

Capítulo 2

“Análise espacial e temporal das características limnológicas do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)”

Sumário

Lista de Figuras	17
Lista de Tabelas	18
1. Introdução	20
2. Objetivos	21
3. Materiais e Métodos	21
3.1. Estações de amostragem e periodicidade de coleta	21
3.2. Análise da água e sedimento	22
3.3. Índice do Estado Trófico	23
4. Resultados	24
4.1. Variáveis físicas, químicas e biológicas (clorofila) da água	24
a) pH	24
b) Condutividade	25
c) Oxigênio dissolvido	25
d) Temperatura	26
e) Transparência	26
f) Nitrato, nitrito e íon amônio	32
g) Nitrogênio orgânico total	33
h) Fosfato inorgânico e fosfato total dissolvido	34
i) Fósforo total	35
j) Silicato	35
k) Clorofila <i>a</i> + feofitina.....	36
l) Material em suspensão.....	37
m) Índice do estado trófico	38
4.2. Variáveis físicas e químicas do sedimento	39
a) Matéria orgânica	39
b) Nitrogênio orgânico total	40
c) Fósforo total	41
d) Granulometria	42
5. Discussão	44
6. Conclusão	55
7. Bibliografia	56

Anexo 1	60
Anexo 2	69
Anexo 3	74

Lista de Figuras

Figura 1 - Estações de amostragem no reservatório de Salto Grande (Americana, SP)	22
Figura 2 - Variação de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nas estações centrais, margem direita e margem esquerda em Maio de 2000.....	27
Figura 3 - Variação de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nas estações centrais, margem direita e margem esquerda em Agosto de 2000	28
Figura 4 - Variação de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nas estações centrais, margem direita e margem esquerda em Novembro de 2000	29
Figura 5 - Variação de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nas estações centrais, margem direita e margem esquerda em Fevereiro de 2001	30
Figura 6 - Variação de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) no rio Atibaia em Maio, Agosto e Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001	31
Figura 7 - Transparência da água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP), em Agosto (A), Novembro (B) e Fevereiro (C)	32
Figura 8 - Concentração de clorofila (<i>a</i> + feofitina) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados	36
Figura 9 - Material em suspensão (total, inorgânico e orgânico) no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período de estudo (Obs: as escalas são diferentes)	37
Figura 10 - Porcentagem de matéria orgânica no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.	40
Figura 11 - Porcentagem de nitrogênio orgânico total no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.	41
Figura 12 - Concentração de fósforo total no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.	41
Figura 13 - Granulometria do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado	43
Figura 14 - Esquema adaptado de LIND, TERREL & KIMMEL (1993)	51
Figura 15 - Variação da pluviosidade (mm), vazão média afluente ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) e média defluente ($Q_{\text{def.}}$) ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado. Informações fornecidas pela CPFL (Usina Hidrelétrica de Americana) e DAEE. As setas indicam os meses de coleta	75
Figura 16 - Variação da pluviosidade (mm) e tempo de residência (dias) no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado. Informações fornecidas pela CPFL (Usina Hidrelétrica de Americana) e DAEE. As setas indicam os meses de coleta	75

Lista de Tabelas

Quadro 1 -	Variáveis, métodos e referências utilizadas para a caracterização da qualidade da água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)	23
Quadro 2 -	Variáveis, métodos e referências utilizadas para a caracterização da qualidade do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)..	23
Quadro 3 -	Valores estabelecidos pelo Índice do Estado Trófico de CARLSON (1977), modificado por TOLEDO JR <i>et al.</i> (1983)	24
Tabela 1 -	Variáveis físicas e químicas obtidas no rio Atibaia, em Maio de 2000.....	61
Tabela 2 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 1, em Maio de 2000.....	61
Tabela 3 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 2, em Maio de 2000.....	61
Tabela 4 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 3, em Maio de 2000.....	62
Tabela 5 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 4, em Maio de 2000.....	62
Tabela 6 -	Variáveis físicas e químicas obtidas no rio Atibaia, em Agosto de 2000.....	63
Tabela 7 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 1, em Agosto de 2000.....	63
Tabela 8 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 2, em Agosto de 2000.....	63
Tabela 9 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 3, em Agosto de 2000.....	64
Tabela 10 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 4, em Agosto de 2000.....	64
Tabela 11 -	Variáveis físicas e químicas obtidas no rio Atibaia, em Novembro de 2000.	64
Tabela 12 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 1, em Novembro de 2000..	65
Tabela 13 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 2, em Novembro de 2000..	65
Tabela 14 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 3, em Novembro de 2000..	66
Tabela 15 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 4, em Novembro de 2000..	66
Tabela 16 -	Variáveis físicas e químicas obtidas no rio Atibaia, em Fevereiro de 2001..	66
Tabela 17 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 1, em Fevereiro de 2001.....	67
Tabela 18 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 2, em Fevereiro de 2001.....	67
Tabela 19 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 3, em Fevereiro de 2001.....	68
Tabela 20 -	Variáveis físicas e químicas obtidas na estação 4, em Fevereiro de 2001.....	68
Tabela 21 -	Resultados da transparência da água (m) observada no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Agosto de 2000.....	70
Tabela 22 -	Resultados da transparência da água (m) observada no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001.	70
Tabela 23 -	Concentrações de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 – 10000 $\mu\text{g.L}^{-1}$	33
Tabela 24 -	Concentrações de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 – 1000 $\mu\text{g.L}^{-1}$	33
Tabela 25 -	Concentrações do íon amônio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86, 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (em azul: concentrações superiores ao estabelecido pela resolução).....	33
Tabela 26 -	Concentrações de nitrogênio orgânico total (mg.L^{-1}) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.....	34
Tabela 27 -	Concentração de fosfato inorgânico ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.....	34
Tabela 28 -	Concentração de fosfato total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 - 25 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (em azul: concentrações superiores ao estabelecido pela resolução).....	35
Tabela 29 -	Concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.....	35

Tabela 30 - Concentração de silicato (mg.L^{-1}) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.....	36
Tabela 31 - Resultados da concentração de clorofila (a + feofitina) obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) no período estudado.....	70
Tabela 32 - Resultados de material em suspensão obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Maio e Agosto de 2000	70
Tabela 33 - Resultados de material em suspensão obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001	71
Tabela 34 - Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Maio de 2000.....	38
Tabela 35 - Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Agosto de 2000.....	38
Tabela 36 - Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Novembro de 2000.....	39
Tabela 37 - Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Fevereiro de 2001.....	39
Tabela 38 - Resultados da porcentagem de matéria orgânica no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) no período estudado.....	71
Tabela 39 - Resultados da porcentagem de nitrogênio orgânico total no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) no período estudado.....	71
Tabela 40 - Resultados da concentração de fósforo total no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) no período estudado.....	72
Tabela 41 - Classificação granulométrica do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.....	42
Tabela 42 - Análise granulométrica do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Maio de 2000.....	72
Tabela 43 - Análise granulométrica do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Agosto de 2000.....	72
Tabela 44 - Análise granulométrica do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Novembro de 2000.....	73
Tabela 45 - Análise granulométrica do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Fevereiro de 2001.....	73
Tabela 46 - Limites estabelecidos pela resolução CONAMA 20/86 para águas de Classe 2	47
Tabela 47 - Comparação das concentrações de formas nitrogenadas e fosfatadas de diferentes reservatórios	49
Tabela 48 - Comparação das concentrações de matéria orgânica e fósforo total no sedimento de diferentes reservatórios	53

1. INTRODUÇÃO

Os reservatórios são sistemas complexos intermediários entre os rios e lagos, cuja evolução depende da entrada de várias informações no tempo e espaço, ou seja, são partes integrantes de uma bacia hidrográfica e, portanto, são excelentes detentores de todos os impactos das atividades antropogênicas que se desenvolvem na bacia (TUNDISI & STRASKRABA, 1999).

Para o entendimento desses sistemas é necessário a obtenção de dados limnológicos relacionados às principais variáveis químicas, físicas e biológicas, como temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, concentração de nutrientes, bem como a quantidade de material em suspensão e as concentrações de clorofila. Aliado à essas características, tem-se a natureza do solo, as condições climáticas e o grau de poluição que é conferido ao ambiente, especialmente pelos despejos domésticos e industriais (SETTI *et al*, 2001), que fazem com que a quantidade e a natureza dos constituintes presentes na água variem constantemente.

Os teores de nutrientes estão freqüentemente relacionados ao grau de poluição doméstica e agropecuária de um ecossistema aquático, e os altos valores de nutrientes são, muitas vezes, interpretados como indicadores de meio poluído, apresentando um estado avançado de eutrofização (CARMOUZE, 1994).

A principal causa da eutrofização é o aporte e o acúmulo de nitrogênio e fósforo no sistema, que resulta no aumento da produtividade e em alterações significativas na estrutura e funcionamento do mesmo (CARMO, 2000). Segundo ESTEVES (1988) a eutrofização interfere na estabilidade do ecossistema, já que este passa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor, ocorrendo assim, mudanças no metabolismo de todo o sistema em questão.

As entradas desses nutrientes e de outros materiais alóctones como matéria orgânica e contaminantes, ocorrem de forma pontual (despejo de esgotos) ou difusa (lixiviação de solos agrícolas) e podem causar alterações na qualidade da água, como toxicidade devido a efeitos de sinergia entre os compostos presentes, e a eutrofização (TUNDISI & STRASKRABA, 1999), como citado anteriormente. Os efeitos também podem atingir a biota aquática de forma negativa, podendo causar uma redução na reprodução e aumento na mortalidade. Além disso, ao se precipitarem, contribuem para a poluição do sedimento e para o assoreamento do reservatório, diminuindo a vida útil do mesmo (FRACÁCIO, 2001).

Portanto, para um estudo mais abrangente de avaliação e caracterização de ecossistemas aquáticos, deve-se incluir, além das variáveis da água, as variáveis relacionadas à qualidade do sedimento. Os estudos desse compartimento são importantes para a compreensão da dinâmica de lagos em seu aspecto global, pois funcionando como um reservatório de nutrientes, os sedimentos desempenham papel ativo na produtividade dos mesmos (OHLE, 1964 *apud* TRINDADE, 1980). Os sedimentos são também importantes por servirem de substrato para inúmeras espécies bentônicas que exercem grande influência na transformação da matéria orgânica. Além disso, são considerados como sumidouro ou fonte de nutrientes e elementos tóxicos, como os metais pesados, dependendo das variáveis ambientais, especialmente pH e potencial redox.

Considerando-se a importância da caracterização física e química da água e do sedimento para a avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos, este capítulo foi elaborado visando reconhecer as principais características do reservatório de Salto Grande, situado no município de Americana, SP, Brasil.

2. OBJETIVOS

- Avaliar a qualidade da água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP), comparando os resultados obtidos com a Resolução CONAMA 20, de 1986.
- Avaliar o grau de eutrofização do reservatório através das análises das variáveis físicas e químicas, bem como, da aplicação do Índice do Estado Trófico.
- Caracterizar e avaliar a qualidade do sedimento do reservatório considerando as variáveis matéria orgânica, fósforo total, nitrogênio orgânico total e granulometria.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Estações de amostragem e periodicidade das coletas

As coletas para a caracterização das variáveis físicas, químicas e biológicas da água e do sedimento do reservatório de Salto Grande, foram realizadas nos meses de maio, agosto e novembro de 2000 e fevereiro de 2001. O sistema em estudo foi dividido

em cinco compartimentos principais, considerando desde o rio Atibaia até as estações mais próximas à barragem (Figura 1). Cada compartimento principal, exceto o rio Atibaia, foi subdividido em três seções e assim as margens do reservatório também foram amostradas. Nas estações centrais foram analisadas todas as variáveis da água e do sedimento, enquanto que nas estações marginais foram realizados os perfis verticais com o Horiba U-10, quantificação da matéria orgânica do sedimento, bem como análise granulométrica e de nutrientes (N e P totais) do sedimento.

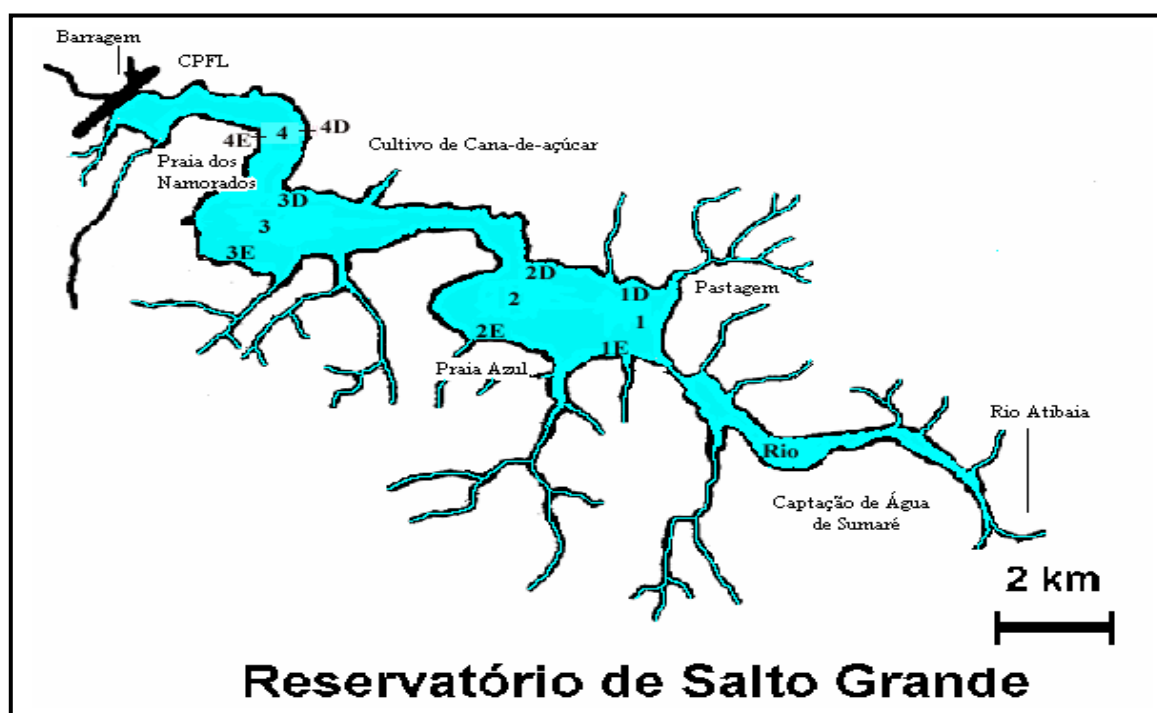


Figura 1 – Estações de amostragem no reservatório de Salto Grande (Americana, SP).

3.2. Análise da água e do sedimento

As amostras de água foram coletadas com garrafa de van Dorn à 30 e 70% de profundidade de cada estação de coleta central (correspondendo à zona eufótica e afótica, respectivamente), exceto no rio Atibaia, no qual coletou-se apenas amostra de água superficial.

As metodologias utilizadas para a quantificação das variáveis químicas, físicas e biológicas da água constam no Quadro 1.

Quadro 1. Variáveis, métodos e referências utilizadas para a caracterização da qualidade da água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP).

Variável	Metodologia	Referência
pH	Horiba U- 10	-
Condutividade	Horiba U- 10	-
Oxigênio dissolvido	Horiba U- 10	-
Temperatura	Horiba U- 10	-
Transparência da água	Disco de Secchi	-
Nitrito	Espectrofotometria	MACKERETH (1978)
Nitrato	Espectrofotometria	MACKERETH (1978)
Íon amônio	Espectrofotometria	KOROLEFF (1976)
Nitrogênio orgânico total	Espectrofotometria	GOLTERMAN (1978)
Fósforo total	Espectrofotometria	APHA (1995)
Fosfato total dissolvido	Espectrofotometria	GOLTERMAN (1978)
Fosfato inorgânico	Espectrofotometria	GOLTERMAN (1978)
Silicato reativo	Espectrofotometria	GOLTERMAN (1978)
Clorofila <i>a</i> + feofitina	Espectrofotometria	NUSH (1980)
Material em suspensão	Gravimetria	TEIXEIRA <i>et al</i> (1965)

Amostras de sedimento para análises físicas e químicas foram coletadas utilizando-se uma draga do tipo Eckman-Birge, com área igual a 225 cm², e deixadas para secar ao ar, em local livre de poeira, durante um período máximo de três meses. Para a análise granulométrica, as amostras foram destorroadas em almofariz de porcelana e passadas em peneira de 2,0 mm de abertura de malha para a remoção de materiais indesejáveis, tais como fragmentos de vegetais, pedregulhos, entre outros.

As metodologias utilizadas para a caracterização do sedimento do reservatório contam no Quadro 2.

Quadro 2. Variáveis, métodos e referências utilizadas para a caracterização da qualidade do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP).

Variável	Metodologia	Referência
Nitrogênio orgânico total	Espectrofotometria	GOLTERMAN (1978)
Fósforo total	Espectrofotometria	ANDERSEN (1976)
Matéria orgânica	Incineração (mufla)	TRINDADE (1980)
Granulometria	Densímetro e Peneiras	ABNT (1968)

3.3 - Índice do Estado Trófico (IET)

Este índice foi proposto por CARLSON (1977) e modificado por TOLEDO JR *et al.* (1983) para o uso em lagos e reservatórios de regiões tropicais e subtropicais. Para a determinação deste índice são necessárias as medidas do desaparecimento visual do

Disco de Secchi, a concentração de fósforo total, a concentração de fosfato dissolvido e a concentração de clorofila *a*.

Para o cálculo do Índice do Estado Trófico (IET) foram consideradas as seguintes equações:

$$\text{- Disco de Secchi} = \text{IET (S)} = 10 \times \{6 - 0,64 + \ln S\} / \ln 2\}$$

$$\text{- Fósforo total} = \text{IET (PT)} = 10 \times \{6 - \ln (80,32/P)\} / \ln 2\}$$

$$\text{- Fosfato dissolvido} = \text{IET (PO}_4\text{)} = 10 \times \{6 - (\ln 21,67/ \text{PO}_4\text{)}\} / \ln 2\}$$

$$\text{- Clorofila} = \text{IET (Cl)} = 10 \times \{6 - (2,04 - 0,695 \ln \text{Cl})\} / \ln 2\}$$

Para a classificação do grau de trofia de cada estação foram utilizados os critérios apresentados no quadro 3.

Quadro 3. Valores estabelecidos pelo Índice do Estado Trófico de CARLSON (1977), modificado por TOLEDO JR *et al.* (1983)

Estado Trófico	Índice do Estado Trófico
Oligotrófico	< 44
Mesotrófico	44 - 54
Eutrófico	54 - 74
Hipereutrófico	> 74

4. RESULTADOS

4.1. Variáveis físicas, químicas e biológicas (clorofila *a* + feofitina) da água

Os resultados de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura da água estão apresentados nas figuras 2, 3, 4, 5 e 6 e nas tabelas de 1 a 20 (anexo 1).

a) pH

Os valores de pH obtidos não demonstraram variações acentuadas ao longo do eixo longitudinal do reservatório, entretanto, observou-se diferença entre os meses amostrados. Em geral, houve uma tendência à redução do pH nas camadas mais profundas da coluna d'água, porém os valores não foram inferiores a 5,90 em nenhum período de amostragem. O valor máximo de 10,58 foi obtido em Novembro/00 (estação 1D).

Nos meses de Maio/00 e Fevereiro/01 observou-se os menores valores de pH, não ultrapassando o valor de pH 7,00, exceto em Maio/00 (estação 2C), com um valor de 8,24. Nos meses de Agosto/00 e Novembro/00, observou-se valores superiores de pH, com valor mínimo próximo a 7,00 e máximo de 10,58, ambos na estação 1D (Novembro/00). Nesses meses, os valores de pH nas estações centrais e marginais foram diferenciados, sendo que os maiores valores foram observados nas estações de coleta com ocorrência de “blooms” de algas cianofíceas, indicando a atividade biológica.

b) Condutividade

Os resultados de condutividade da água apontam para uma menor condutividade nos meses de Maio/00 e Fevereiro/01. Nota-se, na Figura 2, que há uma diferença de escala para os valores de condutividade obtidos no mês de Maio/00, em todas as estações de coleta, sendo o valor mínimo de $31 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e o valor máximo de $69 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (ambas na estação 4C), enquanto nos demais meses estudados os valores de condutividade estiveram entre 100 e $600 \mu\text{S.cm}^{-1}$. No mês de Fevereiro/01 também verificou-se valores baixos de condutividade quando comparado aos demais meses (valor máximo de $194 \mu\text{S.cm}^{-1}$ na estação 4C). Em geral, nas estações centrais os valores obtidos foram inferiores (ou iguais) aos observados nas marginais, fato que pode estar relacionado à presença constante de bancos de macrófitas e de seus produtos de decomposição em maior quantidade nas margens do reservatório.

Em Agosto/00 e Novembro/00 os valores foram aproximadamente duas vezes maiores aos encontrados nos demais meses estudados. Observa-se que o menor valor foi $337 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (estação 4C, Novembro/00) e o maior $571 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (rio Atibaia, Novembro/00), sendo que os maiores valores de condutividade ocorreram no rio Atibaia, com uma tendência à redução na condutividade da água ao longo do eixo longitudinal do reservatório, no sentido do rio para a barragem.

c) Oxigênio Dissolvido

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) variaram entre 0 (condição de anóxia) e $19,9 \text{ mg.L}^{-1}$ durante o período estudado. As maiores concentrações, nas camadas superficiais da coluna d'água, foram observadas nos meses de Agosto/00 e

Novembro/00. Porém, nesses meses observou-se, também, condições anóxicas nas profundidades próximas ao sedimento (rio Atibaia, 1E e 2C, em Agosto/00 e 1C, 1E, 2C e 4C em Novembro/00).

Na estação de coleta no rio Atibaia verificou-se concentrações baixas de OD, não ultrapassando $5,81 \text{ mg.L}^{-1}$ em todos os meses amostrados. Na estação 1 (1C, 1D e 1E) também verificou-se baixas concentrações de OD quando comparado com as demais estações, exceto no mês de Novembro/00, no qual foi observado “bloom” de algas cianofíceas durante a coleta, os quais seriam responsáveis pela alta concentração desse gás.

d) Temperatura da água

Pelos valores de temperatura da água verificou-se variação temporal bem definida. As menores temperaturas ocorreram no mês de Agosto/00, não ultrapassando a $21,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (estação 4D), sendo a mínima de $18,0^\circ\text{C}$. As maiores temperaturas ocorreram nos meses de Novembro/00 (mínima de $26,0 \text{ }^\circ\text{C}$, estação 3C e máxima de $32,3^\circ\text{C}$, estação 1D) e Fevereiro/01 (mínima de $25,6 \text{ }^\circ\text{C}$, no rio Atibaia e máxima de $31,4^\circ\text{C}$, na estação 4E). Os valores mínimos e máximos apresentados são referentes à camada superficial da coluna d'água.

Em relação aos perfis verticais, verificou-se a formação de termoclinas nas estações da região limnética do reservatório, isto é, nas estações mais profundas, nas quais a verificou-se maior heterogeneidade na coluna d'água, com amplitude de até $4,0^\circ\text{C}$ (estação 4C, Novembro/00).

e) Transparência da Água

As medidas de transparência da água foram obtidas em Agosto e Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001, sendo que em Agosto/00 somente as estações centrais foram avaliadas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 7 e nas Tabelas 21 e 22 (em anexo)

Na estação 2D e 2C (Novembro/00) observou-se o maior e o menor valor de transparência da água, correspondendo a $56,6\%$ e $2,27\%$ da profundidade, respectivamente.

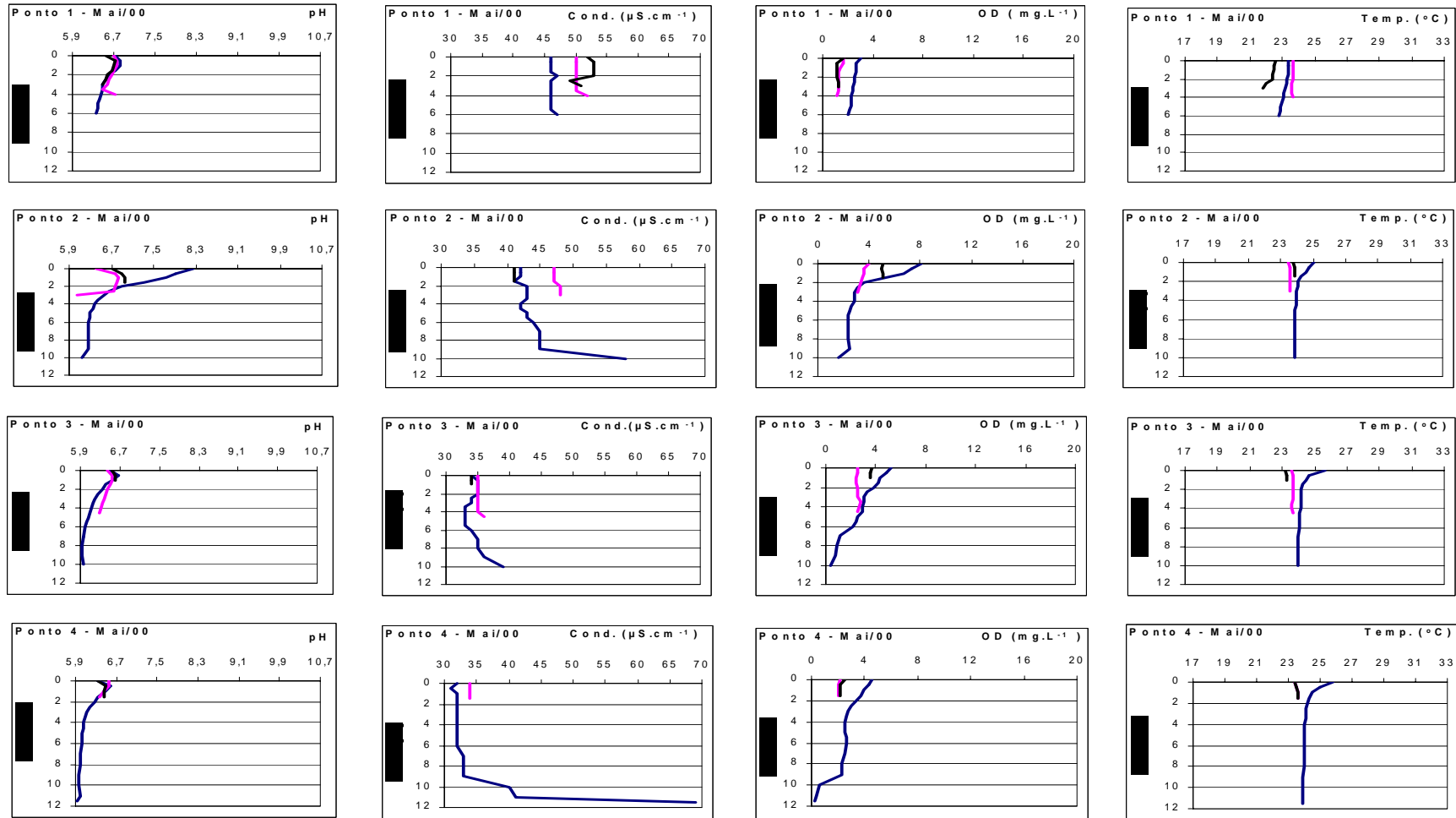


Figura 2. Variação do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP), nas estações centrais (—), margem direita (—) e margem esquerda (—), em Maio de 2000.

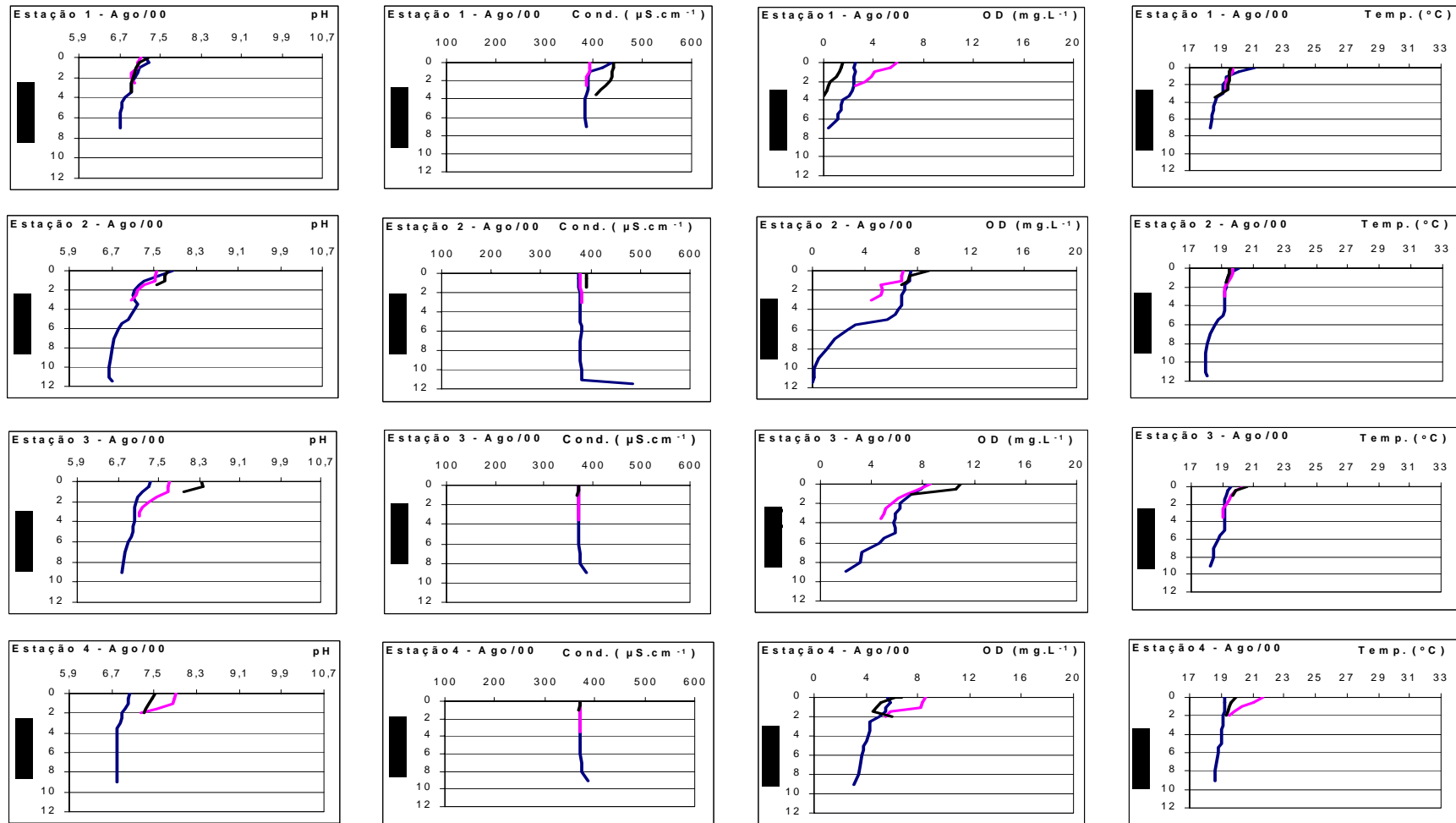


Figura 3. Variação do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP), nas estações centrais (—), margem direita (—) e margem esquerda (—), em Agosto de 2000.

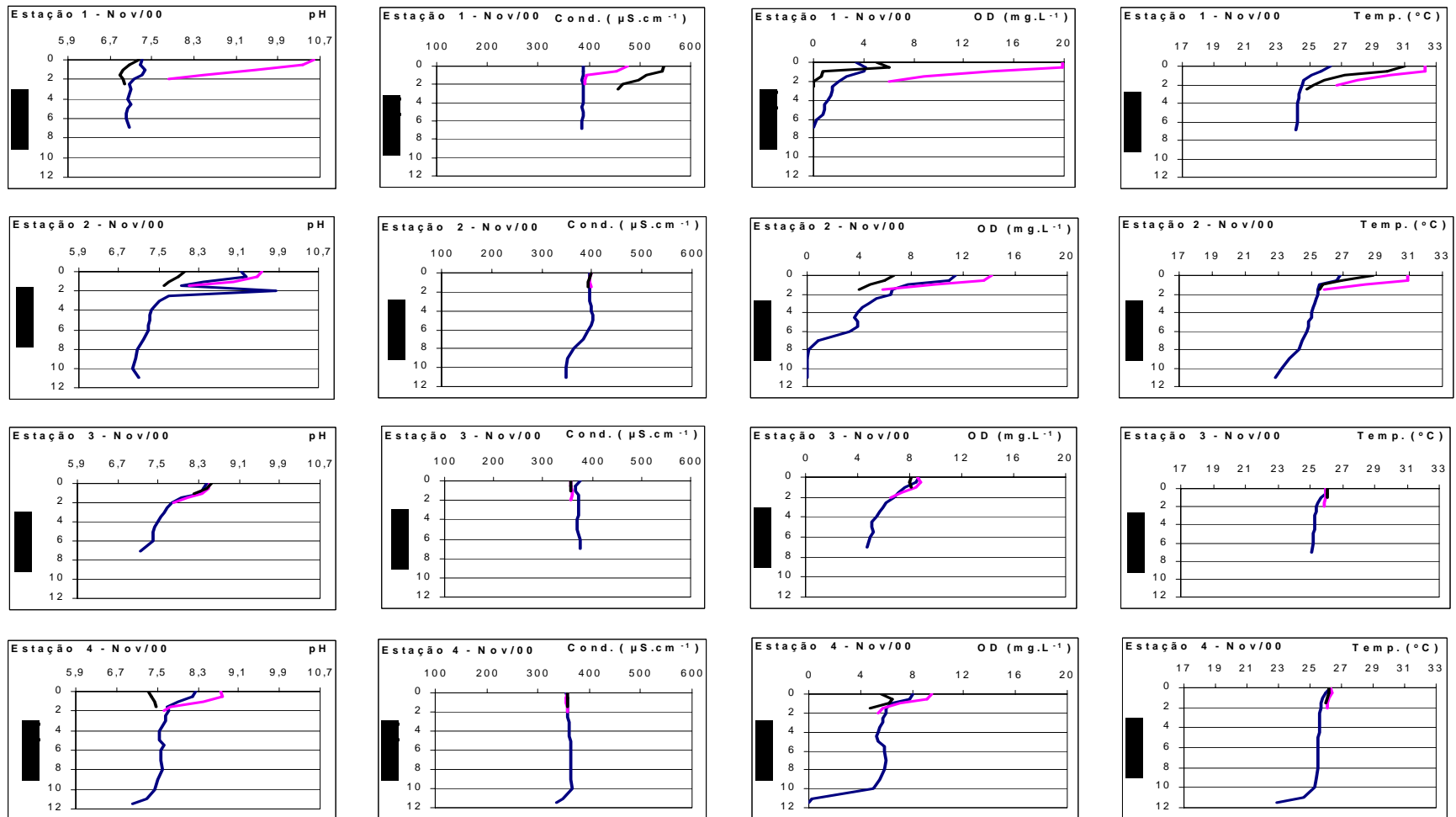


Figura 4. Variação do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP), nas estações centrais (—), margem direita (—) e margem esquerda (—), em Novembro de 2000.

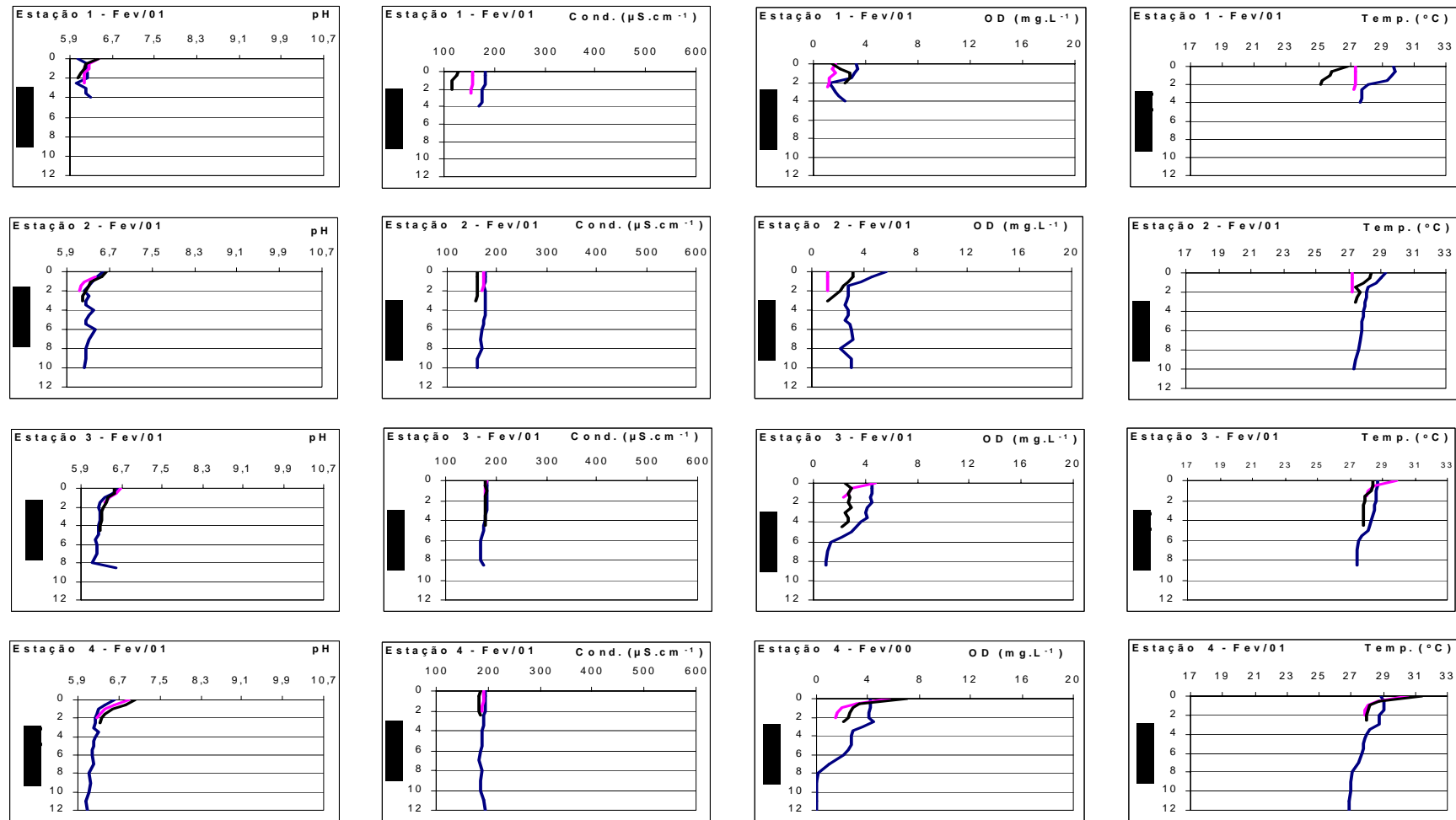


Figura 5. Variação do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP), nas estações centrais (—), margem direita (—) e margem esquerda (—), em Fevereiro de 2001.

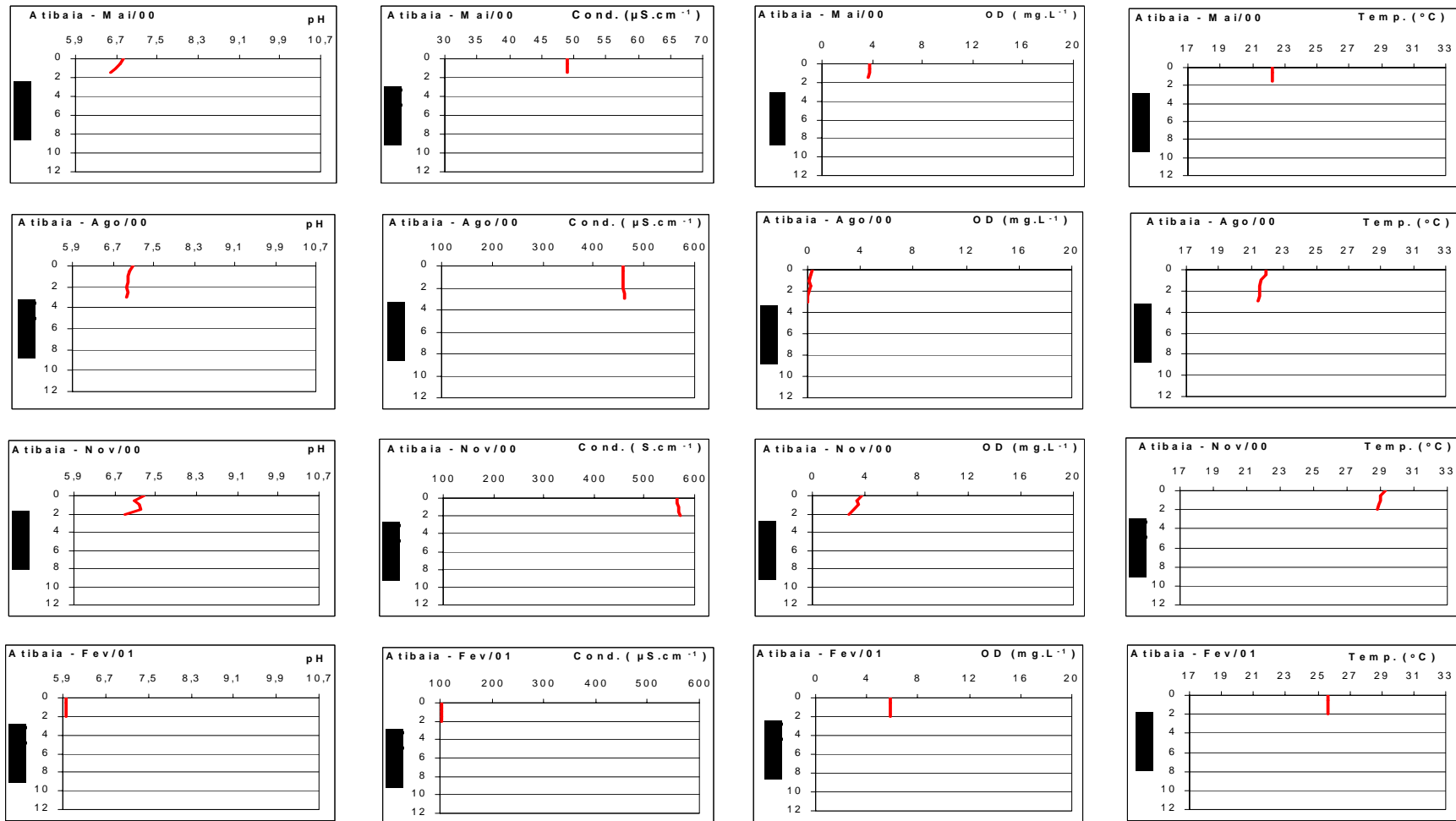


Figura 6. Variação do pH, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura no reservatório de Salto Grande (Americana, SP), no rio Atibaia, em Maio, Agosto e Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001.

Na estação 2C observou-se os menores valores durante todo o período estudado, e isto está associado às florações algais, as quais foram constantes no reservatório. Nas estações marginais, em geral, verificou-se os maiores valores de transparência da água. No mês de Fevereiro/01, os valores dessa variável foram menores que nos demais meses amostrados (0,10 a 0,45 m).

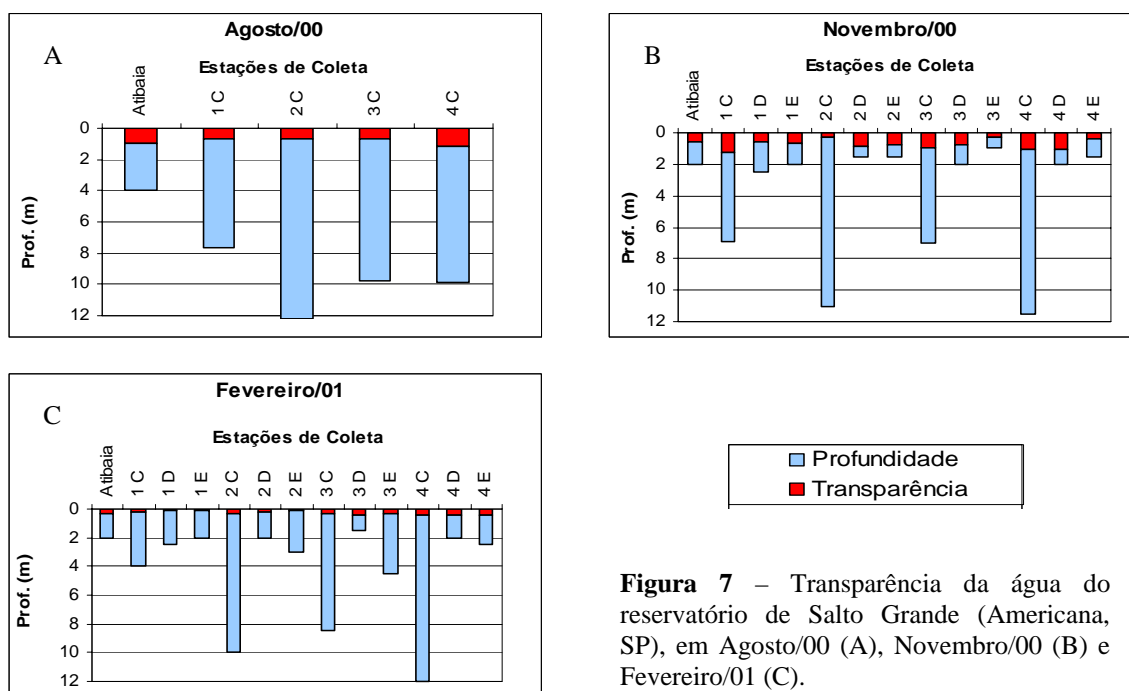


Figura 7 – Transparência da água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP), em Agosto/00 (A), Novembro/00 (B) e Fevereiro/01 (C).

f) Nitrato, nitrito e íon amônio

Nas Tabelas 23, 24 e 25 estão apresentadas as concentrações de Nitrato, Nitrito e Amônio obtidas no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado, verificando-se que, em geral, as maiores concentrações foram obtidas no rio Atibaia, em todos os meses amostrados.

As concentrações de Amônio (de 7,08 a 2420,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$) foram superiores às concentrações de Nitrito (de 67,72 a 554,86 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e Nitrato (de 642,22 a 1817,10 $\mu\text{g.L}^{-1}$), sendo que as concentrações, nas profundidades de 70%, são superiores às encontradas para as profundidades de 30% da coluna d'água.

Para as concentrações de Nitrito e Nitrato as variações não foram relacionadas com as profundidades de 30 e 70%. Nas concentrações de Nitrato verificou-se um padrão semelhante em todos os meses amostrados, sendo maiores na entrada do reservatório com posterior diminuição ao longo do mesmo.

Tabela 23. Concentrações de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 – 10000 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Nitrato	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	1817,10	463,14	2138,90	651,87
E1/30	1240,80	1080,80	718,41	642,22
E1/70	1255,20	1028,00	682,56	766,11
E2/30	1298,30	1081,30	832,00	807,60
E2/70	1257,70	1051,60	799,73	792,65
E3/30	1122,30	998,66	670,16	858,54
E3/70	1098,80	1057,60	695,74	787,95
E4/30	1063,40	1013,90	646,01	883,39
E4/70	1063,40	1011,60	656,89	784,09

Tabela 24. Concentrações de nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 – 1000 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Nitrito	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	554,86	322,18	518,03	73,70
E1/30	216,38	128,09	143,83	111,18
E1/70	241,46	119,52	141,82	114,09
E2/30	186,02	131,12	172,53	115,13
E2/70	180,62	77,14	168,25	112,93
E3/30	77,95	73,65	148,26	84,12
E3/70	77,18	80,74	151,10	99,71
E4/30	67,72	81,28	137,67	74,11
E4/70	73,24	100,66	137,71	80,28

Tabela 25. Concentrações do íon amônio ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 - 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (em azul: concentrações superiores ao estabelecido pela resolução).

Amônio	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	101,89	2420,00	2318,00	294,64
E1/30	42,77	737,48	1342,40	566,86
E1/70	54,75	910,04	1448,20	578,74
E2/30	28,22	697,75	749,31	373,56
E2/70	36,66	860,78	1089,60	437,83
E3/30	7,08	155,25	288,77	218,17
E3/70	12,25	226,18	472,18	464,33
E4/30	7,02	188,84	226,25	209,72
E4/70	12,68	278,98	226,36	516,11

g) Nitrogênio orgânico total

Os resultados de nitrogênio orgânico total (NOT) estão apresentados na Tabela 26, verificando-se que, semelhante ao observado para as formas inorgânicas do nitrogênio, os maiores valores de NOT foram encontrados no rio Atibaia, exceto em

Fevereiro/01, no qual a maior concentração foi obtida na estação 1/70%. A maior concentração de NOT foi determinada no rio Atibaia em Agosto/00 (15,40 mg.L⁻¹) e a menor concentração na estação 1/70%, em Maio/00 (0,23mg.L⁻¹).

Tabela 26. Concentrações de nitrogênio orgânico total (mg.L⁻¹) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.

N orgânico	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	2,71	15,40	13,82	1,74
E1/30	1,54	1,86	9,11	2,53
E1/70	0,23	3,29	8,61	2,65
E2/30	1,07	4,28	10,20	2,06
E2/70	1,07	2,37	10,33	2,34
E3/30	1,31	1,27	7,59	1,97
E3/70	2,01	1,31	6,55	1,81
E4/30	1,59	1,45	6,39	1,24
E4/70	1,35	1,15	5,97	1,74

h) Fosfato inorgânico e fosfato total dissolvido

As concentrações obtidas para fosfato inorgânico (Pinorg.) e fosfato total dissolvido (PTD), estão apresentadas nas Tabelas 27 e 28.

Semelhante ao observado para as formas nitrogenadas, as concentrações de Pinorg. e PTD foram mais elevadas no rio Atibaia, exceto em Fevereiro/01, onde as concentrações foram mais elevadas entre as estações 1 e 4.

No período estudado as concentrações obtidas estiveram entre 3,07 e 384 µg.L⁻¹ (Pinorg.) e entre 12,94 e 472,08 µg.L⁻¹ (PTD). As menores concentrações, tanto de P inorg. como de PTD, foram obtidas em Maio/00.

Tabela 27. Concentração de fosfato inorgânico (µg.L⁻¹) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.

P inorg.	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	280,20	384,22	337,86	38,13
E1/30	8,06	14,14	83,89	61,64
E1/70	14,87	25,15	104,96	67,79
E2/30	6,47	16,54	47,33	56,35
E2/70	4,08	34,28	73,77	60,53
E3/30	3,23	6,28	12,23	53,89
E3/70	3,07	4,50	21,22	61,13
E4/30	3,30	5,82	5,94	47,15
E4/70	3,31	7,97	5,28	45,47

Tabela 28. Concentração de fosfato total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados. CONAMA 20/86 - $25 \mu\text{g.L}^{-1}$ (em azul: concentrações superiores ao estabelecido pela resolução).

PTD	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	320,70	472,08	410,68	88,99
E1/30	23,05	37,76	117,92	138,47
E1/70	29,89	48,71	133,78	145,77
E2/30	15,46	42,54	81,77	140,35
E2/70	17,85	57,62	105,07	129,59
E3/30	14,20	26,89	42,17	107,03
E3/70	12,94	23,50	49,51	134,64
E4/30	13,30	24,70	33,67	88,94
E4/70	13,23	24,85	35,50	121,49

i) Fósforo total

Os resultados obtidos para fósforo total (PT) estão apresentados na Tabela 29, verificando-se que no rio Atibaia foram obtidas as maiores concentrações em todos os meses amostrados, as quais estiveram sempre acima de $404 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Maio/00), o que representa cerca de quatro vezes a concentração obtida no mesmo mês para a estação 1, localizada na entrada do reservatório. As concentrações de PT, em geral, variaram entre $66,75$ e $899,55 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período estudado

Tabela 29. Concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.

P total	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	404,36	899,55	552,74	827,84
E1/30	112,95	127,72	168,76	202,16
E1/70	151,40	120,27	215,84	245,45
E2/30	264,23	157,15	199,64	198,07
E2/70	337,72	116,68	182,23	214,24
E3/30	104,55	108,82	126,92	145,82
E3/70	98,23	79,39	117,40	177,95
E4/30	196,14	95,70	119,30	134,43
E4/70	267,23	66,75	107,07	150,33

j) Silicato

Os resultados obtidos para silicato estão apresentados na Tabela 30, sendo que as concentrações variaram entre $2,69$ e $8,65 \text{ mg.L}^{-1}$, com as menores concentrações ocorrendo em Agosto/00. Em Fevereiro/01 obteve-se as maiores concentrações (de $5,56$

a $6,78 \text{ mg.L}^{-1}$), exceto o rio Atibaia, no qual a maior concentração ocorreu em Maio/00 ($8,65 \text{ mg.L}^{-1}$).

Tabela 30. Concentração de silicato (mg.L^{-1}) na água do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.

Silicato	Mai/00	Ago/00	Nov/00	Fev/01
Atibaia	8,65	6,95	5,26	5,56
E1/30	5,04	2,97	5,43	6,78
E1/70	5,32	3,36	5,31	6,76
E2/30	5,24	3,31	5,70	6,68
E2/70	5,14	3,51	5,27	6,26
E3/30	5,17	2,92	4,85	6,70
E3/70	5,63	2,69	4,75	6,29
E4/30	6,08	2,78	5,09	6,65
E4/70	5,26	3,02	4,74	6,58

k) Clorofila (a + Feofitina)

Os resultados obtidos para Clorofila (a + feofitina) estão apresentados na Figura 8 e na Tabela 31 (anexo 2), verificando-se que no rio Atibaia foram obtidas as menores concentrações de clorofila total em relação às estações localizadas no corpo central do reservatório. A concentração máxima atingida no rio Atibaia foi de $63,12 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Novembro/00).

Os menores valores de clorofila total foram obtidos em Fevereiro/01 ($15,34 \mu\text{g.L}^{-1}$ - E4/70%) e os maiores no mês de Novembro/00 ($205,41 \mu\text{g.L}^{-1}$ - E2/30). Além disso, verificou-se que nas estações de coleta localizadas à 30% da profundidade os valores foram superiores às estações localizadas à 70% de profundidade, o que estaria relacionada com a extensão da zona eufótica.

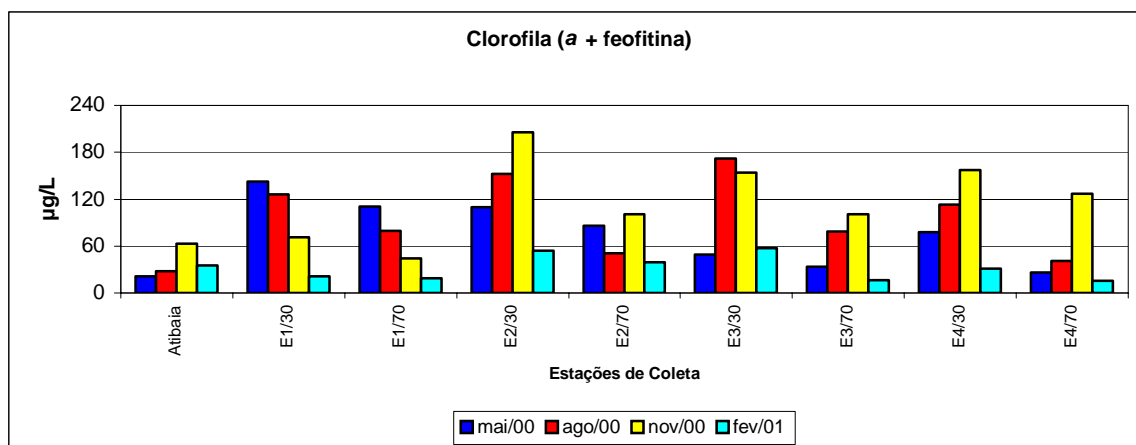


Figura 8 – Concentrações de Clorofila (a + feofitina) ($\mu\text{g.L}^{-1}$) no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) nos meses estudados.

1) Material em suspensão

Os resultados referentes às concentrações de material em suspensão total (MST) no reservatório estão apresentados na Figura 9 e nas Tabelas 32 e 33 (anexo 2).

Durante o período estudado obteve-se concentrações de MST entre 2,23 e 761,5 mg.L^{-1} . A quantidade de material orgânico (de 56 a 91% do MST) foi superior ao material inorgânico, exceto em Fevereiro/01, em que a fração inorgânica esteve entre 65 e 90% do MST. Somente em Maio/00 foi observada uma gradação longitudinal na quantidade de material em suspensão, com concentrações superiores no primeiro compartimento do reservatório (estação 1) e redução em direção ao último compartimento estudado (estação 4). As concentrações de material em suspensão total obtidas em Fevereiro/01 foram sempre superiores a 20 mg.L^{-1} , enquanto nos demais meses esse valor foi atingido somente uma vez, no rio Atibaia, em Agosto/00.

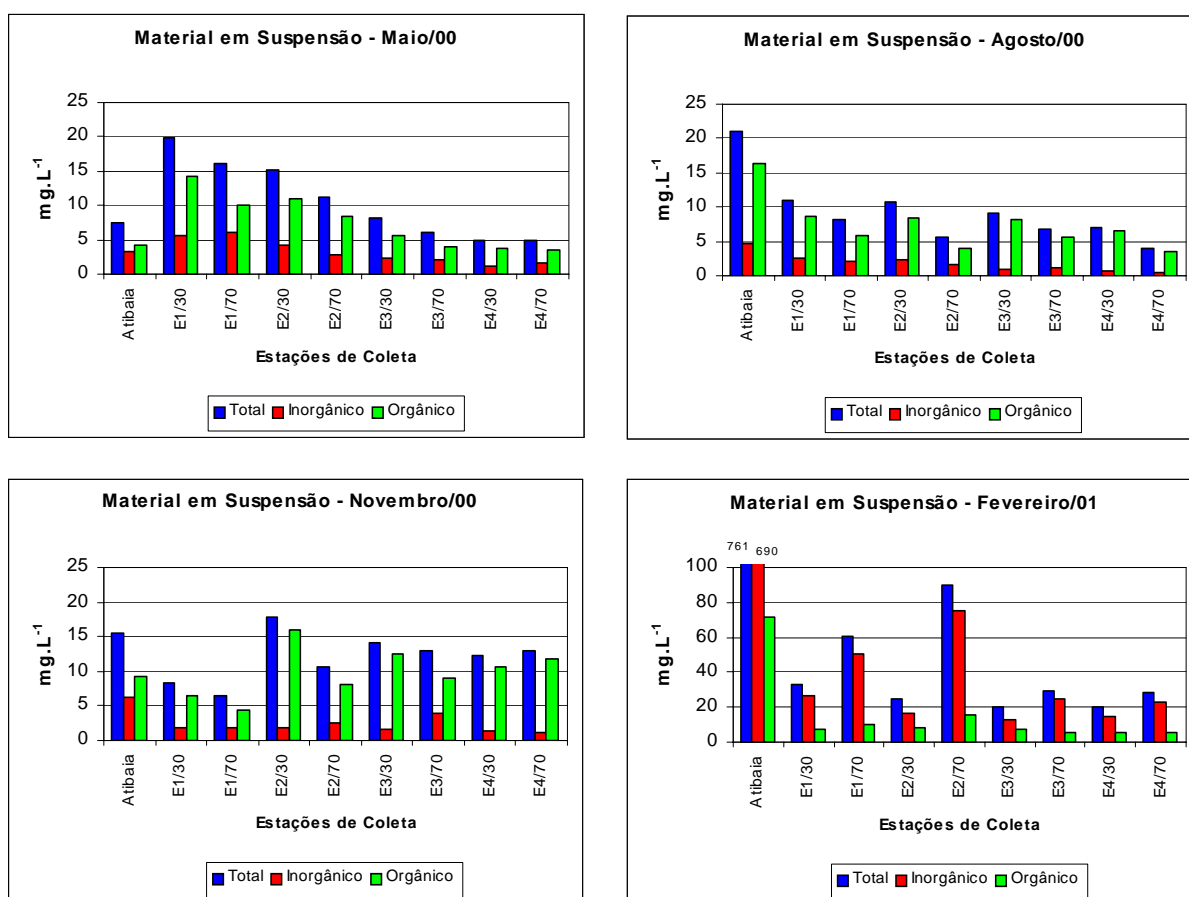


Figura 9. Material em suspensão (total, inorgânico e orgânico) no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período de estudo. (Obs: as escalas são diferentes).

m) Índice do Estado Trófico

Os resultados do Índice do Estado Trófico estão apresentados nas tabelas 34, 35, 36 e 37, sendo que as abreviações possuem o seguinte significado: (o) oligotrófico, (m) mesotrófico, (e) eutrófico e (he) hipereutrófico

Pelos resultados obtidos nos cálculos de cada parâmetro (clorofila, fósforo total, fosfato inorgânico e transparência da água medida com o disco de Secchi), observa-se que o reservatório de Salto Grande (Americana, SP) apresenta em toda a sua extensão, características de um sistema eutrófico. Porém, algumas estações nos meses de Maio, Agosto e Novembro de 2000 apresentaram características de sistemas mesotróficos ou mesmo oligotróficos, como pode ser observado nas tabelas abaixo. Além disso, pode-se verificar que há uma tendência à diminuição dos valores do Índice do Estado Trófico no sentido do rio para a barragem. Porém quando se considera somente o ET Médio (média ponderada dos diferentes índices) observa-se que o reservatório apresenta somente características de sistemas eutróficos ou hipereutróficos.

Tabela 34. Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Maio de 2000.

Estações de Coleta (Maio/00)	Clorofila	ET	Fósforo total	ET	Fosfato inorgânico	ET	ET MÉDIO	ET
rio Atibaia	61	e	83	he	97	he	80	he
Estação 1	80	he	65	e	46	m	64	e
Estação 2	78	he	77	he	43	o	66	e
Estação 3	70	e	64	e	33	o	55	e
Estação 4	74	he	73	e	33	o	60	e

o: oligotrófico; m: mesotrófico; e: eutrófico e h: hipereutrófico

Tabela 35. Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Agosto de 2000

Estações de coleta (Agosto/00)	Clorofila	ET	Fósforo total	ET	Fosfato inorgânico	ET	Disco de Secchi	ET	ET MÉDIO	ET
rio Atibaia	64	e	95	he	101	he	51	m	82	he
Estação 1	79	he	67	e	54	m	57	e	65	e
Estação 2	81	he	70	e	56	e	56	e	67	e
Estação 3	82	he	64	e	42	o	56	e	62	e
Estação 4	78	he	63	e	41	o	49	m	59	e

o: oligotrófico; m: mesotrófico; e: eutrófico e h: hipereutrófico

Tabela 36. Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Novembro de 2000

Estações de coleta (Novembro/00)	Clorofila		Fósforo total		Fosfato inorgânico		Disco de Secchi		ET MÉDIO	
		ET		ET		ET		ET		ET
rio Atibaia	72	e	88	he	100	he	59	e	83	he
Estação 1	73	e	71	e	80	e	47	m	71	e
Estação 2	84	he	73	e	71	e	71	e	75	he
Estação 3	81	he	67	e	52	m	51	m	64	e
Estação 4	81	he	66	e	41	o	50	m	61	e

o: oligotrófico; m: mesotrófico; e: eutrófico e h: hipereutrófico

Tabela 37. Índices do Estado Trófico obtidos no reservatório de Salto Grande (Americana, SP) em Fevereiro de 2001.

Estações de coleta (Fevereiro/01)	Clorofila		Fósforo total		Fosfato inorgânico		Disco de Secchi		ET MÉDIO	
		ET		ET		ET		ET		ET
rio Atibaia	66	e	94	he	68	e	66	e	75	he
Estação 1	61	e	73	e	75	he	74	he	71	e
Estação 2	71	e	73	e	74	he	68	e	72	e
Estação 3	71	e	69	e	73	e	66	e	70	e
Estação 4	65	e	67	e	71	e	62	e	67	e

o: oligotrófico; m: mesotrófico; e: eutrófico e h: hipereutrófico

4.2. Variáveis físicas e químicas do sedimento

a) Matéria orgânica

Os resultados referentes à porcentagem de matéria orgânica no sedimento podem ser observados na Figura 10 e na Tabela 38 (anexo 2). Durante o período de estudo o valor mínimo obtido foi de 1,00% de matéria orgânica no sedimento do rio Atibaia (Novembro/00) e o máximo foi de 18,78% na estação 2D (Agosto/00).

Em geral, nas estações localizadas no centro do reservatório (E1C, E2C, E3C e E4C), foram verificadas maiores porcentagens de matéria orgânica quando comparados com as estações próximas às margens, sendo o valor mínimo de 12,95% (E2C, Novembro/00) e máximo de 17,47% (E4C, Maio/00). Nas estações marginais próximas à barragem a contribuição de matéria orgânica foi inferior a 7%.

No sedimento do rio Atibaia coletado em Fevereiro/01 observou-se teor de matéria orgânica superior (10,78%) ao dos demais meses de coleta. Neste mês, devido à forte correnteza (vazão afluente de 59,0 m³.s⁻¹, Figura 15 em anexo) provocada, em

parte, pelas freqüentes precipitações, não foi possível coletar na região central do rio e por isso a estação de coleta foi deslocada em direção à margem esquerda do mesmo. Na estação 3E, em Fevereiro/01, o percentual superior (17,95%) ao obtido nos demais meses justifica-se pelo fato do deslocamento da estação de amostragem em direção à região central do reservatório (4,5m de profundidade) devido à presença de bancos de macrófitas nesta margem, o mesmo ocorrendo na estação 2E nos meses de Agosto/00 e Novembro/00.

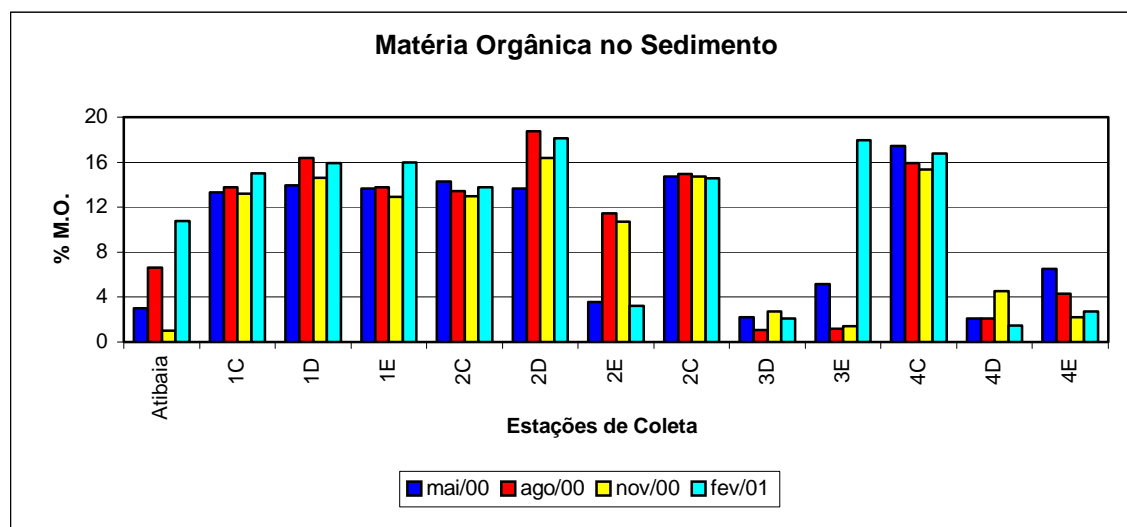


Figura 10- Porcentagem de matéria orgânica no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.

b) Nitrogênio orgânico total

Os resultados das porcentagens de nitrogênio orgânico total (NOT) podem ser verificados na Figura 11 e na Tabela 39 (anexo 2), na qual verifica-se um padrão semelhante ao encontrado para Matéria Orgânica, isto é, nas estações centrais observa-se porcentagens superiores de NOT em relação às estações próximas às margens, excetuando-se a estação 2C. Os valores mínimos e máximos foram, respectivamente, de 0,0091% (estação 2C) e 0,28% (estação 2D), ambos em Agosto/00. Nas estações marginais, localizadas próximas à entrada do reservatório, verificou-se porcentagens superiores de NOT quando comparados com as estações marginais próximas à barragem, exceto na estação 3E, cuja porcentagem de NOT foi superior em Fevereiro/00 (0,28%).

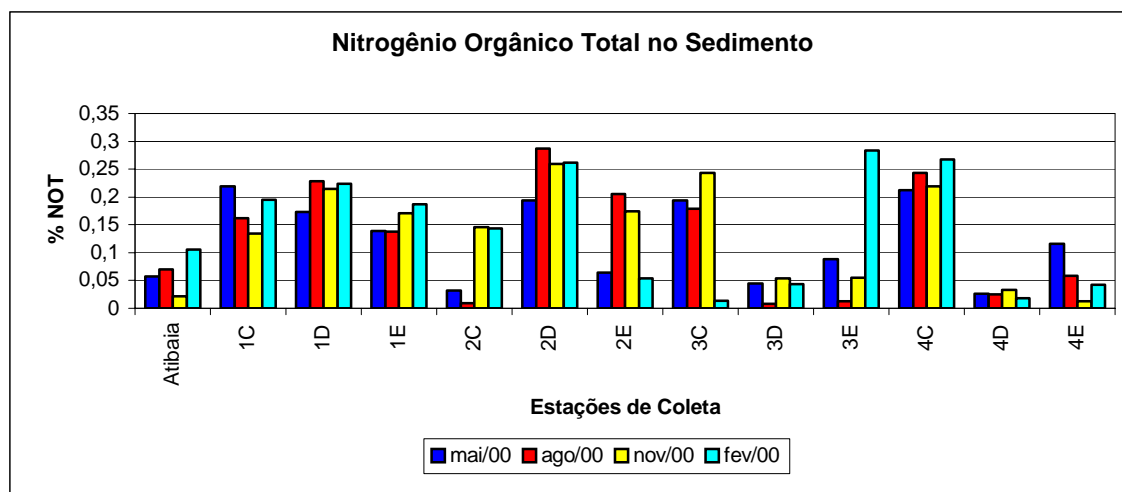


Figura 11. Porcentagem de nitrogênio orgânico total no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.

c) Fósforo total

As concentrações de fósforo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) podem ser observadas na Figura 12 e na Tabela 40 (anexo 2), verificando-se padrão semelhante ao apresentado para as porcentagens de matéria orgânica e nitrogênio orgânico total.

Na estação 3E (Agosto/00) verificou-se a menor concentração, de $47,58 \mu\text{g.g}^{-1}$ e na estação 3C (Maio/00) a maior concentração, de $1208,00 \mu\text{g.g}^{-1}$ de fósforo total no sedimento. Verifica-se, também, que na maior parte dos sedimentos amostrados obteve-se concentrações de fósforo total entre 200 e $600 \mu\text{g.g}^{-1}$, demonstrando a alta concentração desse elemento no reservatório de Salto Grande (Americana, SP).

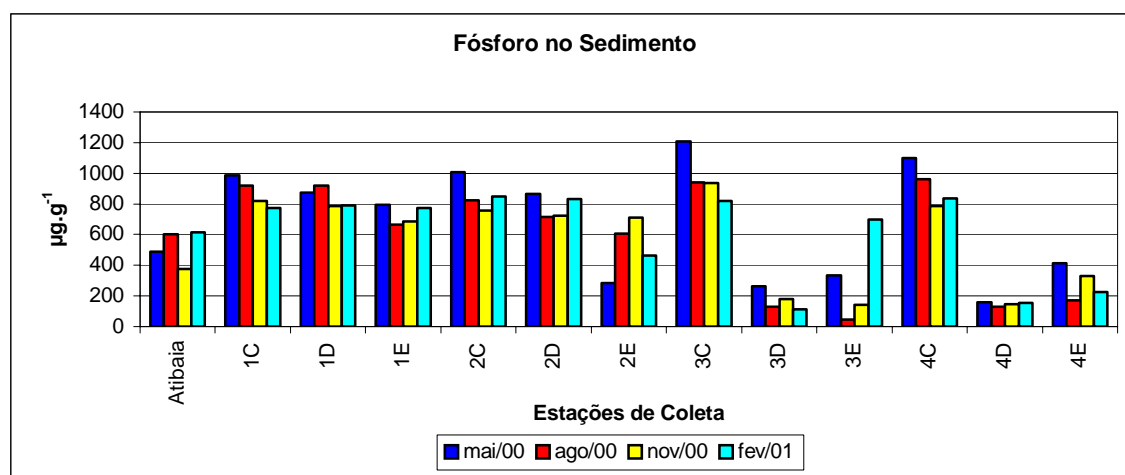


Figura 12. Concentração de fósforo total no sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.

d) Granulometria

Os resultados referentes à análise granulométrica, expresso em porcentagem, podem ser observados nas Figura 13, na Tabela 41 e nas tabelas 42, 43, 44 e 45 (anexo 2).

Na composição granulométrica do sedimento verificou-se pequenas alterações entre os meses coletados. As maiores diferenças ocorreram espacialmente, isto é, entre as 13 estações de coleta no reservatório. Conforme apresentado na Figura 13, observou-se que o sedimento é composto pelas frações de areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila, sendo que a fração pedregulho não fez parte da composição granulométrica do sistema.

Verifica-se que a fração areia fina é a mais representativa em todas as estações de coleta do reservatório e a fração argila nas estações próximas da entrada do reservatório, tanto nas estações centrais como nas margens, bem como nas estações 3 e 4 (centrais). O sedimento das margens (direita e esquerda) das estações 1 e 2 possui, predominantemente, areia fina e silte, enquanto o sedimento das margens das estações 3 e 4 é constituído, predominantemente, por areia média e areia fina.

A classificação do sedimento do reservatório está demonstrada na Tabela 41, considerando-se a porcentagem de cada fração predominante em cada amostra de sedimento.

Tabela 41: Classificação granulométrica do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.

Estação de Coleta	Maio/00	Agosto/00	Novembro/00	Fevereiro/01
Rio Atibaia				
1C	Areia fina	Areia fina à média	Areia média à fina	Areia fina
1D	Areia fina siltosa	Areia fina siltosa	Areia fina siltosa	Areia fina
1E	Areia fina siltosa	Areia fina argilosa	Areia fina argilosa	Areia fina argilosa
2C	Silte argiloso	Areia fina argilosa	Areia fina	Silte
2D	Argila	Argila	Argila	Areia fina argilosa
2E	Areia fina argilosa	Areia fina siltosa	Areia fina	Areia fina
3C	Areia fina	Areia fina à média	Areia fina siltosa	Areia fina
3D	Areia fina argilosa	Areia fina argilosa	Areia fina argilosa	Areia fina
3E	Areia fina à média	Areia fina à média	Areia fina à média	Areia fina à média
4C	Areia fina	Areia média à fina	Areia fina à média	Areia fina
4D	Areia média à fina	Areia fina siltosa	Areia fina argilosa	Argila
4E	Areia fina	Areia fina à média	Areia fina à média	Areia fina à média
	Areia fina	Areia fina	Areia fina à média	Areia fina

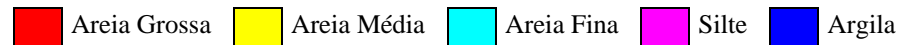
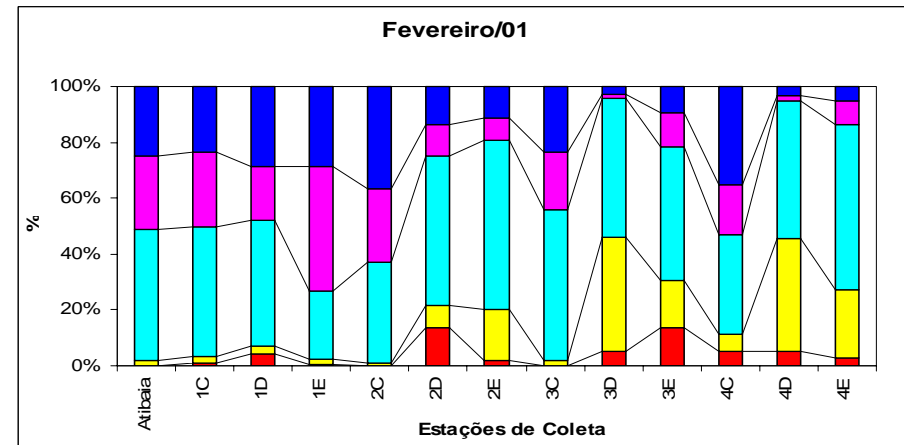
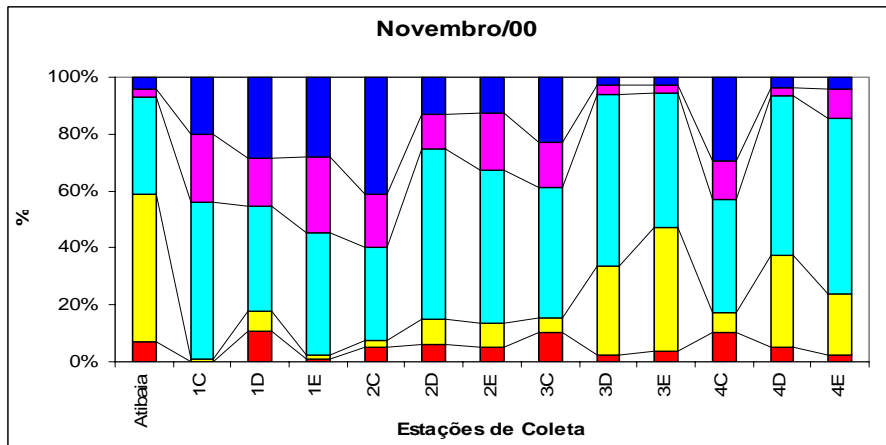
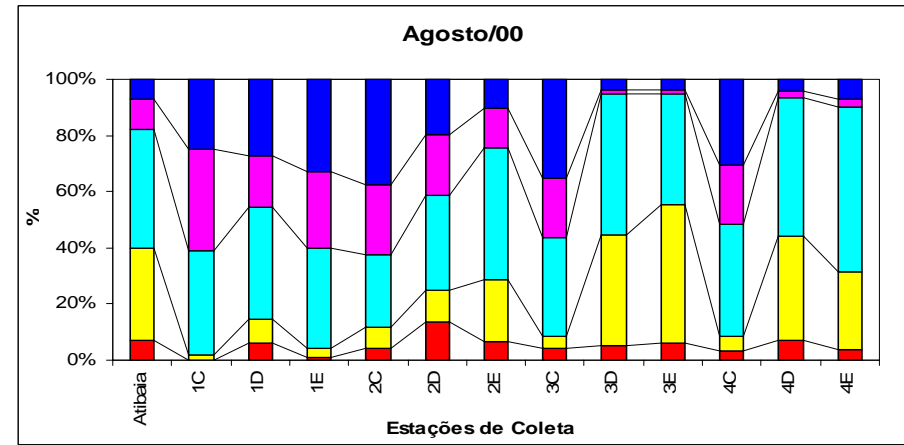
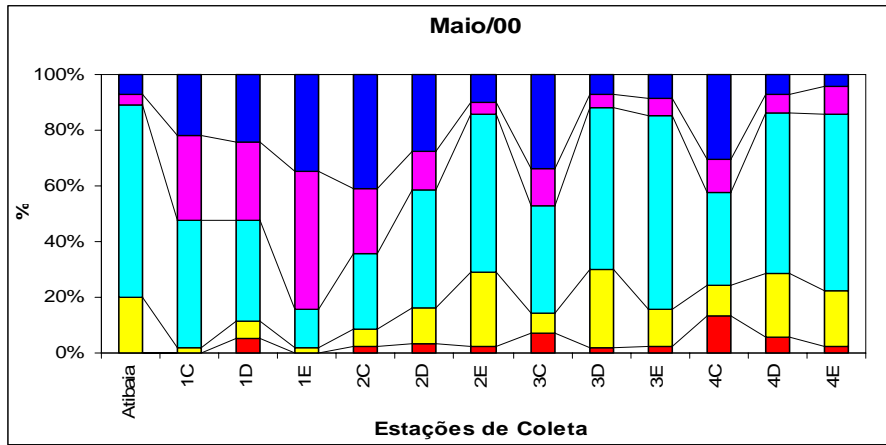


Figura 13. Granulometria do sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) durante o período estudado.

5. DISCUSSÃO

O reservatório de Salto Grande (Americana, SP) e seu principal afluente, o rio Atibaia, pertencem à sub-bacia do Atibaia que está inserida na bacia hidrográfica do rio Piracicaba. Esses sistemas formam um importante ambiente para o desenvolvimento regional das áreas urbanas, industriais e agrícolas que os circundam, servindo como receptor dos resíduos produzidos por cidades como Paulínia e Campinas, e por indústrias nelas localizadas, além de servir para o abastecimento da cidade de Sumaré.

O reservatório, com seus usos múltiplos, foi construído para gerar energia elétrica, sendo um grande pólo turístico na década de 80 e fornecendo água para as propriedades instaladas em seu entorno. Porém, apesar da grande importância, esse reservatório tem estado em constante processo de degradação desde a década de 70, como pode ser verificado pelos resultados apresentados no presente estudo e em estudos realizados anteriormente (CARVALHO, 1979; SHIMIZU, 1981; LEITE, 1998; MINOTI, 1999; PAMPLIN, 1999, ZANATA, 1999; LOPES-FERREIRA, 2000; TEIXEIRA, 2000, entre outros)

Observa-se no reservatório que os valores de pH são elevados, estando acima de 7,0 em todos os meses de coleta, exceto em Fevereiro de 2001. Os valores de condutividade elétrica também foram altos (exceto no mês de Maio/00). Segundo BITAR (1998) esse é um ambiente complexo e a entrada de íons pelo rio, a geração de outros íons no reservatório (ácidos orgânicos e amônia) e as suas interações produzindo complexações e as precipitações afetam a quantidade de íons disponíveis para a condução elétrica.

As concentrações de oxigênio dissolvido na camada superficial da coluna d'água também foram elevadas, especialmente nos meses de Agosto e Novembro de 2000, possivelmente devido à grande insolação e pouca circulação de água que, juntamente com a disponibilidade de nutrientes, promovem o crescimento e desenvolvimento das florações de algas observadas em muitas estações do reservatório. Nas camadas próximas ao sedimento, as concentrações de oxigênio dissolvido foram inferiores, observando-se condições de anoxia.

Os altos valores de pH, juntamente com as altas concentrações de oxigênio dissolvido, podem ocorrer devido à produtividade primária observada. Provavelmente a elevada quantidade de algas cianofíceas, formando "blooms", contribuem para o aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, e faz com que ocorra uma

diminuição da concentração de CO₂ dissolvido (GOLDMAN & HORNE, 1983), deslocando o equilíbrio ao bicarbonato (2HCO₃) e, assim, elevando o pH bruscamente em decorrência da atividade fotossintética. Segundo ESTEVES (1988), quanto maior for a biomassa vegetal em relação à massa d'água, maiores serão e em menor período de tempo ocorrerão as alterações do pH do meio.

No rio Atibaia não são observadas altas concentrações de oxigênio dissolvido, por ser este um ambiente lótico, conseqüentemente, com baixa produtividade primária. Na estação 1 central (E1C) também se observou baixa concentração de oxigênio dissolvido, possivelmente pelo fato deste ser o primeiro compartimento do reservatório que recebe maior quantidade de material em suspensão e no qual, segundo LEITE (1998), há maior taxa de deposição e, portanto, de decomposição da matéria orgânica, consumindo maiores quantidades de oxigênio dissolvido. Além disso, na estação 1C existe uma área de pastagem, sugerindo a entrada de excrementos do gado via lixiviação do solo, contribuindo para o aumento de matéria orgânica e, portanto, da taxa de decomposição.

A transparência da água foi reduzida durante todo o período estudado. Segundo TONISSI (1999), a transparência da água aumenta no sentido do rio para a barragem e esse comportamento é mais acentuado no período seco. No presente trabalho, essa variação não foi muito evidente. Apenas em Agosto/00 houve um pequeno aumento na transparência da água nesse sentido, sendo de 0,67m (estação 1C) e 1,15m (estação 4C) as medidas mínima e máxima da transparência. Em Novembro/00, observa-se uma grande variação entre as estações de coleta, não se observando o padrão observado por TONISSI (1999). Nesse mês, os menores valores de transparência da água estão relacionados com as florações algais que ocorreram em muitas estações do reservatório e também devido ao alto índice pluviométrico (300 mm, Figura 15 no anexo 3) que causa uma mistura na coluna d'água. Em Fevereiro/01, a transparência da água diminuiu em todas as estações de coleta, sendo os menores valores encontrados na estação 1 (1C, 1D e 1E), na qual há maior influencia do material em suspensão que chega ao reservatório transportado pelo rio Atibaia. Neste mês observa-se que o índice pluviométrico registrado (150 mm, Figura 15 no anexo 3) foi inferior ao de Novembro/00, porém no dia anterior à coleta havia chovido o que fez com que houvesse uma mistura da coluna d'água. Além disso, foi no mês de Fevereiro/01 que se observou o menor tempo de retenção da água (21 dias, Figura 16 no anexo 3), causando uma

maior movimentação do corpo d'água do reservatório e, dessa forma, contribuindo para a redução da transparência da água.

Pode-se inferir que os reduzidos valores de transparência da água nos meses de Agosto e Novembro de 2000 ocorreram devido aos florescimentos de algas, confirmados pelas concentrações elevadas de clorofila total nesses meses. Em Fevereiro/01 obteve-se a menor concentração de clorofila total, porém a concentração de material em suspensão, especialmente o inorgânico, foi muito alta quando comparada com os demais meses e isso possivelmente interferiu na transparência da água neste mês.

LEITE (1998) ressalta que existe uma variação espacial e temporal em curtos períodos de tempo, com alterações rápidas do sistema, em termos de entrada de partículas, em consequência da ação dos ventos, deslocamento das florações algais e dos bancos de macrófitas, bem como do fluxo de material em suspensão do rio Atibaia, sendo o uso e manejo da bacia hidrográfica e os parâmetros morfométricos os principais fatores de influência na concentração de material em suspensão nos corpos d'água (CARMO, 2000).

O material em suspensão do reservatório de Salto Grande foi composto em sua maior parte por material orgânico, exceto no mês de Fevereiro/01 em que a porcentagem de material inorgânico foi superior. A maior quantidade de matéria orgânica no material em suspensão poderá influenciar na concentração do oxigênio dissolvido que e na composição do sedimento do reservatório.

Neste capítulo considerou-se também, a concentração de nutrientes presentes tanto na coluna d'água como no sedimento do reservatório de Salto Grande, observando que o sistema está em processo contínuo de eutrofização.

CARVALHO (1979), já descrevia o reservatório como sendo um sistema em processo de eutrofização e embora as florações algais fossem quase ausentes (uma floração em cinco anos de estudo), as concentrações de nutrientes estavam aumentando consideravelmente. Essas altas concentrações de nutrientes podem favorecer a formação de "blooms" algais e a degradação de muitos ecossistemas aquáticos devido ao excesso da biomassa algal, o que tem motivado muitas pesquisas limnológicas nas últimas décadas (ELSER, 1999), especialmente devido à toxicidade apresentada por inúmeras espécies fitoplanctônicas.

Quando se compara os resultados obtidos no presente estudo com os valores recomendados pela resolução CONAMA 20/86 para as águas de Classe 2 , observa-se

que as concentrações de nitrato e nitrito estão dentro do limite estabelecido, o que não ocorre com as demais variáveis listadas na Tabela 46. Especialmente para o íon amônio e o fosfato total os valores estão acima do desejável. O íon amônio é um produto da decomposição de matéria orgânica nitrogenada e, segundo ESTEVES (1988), altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas, influenciando a dinâmica do oxigênio dissolvido no meio e a comunidade de peixes. O fosfato total dissolvido, por outro lado, pode ser considerado como um dos fatores responsáveis pela eutrofização do reservatório.

Tabela 46. Limites estabelecidos pela resolução CONAMA 20/86 para águas de Classe 2.

Variáveis	Conama 20/86 (Classe 2)	Reservatório de Salto Grande	
		Mínimo	Máximo
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	mínimo de 5,0	0	19,90
pH	6,0 – 9,0	5,90	10,58
Íon Amônio (mg.L ⁻¹)	0,02	0,007	2,42
Nitrito (mg.L ⁻¹)	1,0	0,067	0,554
Nitrato (mg.L ⁻¹)	10,0	0,463	2,138
Fosfato Total (mg.L ⁻¹)	0,025	0,012	0,472

De acordo com os resultados apresentados no presente estudo observa-se que há um gradiente na concentração de todos os nutrientes, considerando do rio Atibaia à barragem, mostrando a capacidade de autodepuração do sistema que possivelmente ocorre devido à deposição desses nutrientes no sedimento do reservatório (LEITE, 1998) e também pela absorção de nutrientes pelas macrófitas aquáticas (MORAES, 1999). Segundo MORAES, (*op cit*) a planta que apresentou maior estocagem de nutrientes foi *Eichhornia crassipes*, seguida por *Brachiaria arrecta*, *Pistia stratiotes* e *Cyperus sesquiflorus*. Dentre essas espécies, destaca-se a capacidade de remoção de nutrientes por *E. crassipes*, sendo denominada de “esponja” das águas, uma vez que atua como filtro natural, colaborando para a depuração do sistema aquático (MAFEI, 1988).

Segundo LEITE (1998), o rio Atibaia contribui com 14,01 e 22,61 ton.dia⁻¹ de nitrogênio e 0,29 e 3,68 ton.dia⁻¹ de fósforo, no período seco e chuvoso, respectivamente, mostrando ser a principal fonte de entrada desses nutrientes no reservatório de Salto Grande. Além disso, segundo o mesmo autor, a deposição de nitrogênio total alcança valores de 10,0 g.m⁻².dia⁻¹, e os valores de sedimentação total variam de 5,50 a 72,87 kg.m⁻².ano⁻¹, considerando-se o sentido rio-barragem, sendo

esses valores superiores aos encontrados por MARQUISÁ (1998) no reservatório de Barra Bonita ($5,0 \text{ mm.ano}^{-1}$) e reservatório do Lobo ($3,0 \text{ mm.ano}^{-1}$).

Além da sedimentação que ocorre dentro do reservatório, nota-se que entre as primeiras estações de coleta (rio Atibaia e estação 1) ocorre uma acentuada diminuição na concentração desses nutrientes na água, o que deve ocorrer em função da presença de macrófitas aquáticas na área alagada do reservatório. Segundo LOPES-FERREIRA (2000), essa área funcionaria como um “filtro” para a retenção de nutrientes, principalmente o nitrogênio e fósforo. Dependendo da forma nitrogenada ou fosfatada e das diferentes condições hidrológicas, a área alagada possui uma eficiência em reduzir as cargas de nitrito em 50%, de fosfato inorgânico em 63% e de fósforo total em 32%, além de reduzir em torno de 90% as densidades de coliformes.

Quando comparado a outros reservatórios (Tabela 47), verifica-se que a concentração de nutrientes no reservatório de Salto Grande é superior à dos demais sistemas, especialmente quando se analisa as concentrações dos compostos fosfatados.

Um fator importante que contribui para alterar a qualidade dos ecossistemas aquáticos e que deve ser considerado é o uso e ocupação do solo do entorno de cada reservatório, como no caso de Barra Bonita (sistema Tietê, SP), no qual o entorno é ocupado por monoculturas de cana-de-açúcar e no qual não há vegetação ciliar, ocorrendo, assim, a entrada mais intensa de nutrientes por meio de lixiviação do solo desprotegido, principalmente na época do corte da cana.

Quando se compara com o reservatório do Broa (ribeirão do Lobo, SP) verifica-se que há grande diferença nas concentrações dos nutrientes, e apesar do entorno do reservatório ser ocupado por casas de veraneio e condomínios, ainda existe uma faixa de mata ciliar em alguns pontos e considerando-se a micro-bacia onde este reservatório está contido, observa-se que ela é formada por cidades de pequeno porte (Itirapina e Brotas) e industrialização ausente, tendo em sua maioria somente pequenas propriedades agrícolas.

O reservatório de Salto Grande (rio Atibaia, SP), no entanto, não possui faixa de vegetação ciliar e as cidades que compõem a sub-bacia do Atibaia são de grande porte e industrializadas, lançando seus esgotos (doméstico e industriais) *in natura* no rio Atibaia, principal afluente desse reservatório e fazendo com que haja a redução da qualidade ambiental desse sistema.

Tabela 47. Comparação das concentrações de formas nitrogenadas e fosfatadas na água de diferentes reservatórios.

Reservatórios	NO ₂	NO ₃	NH ₃	NOT	P inorg.	PT diss.	PT
		µg.L ⁻¹		mg.L ⁻¹		µg.L ⁻¹	
Rio Tietê (SP)							
Bariri ¹	1183,13	45,33	17,95	0,73	11,27	21,83	54,80
Promissão ¹	586,28	7,57	10,30	0,67	6,10	9,68	37,71
Barra Bonita ¹	1652,49	32,75	15,92	0,89	19,51	24,98	76,78
Ribeirão do Lobo (SP)							
Broa ²	29,30	0,81	6,09	*	1,70	6,91	*
Broa ³	8,46	1,73	11,66	*	3,31	7,10	*
Rio Grande (MG)							
Volta Grande ⁴	*	*	*	0,93	*	*	48,87
Rio Paranaíba/Araguari (MG)							
Nova Ponte ⁵	*	33,01	181,57	*	*	7,15	44,39
Rio Atibaia (SP)							
Salto Grande ⁶	785,00	580,00	764,00	*	*	123,00	*
Salto Grande ⁷	1154,10	94,95	675,40	1,85	27,00	52,50	67,00
Presente estudo	967,17	149,28	516,64	2,95	53,78	92,34	216,52

1. Fracácio, 2001; 2. Oishi, 1990; 3. Peláez-Rodrigues, 1997; 4. Nogueira, 2001; 5. Silva, 1998 ; 6. Carvalho, 1979; 7. Zanata, 1999; * dados não analisados

Ainda na Tabela 47, pode-se verificar também que não há diferença acentuada entre os valores encontrados por CARVALHO (1979) e no presente estudo, ainda que o intervalo entre os estudos seja grande. Isso pode ocorrer devido à capacidade tampão dos lagos indicada por JORGENSEN & VOLLENWEIDER (1988), significando que eles são capazes de resistir a um certo nível de poluentes. Entretanto, essa capacidade é limitada e o surgimento de um problema pode, então, ocorrer em um período de tempo relativamente curto, enquanto a entrada de poluentes no lago tem sido considerada por um longo período de tempo.

O fato de CARVALHO (*op. cit*) não ter observado muitas florações de algas durante seu estudo, embora as concentrações de nutrientes já fossem elevadas, subsidia a suposição da habilidade do sedimento em acumular essas substâncias podendo, de certa forma, explicar essa capacidade tampão. Porém, segundo JORGENSEN & VOLLENWEIDER (*op cit*), em determinado nível de acúmulo, a capacidade do sedimento pode se esgotar e futuras entradas de poluentes irão aumentar a concentração na água significativamente, situação que pode ter ocorrido no reservatório em estudo, fazendo com que características de ambiente eutrófico ficassem mais evidentes à partir da década de 80, sendo uma das conseqüências a ocorrência de freqüentes “blooms” de algas. Esses florescimentos de algas foram confirmados no presente estudo ao se

observar as altas concentrações de clorofila ($a + \text{feofitina}$) obtidas e que influenciam, juntamente com as altas concentrações de nutrientes, o estado trófico do reservatório.

O uso de um sistema de classificação do estado trófico para lagos ou reservatórios tem um interesse científico, mas também possui uma aplicação gerencial, já que os usos da água são dependentes do estado trófico e da conseqüente qualidade da água (SALAS & MARTINO, 1990).

Analisando-se os resultados do Índice do Estado Trófico pode-se constatar que o reservatório em questão apresenta-se eutrófico ou hipereutrófico. Os resultados do presente estudo corroboram o de ZANATA (1999), no qual o sistema mostrou-se mais eutrófico no período chuvoso devido a maior carga de nutrientes recebida através de fontes pontuais e difusas. Além da diferença temporal existe uma diferença espacial no grau de trofia do reservatório no sentido rio Atibaia à barragem. Esse gradiente pode ser explicado pelos mesmos motivos do gradiente apresentado para os nutrientes, que são a retenção no “Pantanalzinho” e a sedimentação no primeiro compartimento, ou seja, estações 1 e 2.

A Figura 14 é uma adaptação de LIND *et al.* (1993) e demonstra as principais diferenças que ocorrem nos compartimentos de reservatórios com morfometria semelhante à de Salto Grande (Americana, SP). Os reservatórios que funcionam em fio d’água, como o reservatório de Volta Grande (MG) (NOGUEIRA, 2001) e de Segredo (PR) (AGOSTINHO, 1997), em geral possuem morfometria diferente, sendo mais alongados, profundos e sem muitas ramificações dentríticas, o que faz com que o tempo de retenção da água e conseqüentemente a sedimentação seja menor.

Desde que a morfometria influencia os gradientes verticais e horizontais, ela é um parâmetro importante para os processos de transporte e circulação de materiais dissolvidos e em suspensão, já que a eutrofização se inicia nos compartimentos do reservatório em que a circulação é reduzida e o tempo de residência é maior (MAROUELLI, 1988).

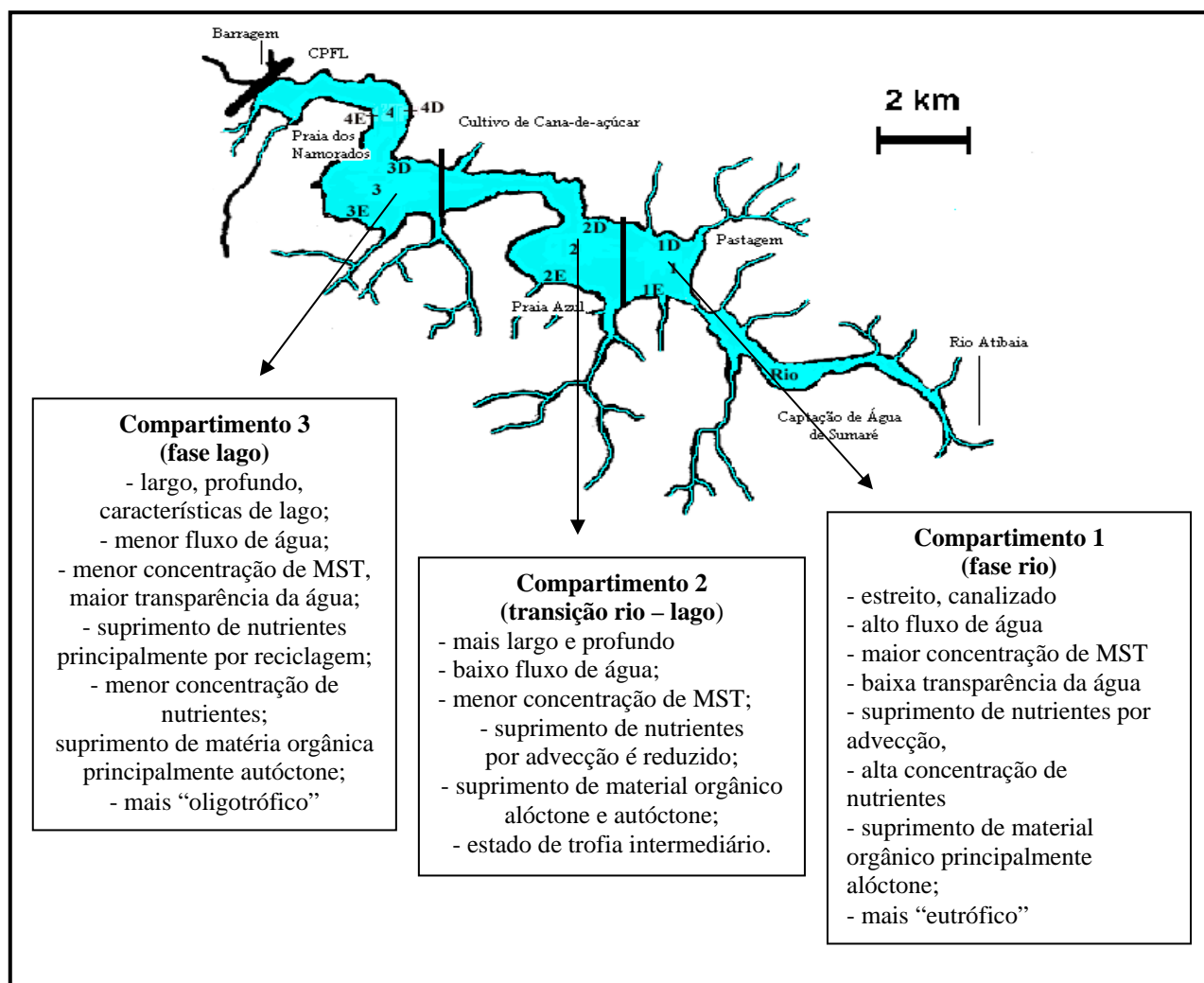


Figura 14. Esquema adaptado de LIND, TERREL & KIMMEL (1993)

De acordo com DRISCOLL (1993), as manifestações de hipertrofia são as altas concentrações de biomassa fitoplanctônica e baixa transparência, extensos períodos de anoxia no hipolímnio e diminuição do oxigênio dissolvido durante o período de chuvas. Estas são algumas das características apresentadas pelo reservatório de Salto Grande durante o período estudado.

Segundo COSTA (2001) a avaliação da qualidade de um ecossistema aquático como um todo deve abranger não só a análise da coluna d'água como também da camada sedimentar, pois o grau de degradação do ambiente aquático ocorre em função do acúmulo de nutrientes e poluentes presentes nos 4 reservatórios abióticos citados por SALOMONS & FORSTNER (1984): as águas superficiais, material em suspensão, os sedimentos e as águas intersticiais. Portanto, este capítulo também trata da caracterização do sedimento do reservatório quanto ao teor de matéria orgânica e à sua

composição química (fósforo total e nitrogênio orgânico total) e física (granulometria). Essas características se complementam no sentido de que a complexação de elementos e compostos químicos ao sedimento pode ser dependente do tamanho das partículas que o compõe.

Segundo ESTEVES (1988), o sedimento pode ser classificado em orgânico e inorgânico dependendo do teor de matéria orgânica que ele contém. Para ser considerado orgânico o sedimento deve conter mais de 10% de matéria orgânica em seu peso seco. Caso contrário, se o sedimento tiver menos de 10% de matéria orgânica, ele será considerado como inorgânico. O sedimento do reservatório de Salto Grande (Americana, SP) possui as duas classificações dependendo da distribuição espacial das estações de coleta. No primeiro compartimento do reservatório, isto é, estações 1 e 2 (e suas margens), o sedimento é considerado orgânico. Nas estações 3 e 4, os sedimentos das margens são considerados inorgânicos e os das estações centrais do reservatório são considerados como orgânicos. Deve-se considerar que nessas estações existe densos bancos de macrófitas (*E. crassipes* e *B. arrecta*), que ao senescerem precipitam no sedimento do reservatório, contribuindo para um acúmulo de material orgânico de origem vegetal.

Essa mesma diferença na distribuição espacial é notada quando se observa as concentrações dos nutrientes (nitrogênio orgânico total e fósforo total). Os sedimentos das margens das estações 3 e 4 apresentam as menores concentrações desses nutrientes. Além disso, ao se observar a composição granulométrica nota-se que no primeiro compartimento os sedimentos são compostos de areia fina contendo grandes quantidades de silte e argila. No segundo compartimento, isto é, estações 3 e 4, as estações centrais são compostas de areia fina com argila e silte, porém as estações marginais são compostas por areia fina contendo grandes quantidades de areia média e grossa, o que retém menos elementos químicos adsorvidos nas superfícies de seus grãos. O rio Atibaia possui sedimento do tipo areia fina.

Quando se compara os valores de matéria orgânica e fósforo total do sedimento do reservatório de Salto Grande com os resultados apresentados para outros sistemas (Tabela 48), verifica-se que as porcentagens de matéria orgânica são relativamente maiores, bem como as concentrações de fósforo total. Isto pode significar que a entrada de fósforo no sistema ao longo dos anos tem provocado um acúmulo desse elemento no sedimento. Mesmo que a entrada desse nutriente fosse reduzida, o sedimento, por meio

de processos biológicos, químicos e físicos, poderia liberar fósforo para a coluna d'água por um grande período de tempo.

Tabela 48. Comparação das concentrações de matéria orgânica e fósforo total no sedimento de diferentes reservatórios.

Reservatórios	Matéria Orgânica (%)	Fósforo Total ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Rio Tietê		
Bariri (1983) ¹	9,50	380,70
Bariri (2001) ²	3,62	63,80
Promissão (1983) ¹	3,7	14,40
Promissão (2001) ²	11,35	48,04
Barra Bonita (1983) ¹	4,3	513,60
Barra Bonita (2001) ²	12,71	70,67
Ribeirão do Lobo		
Broa ³	22,33	13,08
Broa ⁴	19,93	127,64
Rio Atibaia		
Salto Grande ⁵	1,40 – 23,76	250,00 – 1504,30
Presente estudo	1,00 – 18,00	47,58 – 1208,00

1. Esteves (1983) *apud* Esteves (1988); 2. Fracácio (2001); 3. Trindade (1980); 4. Dornfeld *et al* (2001); 5. Pamplin (1999)

Como mencionado anteriormente, o reservatório de Salto Grande é um sistema eutrofizado devido à entrada de nutrientes, especialmente o fósforo, via rio Atibaia, que transporta grande quantidade de esgoto doméstico e industrial. Esses nutrientes, primeiramente contidos na coluna d'água, sedimentam-se e podem ficar imobilizados no sedimento, dependendo das características do mesmo e da água suprajacente.

Segundo FORSBERG (1989), nutrientes orgânicos e inorgânicos são constantemente transportados para o fundo dos lagos e reservatórios por sedimentação. Porém, por meio de processos biológicos, químicos, físicos e mecânicos esses nutrientes podem retornar do sedimento para a coluna d'água. A taxa de ciclagem desses nutrientes também é influenciada por condições hidrológicas, morfologia do lago, tempo de residência da água, regime de temperaturas, além do tamanho e densidade das partículas. Diferentes níveis de trofia dos reservatórios criam diferentes condições para o metabolismo do mesmo, influenciando, assim, a ciclagem de nutrientes. Muitos processos biológicos contribuem para a ciclagem de nutrientes, destacando-se, entre eles, a mineralização (bactérias), transferências de nutrientes (algas e macrófitas bentônicas) e bioturbação (invertebrados bentônicos e alguns peixes). Além disso

existem processos químicos e físicos que correspondem a fatores como a temperatura, pH e condições de óxido-redução.

Em lagos eutróficos ou hipereutróficos a concentração de fósforo (compostos fosfatados) é a maior preocupação. Vários fatores têm sido propostos como controladores da liberação de fósforo do sedimento para a coluna d'água, incluindo oxigênio dissolvido, concentração de SO_4 , pH e concentração de Ferro no sedimento, além de compostos orgânicos e carbonatos (SANTOS, 1996). A mesma autora conclui que uma redução das concentrações de oxigênio dissolvido a partir de $3,35 \text{ mg.L}^{-1}$ seria suficiente para iniciar a liberação do fósforo do sedimento para a coluna d'água. Segundo REDSHAW *et al* (1990) o tempo requerido para um lago recuperar um "status" de trofia é regido pela redução da entrada de fósforo externo, pela quantidade de fósforo no sedimento capaz de ser liberado para a coluna d'água e do potencial do sedimento em liberar fósforo suficiente para sustentar um crescimento de algas.

No reservatório de Salto Grande possivelmente deve haver a liberação do fósforo do sedimento para a coluna d'água, uma vez que a concentração de oxigênio dissolvido próximo ao sedimento atinge, muitas vezes, concentrações inferiores a $3,35 \text{ mg.L}^{-1}$, apresentando, inclusive, condições de anoxia. Por outro lado, também deve haver grande precipitação desse elemento, pois TONISSI (1999) encontrou altas concentrações de Ferro na água e no sedimento do reservatório. Dessa maneira pode-se completar uma parte do ciclo do fósforo, sendo este precipitado juntamente com o Ferro e liberado em condições de anoxia.

Em um estudo temporal, TEIXEIRA (2000) observou que a degradação da qualidade da água do rio Atibaia e a eutrofização do reservatório de Salto Grande estão relacionados com a formação do complexo industrial de Paulínia, que desencadeou o aumento da população na região. Segundo o mesmo autor, aproximadamente 83% de matéria orgânica é proveniente do esgoto sanitário das cidades a montante e 17% dos efluentes industriais e esses materiais acabam sedimentando no reservatório. Sendo assim, o conhecimento das interações entre o sedimento e a água nos lagos eutróficos é de especial interesse para o gerenciamento e manejo da qualidade da água, pois mesmo depois de reduzir a entrada externa de nutrientes há sempre dificuldades causadas pela liberação dos nutrientes do sedimento para a coluna d'água (DRISCOLL, 1993) e segundo SALAS & MARTINO (1990), a longo prazo, o controle de nutrientes em lagos e reservatórios requer o uso de boas práticas de manejo e uso dos solos da bacia e a

redução da carga de nutrientes com o tratamento terciário dos afluentes industriais e domésticos.

6. CONCLUSÃO

➤ A análise do Índice do Estado Trófico indicou características de sistemas eutróficos dependendo do período e da localização espacial das estações amostradas;

➤ A morfometria do reservatório, em forma compartimentalizada, e o tempo de retenção da água, relativamente longo no inverno (179 dias em Maio/00), favorecem a sedimentação do material em suspensão, colaborando para que o processo de eutrofização seja mais ou menos acelerado nos diferentes compartimentos.

➤ Existe um gradiente de concentração de nutrientes que diminui no sentido do rio-barragem, corroborando a afirmação de excelente sistema de retenção executado pela área alagada (“Pantanalzinho”) e conseqüente melhoria na qualidade da água;

➤ As macrófitas aquáticas, *E. crassipes* (aguapé) e *B. arrecta* (braquiária), presentes em densos bancos, possuem papel na absorção de nutrientes, colaborando com a melhoria na qualidade da água e influenciam a composição do sedimento, tornando-o mais orgânico nos locais onde existe maior biomassa vegetal, devido à sedimentação dos organismos senescentes;

➤ As concentrações de nitrato e nitrito, embora estejam abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA 20/86, são elevadas quando comparadas com os demais reservatórios e as concentrações dos compostos fosfatados estão acima do limite estabelecido pela resolução supracitada, sendo mais um indicativo do estado de eutrofização do sistema;

➤ As concentrações de material em suspensão foram elevadas, principalmente no período chuvoso, demonstrando a influência da precipitação no sistema;

➤ A porcentagem de matéria orgânica e as concentrações de fósforo total e nitrogênio orgânico total são altas, especialmente nas estações centrais do reservatório, sendo mais um indicativo do estado de eutrofização do sistema;

➤ A eutrofização é um problema do reservatório que pode ser controlado à medida que forem diminuídas as fontes de fósforo que chegam ao sistema, especialmente do esgoto doméstico que é lançado em seu principal afluente, o rio Atibaia.

7. BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C. (1997). **Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo**. Editora da Universidade Estadual de Maringá (EDUEM), Maringá (PR), 287p.
- ANDERSEN, J. M. (1976). An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Wat. Res.* v.10. p.329-331.
- APHA (1995). **Standard Methods for examination water and wastewater**. Eaton, A. D. et al., eds. 19. ed.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1968). **Análise Granulométrica de Solos (Método Brasileiro)**. Rio de Janeiro.
- BITAR, A.L. (1998). **Fluxo de Nitrogênio e seu uso por duas macrófitas aquáticas (*Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) no reservatório de Salto Grande (Americana - SP)**. São Carlos. 97p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- CARMO, C.F. (2000). **Aporte de nutrientes, nitrogênio e fósforo, e sua relação com os impactos antropogênicos em um lago urbano, São Paulo, SP, Brasil**. São Carlos. 138p. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- CARMOUZE, J.P. (1994). **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos – Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, FAPESP, 253p.
- CARLSON, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. and Oceanogr.* v.22 (2).p. 261-269.
- CARVALHO, M.A.J. (1979). **A represa de Americana, São Paulo: aspectos físico-químicos e a variação das populações de Copepoda Cyclopoida de vida livre**. São Paulo. 80p. + anexos. Tese (doutorado). Instituto Biológico, Universidade de São Paulo.
- CONAMA 20 (1986). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 20 de 12 de junho de 1986. In: **Coletânea de Legislação Ambiental Federal – Estadual, 1991**. Imprensa Oficial do Estado do Paraná.
- COSTA, J.B. (2001) **Avaliação ecotoxicológica da água e sedimento de tributários do reservatório de Barra Bonita (Médio Tietê Superior)**. São Carlos. 281 p. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- DORNFELD, C.B.; MASUTTI, M.B.; ANDRADE, C.A.; ALMEIDA, C. A.; SILVÉRIO, P.F (2001). **Caracterização Ecotoxicológica do sedimento da Represa do Lobo (Itirapina-Brotas, SP) e seus Tributários**. In: ESPÍNDOLA, E.L.G., ed. **Impactos ambientais em recursos hídricos: causas e conseqüências**. Rima editora. p. 245-259
- DRISCOLL, C.T.; EFFLER, S.W; AUER, M.T.; DOERR, S.M.; PENN, M.R. (1993). Supply of phosphorus to the column of a productive hardwater lake: controlling mechanisms and management considerations. *Hydrobiologia*. v.253. p. 61-72.

- ELSER, J.J. (1999). The pathway to noxious cyanobacteria blooms in lakes: the food web as the final turn. **Freshwater Biology**. v.42. p. 537-543
- ESTEVES, F.A. (1988). **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência, FINEP. 575p.
- FORSBERG, C. (1989). Importance of sediments in understanding nutrient cycling in lakes. **Hydrobiologia**. v.176/177. p. 263-277.
- FRACÁCIO, R. (2001). **Utilização de bioensaios ecotoxicológicos com Danio rerio (Cypriniformes, Cyprinidae) e análises limnológicas para a avaliação ambiental dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP)**. São Carlos. 233p. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- GOLDMAN, C.R.; HORNE, A.J. (1983). **Limnology**. New York, McGraw-Hill, 464p.
- GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M.. (1978). **Methods for physical and chemical analysis of fresh water**. 2 ed. Oxford, Blackweel Scintific Publications (IBP, 8), 213p.
- JORGENSEN, S.E.; VOLLENWEIDER, R.A. (1989). Principles of lake management. **Guidelines of lake management**. International Lake Environment Committee, United Nations Environment Programme, v.1 199p..
- KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K., ed. **Methods of seawater analysis**. Verlag. Chemie. Weinhein. p. 117-181.
- LEITE, M.A. (1998). **Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana - SP) e sua influência sobre características limnológicas do sistema**. São Carlos. 170p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- LIND, O.; TERREL, T.; KIMMEL, B. (1993). Problems in reservoir trophic state classification and implications for reservoirs management. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A., eds. **A comparative reservoir limnology and water quality management**. Kluwer, pp. 57-67.
- LOPES-FERREIRA, C.M. (2000). **Estudo de uma área alagada do rio Atibaia visando a elaboração de proposta de manejo para melhoria da qualidade da água no reservatório de Salto Grande (Americana, SP)**. São Carlos. 145p. Tese (doutorado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- MACKERETH, F. J. H., HERON, J.; TALLING, J.S. (1978). **Water analysis: some revised methods for limnologists**. (Freshwater Biological Association Scientific Publication., n. 36). Kendall. Titus Wilson, 117P.
- MAFEI, M. (1988). O bombril das águas. **Revista Globo Rural**. p.40-51. julho
- MAROUELLI, M.H.; EMERIC, R.H.S.; CAVALCANTI, C.G.B.; RUTKOWSKI, E.; SALES, M.E.C.; SEGUNDO, S.M.A.; FORRATINI, G.D.; PEWRA, R.H.; CASTRO, I. (1988). Bases

- para um manejo racional de reservatórios. In : TUNDISI, J.G. (ed.). **Limnologia e Manejo de represa. série monografias em limnologia**. Academia de Ciência. 432p.
- MARQUISÁ, G.C. (1998). **Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em dois reservatórios de distintos estados tróficos (reservatórios do Broa e Barra Bonita – SP)**. São Carlos. 151p. Tese (doutorado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- MINOTI, R.T. (1999). **Variação anual da produção primária e estrutura da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana - SP)**. São Carlos. 148p. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- MORAES, A.R. (1999). **Estimativa do estoque de elementos químicos em macrófitas aquáticas do reservatório de Salto Grande (Americana, SP)**. São Carlos. 94p. + anexo. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- NOGUEIRA, M.A.S. (2001). **Subsídios ao planejamento do uso e ocupação do solo da área de influência do reservatório de Volta Grande (MG), visando à manutenção dos seus usos múltiplos**. São Carlos. 180p. Tese (doutorado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- NUSH, E.A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. **Arch. fur hidrobiol.**, p. 14-36.
- OISHI, M.K. (1990). **Determinação do potencial trófico das águas dos componentes da bacia hidrográfica da represa do Lobo (Itirapina, SP), através de ensaio algal**. São Carlos. 131p. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- PAMPLIN, P.A.Z. (1999). **Avaliação da qualidade ambiental da represa de Americana (SP-BRASIL) com ênfase no estudo da comunidade de macroinvertebrados bentônicos e parâmetros ecotoxicológicos**. São Carlos. 88p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- PELÁEZ-RODRIGUEZ, M. (1997). **Análise da dinâmica e produção das espécies dominantes de rotifera da represa do ribeirão do Lobo (Broa), SP no período seco (inverno)**. São Carlos. 86p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- REDSHAW, C.J.; MASON, C.F.; HAYES, C.R.; ROBERTS, R.D. (1990). Factors influencing phosphate exchange across the sediment-water interface of eutrophic reservoirs. **Hidrobiologia**, v.192. p.233-245.
- SALLAS, H.; MARTINO, P. (1990). **Metodologias simplificadas para la evaluacion de eutrofication en lagos calidos tropicales**. Programa regional CEPIS/HPE/OPS, 51p. + anexos.
- SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. (1984). **Metals in the hydrocycle**. Springer-Verlag. 349p.
- SANTOS, S.C.D. (1996). **Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização na represa de Barra Bonita, SP**. São Carlos. 100p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

- SETTI, A.A., LIMA, J.F.W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA, I.C. (2001). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília. Agência Nacional de Energia Elétrica, Agência Nacional de Águas. 328 p.
- SHIMIZU, G.Y. (1981). **Represa de Americana: um estudo de distribuição batimétrica da fauna bentônica**. São Paulo. 117p. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- SILVA, W.M. (1998). **Caracterização do reservatório de Nova Ponte (MG) nos meses de julho/95 (período seco) e fevereiro/96 (período chuvoso) com ênfase na composição e distribuição de zooplâncton**. São Carlos. 100 p.. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- TEIXEIRA, C., TUNDISI, J.G., KUTNER, M.B. (1965). Plankton studies in mangrove environmental. II. The standing stock and some ecological factors. **Bol. Inst.Oceanogr.**, v. 24. p. 23-41.
- TEIXEIRA, D. (2000). **Avaliação da qualidade da água e levantamento de custos de tratamento de efluentes visando a recuperação de um sistema eutrofizado (represa de Salto Grande – Americana/SP)**. São Carlos. 186p. Tese (doutorado). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- TOLEDO, A.P. de Jr; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983). **A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Balneário Camboriú, Santa Catarina. p. 1-34.
- TONISSI, F.B. (1999). **Avaliação ecotoxicológica do reservatório de Salto Grande, Americana (SP), como subsídio para a análise da qualidade ambiental do sistema**. São Carlos 130p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
- TRINDADE, M. (1980). **Nutrientes em sedimento da represa do Lobo (Brotas/Itirapina, SP)**. São Carlos. 219p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos.
- TUNDISI JG.& STRASKRABA, M. (1999). **Theoretical reservoir ecology and its applications**. Brazilian Academy of Sciences, International Institut of Ecology and Backhuys Publishers, 585p.
- ZANATA, L.H. (1999). **Heterogeneidade ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana - SP) com ênfase na distribuição das populações de cladocera**. São Carlos. 218p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.