, com a formação de uma microestratificação entre 0,0 e 6,0 metros a partir das 11 horas até às 23 horas (figuras 2a e 2b).

A máxima densidade da água encontrada na variação de verão correspondeu a 0,9974, ocorrendo em todos os horários, sempre nas maiores profundidades. A densidade mínima correspondeu a 0,99713 e ocorreu às 17 horas na

na superfície da coluna d'água. Na variação de inverno a densidade máxima correspondeu a 0,99866, ocorrendo em todos os horários nas maiores profundidades. A densidade mínima correspondeu a 0,99808, ocorrendo às 14 horas na superfície da coluna d'água (figuras 3a e 3b).

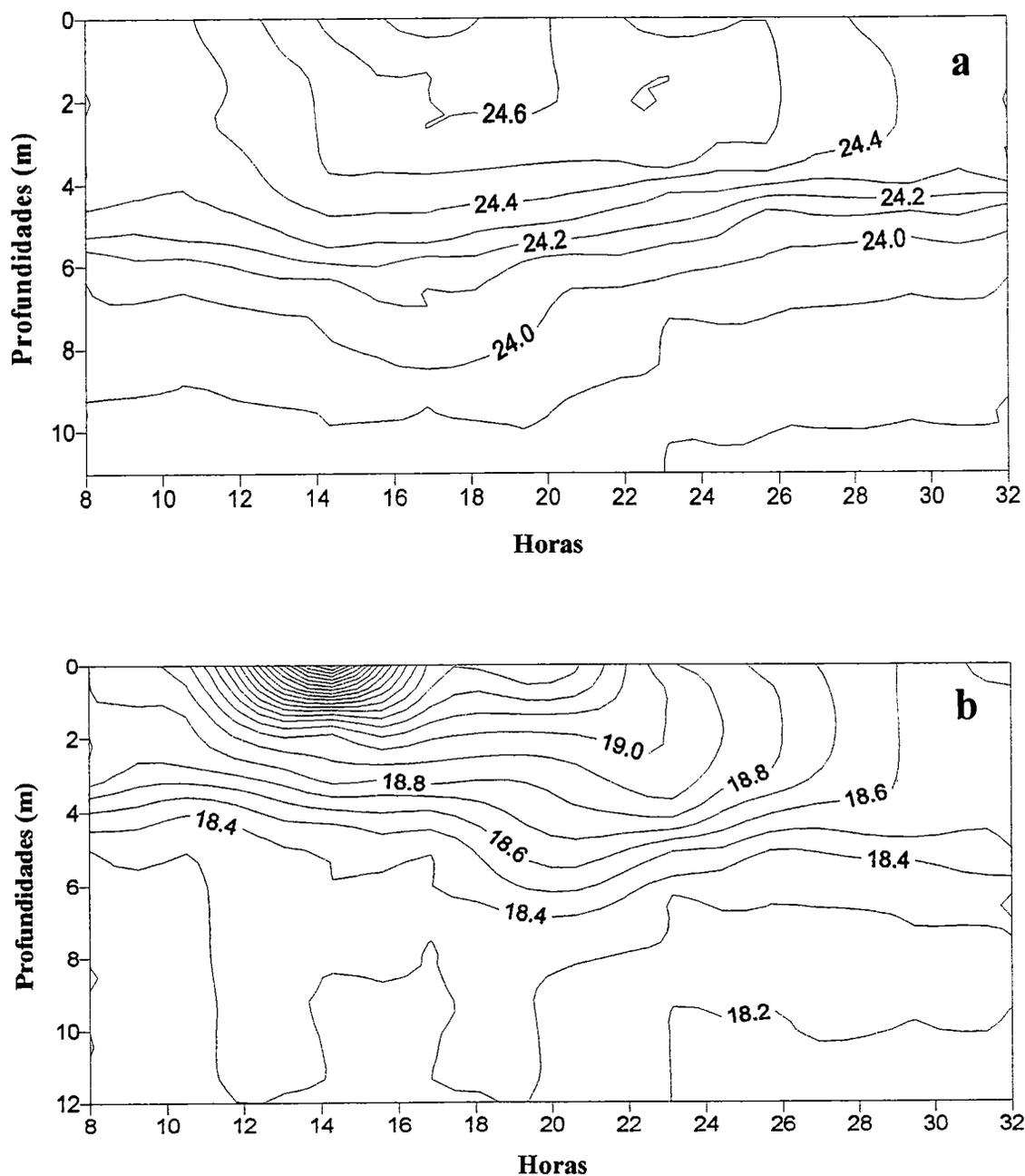


Figura 2: Isolinhas de temperatura [$^{\circ}\text{C}$] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e 3 e 4/07/96 (b).

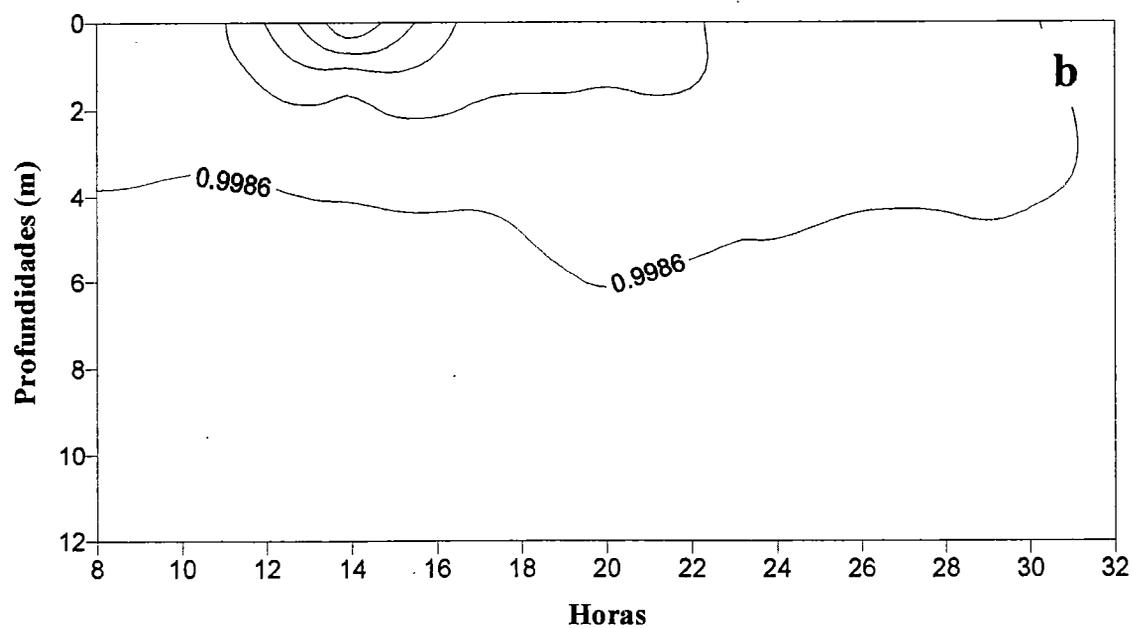
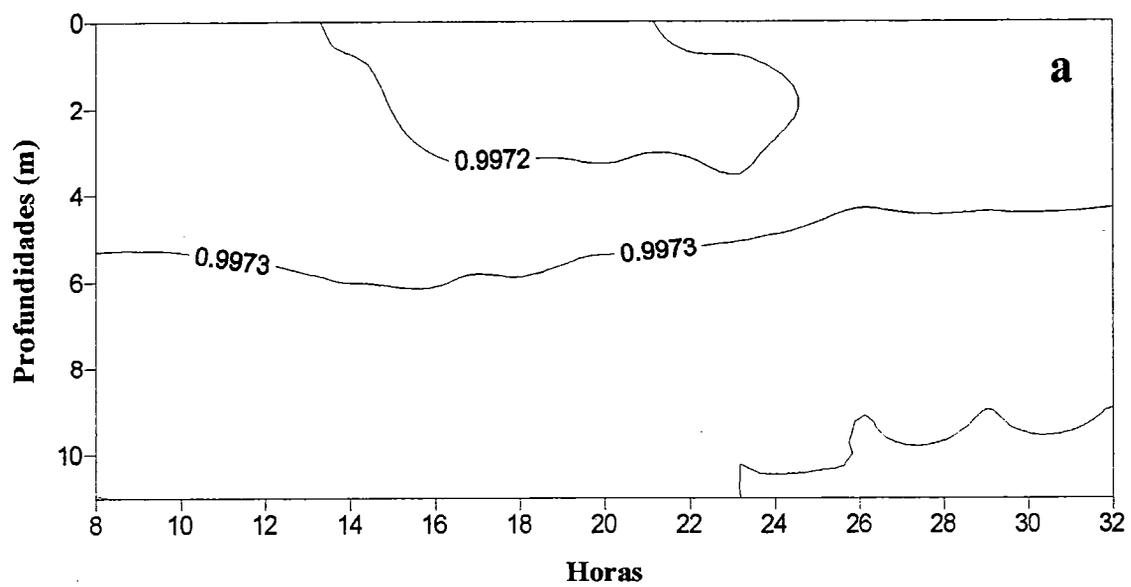


Figura 3: Isolinhas de densidade nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e 3 e 4/07/96 (b).

4.2.5. Oxigênio Dissolvido

As maiores concentrações de oxigênio dissolvido na água, tanto na superfície quanto no fundo, foram encontradas na variação de inverno (figuras 4a e 4b). Em ambos períodos ocorreram oxiclina, porém na variação de verão elas se mostraram mais acentuadas. A camada onde prevaleceu a hipóxia foi maior nos dias de verão do que nos de inverno. Na variação de verão, a maior concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água ocorreu às 14 horas do dia 09/01/96 (5,12 mg/l) e a menor às 2 horas do dia 10/01/96 (1,16 mg/l). Na variação de inverno, a maior concentração de oxigênio dissolvido foi obtida na superfície da coluna, às 14 horas do dia 03/07/96 (8,58 mg/l) e a menor às 8 horas do dia 04/07/96 (2,34 mg/l). Comparando os dois períodos, notou-se uma maior concentração de oxigênio dissolvido no fundo durante a variação de inverno.

4.2.6. pH

O pH variou de 6,25 (10/01/96 às 8 h a 10,50 m) a 6,95 (09/01/96 às 8 h a 6,00 m) (figuras 5a e 5b). Durante a variação de verão notou-se uma estratificação do perfil de pH mais acentuada que na variação de inverno. No verão, o pH médio foi de 6,53 e o desvio padrão foi de 0,13; no inverno, o pH médio foi de 6,39 e o desvio padrão foi de 0,07.

4.2.7. Condutividade Elétrica

A condutividade foi maior na variação de inverno do que na variação de verão (figuras 6a e 6b). Os perfis de condutividade na coluna d'água foram mais homogêneos no inverno, quando comparados ao verão. Na variação de verão a condutividade variou de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (10/01/96 às 8 h a 11 m) a 132 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (10/01/96

às 8 h a 0 m), com média de $118 \mu\text{S}/\text{cm}$ e desvio padrão de 0,0125. Na variação de inverno a condutividade variou de $191 \mu\text{S}/\text{cm}$ (04/07/96 às 5 h a 1 m e às 8 h a 0, 2, 3 m) a $201 \mu\text{S}/\text{cm}$ (03/07/96 às 23 h a 12 m), com média de $195 \mu\text{S}/\text{cm}$ e desvio padrão de 0,0007.

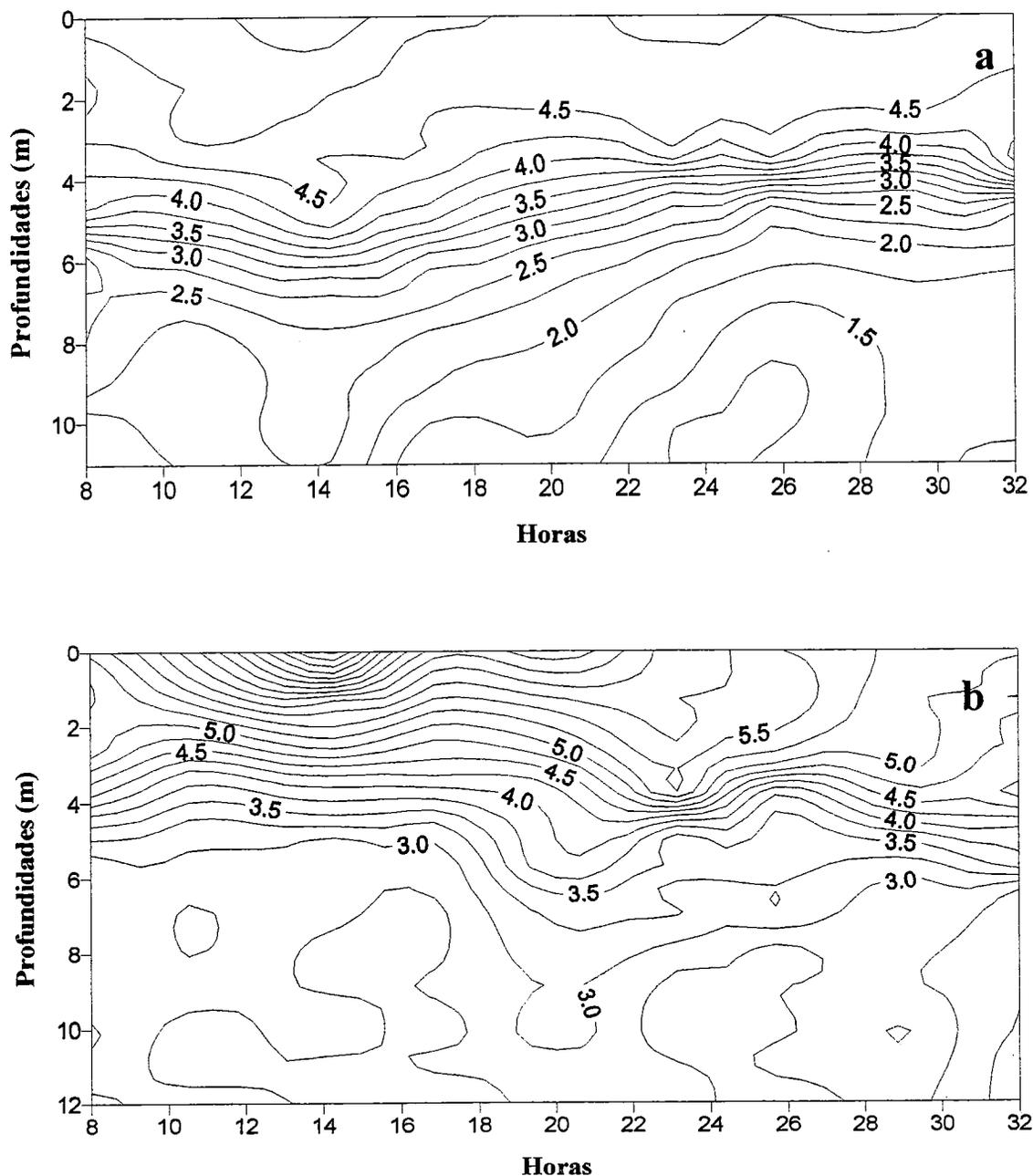


Figura 4: Isolinhas de oxigênio dissolvido [mg.l^{-1}] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e 3 e 4/07/96 (b).

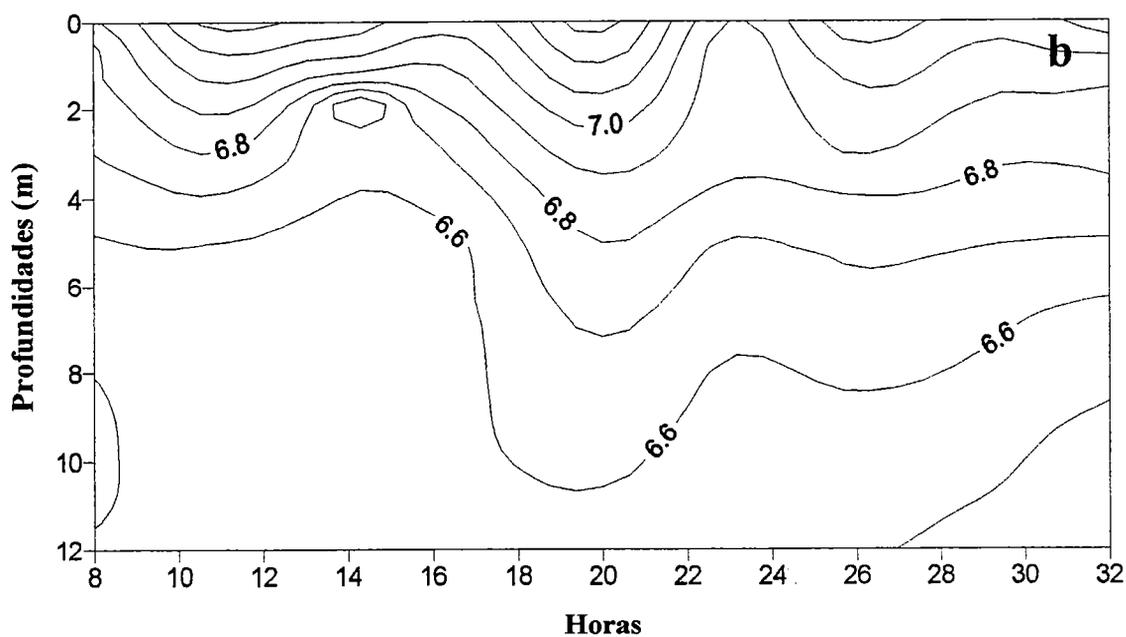
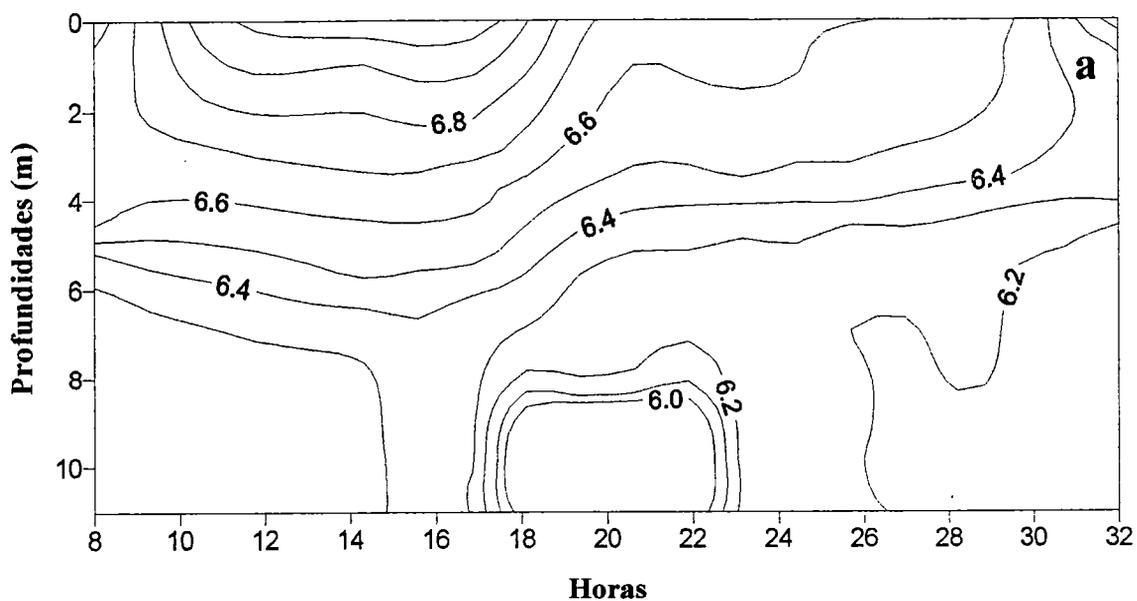


Figura 5: Isolinas de pH nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e 3 e 4/07/96 (b).

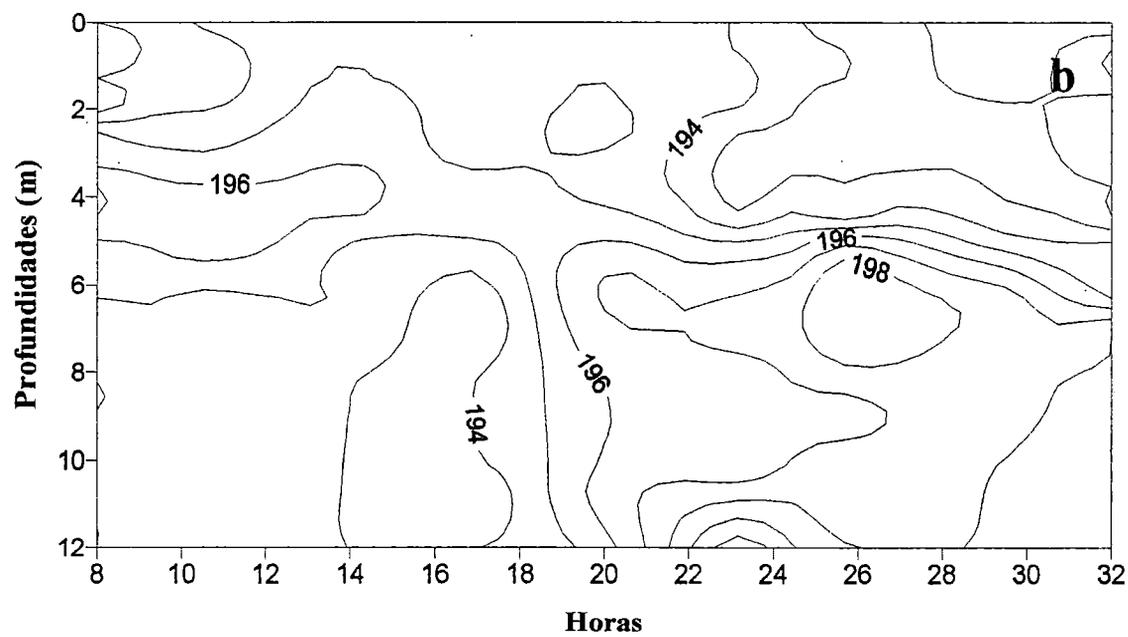
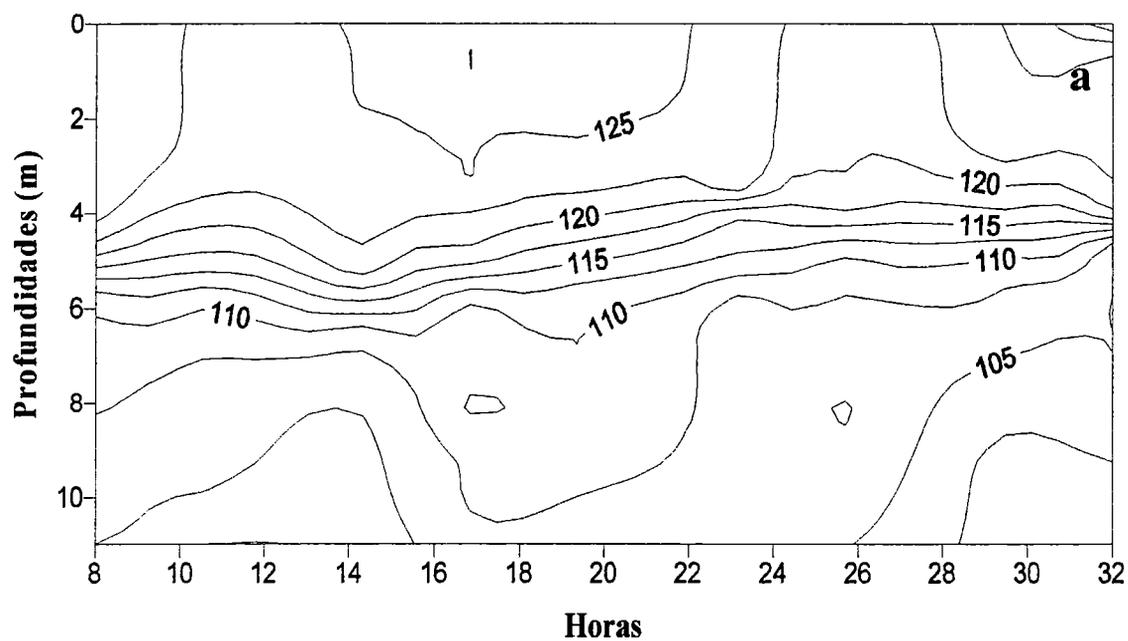


Figura 6: Isolinhas de condutividade [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e 3 e 4/07/96 (b).

4.2.8. Alcalinidade

A alcalinidade foi mais baixa na variação de verão, com uma média de 0,53 meq/l, tendo uma variação entre 0,38 meq/l (10/01/96 às 2 h a 6 m) e 0,57 meq/l (09/01/96 às 20 h a 12 m), sendo o desvio padrão de 0,03 (tabela 7a). Na variação de inverno, a média foi 0,59 meq/l, tendo uma variação entre 0,66 meq/l (03/01/96 às 14 h a 6,00 m) e 0,75 meq/l (03/01/96 às 17 h a 2,5 m), sendo o desvio padrão 0,02 (tabela 7b).

4.2.9. Formas de Carbono Inorgânico

As concentrações de Carbono Inorgânico, CO₂ total, CO₂ livre e HCO₃⁻, foram maiores no inverno do que no verão. A concentração média de carbono inorgânico no inverno foi de 16 mg/l e no verão foi de 10,5 mg/l. A concentração média de CO₂ total no inverno foi de 58,8 mg/l e no verão foi de 38,6 mg/l. A concentração média de CO₂ livre no inverno foi de 28,5 mg/l e no verão foi de 15,3 mg/l. A concentração média de HCO₃⁻ no inverno foi de 42 mg/l e no verão foi de 32,3 mg/l (tabelas 7a e 7b).

A concentração média de CO₃²⁻ na coluna d'água, nos dias de verão, foi de 0,017 mg/l e no inverno foi de 0,014 mg/l. Logo, não há diferença significativa das médias das concentrações de verão e de inverno.

Tabela 7a: Alcalinidade e concentrações de carbono inorgânico, dióxido de carbono total e livre, bicarbonato e carbonato nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Carbono		CO ₂	CO ₂	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	
			Alcalinidade (meq/l)	Inorgânico (mg/l)	Total (mg/l)	Livre (mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	
09/01/96	08 h	0,0	0,57	11,3	41,4	16,2	34,9	0,02	
		1,0	0,57	9,1	33,4	8,3	34,8	0,03	
		3,0	0,55	8,8	32,4	8,1	33,7	0,03	
		6,0	0,55	8,2	30,0	5,9	33,4	0,04	
		9,0	0,45	9,0	32,9	12,9	27,8	0,01	
		10,5	0,50	10,0	36,6	14,4	30,8	0,01	
	11 h	0,0	0,55	10,2	37,2	13,2	33,3	0,02	
		1,0	0,55	10,2	37,3	13,0	33,6	0,02	
		3,0	0,56	10,2	37,4	12,9	34,0	0,02	
		6,0	0,55	10,1	37,0	12,7	33,6	0,02	
		9,0	0,51	9,8	36,0	13,5	31,1	0,02	
		10,5	0,53	10,2	37,4	14,1	32,4	0,02	
	14 h	0,0	0,55	10,0	36,8	12,7	33,5	0,02	
		1,0	0,55	10,1	36,9	12,7	33,6	0,02	
		3,0	0,55	10,9	39,9	15,7	33,6	0,02	
		6,0	0,55	10,1	37,2	13,0	33,6	0,02	
		9,0	0,50	11,1	40,7	18,7	30,5	0,02	
		10,5	0,52	10,6	38,7	16,1	31,4	0,01	
	17 h	0,0	0,57	11,8	43,4	18,5	34,5	0,02	
		1,0	0,55	10,2	37,4	13,3	33,4	0,02	
		3,0	0,55	12,4	45,4	21,1	33,6	0,01	
6,0		0,52	11,1	40,6	17,5	32,0	0,01		
9,0		0,52	12,3	45,3	22,4	31,7	0,01		
10,5		0,50	11,1	40,5	18,4	30,7	0,01		
20 h	0,0	0,57	10,5	38,5	13,3	35,0	0,02		
	1,0	0,56	10,2	37,4	12,9	34,0	0,02		
	3,0	0,55	10,1	37,2	12,8	33,8	0,02		
	6,0	0,54	10,1	36,9	13,1	33,0	0,02		
	9,0	0,53	10,8	39,7	16,2	32,6	0,02		
	10,5	0,51	11,5	42,2	19,6	31,2	0,01		
23 h	0,0	0,54	9,6	35,2	11,4	33,0	0,02		
	1,0	0,55	9,4	34,6	10,5	33,4	0,02		
	3,0	0,54	9,6	35,3	11,4	33,1	0,02		
	6,0	0,51	9,7	35,7	13,2	31,2	0,02		
	9,0	0,51	10,8	39,5	17,0	31,1	0,01		
	10,5	0,50	10,3	37,9	15,7	30,7	0,01		
10/01/96	2 h	0,0	0,53	10,0	36,7	13,4	32,3	0,02	
		1,0	0,54	9,8	36,1	12,4	32,8	0,02	
		3,0	0,53	10,1	36,9	13,7	32,2	0,02	
		6,0	0,38	9,0	32,8	16,0	23,3	0,01	
		9,0	0,50	11,3	41,5	19,3	30,7	0,01	
		10,5	0,50	11,5	42,2	20,4	30,2	0,01	
	5 h	0,0	0,54	10,1	37,2	13,2	33,2	0,02	
		1,0	0,54	10,1	37,0	13,1	33,1	0,02	
		3,0	0,56	10,4	38,0	13,5	34,0	0,02	
		6,0	0,52	11,6	42,4	19,5	31,7	0,01	
		9,0	0,50	12,4	45,5	23,3	30,8	0,01	
		10,5	0,50	11,6	42,6	20,6	30,6	0,01	
	8 h	0,0	0,54	10,1	36,9	13,1	33,0	0,02	
		1,0	0,54	10,9	39,8	16,1	32,9	0,02	
		3,0	0,53	11,2	41,1	17,7	32,4	0,01	
		4,5	0,52	10,9	40,1	17,1	31,9	0,01	
		6,0	0,51	11,7	43,0	20,8	30,9	0,01	
		9,0	0,50	11,5	42,3	20,4	30,3	0,01	
	10,5	0,49	13,1	48,1	26,5	29,9	0,01		
	Média			0,53	10,5	38,6	15,3	32,3	0,02
	Desvio	Padrão		0,03	1,0	3,6	4,0	1,9	0,01

Tabela 7b: Alcalinidade e concentrações de carbono inorgânico, dióxido de carbono total e livre, bicarbonato e carbonato nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Alcalinidade (meq/l)	Carbono Inorgânico (mg/l)	CO ₂ Total (mg/l)	CO ₂ Livre (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ⁻² (mg/l)
03/07/96	08 h	0,0	0,70	12,9	47,2	16,3	42,9	0,03
		1,0	0,71	16,4	60,1	28,7	43,6	0,02
		2,5	0,71	16,7	61,2	29,9	43,4	0,01
		3,0	0,72	16,1	59,0	27,1	44,2	0,02
		6,0	0,71	16,1	59,2	27,9	43,4	0,02
		10,0	0,71	16,2	59,4	28,3	43,1	0,01
	11 h	0,0	0,68	14,9	54,5	24,4	41,7	0,02
		1,0	0,68	14,1	51,9	21,8	41,7	0,02
		2,5	0,68	12,9	47,2	17,3	41,6	0,02
		3,0	0,69	14,5	53,1	22,9	41,9	0,02
		6,0	0,69	16,5	60,4	29,8	42,3	0,01
		10,0	0,68	16,1	59,2	29,3	41,5	0,01
	14 h	0,0	0,67	15,4	56,5	26,9	41,0	0,01
		1,0	0,66	16,6	60,8	31,8	40,2	0,01
		2,5	0,67	16,1	59,0	29,5	40,9	0,01
		3,0	0,68	14,3	52,3	22,6	41,3	0,02
		6,0	0,67	16,2	59,3	29,7	41,1	0,01
		10,0	0,68	15,9	58,3	28,5	41,3	0,01
	17 h	0,0	0,68	16,0	58,5	28,6	41,5	0,01
		1,0	0,69	15,4	56,6	26,0	42,4	0,02
		2,5	0,75	16,6	60,8	28,0	45,6	0,02
		3,0	0,68	15,9	58,4	28,5	41,4	0,01
		6,0	0,73	18,1	66,2	34,2	44,3	0,01
		10,0	0,67	16,9	61,9	32,4	40,9	0,01
20 h	0,0	0,68	16,3	59,8	29,9	41,4	0,01	
	1,0	0,68	15,5	56,9	26,8	41,7	0,01	
	2,5	0,69	15,6	57,0	26,5	42,3	0,02	
	3,0	0,69	15,6	57,1	26,9	41,9	0,01	
	6,0	0,69	15,6	57,0	26,9	41,8	0,01	
	10,0	0,69	16,8	61,5	31,1	42,1	0,01	
23 h	0,0	0,69	17,0	62,3	31,9	42,2	0,01	
	1,0	0,69	15,6	57,1	26,6	42,3	0,02	
	2,5	0,69	15,8	58,0	27,7	42,1	0,01	
	3,0	0,69	15,8	57,8	27,2	42,4	0,01	
	6,0	0,69	15,9	58,2	27,8	42,2	0,01	
	10,0	0,70	16,3	59,9	29,3	42,5	0,01	
04/07/96	2 h	0,0	0,69	15,8	57,8	27,6	41,9	0,01
		1,0	0,69	15,6	57,2	27,0	41,9	0,01
		2,5	0,69	16,2	59,3	29,0	42,1	0,01
		3,0	0,69	15,7	57,6	27,1	42,2	0,01
		6,0	0,70	15,1	55,4	24,5	42,8	0,02
		10,0	0,70	16,0	58,6	28,0	42,5	0,01
	5 h	0,0	0,68	17,2	63,2	33,4	41,3	0,01
		1,0	0,68	17,1	62,8	32,8	41,5	0,01
		2,5	0,68	16,7	61,4	31,4	41,6	0,01
		3,0	0,68	16,3	59,6	29,8	41,3	0,01
		6,0	0,68	15,9	58,1	28,1	41,7	0,01
		10,0	0,69	15,9	58,4	27,9	42,4	0,01
	8 h	0,0	0,68	16,8	61,6	31,8	41,2	0,01
		1,0	0,67	17,3	63,5	34,0	41,0	0,01
		2,5	0,68	17,0	62,4	32,6	41,3	0,01
		3,0	0,68	17,2	63,1	33,3	41,2	0,01
		6,0	0,68	17,5	64,3	34,4	41,5	0,01
		10,0	0,69	17,9	65,5	35,0	42,3	0,01
Média			0,69	16,0	58,8	28,5	42,0	0,01
Desvio	Padrão		0,02	1,0	3,7	3,8	1,0	0,00

4.2.10. Material em Suspensão

As concentrações de material em suspensão total, material em suspensão orgânico e inorgânico, foram mais elevadas na variação de verão do que no inverno. No verão, o material em suspensão total variou entre 14,44 mg/l (09/01/96 às 23 h a 3 m) e 76,35 mg/l (09/01/96 às 8 h a 9 m); o material em suspensão inorgânico variou entre 8,27 mg/l (09/01/96 às 8 h a 0 m) e 65,41 mg/l (09/01/96 às 8 h a 9 m) e o material em suspensão orgânico variou entre 4,13 mg/l (09/01/96 às 14 h a 6 m) e 10,94 mg/l (09/01/96 às 8 h a 9 m) (figura 7a). Na variação de inverno, o material em suspensão total variou entre 4,26 mg/l (04/07/96 às 8 h a 6 m) e 11,75 mg/l (03/07/96 às 14 h a 0 m); o material em suspensão inorgânico variou entre 0,16 mg/l (04/07/96 às 5 h a 0 m) e 3,68 mg/l (03/07/96 às 11 h a 1 m) e o material em suspensão orgânico variou entre 1,35 mg/l (03/07/96 às 17 h a 6 m) e 10,46 mg/l (04/07/96 às 5 h a 1 m) (figura 7b).

A porcentagem média do material em suspensão inorgânico foi de 80,71 % no verão e 30,47 % no inverno e a porcentagem média do material em suspensão orgânico foi de 19,29 % no verão e 69,53 % no inverno, demonstrando um predomínio de material em suspensão inorgânico no período de verão e de material em suspensão orgânico no período de inverno.

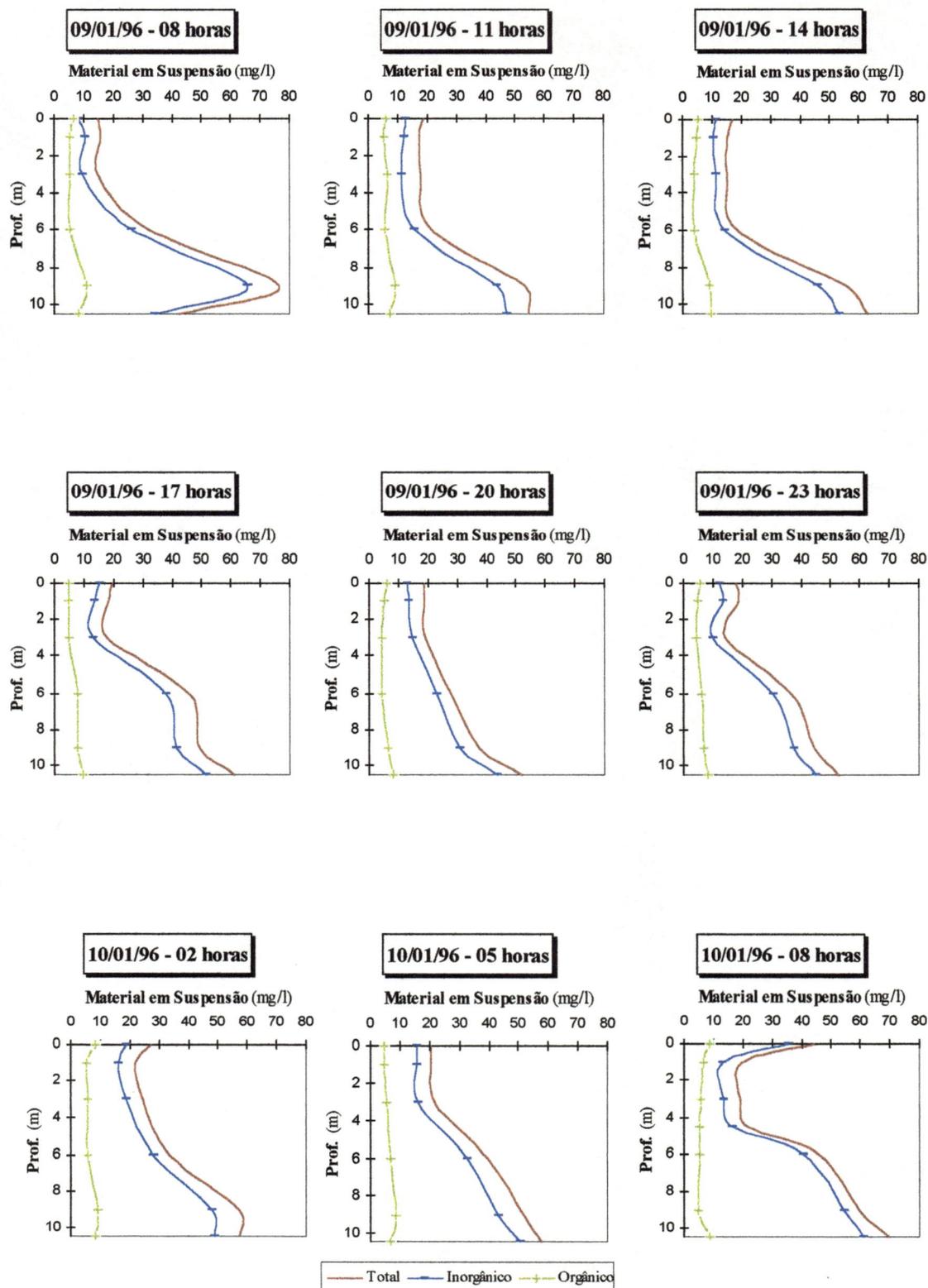


Figura 7a: Perfis da concentração de material em suspensão total, inorgânico e orgânico nos diferentes horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

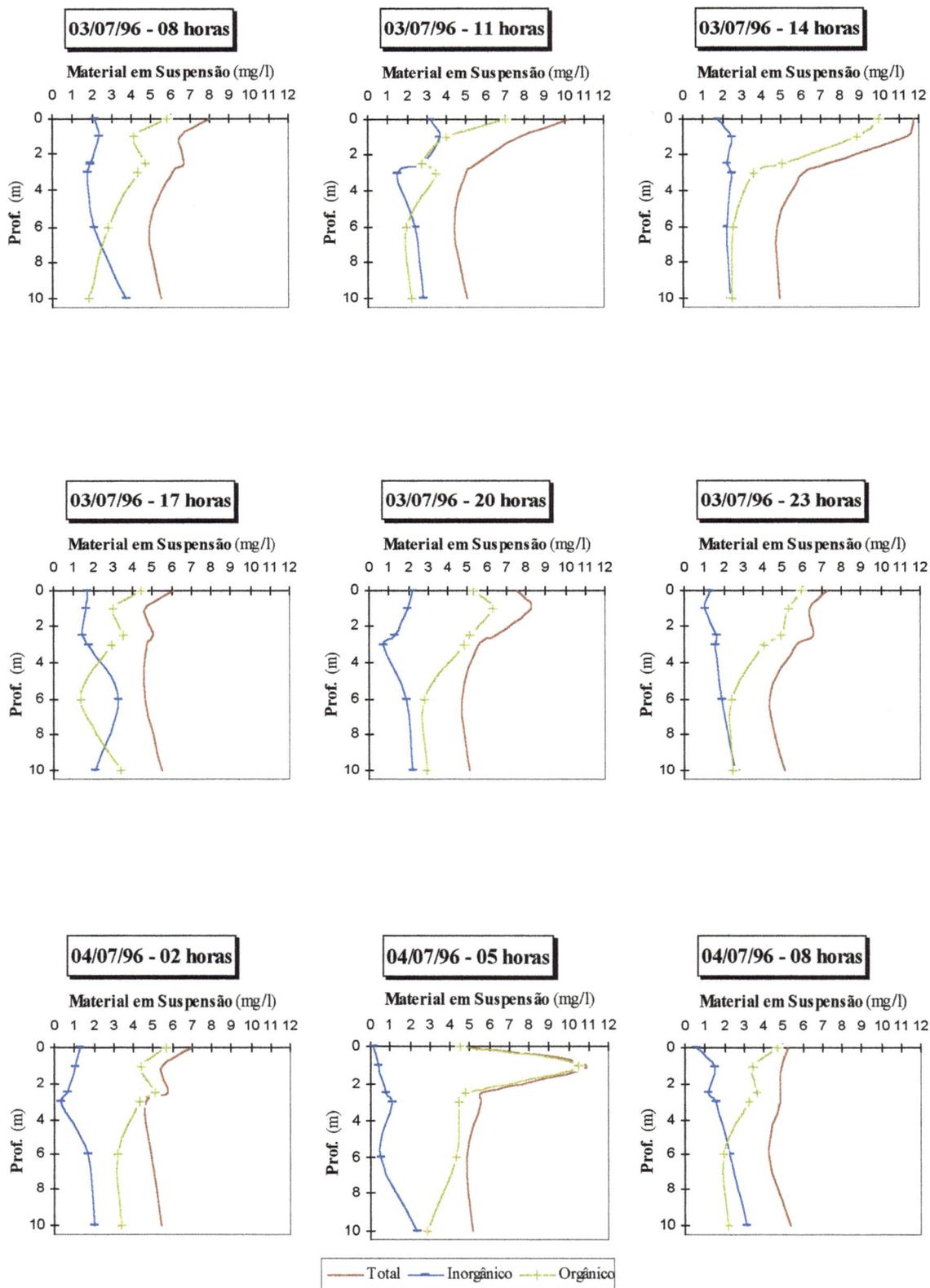


Figura 7b: Perfis da concentração de material em suspensão total, inorgânico e orgânico nos diferentes horários durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

4.2.11. Nutrientes

4.2.11.a. Nutrientes inorgânicos dissolvidos

As concentrações de nitrito não apresentaram muita diferença entre os dois períodos estudados. A concentração média na coluna d'água durante a variação de verão foi de 54,6 $\mu\text{g/l}$ e o desvio padrão foi de 7 (tabela 8a). Na variação de inverno, a concentração média na coluna d'água foi de 59,7 $\mu\text{g/l}$ com desvio padrão de 6,7 (tabela 8b).

As concentrações de nitrato foram maiores no inverno do que no verão. A concentração média na coluna d'água durante as coletas de verão foi de 542,9 $\mu\text{gN/l}$ e o desvio padrão foi de 90,4 (tabela 8a). No inverno, a concentração média na coluna d'água foi de 1036,4 $\mu\text{gN/l}$ com desvio padrão de 109,9 (tabela 8b).

As concentrações de amônio não apresentaram muita diferença entre os dois períodos estudados. A média das concentrações na coluna d'água obtidas nas coletas de verão foi de 474,2 $\mu\text{gN/l}$ com desvio padrão de 92,3 (tabela 8a). No inverno, a média das concentrações na coluna d'água foi de 397,6 $\mu\text{gN/l}$ com desvio padrão de 52,9 (tabela 8b).

As concentrações de fósforo total dissolvido foram quase quatro vezes maiores no verão do que no inverno. A média das concentrações na coluna d'água obtidas nas coletas de verão foi de 74,4 $\mu\text{gP/l}$ e o desvio padrão foi de 16,9 (tabela 9a). No inverno, a média das concentrações na coluna d'água foi de 17,1 $\mu\text{gP/l}$ e o desvio padrão foi de 3,6 (tabela 9b).

As concentrações de fosfato inorgânico foram quatro vezes maiores no verão do que no inverno. A média das concentrações na coluna d'água obtidas durante as coletas de verão foi de 39,5 $\mu\text{gP/l}$ com desvio padrão de 14,1 (tabela 9a). No inverno, a média das concentrações na coluna d'água foi de 9,3 $\mu\text{gP/l}$ com desvio padrão de 2,1 (tabela 9b).

As concentrações de silicato reativo foram duas vezes maiores no verão do que no inverno. A média das concentrações na coluna d'água obtidas nas coletas de verão foi de 13,9 mgSi/l e o desvio padrão foi de 1,1 (tabela 9a). No inverno, a média das concentrações na coluna d'água foi de 6,1 mgSi/l com desvio padrão de 0,8 (tabela 9b).

4.2.11.b. Nutrientes totais

As concentrações de nitrogênio orgânico total foram maiores no inverno do que no verão. A média das concentrações obtidas nas coletas de inverno na coluna d'água foi de 3177 µgN/l e o desvio padrão foi de 2779 (tabela 9b). No verão, a média das concentrações na coluna d'água foi de 1741 µgN/l com desvio padrão de 1250 (tabela 9b).

As concentrações de fósforo total foram aproximadamente seis vezes maiores no verão do que no inverno. A média das concentrações na coluna d'água obtidas nas coletas de verão foi de 270,2 µgP/l e o desvio padrão foi de 132 (tabela 9a). No inverno, a média das concentrações na coluna d'água foi de 42,5 µgP/l com desvio padrão de 11,4 (tabela 9b).

4.2.11.c. Razão N/P

As razões N/P foram aproximadamente nove vezes maiores na variação de inverno do que na de verão. No verão, a média das razões N/P foi de 11,9, sendo que a razão mínima foi de 7,7 (10/01/96 às 5 horas) e a máxima foi de 18 (09/01/96 às 14 horas), com desvio padrão de 6,5. No inverno, a média das razões N/P foi de 108,8, sendo que a razão mínima foi de 64,2 (04/07/96 às 5 horas) e a máxima foi de 191,9 (03/07/96 às 8 horas), com desvio padrão de 49,2.



Tabela 8a: Concentrações de nitrito, nitrato, amônio e nitrogênio orgânico total em $\mu\text{gN/l}$ nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Nitrito	Nitrato	Amônio	Nitrogênio Orgânico Total	
09/01/96	08 h	0,0	59,0	564,1	449,4	3022	
		1,0	60,6	537,0	420,5	3844	
		3,0	59,8	573,9	407,6	2363	
		6,0	62,5	501,4	514,4	2752	
		9,0	68,7	466,4	598,2	2658	
		10,5	68,9	447,1	588,3	839	
	11 h	0,0	56,5	563,4	419,6	1782	
		1,0	54,2	659,4	403,9	2311	
		3,0	54,1	560,0	435,0	2019	
		6,0	56,1	547,6	413,7	1321	
		9,0	61,8	516,6	522,0	3817	
		10,5	66,7	505,0	535,6	1349	
	14 h	0,0	51,2	543,2	416,5	3045	
		1,0	52,1	553,7	428,6	6905	
		3,0	50,8	536,9	416,4	2383	
		6,0	53,0	607,9	397,7	2364	
		9,0	62,5	510,0	510,3	2354	
		10,5	65,4	461,3	533,2	1408	
	17 h	0,0	52,3	566,7	431,8	1350	
		1,0	51,2	508,2	420,4	1511	
		3,0	51,8	589,2	455,5	813	
		6,0	54,8	559,8	518,5	1208	
		9,0	50,1	565,7	576,1	1243	
		10,5	60,2	531,9	543,1	1230	
	20 h	0,0	42,9	659,6	387,8	1049	
		1,0	48,5	648,4	426,9	1168	
		3,0	44,0	654,2	450,6	1303	
		6,0	48,3	608,1	486,0	689	
		9,0	47,8	557,0	519,8	441	
		10,5	45,5	534,1	571,2	875	
23 h	0,0	42,7	556,1	380,1	4677		
	1,0	41,0	624,8	409,5	765		
	3,0	38,6	632,1	425,8	787		
	6,0	46,6	547,7	475,4	1494		
	9,0	45,0	524,4	526,7	1684		
	10,5	47,9	511,7	621,7	1020		
10/01/96	2 h	0,0	57,8	566,6	409,5	1653	
		1,0	55,1	642,9	411,6	1081	
		3,0	57,4	595,3	412,5	1277	
		6,0	43,5	591,5	533,1	969	
		9,0	54,7	537,9	611,9	2700	
		10,5	58,4	496,3	581,5	977	
	5 h	0,0	56,6	576,6	146,2	1365	
		1,0	56,1	661,0	383,3	811	
		3,0	55,7	625,1	367,7	882	
		6,0	56,9	255,5	555,4	686	
		9,0	60,5	240,4	584,8	861	
		10,5	62,3	247,6	606,2	961	
	8 h	0,0	57,7	568,3	388,2	5304	
		1,0	58,8	508,3	363,9	1661	
		3,0	56,7	668,0	403,7	790	
		4,5	58,0	590,4	428,5	1334	
		6,0	57,6	472,1	586,3	692	
		9,0	57,3	489,6	638,5	911	
		10,5	60,8	489,4	629,2	994	
		Média			54,6	542,9	474,2
	Desvio Padrão			7,0	90,4	92,29	1250

Tabela 8b: Concentrações de nitrito, nitrato, amônio e nitrogênio orgânico total em $\mu\text{gN/l}$ nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Nitrito	Nitrato	Amônio	Nitrogênio Orgânico Total	
03/07/96	08 h	0,0	53,7	971	406,5	2150	
		1,0	54,1	962	434,9	9046	
		2,5	53,3	661	396,7	7423	
		3,0	50,6	903	416,7	7963	
		6,0	61,1	913	480,6	4091	
		10,0	64,3	992	445,4	2233	
	11 h	0,0	55,9	1011	345,3	9686	
		1,0	54,5	954	380,2	7869	
		2,5	56,8	980	384,4	3423	
		3,0	55,7	951	371,3	3352	
		6,0	65,4	899	380,4	2018	
		10,0	68,2	972	488,3	1471	
	14 h	0,0	55,5	925	326,1	13410	
		1,0	44,1	736	336,6	6634	
		2,5	56,3	958	331,4	9280	
		3,0	56,4	967	389,7	1700	
		6,0	67,7	1141	452,8	1880	
		10,0	69,8	1135	468,3	2219	
	17 h	0,0	55,8	1200	388,5	4949	
		1,0	56,3	1117	386,5	3673	
		2,5	57,3	1145	433,3	2077	
		3,0	60,4	1212	423,4	4886	
		6,0	68,3	1022	461,3	920	
		10,0	69,0	1165	471,7	1861	
20 h	0,0	54,2	1079	345,0	2715		
	1,0	54,6	1118	385,1	7089		
	2,5	57,3	1157	368,9	3419		
	3,0	58,4	1165	384,1	1818		
	6,0	64,6	1235	416,5	1328		
	10,0	70,5	1062	489,7	1199		
23 h	0,0	56,3	1075	369,3	2318		
	1,0	57,1	923	381,2	2278		
	2,5	54,0	1082	375,1	2517		
	3,0	55,5	1065	389,5	926		
	6,0	65,1	1131	465,1	1681		
	10,0	71,0	1129	527,4	1554		
04/07/96	2 h	0,0	55,6	1050	346,0	2677	
		1,0	56,0	1091	357,5	2749	
		2,5	55,7	1013	348,1	1891	
		3,0	55,1	1017	351,7	1943	
		6,0	69,1	960	460,9	1368	
		10,0	74,6	998	445,3	581	
	5 h	0,0	56,9	1128	355,2	1847	
		1,0	56,9	1187	348,2	249	
		2,5	56,0	1094	349,6	881	
		3,0	57,3	1068	343,9	1615	
		6,0	60,6	1020	371,2	1514	
		10,0	73,1	997	461,0	1256	
	8 h	0,0	57,9	975	308,9	1408	
		1,0	58,5	1073	358,3	1116	
		2,5	55,1	1078	339,2	1686	
		3,0	57,5	930	340,8	1889	
		6,0	65,0	1103	388,0	2168	
		10,0	75,3	1068	501,7	1663	
	Média			59,7	1036	397,64	3177
	Desvio	Padrão		6,7	110	52,93	2779

Tabela 9a: Concentrações de fosfato inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total em $\mu\text{gP/l}$ e silicato reativo em mgSi/l nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Fosfato inorgânico	Fósforo total dissolvido	Fósforo total	Silicato reativo	
09/01/96	08 h	0,0	33,7	59,6	163,2	17,0	
		1,0	34,3	56,5	223,0	15,9	
		3,0	26,9	66,5	211,6	15,8	
		6,0	36,9	76,2	237,8	16,6	
		9,0	49,2	83,2	385,2	13,1	
		10,5	50,5	75,0	419,0	14,8	
		11 h	0,0	42,4	58,4	221,6	14,5
	1,0		23,1	47,2	215,0	14,6	
	3,0		24,8	64,6	161,6	12,5	
	6,0		27,5	49,4	187,0	14,6	
	9,0		33,5	84,8	276,6	13,5	
	10,5		74,6	93,0	209,2	13,7	
	14 h	0,0	56,5	49,2	212,8	14,2	
		1,0	55,1	52,0	230,0	14,3	
		3,0	31,6	49,9	189,1	13,9	
		6,0	41,9	70,4	228,7	14,7	
		9,0	33,5	75,6	241,7	13,1	
		10,5	87,6	105,9	351,2	12,1	
	17 h	0,0	28,2	66,1	236,3	14,9	
		1,0	31,2	63,4	244,3	14,7	
		3,0	24,6	44,2	254,9	14,6	
6,0		40,4	77,2	260,0	13,4		
9,0		40,3	68,3	253,7	12,9		
10,5		52,0	108,5	176,4	13,5		
20 h	0,0	31,9	76,4	166,6	13,6		
	1,0	23,5	64,5	204,8	13,6		
	3,0	25,6	62,7	170,1	13,2		
	6,0	34,0	69,1	147,0	13,1		
	9,0	49,8	80,8	214,2	13,1		
	10,5	34,1	76,1	217,1	12,8		
23 h	0,0	19,3	86,6	209,5	13,4		
	1,0	27,2	80,3	265,4	13,3		
	3,0	27,6	78,3	215,3	13,3		
	6,0	42,5	75,3	878,5	13,3		
	9,0	44,1	97,9	381,4	13,3		
	10,5	49,8	122,3	321,9	12,9		
10/01/96	2 h	0,0	25,3	71,0	514,1	13,1	
		1,0	41,8	71,5	793,8	13,2	
		3,0	33,9	67,6	290,8	13,3	
		6,0	43,9	82,0	226,9	13,3	
		9,0	57,8	78,3	271,4	13,3	
		10,5	65,8	83,9	277,8	13,2	
	5 h	0,0	27,6	70,7	399,7	13,2	
		1,0	29,1	68,7	187,8	13,2	
		3,0	32,0	75,2	225,8	13,2	
		6,0	57,4	110,4	232,5	14,0	
		9,0	57,1	91,0	194,8	14,1	
		10,5	58,5	102,5	284,9	13,8	
	8 h	0,0	25,3	59,2	210,6	15,4	
		1,0	31,4	53,8	237,4	14,4	
		3,0	24,0	62,0	217,7	15,9	
		4,5	29,5	68,7	190,2	15,3	
		6,0	45,3	78,5	350,4	16,0	
		9,0	46,3	97,8	284,4	13,4	
		10,5	48,5	84,4	287,2	13,9	
	Média			39,5	74,4	270,2	13,9
	Desvio Padrão			14,1	16,9	132,0	1,1

Tabela 9b: Concentrações de fosfato inorgânico, fósforo total dissolvido, fósforo total em $\mu\text{gP/l}$ e silicato reativo em mgSi/l nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Fosfato inorgânico	Fósforo total dissolvido	Fósforo total	Silicato reativo	
03/07/96	08 h	0,0	9,8	18,6	33,9	5,3	
		1,0	8,4	17,8	37,2	5,5	
		2,5	6,3	19,2	45,3	6,2	
		3,0	7,2	16,1	35,0	5,5	
		6,0	6,4	18,0	29,5	6,0	
		10,0	11,4	19,0	31,0	4,9	
		11 h	0,0	12,3	21,6	69,8	6,3
	1,0		10,1	20,0	68,1	6,5	
	2,5		10,2	15,2	43,6	6,1	
	3,0		8,0	19,7	44,8	5,0	
	6,0		10,2	17,5	34,2	5,8	
	10,0		13,0	22,9	31,9	4,2	
	14 h	0,0	9,4	22,1	72,6	6,4	
		1,0	9,9	19,8	60,9	6,8	
		2,5	10,3	22,8	61,5	6,7	
		3,0	10,5	18,9	42,6	7,1	
		6,0	8,5	13,6	34,2	6,1	
		10,0	10,9	10,4	33,1	5,9	
	17 h	0,0	5,5	11,8	49,4	6,6	
		1,0	6,9	15,0	43,1	6,9	
		2,5	8,5	14,7	33,8	6,3	
		3,0	11,4	12,8	43,8	5,6	
		6,0	7,1	15,9	30,0	6,7	
		10,0	10,9	17,0	38,1	4,2	
20 h	0,0	8,2	17,1	71,9	4,9		
	1,0	10,8	18,2	46,0	7,0		
	2,5	8,9	16,5	52,5	5,5		
	3,0	7,5	15,4	38,8	5,7		
	6,0	7,8	14,9	30,3	4,5		
	10,0	9,3	15,8	26,6	5,8		
23 h	0,0	6,8	17,1	38,7	6,6		
	1,0	15,7	19,2	37,2	6,2		
	2,5	8,2	18,9	43,1	6,2		
	3,0	7,4	18,7	48,2	6,4		
	6,0	13,3	19,8	32,0	4,9		
	10,0	11,2	16,6	33,4	6,0		
04/07/96	2 h	0,0	5,9	12,0	49,9	6,5	
		1,0	8,2	12,1	42,4	6,8	
		2,5	7,3	10,5	66,3	6,5	
		3,0	8,5	10,7	42,2	7,8	
		6,0	9,0	16,1	35,9	6,7	
		10,0	8,9	28,3	35,5	6,1	
	5 h	0,0	7,9	20,9	42,4	4,2	
		1,0	8,8	10,9	45,0	4,8	
		2,5	7,7	20,1	36,2	6,2	
		3,0	12,5	18,0	39,6	6,7	
		6,0	8,5	15,2	45,3	6,6	
		10,0	10,0	14,5	50,7	6,2	
	8 h	0,0	10,9	14,2	35,7	6,4	
		1,0	10,9	18,3	35,4	6,6	
		2,5	7,6	13,9	37,2	6,8	
		3,0	8,9	19,7	34,9	7,5	
		6,0	12,8	19,8	35,4	6,6	
		10,0	10,6	18,9	38,9	7,1	
	Média			9,3	17,1	42,5	6,1
	Desvio Padrão			2,1	3,6	11,4	0,8

Tabela 10a: Razão N/P nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

Datas	Horas	Razão N/P
09/01/96	08 h	15,6
	11 h	14,9
	14 h	18
	17 h	10
	20 h	11,3
	23 h	10
10/01/96	02 h	7,9
	05 h	7,7
	08 h	12,5

Tabela 10b: Razão N/P nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

Datas	Horas	Razão N/P
03/07/96	08 h	191,9
	11 h	117,3
	14 h	132,8
	17 h	115,1
	20 h	106,1
	23 h	90,5
04/07/96	02 h	75,2
	05 h	64,2
	08 h	86,3

4.3. VARIÁVEIS BIOLÓGICAS

4.3.1. Clorofila *a* e Feofitina

A média das concentrações de clorofila *a* e feofitina na coluna d'água foram maiores na variação de inverno do que na variação de verão (figuras 9a e 9b). No verão, a clorofila *a* variou de 1,1 $\mu\text{g/l}$ (10/01/96 às 2 h a 0 m) a 90,7 $\mu\text{g/l}$ (9 e 10/01/96 às 8 h a 10,5 m), média foi de 22,2 $\mu\text{g/l}$ e o desvio padrão foi de 19,5; a feofitina variou entre 0,4 $\mu\text{g/l}$ (09/01/96 às 20 h a 6 m) e 13,5 $\mu\text{g/l}$ (09/01/96 às 11 h a 0 m), média foi de 5,2 $\mu\text{g/l}$ e o desvio padrão foi de 2,9 (figura 8a). No inverno, a clorofila *a* variou de 7,8 $\mu\text{g/l}$ (04/07/96 às 5 h a 10 m) a 154,8 $\mu\text{g/l}$ (03/07/96 às 11 h a 0 m), média foi de 43,7 $\mu\text{g/l}$ e o desvio padrão foi de 29,4; a feofitina variou entre 0,3 $\mu\text{g/l}$ (03/07/96 às 11 h a 10 m) e 22,9 $\mu\text{g/l}$ (04/07/96 às 2 h a 0 m), média foi de 9,5 $\mu\text{g/l}$ e o desvio padrão foi de 5,3 (figura 8b).

Na variação de verão, notou-se um aumento da concentração de clorofila *a* na superfície da água por volta das 20 horas do dia 09/01/96 até as 2 horas do dia seguinte; entre 12 e 14 horas do dia 09/01/96 ocorreu um aumento da concentração de clorofila *a* a partir dos 6 m comparado aos demais horários (figura

8a). Na variação de inverno, ocorreu um grande aumento da concentração de clorofila *a* na superfície da água entre 10 e 12 horas do dia 03/07/96 (figura 8b).

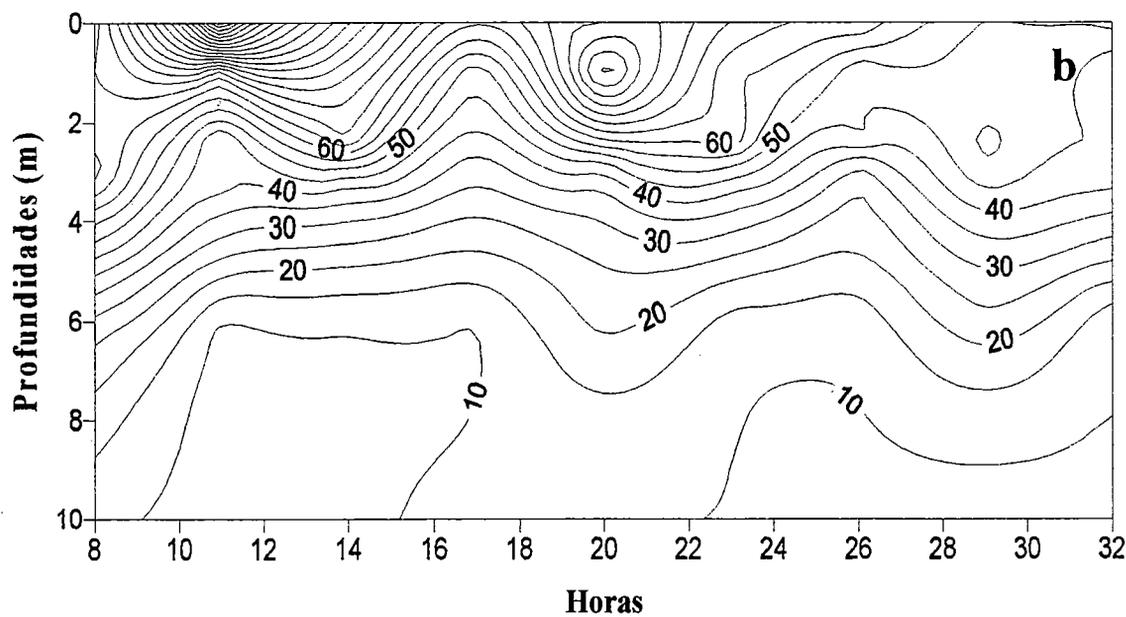
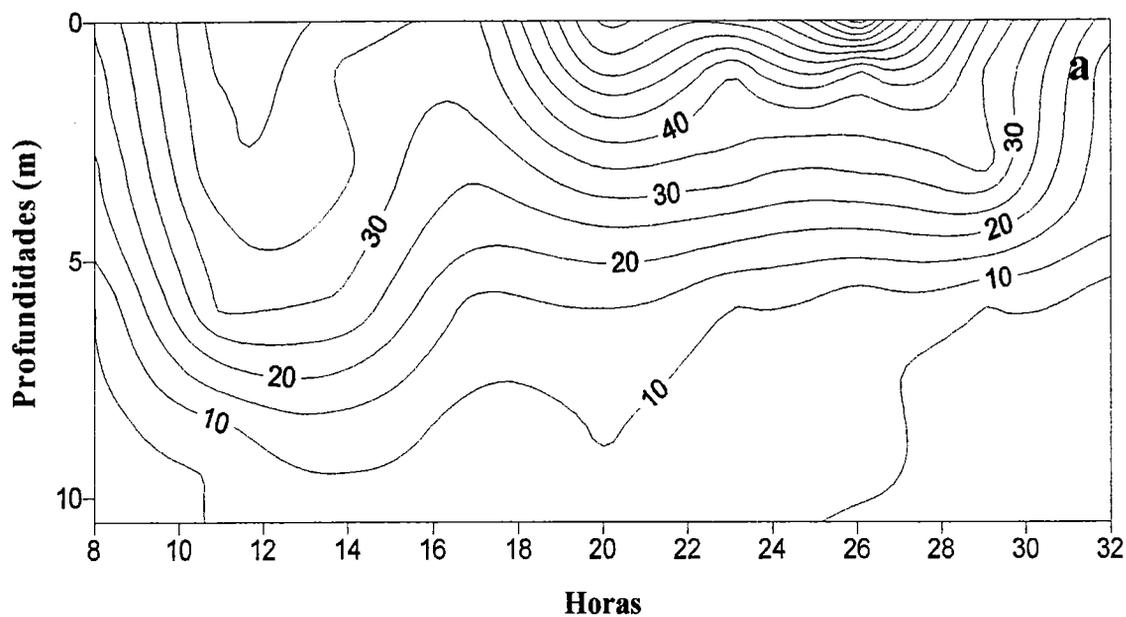


Figura 8: Isolinhas das concentrações de clorofila *a* [mgChl*a*.l⁻¹] nas diferentes profundidades e horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e 3 e 4/07/96 (b).

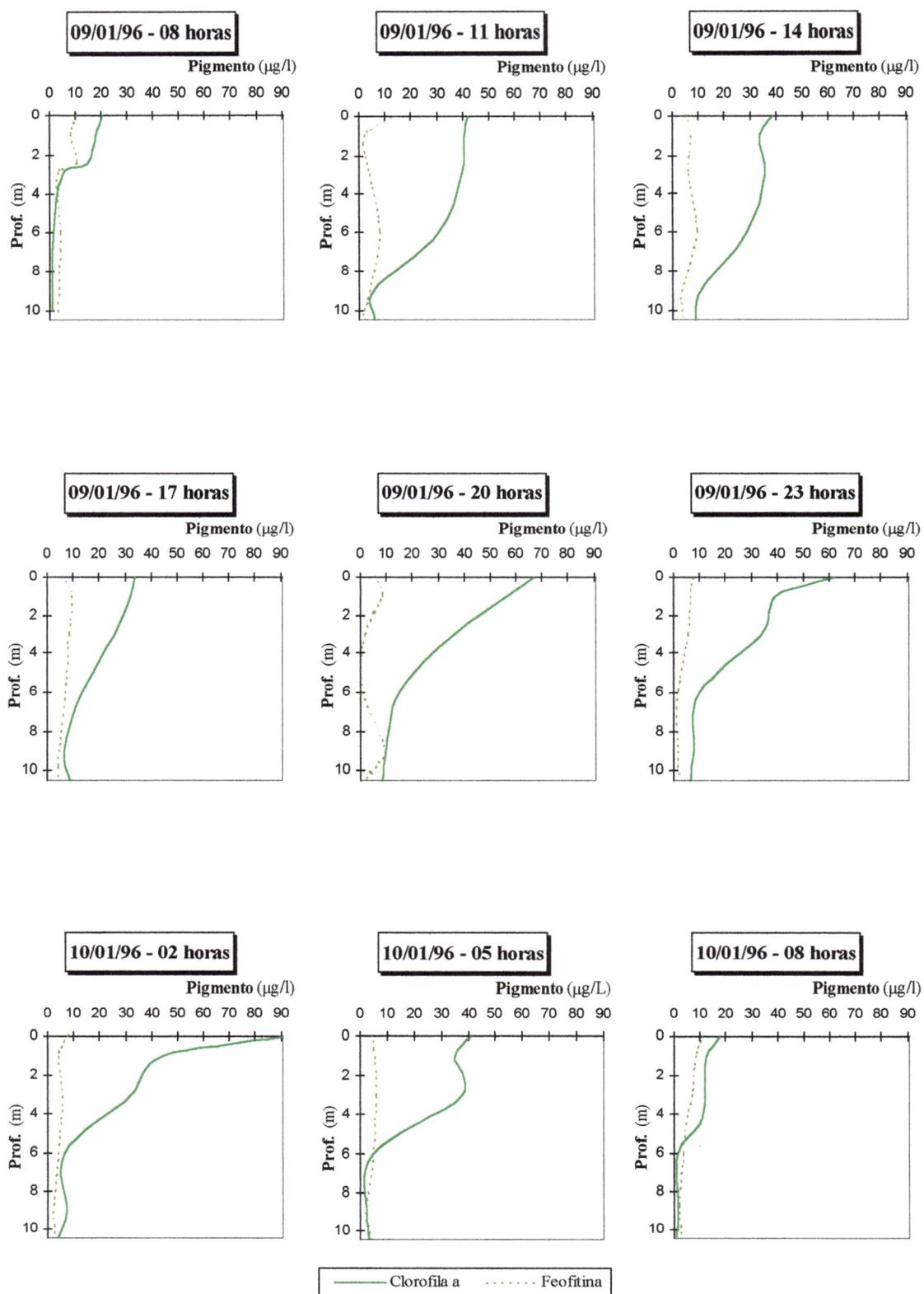


Figura 9a: Perfis das concentrações de clorofila *a* e feofitina nos diferentes horários durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

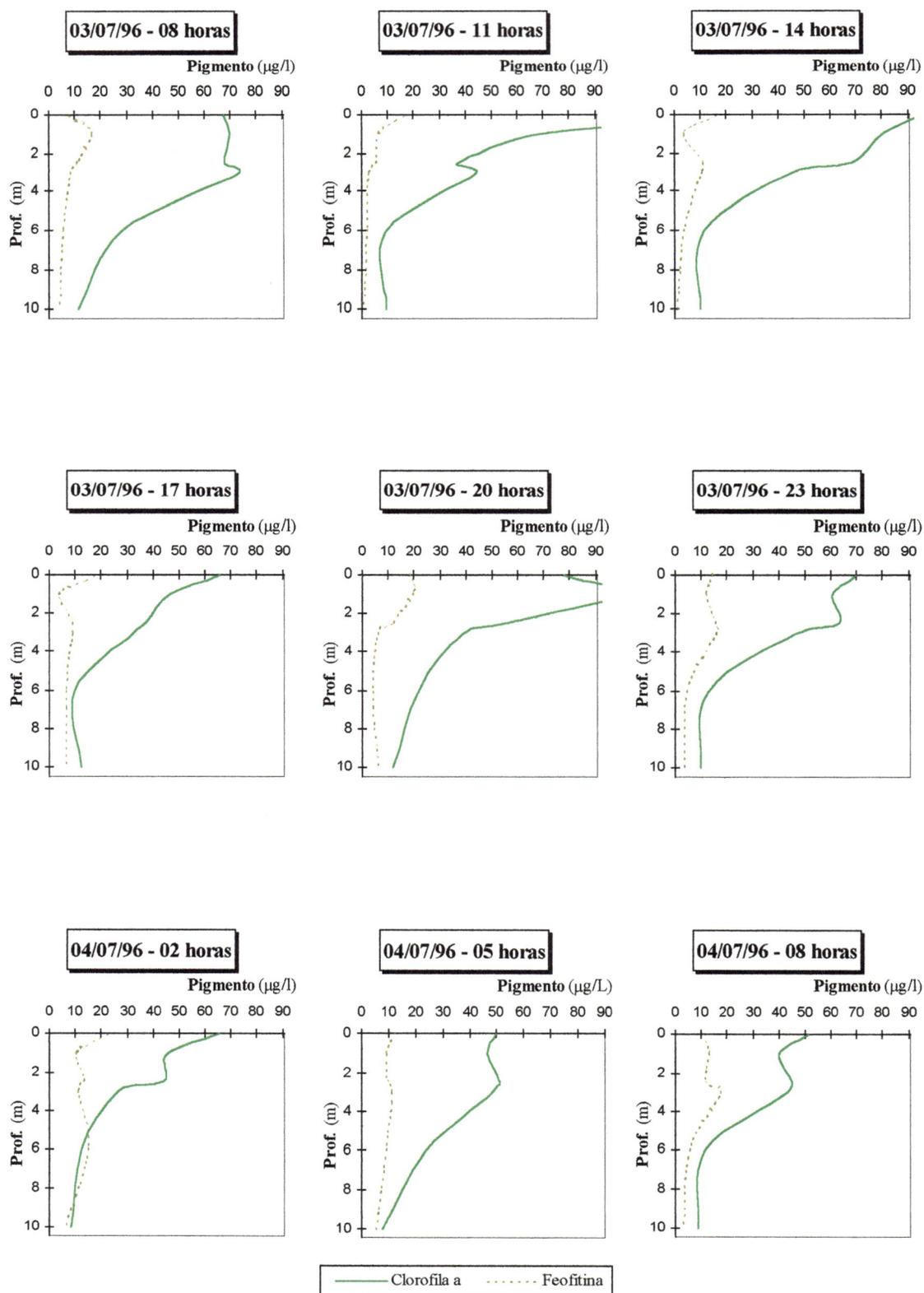


Figura 9b – Perfis das concentrações de clorofila *a* e feofitina nos diferentes horários durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

4.3.2. Comunidade Fitoplanctônica

4.3.2.a. Análise Qualitativa

Somando-se os quatro dias de amostragens, foram encontrados 61 taxa, que estão listados a seguir, agrupados em classes:

CYANOPHYCEAE

- Anabaena circinalis* Rabenh. Ex Born. et Flah. 1886
- Aphanocapsa* sp
- Chroococcus limneticus* Lemmermann
- Merismopedia glauca* (Ehrenberg) Kützing
- Merismopedia* sp
- Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing
- Microcystis lamelliformis* Holsinger
- Planktothrix mougeotii* (Bory ex Gom.)
- Pseudanabaena catenata* Lauterberborni
- Pseudanabaena mucicola* (Huber - Pestalozzi & Naumann) Bourrelly

CHLOROPHYCEAE

- Ankistrodesmus bibrarianus* (Reinsch) Korsikov
- Ankyra* spp
- Botryococcus* sp
- Chlamydomonas* spp
- Chlorella* spp
- Closteriopsis accicularis* (G. M. Smith) Belcher & Swale 1962
- Closterium* spp
- Coelastrum pulchrum* Schmidle var. *pulchrum*
- Coenochloris hindakii* Komárek
- Cosmarium* sp
- Crucigenia fenestrata* (Schmidle) Schmidle
- Crucigenia quadrata* Morr.
- Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz
- Eudorina elegans* Ehrenberg
- Golenkinia radiata* Chordat
- Kirchneriela lunaris* (Kirchn.) Moeb.
- Micractinium bornhemiense* (Conr.) Korsikov
- Micractinium pusillum* Fresenius
- Monoraphidium contortum* (Thur.) Komárek - Legn.
- Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárek - Legn.
- Monoraphidium skujae* Fott
- Monoraphidium tortile* (W. & G. S. West) Komárek - Legn.
- Monoraphidium* spp
- Pediastrum simplex* Meyen var. *simplex*
- Pediastrum tetras* (Ehrenb.) Ralfs 1844

Scenedesmus acuminatus (Lagerh.) Chodat
Scenedesmus bicaudatus Dedusenko
Scenedesmus brevispina (G. M. Smith) Chodat
Scenedesmus denticulatus Lagerh.
Scenedesmus dimorphus (Turp.) Kützing
Scenedesmus obtusus Meyen
Scenedesmus opoliensis P. Richter
Schoroederia antillarum Komárek
Staurastrum gracile Ralfs var. *tenuissima* Boldt.
Staurastrum paradoxum Meyen var. *longipes* Nordst

EUGLENOPHYCEAE

Peranema sp
Strombomonas spp
Trachelomonas spp

CHRYSOPHYCEAE

Mallomonas spp

CRYPTOPHYCEAE

Cryptomonas cf. *brasiliensis* Castro, Bicudo & Bicudo
Cryptomonas cf. *lobata* Korsikov
Cryptomonas spp

BACILARIOPHYCEAE

Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Ralfs
Aulacoseira italica Simonsen
Ciclotella sp
Diatoma sp
 Pennales (não identificadas)
Stauroneis sp
Synedra sp

DINOPHYCEAE

Dinobryon sp
Peridinium willei Huitfeld-Kaas

A classe Cyanophyceae, representada por 10 taxa, esteve presente em 89,1 % das amostras coletadas durante a variação de verão e 98,1 % na variação de inverno. A classe Chlorophyceae, representada por 35 espécies, esteve presente em 41,8 % das amostras na variação de verão e em 90,7 % das amostras na variação de inverno. A classe Cryptophyceae, representada por 3 taxa, esteve presente em 67,3 % das amostras coletadas durante a variação de verão e em 81,5 % das amostras

coletadas na variação de inverno. A classe Bacilariophyceae, representada por 7 taxa, esteve presente em 92,7 % das amostras coletadas durante a variação de verão e em 98,1 % das amostras coletadas na variação de inverno. As demais classes, Euglenophyceae, Chrysophyceae e Dinophyceae, não foram encontradas na análise quantitativa, apenas na análise qualitativa.

4.3.2.b. Análise Quantitativa

Densidade Fitoplanctônica

A densidade total de organismos fitoplanctônicos coletados foi maior na variação de inverno do que na variação de verão. A média das densidades totais obtidas na coluna d'água foi de $11,9 \cdot 10^6$ org./l no verão e $48,6 \cdot 10^6$ org./l na variação de inverno. Na variação de verão, o valor mais elevado das densidades totais obtidas na coluna d'água foi de $34,5 \cdot 10^3$ org./l no dia 10/01/96 às 5 horas a 0 metros, já no dia 09/01/96 às 23 horas a 10,5 metros e no dia 10/01/95 às 2 e 8 horas a 10,5 metros não foi encontrado nenhum organismo fitoplanctônico nas amostras coletadas. Na variação de inverno, o valor mais elevado das densidades totais obtidas na coluna d'água foi de $125 \cdot 10^3$ org./l no dia 03/07/96 às 14 horas a 0 metros e o mínimo foi de $3,5 \cdot 10^3$ org./l no dia 04/07/96 às 8 horas a 10 metros.

A densidade total da classe Cyanophyceae foi maior na variação de inverno do que na variação de verão. A média das densidades totais de cianofíceas obtidas na coluna d'água foi de $8,2 \cdot 10^3$ org./l no verão e $22,1 \cdot 10^3$ org./l na variação de inverno. Na variação de verão, o valor mais elevado das densidades totais de cianofíceas obtidas na coluna d'água foi de $29,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 10/01/96 às 5 horas a 0 metros (figura 10a). Na variação de inverno, o valor mais elevado das densidades totais de cianofíceas obtidas na coluna d'água foi de $63,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 03/07/96 às 14 horas a 0 metros (figura 10b).

A densidade total da classe Chlorophyceae foi maior na variação de inverno do que na variação de verão. A média das densidades totais de clorofíceas obtidas na coluna d'água foi de $0,5 \cdot 10^3$ org./l no verão e $12,5 \cdot 10^3$ org./l na variação

de inverno. Na variação de verão, o valor mais elevado das densidades totais de clorofíceas obtidas na coluna d'água foi de $3,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 09/01/96 às 11 horas a 6 metros e às 14 horas a 1 metros (figura 11a). Na variação de inverno, o valor mais elevado das densidades totais de clorofíceas obtidas na coluna d'água foi de $50,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 03/07/96 às 11 horas a 0 metros (figura 11b).

A densidade total da classe Cryptophyceae foi maior na variação de inverno do que na variação de verão. A média das densidades totais de criptofíceas obtidas na coluna d'água foi de $1,4 \cdot 10^3$ org./l no verão e $9,9 \cdot 10^3$ org./l na variação de inverno. Na variação de verão, o valor mais elevado das densidades totais de criptofíceas obtidas na coluna d'água foi de $6,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 09/01/96 às 8 horas a 0 metros (figura 12a). Na variação de inverno, o valor mais elevado das densidades totais de criptofíceas obtidas na coluna d'água foi de $32,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 03/07/96 às 14 horas a 0 metros (figura 12b).

A densidade total da classe Bacilariophyceae foi maior na variação de inverno do que na variação de verão. A média das densidades totais de bacilariofíceas obtidas na coluna d'água foi de $1,7 \cdot 10^3$ org./l no verão e $3,7 \cdot 10^3$ org./l na variação de inverno. Na variação de verão, o valor mais elevado das densidades totais de bacilariofíceas obtidas na coluna d'água foi de $4,5 \cdot 10^3$ org./l no dia 09/01/96 às 14 e 17 horas a 0 metros (figura 13a). Na variação de inverno, o valor mais elevado das densidades totais de bacilariofíceas obtidas na coluna d'água foi de $10,0 \cdot 10^3$ org./l no dia 03/07/96 às 20 horas a 1 metros (figura 13b).

Porcentagem de Contribuição das Classes

As cianofíceas apresentaram uma porcentagem de contribuição de 70 % no período de verão e 46 % no inverno. As criptofíceas apresentaram uma porcentagem de contribuição de 12 % no período de verão e 20 % no inverno. As bacilariofíceas apresentaram uma porcentagem de contribuição de 14 % no período de verão e 8 % no inverno. As clorofíceas apresentaram uma porcentagem de contribuição de 4 % no período de verão e 26 % no inverno (figura 14).

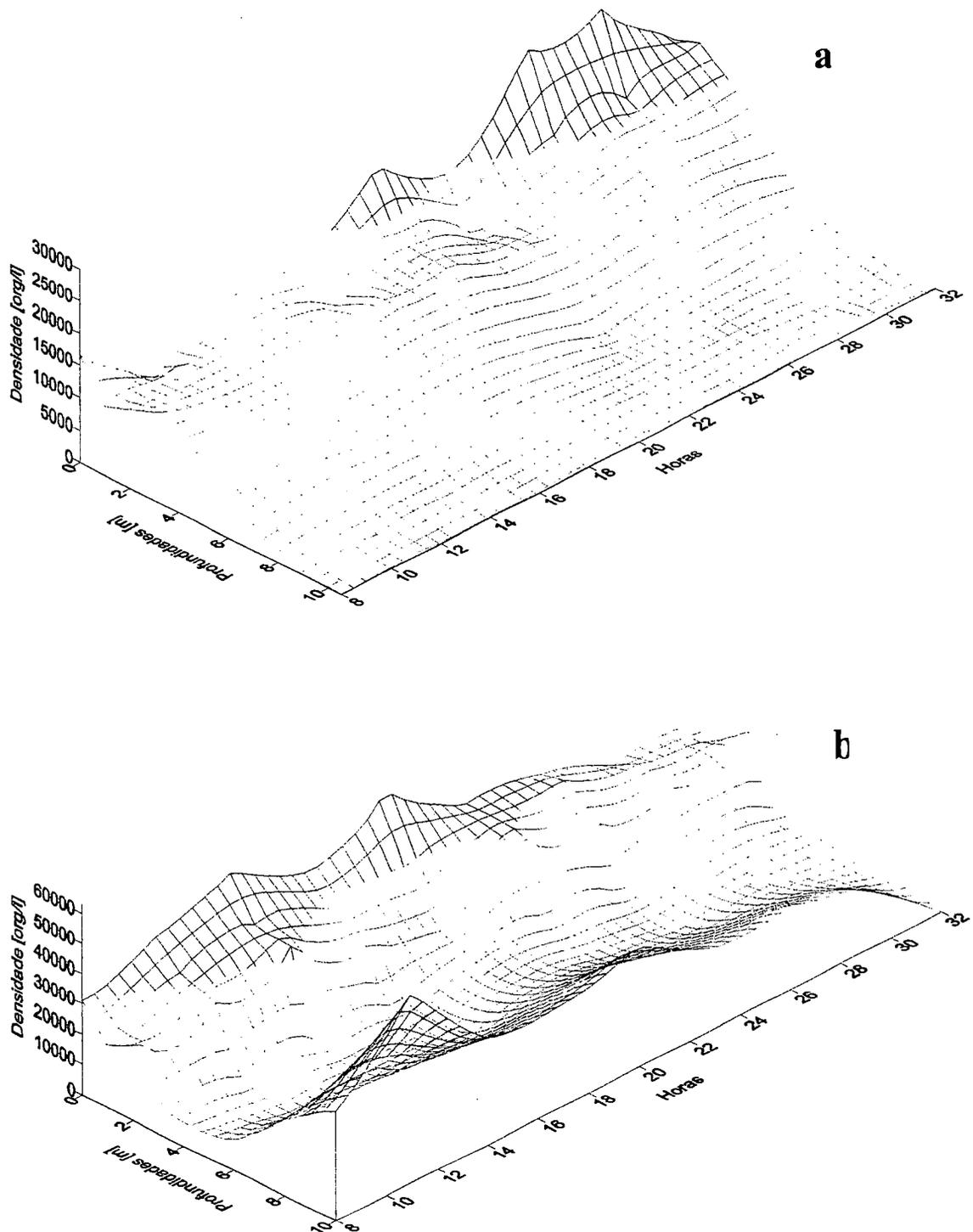


Figura 10: Densidade da classe Cyanophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b).

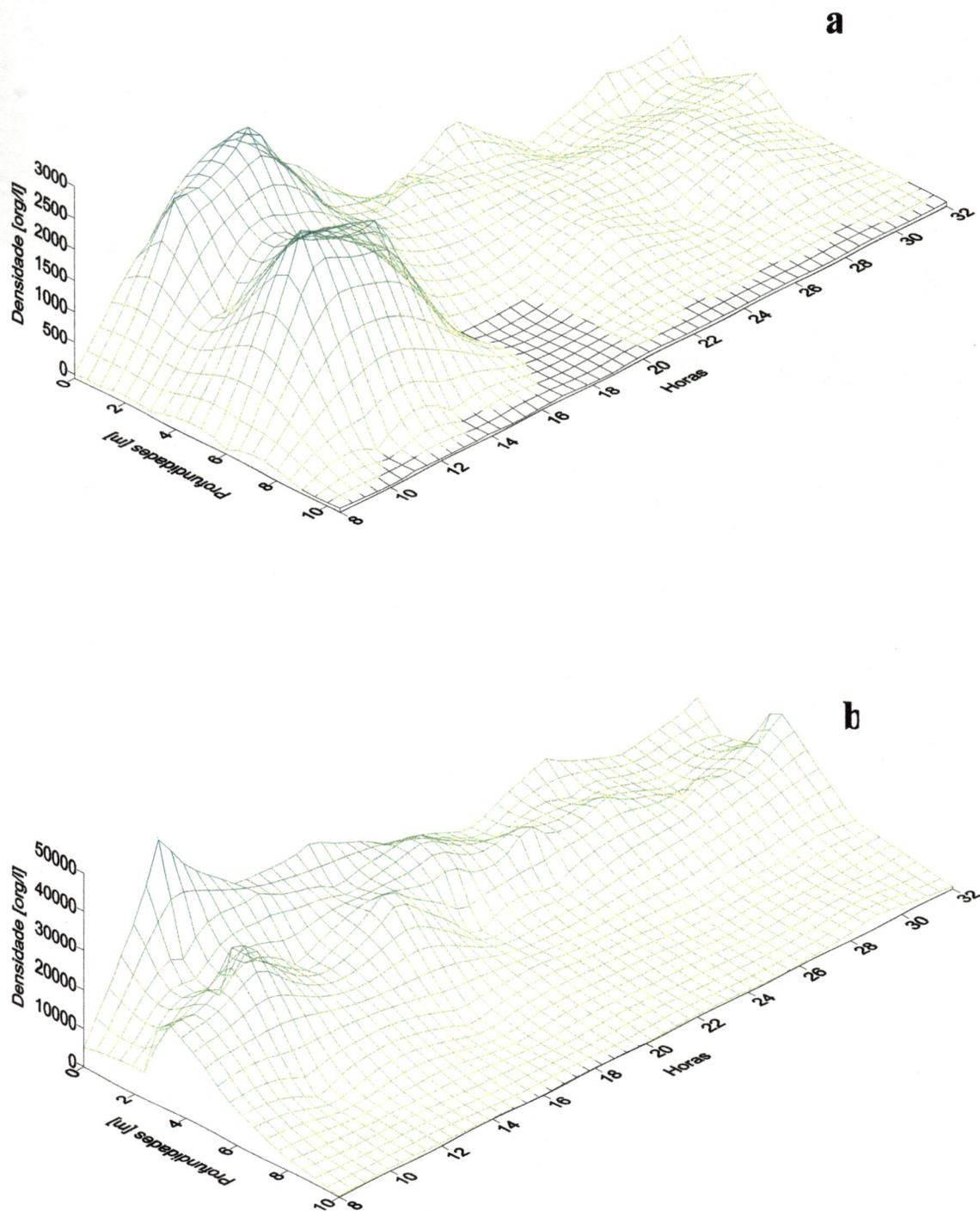


Figura 11: Densidade da classe Chlorophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b).

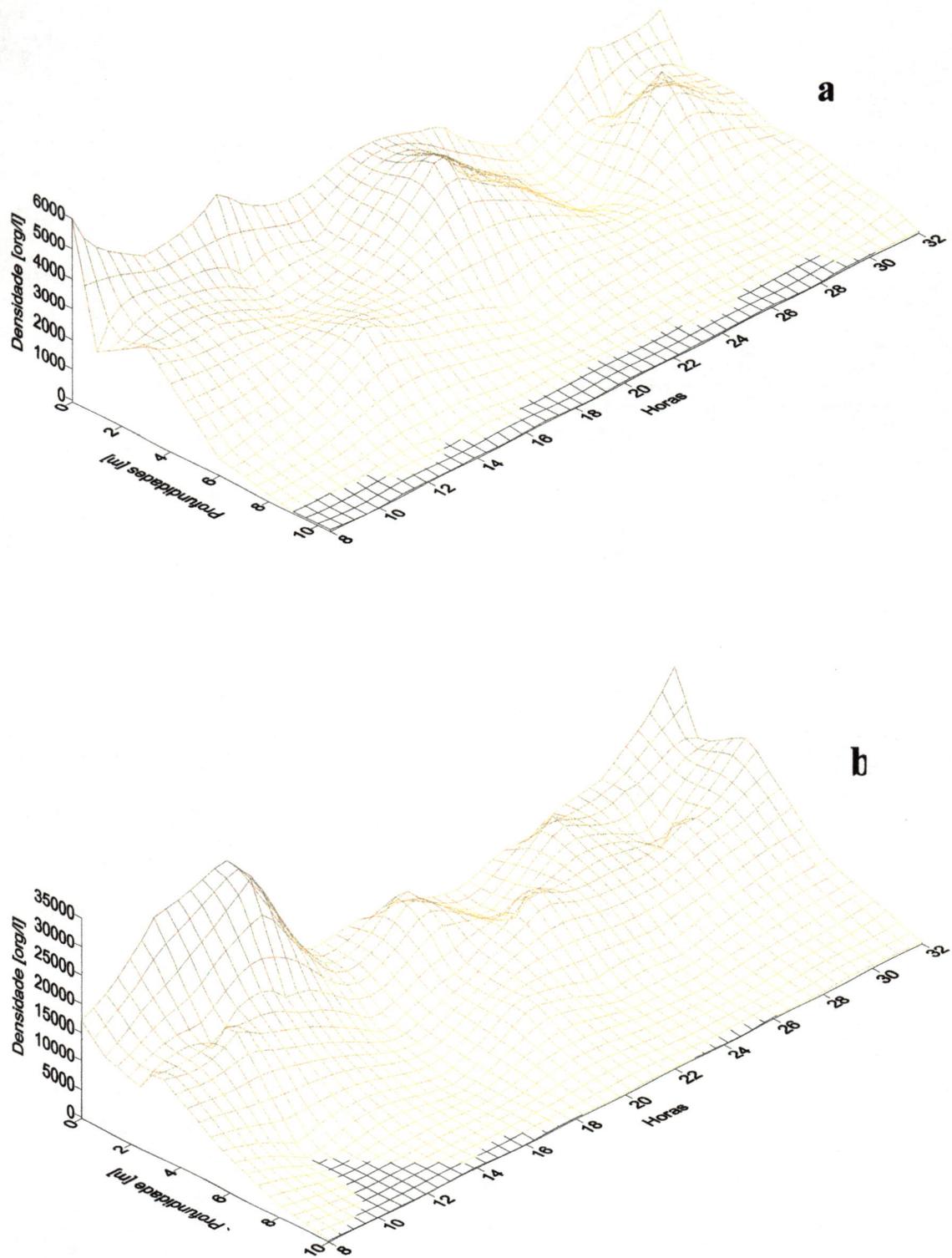


Figura 12: Densidade da classe Cryptophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b).

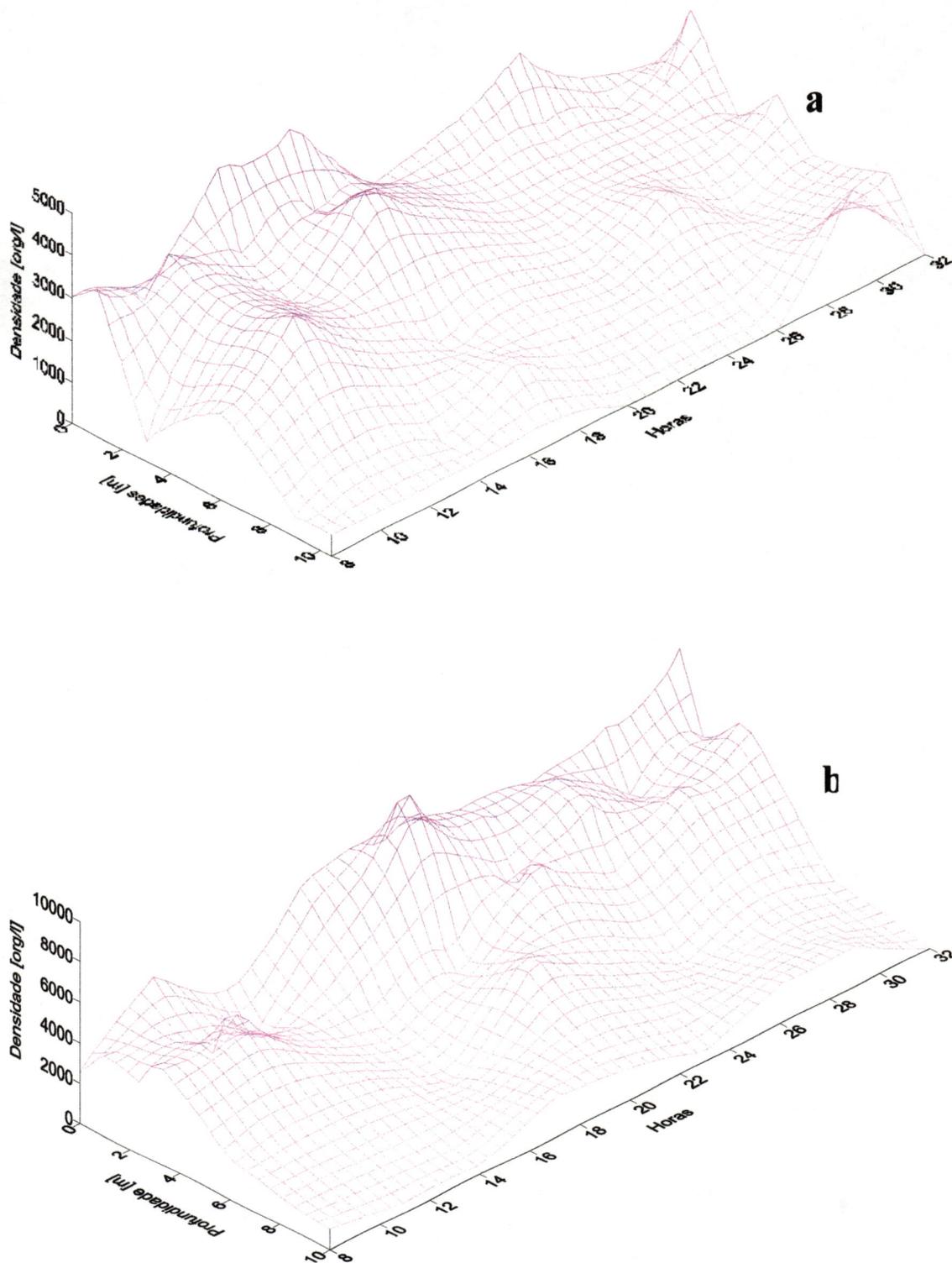


Figura 13: Densidade da classe Chlorophyceae nos diferentes horários no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b).

Abundância Relativa

De acordo com o método de contagem utilizado, os organismos mais abundantes, em ordem decrescente foram: *Microcystis* spp (dominante no verão – 50,2% e dominante no inverno – 51%), *Aulacoseira granulata* (comum no verão – 20,3% e ocasional no inverno – 1,8%), *Cryptomonas lobata* (ocasional no verão – 8,4% e ocasional no inverno – 8,5%), *Monoraphidium tortille* (raro no verão – 0,1% e comum no inverno – 13%), *Diatoma* sp (ocasional no verão – 2,5% e ocasional no inverno – 5,7%), *Pseudanabaena mucicola* (ocasional no verão – 5,9% e raro no inverno – 0,4%), *Cryptomonas brasiliensis* (nulo no verão e ocasional no inverno – 5,7%), *Schroederia antillarum* (raro no verão – 0,1% e ocasional no inverno – 3,8%), *Ciclotella* sp (ocasional no verão – 1,5% e ocasional no inverno – 1,5%) e *Cryptomonas* spp (raro no verão – 0,3% e ocasional no inverno – 2,6%). Os demais organismos encontrados foram considerados raros em ambos períodos, apresentando valores de abundância relativa inferiores a 1%.

Embora existissem duas espécies distintas de *Microcystis*, não foi possível contá-las separadamente, uma vez que o microscópio invertido não tinha o aumento necessário para diferenciá-las. Cada colônia foi considerada como um indivíduo. Cada 20 células soltas de *Microcystis* contadas, foram consideradas como sendo uma colônia. Cada filamento de *Pseudanabaena mucicola* foi considerado como um indivíduo, embora estes tenham sido, na maioria das vezes, encontrados associados a colônia de *Microcystis*. Não era raro encontrar, dentro de apenas uma colônia de *Microcystis*, de 5 a 25 filamentos de *Pseudanabaena mucicola*. Esse fato foi mais comum na superfície e principalmente no período de verão.

Para esta análise quantitativa não foi considerado o biovolume, mas é visível que uma colônia de *Microcystis* possui um volume bem maior que um filamento de *Pseudanabaena mucicola* ou uma célula de *Cryptomonas*. Logo, se o cálculo de abundância relativa tivesse sido feito com valores de densidade em função do biovolume de cada indivíduo e não simplesmente em função do número de indivíduos, muito provavelmente *Microcystis* spp teria apresentado uma abundância relativa bem superior, podendo chegar a ser considerada abundante no inverno e dominante no verão.

No verão, a média dos valores de abundância relativa na coluna d'água de *Microcystis* spp variou de 34,3 % (09/01/96 – 11h) a 71,7 % (10/01/96 – 2h); *Aulacoseira granulata* variou de 6,6 % (10/01/96 – 5h) a 15,7 % (09/01/96 – 17h); de *Cryptomonas lobata* variou de 3,4 % (10/01/96 – 2h) a 15,2 % (09/01/96 – 20h); de *Monoraphidium tortille* foi de 0,7 % e ocorreu apenas no dia 09/01/96 às 11 horas; de *Diatoma* sp variou de 0 % (09/01/96 – 11 e 14h) a 4,4 % (09/01/96 – 8h); de *Pseudanabaena mucicola* variou de 5,8 % (09/01/96 – 11h) a 15,9 % (10/01/96 – 11h); de *Cryptomonas brasiliensis* foi de 0 %; de *Schroederia antillarum* variou de 0 % (09/01/96 – 8, 11, 14 e 17h e 10/01/96 – 2 e 5h) a 0,9 % (09/01/96 – 23h); de *Ciclotella* sp variou de 0 % (09/01/96 – 17 e 20h) a 4,4 % (09/01/96 – 11h) e de *Cryptomonas* spp variou de 0 % (09/01/96 – 14, 17, 20 e 23h e 10/01/96 – 2 e 5h) a 2,2 % (09/01/96 – 8h) e a média dos valores de abundância relativa dos demais indivíduos juntos variou de 0,7 % (09/01/96 – 8h e 10/01/96 – 2h) a 24,8 % (09/01/96 – 11h) (figura 15a).

No inverno, a média dos valores de abundância relativa na coluna d'água de *Microcystis* spp variou de 34,8 % (04/07/96 – 8h) a 55,5 % (03/07/96 – 23h); *Aulacoseira granulata* variou de 0,5 % (03/07/96 – 14h) a 2,5 % (04/07/96 – 5h); de *Cryptomonas lobata* variou de 6,8 % (04/07/96 – 2h) a 14,7 % (03/07/96 – 8h); de *Monoraphidium tortille* variou de 9,3 % (03/07/96 – 8h) a 20,5 % (03/07/96 – 11h); de *Diatoma* sp variou de 1,8 % (03/07/96 – 14h) a 7,6 % (03/07/96 – 20 e 23h); de *Pseudanabaena mucicola* variou de 0 % (03/07/96 – 17 e 23h) a 1,1 % (03/07/96 – 11h); de *Cryptomonas brasiliensis* variou de 1,7 % (03/07/96 – 17h) a 12,6 % (04/07/96 – 8h); de *Schroederia antillarum* variou de 2,7 % (04/07/96 – 2h) a 6 % (03/07/96 – 11h); de *Ciclotella* sp variou de 0,5 % (03/07/96 – 14h) a 2,7 % (04/07/96 – 8h) e de *Cryptomonas* spp variou de 0,4 % (03/07/96 – 8 e 17h) a 8,6 % (04/07/96 – 8h) e a média dos valores de abundância relativa dos demais indivíduos juntos variou de 4,5 % (03/07/96 – 14h) a 10,5 % (03/07/96 – 17h) (figura 15b).

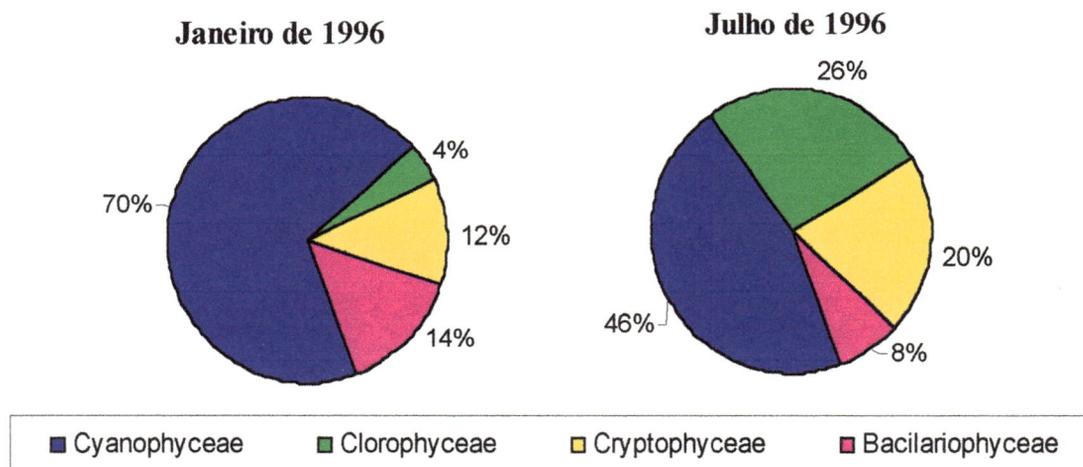


Figura 14: Porcentagem de contribuição média das diferentes classes no Reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 e nos dias 3 e 4/07/96.

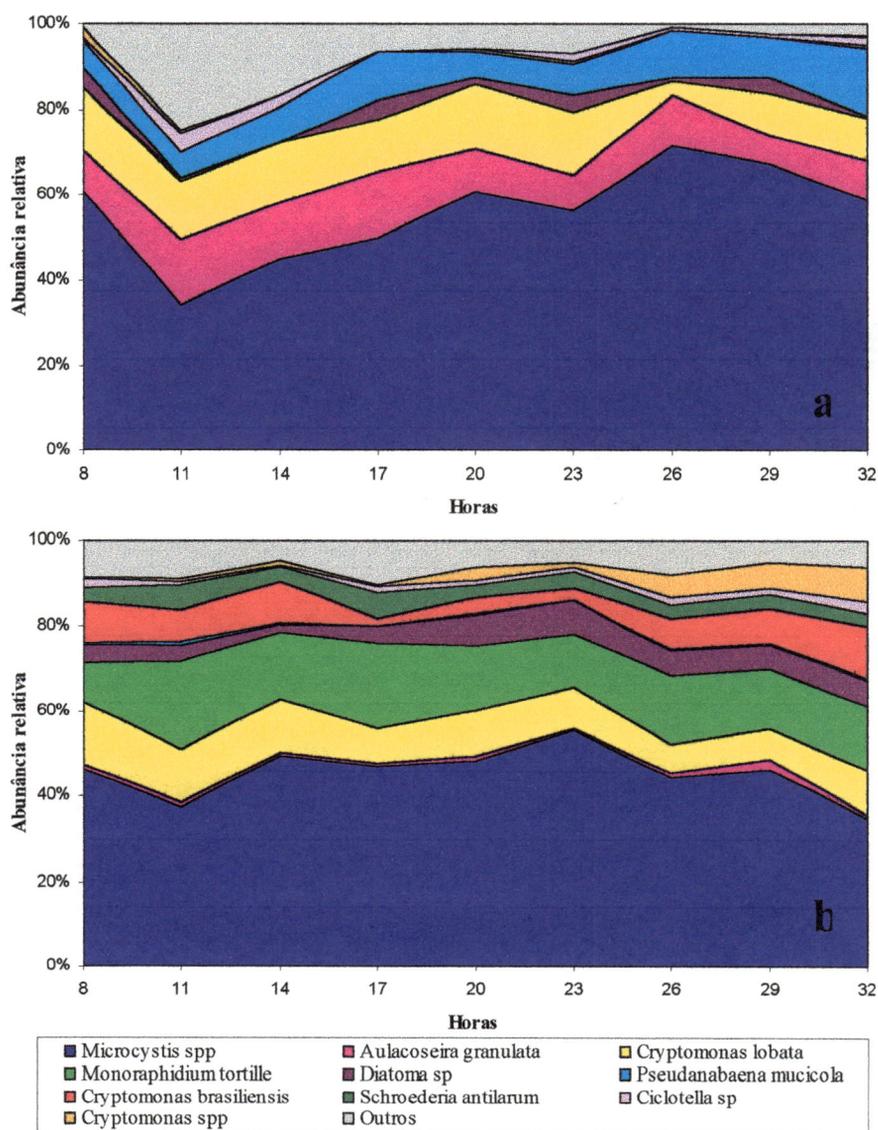


Figura 15: Abundância relativa dos organismos mais abundantes no reservatório de Salto Grande durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96 (a) e nos dias 3 e 4/07/96 (b).

Índices de Diversidade, Equidade, Riqueza, Dominância e Número de Espécies Encontradas

A média dos índices de diversidade obtidos na coluna d'água durante a variação de verão foi de 1,5 e variou de 0,0 a 2,9. Na variação de inverno, a média dos índices de diversidade foi de 2,2 e variou de 0,4 a 3,0. A equidade manteve-se igual nos dois períodos (0,7). Os Índices de Diversidade de Shannon e de Riqueza e o número de espécies foram maiores na variação de inverno (2,2; 10,3 e 10, respectivamente), quando comparados à variação de verão (1,5; 4,8 e 5, respectivamente). Considerando-se a média dos valores obtidos na coluna d'água, tem-se que, o Índice de Dominância foi maior na variação de verão (0,4) do que na variação de inverno (0,3). Na variação de verão, o número de espécies encontradas na coluna d'água variou de 0 a 14. Na variação de inverno, o número de espécies encontradas na coluna d'água variou de 2 a 18 (tabelas 11a e 11b).

Os termos “número de espécies” e “riqueza” foram utilizados com significados diferentes: o primeiro refere-se ao número de espécies que foi encontrado em uma amostra quantitativa, enquanto o segundo indica o número total de espécies que podem ser encontradas no ambiente estudado (pelo menos durante o período estudado) (PADISÁK, 1991).

Tabela 11a: Índices de diversidade, equidade, riqueza e dominância, e número de espécies encontrados durante as coletas nos dias 9 e 10/01/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Diversidade	Equidade	Riqueza	Dominância	Nº de espécies	
09/01/96	08 h	0,0	1,7	0,6	6,9	0,4	7	
		1,0	1,9	0,7	5,9	0,4	6	
		3,0	1,6	0,7	4,9	0,5	5	
		6,0	1,1	0,7	2,9	0,5	3	
		9,0	1,0	1,0	1,9	0,5	2	
		10,5	0,0	0,0	0,8	1,0	1	
	11 h	0,0	2,6	0,8	8,9	0,2	9	
		1,0	2,9	0,8	13,9	0,2	14	
		3,0	2,7	0,9	7,9	0,2	8	
		6,0	2,5	0,8	7,9	0,2	8	
		9,0	0,9	0,9	1,9	0,6	2	
		10,5	1,0	1,0	1,9	0,5	2	
	14 h	0,0	2,6	0,8	9,9	0,2	10	
		1,0	2,5	0,8	9,9	0,3	10	
		3,0	2,1	0,7	6,9	0,3	7	
		6,0	2,5	0,8	7,9	0,2	8	
		9,0	0,9	0,9	1,9	0,6	2	
		10,5	0,0	0,0	0,8	1,0	1	
	17 h	0,0	2,5	0,8	8,9	0,2	9	
		1,0	2,1	0,7	6,9	0,3	7	
		3,0	2,0	0,7	6,9	0,4	7	
		6,0	1,5	0,8	3,9	0,4	4	
		9,0	1,5	1,0	2,9	0,4	3	
		10,5	1,0	1,0	1,9	0,5	2	
20 h	0,0	1,6	0,6	5,9	0,5	6		
	1,0	2,2	0,7	8,9	0,3	9		
	3,0	1,7	0,7	4,9	0,4	5		
	6,0	1,6	0,7	4,9	0,4	5		
	9,0	0,8	0,8	1,9	0,6	2		
	10,5	0,0	0,0	0,9	1,0	1		
23 h	0,0	2,0	0,7	7,9	0,4	8		
	1,0	2,2	0,8	6,9	0,3	7		
	3,0	1,9	0,7	6,9	0,4	7		
	6,0	2,2	0,9	4,9	0,3	5		
	9,0	0,8	0,8	1,9	0,6	2		
	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0		
10/01/96	2 h	0,0	1,3	0,6	3,9	0,5	4	
		1,0	1,1	0,5	4,9	0,6	5	
		3,0	1,3	0,6	4,9	0,6	5	
		6,0	1,5	0,9	2,9	0,4	3	
		9,0	0,8	0,8	1,9	0,6	2	
		10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0	
	5 h	0,0	1,6	0,6	6,9	0,5	7	
		1,0	1,0	0,5	3,9	0,7	4	
		3,0	1,6	0,6	5,9	0,5	6	
		6,0	1,3	0,6	3,9	0,6	4	
		9,0	1,0	1,0	1,9	0,5	2	
		10,5	1,4	0,9	2,9	0,4	3	
	8 h	0,0	1,8	0,6	7,9	0,4	8	
		1,0	1,6	0,8	3,9	0,4	4	
		3,0	1,8	0,6	6,9	0,4	7	
		4,5	1,7	0,7	4,9	0,4	5	
		6,0	1,8	0,9	3,9	0,3	4	
		9,0	2,2	0,9	4,9	0,3	5	
	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0		
	Média			1,5	0,7	4,8	0,4	4,9
	Desvio	Padrão		0,8	0,3	3,0	0,2	3,0

Tabela 11b: Índices de diversidade, equidade, riqueza e dominância, e número de espécies encontrados durante as coletas nos dias 3 e 4/07/96.

Datas	Horas	Prof. [m]	Diversidade	Equidade	Riqueza	Dominância	Nº de espécies	
03/07/96	08 h	0,0	2,4	0,7	11,9	0,3	12	
		1,0	2,2	0,6	11,9	0,4	12	
		2,5	2,5	0,7	12,9	0,3	13	
		3,0	2,6	0,7	11,9	0,2	12	
		6,0	2,9	0,8	11,9	0,2	12	
		10,0	0,8	0,4	3,9	0,8	4	
	11 h	0,0	2,9	0,7	16,9	0,2	17	
		1,0	2,6	0,7	13,9	0,3	14	
		2,5	2,7	0,7	15,9	0,3	16	
		3,0	2,7	0,7	12,9	0,2	13	
		6,0	1,9	0,7	6,9	0,4	7	
		10,0	1,0	0,6	2,9	0,6	3	
	14 h	0,0	2,4	0,6	12,9	0,3	13	
		1,0	2,2	0,7	7,9	0,3	8	
		2,5	2,3	0,6	12,9	0,3	13	
		3,0	2,4	0,6	12,9	0,3	13	
		6,0	2,2	0,8	6,9	0,3	7	
		10,0	0,4	0,4	1,9	0,9	2	
	17 h	0,0	2,7	0,7	17,9	0,3	18	
		1,0	2,3	0,7	10,9	0,3	11	
		2,5	2,5	0,7	13,9	0,3	14	
3,0		2,4	0,7	9,9	0,3	10		
6,0		1,4	0,6	4,9	0,5	5		
10,0		1,3	0,6	3,9	0,5	4		
20 h	0,0	2,4	0,7	10,9	0,3	11		
	1,0	2,7	0,7	16,9	0,3	17		
	2,5	2,5	0,7	11,9	0,3	12		
	3,0	2,4	0,8	8,9	0,3	9		
	6,0	2,3	0,8	7,9	0,3	8		
	10,0	0,7	0,4	2,9	0,8	3		
23 h	0,0	2,0	0,6	8,9	0,4	9		
	1,0	2,1	0,6	10,9	0,4	11		
	2,5	2,2	0,6	10,9	0,3	11		
	3,0	2,3	0,7	9,9	0,3	10		
	6,0	2,2	0,7	8,9	0,3	9		
	10,0	0,8	0,4	3,9	0,7	4		
04/07/96	2 h	0,0	2,7	0,7	15,9	0,2	16	
		1,0	2,7	0,7	13,9	0,2	14	
		2,5	2,7	0,7	13,9	0,3	14	
		3,0	2,6	0,7	11,9	0,2	12	
		6,0	2,3	0,8	7,9	0,3	8	
		10,0	1,7	0,8	3,9	0,4	4	
	5 h	0,0	2,7	0,7	13,9	0,3	14	
		1,0	2,6	0,8	10,9	0,2	11	
		2,5	2,1	0,7	8,9	0,4	9	
		3,0	2,9	0,8	13,9	0,2	14	
		6,0	2,4	0,7	8,9	0,3	9	
		10,0	2,1	0,8	5,9	0,3	6	
	8 h	0,0	2,9	0,8	13,9	0,2	14	
		1,0	2,9	0,8	13,9	0,2	14	
		2,5	3,0	0,8	11,9	0,2	12	
		3,0	2,8	0,8	11,9	0,2	12	
		6,0	2,4	0,9	6,9	0,2	7	
		10,0	0,6	0,6	1,9	0,8	2	
	Média			2,2	0,7	10,3	0,3	10,4
	Desvio	Padrão		0,6	0,1	4,1	0,2	4,1

5. DISCUSSÃO

5.1. FATORES CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

A incidência conjunta dos fatores climatológicos e hidrológicos pode ser definida como a base estrutural de todos os processos que ocorrem dentro de um reservatório, predominantemente nas regiões tropicais, uma vez que determinam toda a dinâmica e a distribuição vertical na coluna d'água das demais variáveis químicas e biológicas.

Com relação à estrutura térmica ao longo do ciclo nictemeral, os resultados obtidos demonstraram uma certa discrepância, quando comparados com aqueles obtidos em estudos análogos, realizados em reservatórios no estado de São Paulo (HENRY, 1981, SIMONATO, 1986; ESTEVES, 1988; GAVILÁN, 1990). Embora não seja possível definir um padrão único de comportamento da estrutura térmica dos corpos d'água, uma vez que isso depende da interação de uma série de particularidades específicas de cada ambiente, como as condições climáticas, morfometria, hidrografia, latitude e altitude, é comum encontrar, em regiões tropicais e subtropicais, um certo padrão de estrutura térmica vertical, com períodos de estratificação, mistura e isoterma.

Ao longo do ciclo nictemeral, tanto na variação de verão, como na de inverno, o perfil térmico do reservatório não apresentou grandes oscilações. Durante a variação de verão, o perfil térmico apresentou-se praticamente uniforme ao longo de toda a coluna d'água, com uma pequena tendência à formação de termoclina entre 4,5 m e 6,0 m de profundidade. Na superfície da coluna d'água, houve um leve aquecimento das 11 horas às 17 horas, quando a temperatura passou de 24,4°C para

24, 8°C. A inexistência de um aumento de temperatura mais significativo na superfície da coluna d'água deveu-se ao tempo nublado ao longo do período de coleta, diminuindo a ação da radiação solar sobre o corpo d'água. A ausência de ventos fortes e a temperatura do ar em torno de 22,5°C também podem ter favorecido a estabilidade da estrutura térmica do reservatório. Durante a variação de inverno, o reservatório também não apresentou um perfil térmico nitidamente estratificado, mas apenas a formação de microestratificação na superfície, em função do aquecimento provocado pela radiação solar. A temperatura na superfície d'água passou de 19°C, às 11 horas para 21°C, às 14 horas. A partir deste horário, ocorreu um aumento na velocidade do vento (4,16 km/h), que levou a uma quebra da microestratificação e o conseqüente resfriamento e mistura das camadas superiores da coluna d'água. Abaixo de 5 m, semelhante ao ocorrido durante a variação de verão, a coluna d'água permaneceu praticamente inalterada com uma oscilação máxima de 0,3°C. As maiores densidades também foram encontradas no fundo, com valores iguais a 0,9973 na variação de verão e 0,9986 na variação de inverno (figuras 3a e 3b).

Um fator importante, que deve ser levado em conta quando se analisa a estrutura térmica de um reservatório, é a ação do vento. Em um estudo realizado na Represa do Lobo (Broa) por SIMONATO (1986), foi verificado que a incidência de ventos fortes e a conseqüente formação de ondas, principalmente em reservatórios e lagos rasos (até 20 metros de profundidade), causa turbulência e mistura no sistema em um curto intervalo de tempo (24 horas), tornando bastante dinâmicos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no corpo d'água. A velocidade média do vento no reservatório de Salto Grande foi de 1,62 km/h na variação de verão, com um máximo de 2,41 km/h às 17 horas e 2,30 km/h na variação de inverno, com um máximo de 4,16 km/h às 14 horas, único horário em que exerceu influência sobre a coluna d'água, ocasionando o resfriamento e a mistura do epilímnio microestratificado.

Assim, parece que no reservatório de Salto Grande não predominam condições de polimixia. Isto se deve ao fato da pequena influência do vento no sistema em decorrência da sua localização e da cobertura freqüente de macrófitas aquáticas flutuantes.

Estudos mais antigos realizados no reservatório de Salto Grande (FROEHLICH et al, 1978), demonstraram a ocorrência de circulação total no corpo d'água, porém, em períodos irregulares ao longo do ano, que o caracterizou como polimítico. O presente estudo também relatou períodos nos quais não foi observada a formação de uma termoclina típica, apesar da existência de estratificação química.

Alguns lagos estudados apresentam circulação restrita ao epilímnio, geralmente por serem muito profundos, com estratificações que nem o vento, nem o resfriamento conseguem quebrar, como o Lago George - África (GANF, 1974; GANF & HORNE, 1975), a Lagoa Carioca - MG - Brasil (BARBOSA 1981 e TUNDISI & MATSUMARA-TUNDISI, 1984), o Lago Dom Helvécio - MG - Brasil (TUNDISI & MATSUMARA-TUNDISI, 1984) e o Lago Tanganyka, - África (COULTER, 1988).

O reservatório de Salto Grande apresenta uma profundidade máxima de 19,80 m, sendo considerado como um corpo d'água raso, onde os fatores climáticos exercem forte influência. Porém, tanto na variação de verão, como na de inverno, as maiores profundidades apresentaram temperaturas e densidades praticamente constantes, sem sofrer, aparentemente, algum efeito direto por parte desses fatores climatológicos. Todas as alterações significativas na estrutura térmica do reservatório ficaram restritas à zona eufótica. A justificativa mais plausível para isso deve-se ao fato da tomada d'água pelas turbinas estar localizada na parte inferior da barragem, o que provocou, de forma bastante sutil, um fluxo diferenciado entre as camadas superior e inferior da coluna d'água.

GAVILAN DIAZ (1990), encontrou no reservatório de Barra Bonita, uma estratificação hidráulica originada pela vazão turbinada e pela altura da tomada d'água pelas turbinas, a 5,5 metros de profundidade. A diferente velocidade de duas massas de água criou uma termoclina isolando o epilímnio do hipolímnio durante o ciclo nictemeral. Estratificações dessa natureza também foram discutidas por TUNDISI (1984, 1985 e 1986) e CALIJURI (1988).

Num estudo que aborda a estrutura térmica de alguns lagos e reservatórios brasileiros, HENRY (1995) encontrou estratificação hidráulica no reservatório de Furnas - MG, onde ocorreu uma nítida separação entre duas zonas na

coluna d'água, a aproximadamente 40m, resultante da tomada d'água pelas turbinas. Dentre algumas conseqüências ecológicas observadas, resultantes dessa estratificação hidráulica, foi encontrado um alto tempo de retenção da água nas zonas mais profundas, além de um significativo aumento na concentração de amônia e uma redução na concentração de nitrato.

No caso do reservatório de Salto Grande, não foi constatada uma termoclina típica, isolando o epilímnio do hipolímnio, uma vez que a diferença de temperatura entre a camada superior e a inferior da coluna d'água foi muito pequena, embora constante, não passando de 2°C. Porém, as isolinhas de densidade (figuras 3a e 3b) demonstram claramente uma região mais densa no fundo.

A ocorrência de estratificação hidráulica no reservatório de Salto Grande pode ser confirmada pela localização da tomada d'água pelas turbinas na parte inferior da barragem, provocando um fluxo contínuo de água na camada inferior, coincidindo com a antiga calha do rio Atibaia.

5.2. PERFIL VERTICAL DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS

Das muitas variáveis químicas, o oxigênio dissolvido é aquele que melhor reflete as alterações ocorridas ao longo do ciclo nictemeral, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, uma vez que sua concentração é o resultado da somatória dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem dentro do corpo d'água.

Com relação às concentrações de oxigênio, a coluna d'água mostrou-se bem estratificada em ambas variações, com a ocorrência de oxiclina em todos os horários. Na variação de verão, o fundo do reservatório permaneceu em hipoxia, com uma concentração mínima de 1,16 mg/l de oxigênio dissolvido às 2 horas do dia 10/01/96 (figura 4a). Na camada inferior, as concentrações de oxigênio encontradas na variação de verão apresentaram valores inferiores às encontradas na variação de inverno. O maior acúmulo de matéria orgânica nas maiores profundidades, durante o verão, pode ter ocasionado um aumento no consumo de oxigênio dissolvido,

culminando com os períodos de hipoxia. Além da permanente oxiclina, o perfil de oxigênio dissolvido, nessa variação, apresentou microestratificações na superfície em função, provavelmente, de fatores climáticos e biológicos.

Durante a variação de inverno, houve um acentuado aumento na concentração de oxigênio dissolvido na faixa compreendida entre 0 e 0,5 m, durante os horários de maior intensidade luminosa (11 à 14 horas), quando as concentrações alcançaram um máximo de 8,58 mg/l (14 horas do dia 03/07/96). As altas concentrações de oxigênio na superfície foram favorecidas, provavelmente, pela intensa produtividade primária. A diminuição (hipoxia) de oxigênio no fundo, mesmo em situação de isoterma, deve-se ao grande consumo de oxigênio nos processos de oxidação biológica e/ou química. O estado de eutrofização desse ambiente, com uma grande proliferação de algas na superfície e constante deposição de seston no sedimento, reflete-se bem no perfil de oxigênio encontrado durante a variação de verão.

A ocorrência de chuvas nos dias que antecederam a variação de verão, foi responsável pelo enorme carreamento de material da bacia de drenagem para o corpo d'água e também pela ressuspensão de partículas na coluna d'água. Em decorrência disso, houve um aumento considerável da concentração de material inorgânico em suspensão (27,17 mg/l), comparado à concentração média encontrada no período de inverno (1,83 mg/l), quando houve ausência de chuva. A concentração de material orgânico em suspensão também foi maior no verão (6,49 mg/l), comparado ao inverno (4,18 mg/l). Na variação de verão, ocorreu um predomínio do material em suspensão inorgânico (80,71 %) sobre o material em suspensão orgânico (19,29 %), com concentrações mais elevadas no fundo para ambos. Já na variação de inverno ocorreu uma inversão, com o predomínio de material em suspensão orgânico (69,53 %) sobre o material em suspensão inorgânico (30,47 %); as concentrações mais elevadas de material em suspensão orgânico foram observadas na superfície, devendo-se em grande parte à ocorrência de florações de algas na superfície da coluna d'água.

Durante a variação de verão, as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito foram encontradas no fundo (10,5 m), enquanto as maiores concentrações de nitrato foram encontradas entre 1,0 m e 3,0 m. O mesmo ocorreu na variação de inverno, porém com concentrações menores de amônia e concentrações mais elevadas de nitrato. O maior tempo de residência da água durante o mês de julho (75 dias) e um aumento na concentração de oxigênio, podem ter contribuído para o aumento na concentração de nitrato, uma vez que possibilitam a ocorrência dos processos de oxidação biológica da amônia (nitrificação) e diminuem os processos de amonificação e desnitrificação, principalmente no fundo do reservatório (MARGALEF, 1983).

O acréscimo de 66 % da concentração de nitrogênio, durante a variação de inverno, comparada à variação de verão, pode estar relacionado ao aumento da concentração dos efluentes oriundos de fontes pontuais, como esgoto doméstico, devido à diminuição da vazão e ao aumento do tempo de residência da água. A elevação da concentração de nitrato foi de 91 % e de nitrito foi de 9,3 %, já a concentração de nitrogênio amoniacal sofreu uma redução de 16,1 %. Na variação de inverno, comparada à de verão, notou-se um maior aumento da forma de nitrogênio mais oxidada (NO_3) e um decréscimo da forma reduzida (NH_4), o que, provavelmente esteve relacionado à maior disponibilidade de oxigênio e diminuição da temperatura.

Além de estar intimamente relacionado aos processos de estratificação térmica e da concentração de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água, o equilíbrio das concentrações dos compostos nitrogenados está intimamente vinculado à ação de organismos. Bactérias e algumas algas cianofíceas possuem a capacidade de transformar o nitrogênio molecular em protéico (fixação). Outras bactérias são responsáveis pelos processos de desnitrificação, no qual o nitrato é reduzido a nitrogênio molecular e de amonificação, em que o nitrato é reduzido ao íon amônio em condições anaeróbias. Num processo inverso, bactérias como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* realizam a oxidação biológica da amônia (MARGALEF, 1983).

Os nutrientes fosfatados apresentaram valores mais elevados durante a variação de verão, em decorrência do grande aporte de material alóctone carregado pela chuva para o reservatório. Ainda durante a variação de verão, a hipoxia nas maiores profundidades também pode ter contribuído para o incremento de fosfato a partir do sedimento, uma vez que os valores mais elevados foram encontrados nessas profundidades (tabela 9a). Com maiores concentrações de oxigênio, o íon ferro (Fe^{3+}) é precipitado na forma de hidróxido de ferro hidratado, complexando-se com o fosfato, tendo como consequência sua retenção no sedimento. Em condições de anoxia, semelhante ao ocorrido durante todos os horários ao longo da variação de verão, o fosfato é descomplexado e liberado para a coluna d'água.

A redução de 84 % da concentração de fósforo no reservatório durante a variação de inverno, comparada à variação de verão, pode estar relacionada à ausência de chuvas, bem como ao aumento do tempo de residência da água e às maiores concentrações de oxigênio dissolvido, o que pode ter possibilitado a precipitação de fósforo para o sedimento. Durante o verão, devido às chuvas intensas, o reservatório recebeu uma grande carga de material alóctone, principalmente pela lixiviação do solo, aumentando a concentração dos nutrientes fosfatados.

Com relação às demais variáveis químicas, dentre elas, pH, condutividade e alcalinidade, pode se verificar que o reservatório de Salto Grande apresentou-se quimicamente estratificado durante os dois períodos estudados. Durante a variação de verão, essa estratificação se mostrou mais pronunciada, como pode ser verificado nas figuras 5a e 6a. O perfil de condutividade não apresentou alterações relevantes ao longo das duas variações (verão e inverno). Já o perfil de pH apresentou uma acentuada variação na camada superior, durante os horários mais ensolarados do dia, tanto na variação de verão, quando os valores oscilaram entre 6,12 (0,0 metros às 8 horas do dia 10/01/96) e 7,13 (0,0 metros às 14 horas do dia 09/01/96), quanto na variação de inverno, quando os valores oscilaram entre 6,24 ((2,0 metros às 14 horas do dia 03/07/96) e 7,41 (0,0 metros às 20 horas do dia 03/07/96). O aumento dos valores de pH na região próxima à superfície, durante os horários mais ensolarados do dia, pode ser atribuído ao consumo de CO_2 resultante

da atividade fotossintética das algas presentes em grande quantidade na superfície da coluna d'água. As maiores oscilações de pH durante a variação de verão, comparadas com as de inverno, devem-se a uma baixa capacidade de tamponamento e aos menores valores de alcalinidade. A média na variação de verão foi de 0,53 meq/l e na variação de inverno foi de 0,59 meq/l (tabelas 7a e 7b).

Tanto na variação de verão como na de inverno, a ausência de oscilações significativas nos valores de pH e condutividade nas camadas inferiores, corroboram a existência de estratificação hidráulica causada pela tomada d'água na barragem, gerando um fluxo de água diferenciado em direção a jusante nas camadas mais profundas da coluna d'água.

5.3. VARIÁVEIS BIOLÓGICAS AO LONGO DO CICLO NICTEMERAL

Nos ciclos nictemerai estudados, foram encontrados 61 taxa distintos, com diversas formas e tamanhos. Na contagem das amostras, tanto colônias, filamentos ou cenóbios foram considerados como um indivíduo, uma vez que a determinação do número de células não é viável se o fitoplâncton consistir de muitas espécies e de tamanhos variados. O biovolume de cada indivíduo também não foi calculado. Contudo, sabe-se que *Microcystis* spp apresentou maior contribuição em termos de biomassa, pois as colônias eram visualmente maiores e mais abundantes quando comparadas às outras espécies encontradas.

Na variação de inverno, o ambiente esteve mais favorável à permanência de um maior número de espécies, aumentando assim os índices de diversidade, equidade e riqueza de espécies (tabelas 11a e 11b). É bem possível que a ausência de chuva e um maior tempo de retenção da água tenham possibilitado condições ambientais mais favoráveis que as encontradas na variação de verão. As intensas chuvas de verão levaram ao aumento da vazão do reservatório e também da taxa de carreamento de material em suspensão e nutrientes.

O crescimento e dominância de um grupo particular de organismos pode ser associado às interações entre fatores estressantes e distúrbios. A intensidade

e a frequência de ambos variam conforme a influência de flutuações sazonais no comprimento do dia, aquecimento solar e resfriamento, ação do vento, intensidade de chuva, carga de nutrientes e fluxo hidráulico (REYNOLDS, 1988).

Um fator importante, que deve ser levado em conta, é o significativo aumento na razão N/P durante a variação de inverno, com médias variando entre 64,2 (04/07/96 às 5 horas) e 191,9 (03/07/96 às 8 horas), quando comparada com a variação de verão, em que as médias variaram entre 7,7 (10/01/96 às 5 horas) e 18 (09/01/96 às 14 horas). As formas de nutrientes nitrogenados que interferem na razão N/P, tiveram um aumento de 66%, da variação de verão para a de inverno, enquanto as formas fosfatadas sofreram uma redução de 84%. É bem possível que a relação N/P exerça alguma influência sobre a comunidade fitoplanctônica, uma vez que foram notadas algumas alterações na porcentagem média de contribuição das classes, como pode ser observado na figura 14. Da variação de verão para a de inverno, houve uma redução na porcentagem média das cianofíceas e bacilariofíceas e um aumento das clorofíceas e criptofíceas.

TAKAMURA *et al.* (1992) sugeriram que mudanças na espécie dominante no verão no Lago Kasumigaura no Japão coincidem com as mudanças na razão N/P na água. Estes mesmos autores dizem que, geralmente, é aceito que a razão N/P é um importante fator determinante da composição de espécies de populações naturais num lago, e que mudanças substanciais na composição de espécies fitoplanctônicas em função de mudanças na razão N/P têm sido demonstradas por manipulações experimentais em lagos. No reservatório de Salto Grande, apesar de uma mesma espécie ter sido dominante nas duas variações, as espécies subseqüentes variaram consideravelmente de um período para outro.

A predominância de *Microcystis* sp nas duas variações pode ser explicada pelas características que este gênero apresenta, tornando-a altamente competitiva (REYNOLDS *et al.*, 1981). Para REYNOLDS, (1984), *Microcystis* é considerada K estrategista, típica de final de sucessão. Numa abordagem mais específica, o mesmo autor (REYNOLDS, 1996) utilizando o conceito proposto por GRIME (1979), classifica *Microcystis* como uma S – estrategista, ou seja, espécies que suportam bem as condições adversas do ambiente (stress). Segundo PAERL

(1988), as cianofíceas exibem com freqüência um crescimento favorável sob condições que consideramos como "extremas". Um exemplo disto é a progressão de florações em relação à estratificação física da coluna d'água. Geralmente, as florações, incluindo *Microcystis*, ocorrem em situação de estabilidade térmica e, as vezes, química.

As espécies planctônicas de *Microcystis* com aerótopos (vesículas de gás) nas células podem ser consideradas cosmopolitas, apresentando grande importância como bioindicadoras do estado trófico de lagos e reservatórios (REYNOLDS, 1998). O desenvolvimento da massa e o significado ecológico (florações e toxicidade) desse gênero torna-o um dos mais importantes organismos fitoplanctônicos. Este é um dos motivos pelo qual as condições que influenciam o desenvolvimento e os ciclos vegetativos das florações de *Microcystis* são investigados intensivamente. A espécie *Microcystis aeruginosa* desenvolve-se normalmente em reservatórios eutróficos e às vezes forma densas florações, como vem sendo observado no reservatório de Salto Grande ao longo dos últimos 25 anos (CARVALHO, 1975; ZAGO, 1976; ARCIFA, 1981; DEBERDT, 1997 e MINOTI, 1999).

Depois de *Microcystis*, outro taxon predominante, durante a variação de verão, foi *Aulacoseira granulata*. As altas concentrações de sílica neste período podem ter favorecido esta espécie. Na variação de inverno, bem mais que na de verão, depois das cianofíceas, houve uma predominância das criptofíceas, sendo *Cryptomonas* o gênero mais freqüente (*Cryptomonas lobata*, *Cryptomonas brasiliensis*, e *Cryptomonas* spp). KLAVENESS (1988) relata que as criptofíceas requerem altas razões N/P para o seu crescimento. No período de inverno, o reservatório de Salto Grande apresentou os maiores valores para N/P, corroborando esta afirmação.

De acordo com REYNOLDS (1996), as *Cryptomonas* conseguem manter-se em uma grande variedade de condições ambientais, sobrevivendo entre as espécies comuns, tanto no período de mistura quanto no de estratificação da coluna d'água. Segundo CASCO & TOJA (1994), a mobilidade permite que as Cryptomonadales permaneçam nas camadas superiores da coluna d'água quando a

intensidade de luz é baixa, embora isto implique em um gasto de energia. Esta estratégia é mais bem sucedida no inverno, quando movimentos da água não favorecem a suspensão das células algais na zona eufótica e a forte turbidez restringe a disponibilidade de luz.

Com relação à transparência da água, PADISÁK (1991) observou a ocorrência de espécies de *Cryptomonas* durante a fase de águas claras no lago Balaton, na Hungria. No reservatório de Salto Grande, a maior ocorrência das espécies de *Cryptomonas* foi durante a variação de inverno, quando a transparência da água foi maior. Também no inverno, num estudo realizado no reservatório de Barra Bonita, DOS SANTOS & CALIJURI (1997), encontraram uma constância na população de *Cryptomonas tetrapyrenoidosa*, porém nunca com domínio sobre outras espécies. De acordo com esses mesmos autores, sua estratégia de sobrevivência ficaria entre as das espécies colonizadoras (C – estrategistas) e das espécies tolerantes à perturbação (S – estrategistas), o que explicaria sua manutenção durante longos períodos na coluna d'água.

Com relação às concentrações de clorofila *a*, foram encontradas flutuações irregulares, sem um padrão definido, ao longo das duas variações realizadas. De uma forma geral, nas duas variações foram encontrados valores altos para as concentrações de clorofila *a*, com média de 22,2 µg/l para a variação de verão e 43,7 µg/l para a variação de inverno. Na variação de verão foram observados valores bastante elevados na zona eufótica às 20, 23 e 02 horas (figuras 8a e 9a), atribuídos possivelmente a uma “mancha de algas” (patch), uma vez que não foi encontrada nenhuma correlação positiva com outro fator. O mesmo ocorreu durante a variação de inverno, quando as concentrações de clorofila *a* apresentaram valores mais elevados. As maiores concentrações foram encontradas na zona eufótica às 11, 14 e 20 horas.

A ausência de períodos de estratificação térmica, mistura e isoterminia durante as duas variações estudadas (inverno e verão), não permitiu a observação de uma dinâmica marcante das variáveis hidrológicas ao longo do eixo vertical, no período de 24 horas. As maiores alterações observadas ocorreram entre a variação de verão e a de inverno, quando os resultados obtidos foram bastante diferenciados.

Entretanto, a ausência de alterações acentuadas ao longo da coluna d'água é um resultado extremamente importante, uma vez que reflete o caráter uniforme, com ausência de alterações significativas nas duas massas de água, em determinados períodos do ano, ocorrendo uma maior desoxigenação nas maiores profundidades, liberação de fósforo a partir do sedimento, aumento na disponibilidade de nutrientes para o fitoplâncton e sua conseqüente proliferação, culminando num aumento do grau de eutrofização do reservatório.

6. CONCLUSÕES

1. As diferenças entre as variáveis físicas, químicas e biológicas, observadas nas duas variações nictemerais estudadas dependeram, principalmente, da influência de fatores climáticos, tais como radiação solar e precipitação.
2. A diferença na ocorrência de precipitações durante o verão e o inverno foi de fundamental importância para o comportamento do ecossistema estudado. No verão, devido às chuvas, predominou o material em suspensão inorgânico, enquanto no inverno predominou o material em suspensão orgânico. As porcentagens médias do material em suspensão inorgânico na coluna d'água foram de 80,71 % no verão e 30,47 % no inverno e as porcentagens médias do material em suspensão orgânico na coluna d'água foram de 19,29 % no verão e 69,53 % no inverno.
3. O reservatório se mostrou quimicamente estratificado em todos os horários. Em nenhum momento houve a mistura completa na coluna d'água, provavelmente em decorrência da pequena influência do vento no sistema. O vento não exerceu importância significativa no reservatório, no que diz respeito à mistura e às mudanças no perfil térmico da coluna d'água.
4. Em nenhum momento, seja durante a variação de verão, seja durante a variação de inverno, ocorreu a formação de uma termoclina típica. Durante os horários mais ensolarados do dia, foi observada apenas a presença de microestratificação próximo à superfície, enquanto que abaixo de 5 m o perfil térmico permaneceu praticamente inalterado.
5. A dinâmica das variáveis físicas, químicas e biológicas na coluna d'água está intimamente vinculada à tomada d'água pelas turbinas, localizada na parte inferior da barragem, ocasionando estratificação hidráulica e a conseqüente separação de

duas camadas de água distintas. Isso reflete a importância da operação da usina na interpretação dos resultados obtidos ao longo do estudo.

6. A operação da usina, principalmente vazão turbinada, impõe um padrão de estabilidade da coluna d'água demonstrado pela estratificação hidráulica observada na maioria dos horários de estudo

7. Na variação de inverno foram encontrados o maior número de espécies e os maiores índices de diversidade, equidade e riqueza; já o índice de dominância foi maior na variação de verão. Isso tudo se deve às diferentes condições ambientais (presenças de chuva, disponibilidade de luz e de nutrientes) encontradas nos dois períodos, culminando em períodos de maior estabilidade (inverno) e menor estabilidade (verão).

8. As espécies predominantes de algas encontradas neste estudo refletem o caráter hipereutrófico do reservatório.

9. O estado de degradação que o reservatório de Salto Grande apresenta, atualmente, dificulta a obtenção e a interpretação precisa dos resultados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1985). **Standard Methods:** for the examination of water and wastewater. 16 ed. APHA, Washington, AWWA. 1268p.
- ARCIFA, M. S., FROEHLICH, C. G. & GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F. (1981). Circulations patterns and their influence on physico-chemical and biological conditions in eight reservoirs in Southern Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** v. 21 p. 1054-1059.
- ARVOLA, L. (1984). Diel variation in primary production and the vertical distribution of phytoplankton in a polyhumic lake. **Arch. Hidrobiol.** v. 104(4) p. 503-519.
- ARVOLA, L., SALONEN, K., JONES, K.I., HEINANEN, A. & BERGSTROM, I. (1987). A three day study of the diel behavior of plankton in a high humic and steeply stratified lake. **Arch. Hidrobiol.** v. 109(1) p. 89-106.
- BARBOSA, F. A., (1981). Variação diurna (24h) de parâmetros limnológicos básicos e da produtividade primária do fitoplâncton da Lagoa Carioca - Parque Florestal do Rio Doce, MG, Brasil. 206p. **Tese de Doutorado - UFSCar.**
- BOURRELLY, P. (1972). **Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 1:** les algues vertes, Paris: N. Boubée. v.1, 572p.
- BOURRELLY, P. (1981). **Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 2:** les algues jaunes et brunes Chrysophycées, Pheophycées, Xantophycées et Diatomées. Paris: N. Boubée. v.2, 571p.
- BOURRELLY, P. (1985). **Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 3:** les algues bleus et rouges, les Euglêniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Paris: N. Boubée. v.3, 606p.

- CALIJURI, M. C. (1985). **Curvas de luz-fotossíntese e fatores ecológicos – Represa do Broa (Lobo), São Carlos – SP.** São Carlos. 280p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos.
- CALIJURI, M. C. (1988). **Respostas fisioecológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização.** São Carlos. 293p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CALIJURI, M. C.; TUNDISI, J. G. (1990). Limnologia comparada das represas do Lobo (Broa) e Barra Bonita - Estado de São Paulo: Mecanismos de Funcionamento e Bases para o Gerenciamento. **Rev. Brasil. Biol.**, v.50, n.4, p.893-913 - Rio de Janeiro, RJ.
- CARMOUZE, J. P. (1994). **O Metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas.** São Paulo - Editora Edgard Blücher – FAPESP. 253p.
- CARVALHO, M. A. J. DE, (1975). **Americana reservoir: physico-chemical aspects and changes of free-living Cyclopoida (Copepoda) populations.** Ph.D. thesis, Inst. Bioc. Universidade de São Paulo, 88p.
- CASCO, M. A.; TOJA, J. (1994). The distribution and interaction of algal communities in reservoirs. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, v.40, p.85-96.
- CASTRO, A. A. J. (1993). **Cryptophyceae do Estado de São Paulo: Inventário Taxonômico.** Rio Claro. 207p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista.
- CASTRO, A. A. J.; BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D.C. (1991). Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. **Algas**, 2: Cryptophyceae. **Hoechnea**, v.18, n.1, p.87-106.
- COBELAS, M. A.; ARAUZO, M. (1994). Phytoplankton responses of varying time scales in a eutrophic reservoir. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, v.40, p.69-80.

- COELHO, M. P. (1993). **Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana.** Rio Claro. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (1994). **Relatório: Usina Hidroelétrica do Reservatório de Salto Grande.** Americana. São Paulo.
- COULTER, G. W. (1988). Seasonal hydrodynamic cycles in Lake Tanganyca. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** V. 23 p. 86-89.
- DEBERDT, G. L. B. (1997). **Produção primária e caracterização da comunidade fitoplancônica no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP) em duas épocas do ano.** Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 104 p.
- DOS SANTOS, A. C. A.; CALIJURI, M. C. (1997). Estratégias de Sobrevivência de Algumas Espécies da Comunidade Fitoplancônica no Reservatório de Barra Bonita (São Paulo, Brasil). **Hidrobiol.** v. 367 p. 139-152
- EGBORGE, A. B. M. (1979). Observation on the diurnal changes in some physicochemical variables of lake Asejire – a new impoundment in Nigeria. **Arch. Hydrobiol** v. 26 n. 3 p. 301-311.
- ESTEVES, F. A., BOZELLI, R. L., CAMARGO, A. F. M., ROLAND, F. e THOMAZ, S. M. (1988). Variação diária (24h) de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e alcalinidade, em duas lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro e suas implicações no metabolismo desses ecossistemas. **Acta Limnol. Bras.** , 2: p 99-127.
- ETTL, H. (1978). Xanthophyceae, 1. In: **Süswasserflora von Mitteleuropa** Stuttgart: Gustav Fischer. v.3, 84p.
- FROELICH, C. G., ARECIFA-ZAGO, M. S., JULIANO DE CARVALHO, M. A. (1978). Temperature and oxygen stratification in Americana reservoir, state of São Paulo, Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** v. 20 p1710-1719.
- GANF, G. G. (1974). Diurnal mixing and vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda) **J. Ecol.** v. 62 n. 2: p. 611-629.

- GANF, G. G.; HORNE (1975). Diurnal stratification, photosynthesis and nitrogen - fixation in a shallow, equatorial lake (Lake George, Uganda). **Freshwater Biology**, v.5, p.13-19.
- GEITLER, L. (1932). **Cyanophyceae**. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H. i-vi +1-1196p.
- GALVÃO, S. M. F. G. (1981). **Produção Primária e suas revelações com alguns fatores físico-químicos em reservatórios do Estado de São Paulo**. São Paulo. 149p. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- GAVILÁN DIAZ, R. G. (1990). *Flutuações nictemerais dos fatores ecológicos na Represa de Barra Bonita - Médio Tietê - SP*. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Univ. de São Paulo, SP. 160p.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S. (1969). **Methods for chemical analysis of freshwater**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, (I.B.P. Handbook, 8), 171p.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. (1978). **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2. ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, (I.B.P. Handbook, 8), 213p.
- GRIME, J. P. (1979). *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester.
- HARRIS, G. P. (1980). Spatial and temporal scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models and management. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, v.37, p.877-900.
- HENRY, R. (1981). Estudos ecológicos na Represa do Rio Pardo (Botucatu, SP, Brasil). I: O ambiente e as variações diurnas de alguns fatores ambientais. **Rev. Brasil. Biol.**, v.41, n.1, p.153-161.
- HENRY, R. (1995). The thermal structure of some lakes and reservoirs in Brazil. **Limnology in Brazil**. Rio de Janeiro: ABC/SBL. 384p.

- HUSZAR, V. L. M.; WERNECK, A. M.; ESTEVES, F. A., 1987. Dinâmica Nictemeral (48h) da comunidade fitoplanctônica em relação aos principais fatores abióticos na Lagoa Juparanã, Linhares, Espírito Santo, Brasil: fevereiro de 1987. **Ver. Brasil. Biol.**, v. 54 n. 1 p. 111-134.
- ICHIMURA, S. (1960). Diurnal fluctuation of chlorophyll content in lake water. **Bot Mag.**, v73 p. 217-224.
- KIRK, J. T. O. (1986). Optical Limnological - A Manifesto. In: De DECKKER, P.; WILLIAMS, W. D. (ed.) - **Limnology in Australia**. Australia: Dr. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p.33-62.
- KLAVENESS, D. (1988). Ecology of the Cryptomonadida: a first review. In: SANDGREEN, C. D. (ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge Univ. Press. Cambridge. p.105-133.
- KOMÁREK, J. (1991). A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. **Algological Studies**, v.64, p. 115-127.
- KOMÁREK, J.; FOTT, B. (1983). Chlorophyceae (Grünalgen) – Ordnung: Chlorococcales. In: HUBER-PESTALOZZI, G. (ed.) - **Das Phytoplanton des Süßwassers Systematik und Biologie**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1044p.
- KOMÁREK, J.; AGNOSTIDIS, K. (1989). Modern approach to the classification system of Cyanophytes 4 – Nostocales. **Arch. Hydrobiol. Suppl.** v. 82, n.3, p. 247-345.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J.; CRONBERG, G. (1992). New and recombined filamentous Cyanophytes from lakes in South Scania, Sweden. **Algological Studies**, v.67, p.21-31.
- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J.; ELORANTA, P. (1992). Planktic blue-green algae (Cyanophyta) from Central Finland (Jyväskylä region) with special reference to the genus *Anabaena*. **Algological Studies**, v.67, p.103-133.

- KOMÁRKOVÁ-LEGNEROVÁ, J.; CRONBERG, G. (1994). Planktic blue-green algae from lakes in South Scania, Sweden. Part I. Chroococcales. **Algological Studies**, v.72, p.13-51.
- KOROLEFF, (1976). Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (ed.) - **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie Weinheim, p. 117-181.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. (1978). **Water Analysis: Some revised methods for limnologists**. Freshwater Biological Association. Scientific Publication n.36. Titus & Son Ltd., Kendall. 117p.
- MARGALEF, R. (1983). **Limnologia**. Ediciones Omega, S. A. , Barcelona.
- McCLOUGH, J. D.; JACKSON, D. W. (1985). Composition and productivity of the benthic macroinvertebrate community of a subtropical reservoir. **Rev. Gesamten Hydrobiol.**, v.70, n.2, p.221-235.
- MINOTI, R. T. (1999). **Produção primária anual e estrutura da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. Dissertação de mestrado. CRHEA-EESC-USP.
- MOED, J. R.; HALLEGRAEFF, G. M. (1978). Some problems in the estimation of chlorophyll-a and phaeopigments from pre- and postacidification spectrophotometric measurements. **Int. Revue ges Hydrobiol.**, v. 63 n. 6, p. 787-800.
- NOGUEIRA, I. de S. (1991). **Chlorococcales sensu lato (Chlorophyceae) do Município do Rio de Janeiro e arredores, Brasil: inventário e considerações taxonômicas**. Rio de Janeiro. 356p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- NUSCH, E. A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, v.14, p.14-36.
- NUSCH, E. A.; PALME, G. (1975). Biologische methoden fur die praxis der gewasseruntersuchung. **Gwf-Wasser/Abwasser**, v.116, p.562-565.

- ODUM, E. P. (1988). **Ecologia**. Ed. Guanabara. Rio de Janeiro. 434p.
- OLIVEIRA, H. T. (1993). **Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (Braço do Rio Capivara) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita, SP, com ênfase na comunidade fitoplanctônica**. São Carlos. 328p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PADISÁK, J. (1991). Relative frequency, seasonal, pattern and possible role of species rare in the phytoplankton (Lake Balaton, Hungary). **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v.24, p.989-992.
- PIELOU, E. C. (1975). **Ecological diversity**. Wiley & Sons Inc., New York.
- PAERL, H. W. (1988). Growth and reproductive strategies of freshwater blue-green algae (cyanobacteria). In: SANDGREEN, C. D. (ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge Univ. Press. Cambridge. p.261-315.
- POCHMANN, A. (1942). Synopsis der Gattung Phacus. **Archiv für Protistenkunde**. v.95, n.2, p.81-252.
- POOLE, R. W. (1974). **A introduction to quantitative ecology**. London: McGraw Hill. 165p.
- PRESCOTT, G. W.; BICUDO, C. E. de M.; VINYARD, W. C. (1982). **A Synopsis of North American Desmids**. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae. Section 4. University of Nebraska Press. Lincoln. 700 p.
- REYNOLDS, C. S.; JAWORSKI, G. H. M.; CMIECH, H. A. & LEEDALE, G. F. (1981). **On the annual cycle of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* Kütz Emend. Elenkin**. Freshwater Biological Association, Windermere Laboratory, Ambleside, LA22, UK, Department of Plant Sciences, University of Leeds LS2 9JT, UK. V293 448p.
- REYNOLDS, C. S. (1984). Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. **Freshwater Biology**, v.14, p.111-142.

- REYNOLDS, C. S. (1988). The concept of ecological succession applied to seasonal periodicity of freshwater phytoplankton. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v.23, p.681-691.
- REYNOLDS, C. S. (1990). Temporal scales of variability in pelagic environments and the response of phytoplankton. **Freshwater Biology**, v.23, p.111-142.
- REYNOLDS, C. S. (1996). The plant life of the pelagic. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v.26, p.97-113.
- REYNOLDS, C. S. (1998). What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status. **Hydrobiologia**, v.369/370, p.11-26.
- SANDGREN, C. D. (1988). The ecology of chrysophyte flagellates: their growth and pre-nation strategies, as freshwater phytoplankton. In: SANDGREN, C. D. (ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge Univ. Press.. p.9-104.
- SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (1994). **Bacia do Rio Piracicaba: estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água**. São Paulo; SMA. 81p.
- SHANNON, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. **Bell Syst. tech. J.**, v.27, p.623-656.
- SIMONATO, A. D., (1986) Ciclos diurnos de fatores ecológicos na Represa do Lobo (Broa). Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, SP. 153p.
- STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. (1960). A manual of sea water analysis. **Bull. Fish. Res. Bel. Can.**, v.125, p.1-185.
- TAKAMURA, N.; OTSUKI, A.; AIZAKI, M.; NOJIRI, Y. (1992). Phytoplankton species shift accompanied by transition from nitrogen dependence to phosphorus dependence of primary production in Lake Kasumigaura, Japan. **Arch. Hydrobiol.**, v.124, n.2, p.129-148.

- TALLING, J. F. (1957). Diurnal changes of stratification and photosynthesis in some tropical african waters. **Proc. R. Soc., Sér B**, 1147: p. 57-83.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTNER, M.B. (1965). Plankton studies in a mangrove IV: size fractionation of the phytoplankton. **Blom Inst. Oceanogr.**, v. 26 p. 39-42.
- TEIXEIRA, D. (1997). **Valoração e avaliação da qualidade da água de um sistema eutrofizado (Represa de Salto Grande, município de Americana - SP)**. São Carlos. 39p. Exame de Qualificação (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TILZER, M. M., 1973. Diurnal periodicity in the phytoplankton assemblage of high mountain lake. **Limnol. Oceanogr.** 18: p. 15-30.
- TORGAN, L. C. (1997). **Estrutura e Dinâmica da Comunidade Fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um Ciclo Anual**. São Carlos. 284p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos.
- TUNDISI, J. G. & MATSUMARA-TUNDISI, T. (1984). Comparative limnological studies at tree lakes in tropical Brazil. **Verh. Internat. Verein Limnol.** V. 22 p. 1310-1314.
- TUNDISI, J. G. (1984) Estratificação hidráulica em reservatórios e suas conseqüências ecológicas. **Ciência e Cultura** 36(9) p. 1489-1496
- TUNDISI, J. G. (1985) Represas artificiais: perspectivas para o controle e manejo da qualidade da água para usos múltiplos. **Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**. 11 a 14 de novembro de 1985. São Paulo. Vol. 4.
- TUNDISI, J. G. (1986) Limnologia de represas artificiais. **Boletim de Hidráulica e Saneamento**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. Boletim no 11 46p.
- UTHERMÖHL, H. (1958). On the perfecting of quantitative phytoplankton method. **Int. Ass. Theor. Appl. Limnol. Commun.**, v. 9.

- VERMA, M. N. (1967). Diurnal variation in a fish pound in Seoni, India. **Hydrobiol.**, 30(1): p. 129-137.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1974). **A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments**. 2. ed. London, Blackwell Scientific Publications, (I. B. P. Hand-book, 12), 225 p.
- WETZEL, R. G., 1990. **Reservoir ecosystems: conclusions and speculations**. In THORTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E., 1990. **Reservoir limnology: Ecological perspectives**. A Wiley-Interscience Publication USA. 245p.
- WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. (1991). **Limnological Analysis**. 2^a ed. Springer-Verlag. 391p.
- XAVIER, M. B. (1994). Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas 5: Euglenophyceae (Euglenaceae Pigmentadas). **Hoehnea**, v.21, n.1/2, p.47-73.
- XAVIER, M. B. (1996). Fitoplâncton do Rio Grande, Represa Billings, São Paulo, Brasil: Estudo Taxonômico (1985-1986). **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, n.47, p.103-122.
- ZAGO, M. S. A. (1976). The planktonic Cladocera (Crustacea) and aspects of eutrophication of Americana reservoir, Brasil. Bolm. Zool. Universidade de São Paulo v.1 p. 105-145.