

Distribuição espaço-temporal e balanço de massa
do fósforo na represa de Salto Grande -
Americana (S.P.).

falta pag. 136

Leonardo Rios



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

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria do Carmo Calijuri

São Carlos - SP

1999



Class.	TESE - EESC
Cutt.	P 4702t
Tombo	177/99

31100006979

S/S 1053360

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

R586d Rios, Leonardo
Distribuição espaço-temporal e balanço de massa do
fósforo na represa de Salto Grande-Americana (S.P.) /
Leonardo Rios. -- São Carlos, 1999.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Profa. Dra. Maria do Carmo Calijuri.

1. Fósforo. 2. Balanço de massa. 3. Eutrofização.
4. Reservatório de Salto Grande. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Licenciado **LEONARDO RIOS**

Tese defendida e aprovada em 01-07-1999
pela Comissão Julgadora:



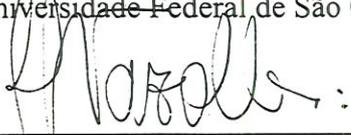
Prof. Doutora **MARIA DO CARMO CALJURI (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Titular **RAOUL HENRY**
(UNESP - Campus de Botucatu)



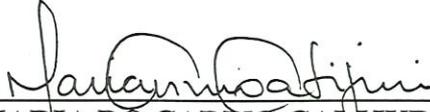
Prof. Dr. **ANTONIO APARECIDO MOZETO**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



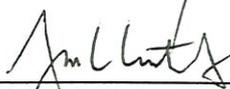
Doutora **ROSANA FILOMENA VAZOLLER**
(Pesquisadora - Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia André Tosello)



Prof. Dr. **IRINEU BIANCHINI JÚNIOR**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Doutora **MARIA DO CARMO CALJURI**
Coordenadora da Área de Ciências da Engenharia Ambiental



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

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a todas as pessoas que me ajudaram a realizar este trabalho, principalmente as não aqui relacionadas, o esquecimento ou desconhecimento da ajuda recebida não diminuem a importância de suas colaborações.

Agradeço também:

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

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo auxílio pesquisa concedido (Processo nº 1995/9584-5).

Aos técnicos e funcionários do CRHEA, por terem colaborado de tantas formas para o bom andamento deste trabalho. Ao Amândio, Marcelo, Luci, Valdomiro (Miro), José Roberto (Betão) e América pelo grande auxílio e companheirismo nos trabalhos de campo e de laboratório.

À bibliotecária Regina e à secretária da pós-graduação Claudete, pelo carinho e amizade com os quais sempre me trataram.

Ao Ivan e ao Paulo, pela solicitude e presteza com que me atenderam.

À Dona Catarina e à Regina, cozinheiras do CRHEA.

Ao Projeto PIRACENA do CENA-USP, na pessoa da pesquisadora Anne Foster, pela parceria e ajuda nas análises de datação do sedimento.

Ao Prof. Dr. José Marcus de Oliveira Godoy do Instituto de Radioproteção do CNEN, pela datação do sedimento através do método do chumbo 210.

À Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL, por ceder as instalações da Usina Hidroelétrica de Salto Grande para a realização dos trabalhos de campo.

Aos meus colegas e amigos que ajudaram nos trabalhos de campo e de laboratório; Patrícia, Magnólia, Bittar, Maurício, Alessandra, Esperança, João, Arnola, Evaldo, Denise, Alfredo e Devis.

Aos amigos que me apoiaram, me suportaram e me alegraram durante esses anos de convivência: Anelli, Mey, Daniel, Glauco, Dante e Fernando Nociti.

À Prof^a. Elizabeth de Mattos Moraes, pela revisão e sugestões.

Ao Prof. Dr. Milan Straskraba, pelas contribuições nas análises dos resultados.

Ao Alan, pelas explicações e discussões sobre modelagem.

À amiga Prof^a. Dr^a. Rosana Filomena Vazoller, pela confiança, apoio e estímulo.

Ao meu irmão Denilson, pelo companheirismo, amizade, ajuda e carinho com quem pude e posso contar.

À Ana Cristina pelo amor e paciência, suavizando a conclusão de mais uma etapa da minha formação.

Aos meus pais Mário e Lilian, pelo amor, carinho, proteção, preocupação, incentivo, apoio e confiança em mim depositada.

E finalmente, agradeço à Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Calijuri, da qual orgulho-me em considerar não somente a minha orientadora, como também incentivadora, professora, mestra e amiga.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1. <i>Descrição da área de estudo</i>	11
3.1.1 Localização	11
3.1.2 Clima	13
3.1.3 Geomorfologia	13
3.1.4 Uso e ocupação do solo	14
3.1.5 Geologia	15
3.2 <i>Variáveis climáticas</i>	15
3.2.1 Precipitação, temperatura do ar, radiação solar, insolação, umidade relativa do ar, velocidade média do vento e direção predominante do vento.....	15
3.3 <i>Variáveis hidráulicas e morfométricas</i>	16
3.3.1 Vazão de entrada, vazão de saída, volume médio mensal e tempo de residência da água	16
3.3.2 Área, profundidade média, volume médio do reservatório e dos compartimentos.....	16
3.4 <i>Variáveis físicas e químicas</i>	17
3.4.1 Radiação solar subaquática	19

3.4.2	Transparência da água, coeficiente de atenuação do contraste vertical, profundidade da estação de coleta, zona eufótica, zona afótica, zona de mistura, relação zona eufótica com profundidade máxima e relação zona eufótica com zona de mistura.	19
3.4.3	Temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, e condutividade.....	20
3.4.4	Fracionamento do material particulado nas amostras de água.	20
3.4.5	Fósforo Total	21
3.4.6	Fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico dissolvido	21
3.4.7	Ferro total.....	22
3.4.8	Material em suspensão	22
3.4.9	Coleta e preparação do sedimento	23
3.4.10	Fósforo Total no sedimento	23
3.4.11	Ferro total no sedimento.....	23
3.5	<i>Variáveis biológicas</i>	24
3.5.1	Clorofila “a”	24
3.5.2	Estimativa da biomassa da comunidade de macrófitas aquáticas	24
3.5.3	Fósforo Total nas macrófitas aquáticas, fauna e flora associada	25
3.6	<i>Taxa de sedimentação bruta e líquida</i>	25
3.7	<i>Taxas de ressuspensão de Fósforo total e material em suspensão total.</i>	27
3.8	<i>Balancos de massa de fósforo total, ferro total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico</i>	28
3.9	<i>Modelagem dos balanços de massa de fósforo total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico</i>	29
4.	RESULTADOS	31
4.1	<i>Variáveis climáticas</i>	31

4.1.1 Precipitação, temperatura do ar, radiação solar, insolação, umidade relativa do ar, velocidade média do vento e direção predominantedo vento.	31
4.2 <i>Variáveis hidráulicas e morfométricas</i>	33
4.2.1 Vazão de entrada, vazão de saída, volume médio e tempo de residência	33
4.2.2 Área , profundidade média e volume do reservatório e seus compartimentos.	35
4.2.3 Radiação solar subaquática	35
4.2.4 Transparência da água e coeficiente de atenuação	41
4.3 <i>Variáveis físicas e químicas</i>	49
4.3.1 A Água	49
4.3.1.1 pH, condutividade elétrica , oxigênio dissolvido e temperatura da água	49
4.3.1.2 Fósforo total e na frações >68; <68>20; <20>0,45 (mm), fosfato dissolvido inorgânico e fosfato dissolvido orgânico	67
4.3.1.3 Ferro total	75
4.3.1.4 Materiais em suspensão: total, inorgânico e orgânico	77
4.3.2 O Sedimento	93
4.3.2.1 Fósforo total no sedimento	93
4.3.2.2 Ferro total no sedimento	93
4.4 <i>Variáveis biológicas</i>	94
4.4.1 Clorofila “a”	94
4.4.2 Biomassa , fósforo total , e fósforo total por área em macrófitas, fauna e flora associadas.	100
4.5 <i>Taxa de sedimentação</i>	101
4.6 <i>Balanço de massa do fósforo total, ferro total, material particulado total, inorgânico e orgânico</i>	103

<i>4.7 Sedimentação bruta, sedimentação líquida e ressuspensão</i>	104
<i>4.8 Modelagem do fósforo total, material particulado total, inorgânico e orgânico</i>	106
5. DISCUSSÃO	113
6. CONCLUSÕES	138
7. RECOMENDAÇÕES	141
8. BIBLIOGRAFIA	142
ANEXOS	153

Lista de Figuras

FIGURA 1 - Represa de Salto Grande (Americana, SP), sua localização no Estado de São Paulo e localização dos pontos de coleta.	12
FIGURA 2 - Distâncias entre as estações de coleta.	17
FIGURA 3 - Represa de Salto Grande (Americana, SP) e divisão por compartimentos.	30
FIGURA 4 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), estação 2 no período de agosto/96 a julho/97.	37
FIGURA 5 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), estação 3 no período de agosto /96 a julho/97.	38
FIGURA 6 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), estação 4 no período de agosto/96 a julho/97.	39
FIGURA 7 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), estação 5 no período de agosto/96 a julho/97.	40
FIGURA 8 - Variação da profundidade do disco de Secchi nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5 no período de agosto de 1996 a julho de 1997 na represa de Salto Grande.	44
FIGURA 9 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) e da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 2, no período de agosto/96 a julho/97.	54
FIGURA 10 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) e da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 3, no período de agosto/96 a julho/97.	55
FIGURA 11 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) e da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 4, no período de agosto/96 a julho/97.	56
FIGURA 12 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) e da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 5, no período de agosto/96 a julho/97.	57
FIGURA 13 - Méida e desvio padrão da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) fósforo nas frações >68 ; $<68>20$; $<20>0,45$; $<0,45$ inorgânico e $<0,45$ orgânico (μm) no reservatório	69

FIGURA 14 - Variação espacial da concentração média do ferro total ($\mu\text{g.l}^{-1}$) na água, nas estações de coleta do rio Atibaia e no reservatório de Salto Grande.	75
FIGURA 15 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 1.	79
FIGURA 16 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 2 na Represa de Salto Grande.	80
FIGURA 17 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 superfície na Represa de Salto Grande.	80
FIGURA 18 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 fundo na Represa de Salto Grande.	81
FIGURA 19 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 superfície na Represa de Salto Grande.	81
FIGURA 20 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 fundo na Represa de Salto Grande.	82
FIGURA 21 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 superfície na Represa de Salto Grande.	82
FIGURA 22 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 fundo na Represa de Salto Grande.	83
FIGURA 23 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 6 na Represa de Salto Grande.	83
FIGURA 24 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 1 do Rio Atibaia a montante da Represa de Salto Grande.	84

FIGURA 25 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 2 na Represa de Salto Grande.	84
FIGURA 26 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 superfície na Represa de Salto Grande.	85
FIGURA 27 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 fundo na Represa de Salto Grande.	85
FIGURA 28 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 superfície na Represa de Salto Grande.	86
FIGURA 29 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) na amostra total e nas frações $<68 \mu\text{m}$ e $<20 \mu\text{m}$ na estação 4 fundo.	86
FIGURA 30 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 superfície na Represa de Salto Grande.	87
FIGURA 31 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 fundo na Represa de Salto Grande.....	87
FIGURA 32 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 6 no rio Atibaia a jusante da Represa de Salto Grande.	88
FIGURA 33 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 1 no rio Atibaia a montante da Represa de Salto Grande.	88
FIGURA 34 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 2 na Represa de Salto Grande.	89

FIGURA 35 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 superfície na Represa de Salto Grande.	89
FIGURA 36 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 fundo na Represa de Salto Grande.	90
FIGURA 37 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 superfície na Represa de Salto Grande.	90
FIGURA 38 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 fundo na Represa de Salto Grande.	91
FIGURA 39 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 superfície na Represa de Salto Grande.	91
FIGURA 40 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 fundo na Represa de Salto Grande.	92
FIGURA 41 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.l^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 6 no rio Atibaia a jusante da Represa de Salto Grande	92
FIGURA 42 - Modelo do balanço de massa do fósforo total e do fósforo em partículas maior que $68 \mu\text{m}$ (>68); menor que $68 \mu\text{m}$ e maior que $20 \mu\text{m}$ ($<68>20$); menor que $20 \mu\text{m}$ e maior que $0,45 \mu\text{m}$ ($<20>0,45$); menor que $0,45 \mu\text{m}$ orgânico ($<0,45$) e menor que $0,45 \mu\text{m}$ inorgânico ($<0,45$) para o reservatório de Salto Grande, para o período de agosto de 1996 a julho de 1997.	107
FIGURA 43 - Modelo do balanço de massa do material em suspensão total, inorgânico e orgânico para o reservatório de Salto Grande para o período de agosto de 1996 a julho de 1997.	108
FIGURA 44 - Modelo do balanço de massa do fósforo total nos compartimentos do reservatório de Salto Grande	109
FIGURA 45 - Modelo do balanço de massa do material particulado total entre os compartimentos do reservatório de Salto Grande.	110

FIGURA 46 - Modelo do balanço de massa do material particulado inorgânico entre os compartimentos do reservatório de Salto Grande	111
FIGURA 47 - Modelo do balanço de massa do material particulado orgânico entre os compartimentos do reservatório de Salto Grande	112

Lista de Tabelas

TABELA 1 - Profundidades de integração da coluna d'água nas estações de amostragem, nos dias de coleta, no reservatório de Salto Grande.	18
TABELA 2 - Precipitação, temperatura do ar, radiação solar $\text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$, insolação (h/dia), umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) e direção predominante do vento, para o reservatório de Salto Grande, no período de coleta.	32
TABELA 3 - Dados hidrológicos [vazão de entrada ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$), vazão de saída ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$), volume médio mensal ($\times 10^6 \text{m}^3$) e tempo de residência (dias)] para o reservatório de Salto Grande (Americana - S.P.) no período de 08/96 a 07/97.	34
TABELA 4 - Área (m^2), profundidade média (m) e volume (m^3) do reservatório de Salto Grande e seus compartimentos.	35
TABELA 5 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 2, no período de coleta.	45
TABELA 6 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 3, no período de coleta.....	46
TABELA 7 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 4, no período de coleta.....	47

TABELA 8 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 5, no período de coleta.....	48
TABELA 9 - Valores de pH, condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.l^{-1}) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 1 no período de agosto de 1996 a julho de 1997 na sub-superfície.	50
TABELA 10 - Valores de pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.l^{-1}) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na estação 6 no período de agosto de 1996 a julho de 1997 na sub-superfície.	51
TABELA 11 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 2, no período de agosto/96 a julho/97.	58
TABELA 12 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 3, no período de agosto/96 a julho/97..	59
TABELA 13 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 4, no período de agosto/96 a julho/97.	60
TABELA 14 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 5, no período de agosto/96 a julho/97.	61
TABELA 15 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 2.	63
TABELA 16 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 3.	64
TABELA 17 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 4.....	65
TABELA 18 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 5.	66
TABELA 19 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.l}^{-1}$) e nas frações >68 , $<68>20$, $<20>0,45$, $<0,45$ inorgânico e $<0,45$ orgânico (μm), na estação 1 da represa de Salto Grande.....	70

TABELA 20 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20>0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na estação 2 da represa de Salto Grande.....	70
TABELA 21 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20>0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na estação 3 da represa de Salto Grande.....	71
TABELA 22 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20>0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na estação 4 da represa de Salto Grande.....	72
TABELA 23 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20>0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na estação 5 da represa de Salto Grande.....	73
TABELA 24 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20>0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na estação 6 da represa de Salto Grande.....	74
TABELA 25 - Variação espaço-temporal da concentração de ferro total ($\mu\text{g}/\text{l}$) na água, no reservatório de Salto Grande.	76
TABELA 26 - Concentração de fósforo total no sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5 nas profundidades de 0 a 10 cm na represa de Salto Grande.	93
TABELA 27 - Concentração de ferro total no sedimento ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5 nas profundidades de 0 a 10 cm na represa de Salto Grande.	94
TABELA 28 - Variação temporal da concentração de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 μm , <68>20 μm , <20>0,45 μm na estação 1 na represa de Salto Grande.	96
TABELA 29 - Variação temporal da concentração de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 μm , <68>20 μm , <20>0,45 μm na estação 2 na represa de Salto Grande.	96
TABELA 30 - Variação temporal da concentração de clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 μm , <68>20 μm , <20>0,45 μm na estação 3 na represa de Salto Grande.	97

TABELA 31 - Variação temporal da concentração de clorofila a ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações $>68\mu\text{m}$, $<68>20\mu\text{m}$, $<20>0,45\mu\text{m}$ na estação 4 na represa de Salto Grande.	98
TABELA 32 - Variação temporal da concentração de clorofila a ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações $>68\mu\text{m}$, $<68>20\mu\text{m}$, $<20>0,45\mu\text{m}$ na estação 5 na represa de Salto Grande.	99
TABELA 33 - Variação temporal da concentração de clorofila a ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações $>68\mu\text{m}$, $<68>20\mu\text{m}$, $<20>0,45\mu\text{m}$ na estação 6 na represa de Salto Grande.	99
TABELA 34 - Biomassa (g.m^{-2}), concentração de fósforo total (mg.g^{-1}) e fósforo total por área (mg.m^2) em macrófitas fauna e flora associadas, no reservatório de Salto Grande.	100
TABELA 35 - Taxa de sedimentação mensal do fósforo total ($\text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$) para as estações de coleta 2, 3, 4 e 5 a 30 e 70 % da profundidade da estação, no reservatório de Salto Grande, no período de coleta.	101
TABELA 36 - Taxa de sedimentação mensal do material em suspensão total ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para as estações de coleta 2, 3, 4 e 5 a 30 e 70 % da profundidade da estação, no reservatório de Salto Grande, no período de coleta.	102
TABELA 37 - Balanço de massa do fósforo total, ferro total, material particulado total, inorgânico e orgânico (ton), no reservatório de Salto Grande e seus compartimentos, no período de agosto de 1996 a julho de 1997.	104
TABELA 38 - Sedimentação bruta (S_b), sedimentação líquida calculada através do balanço de massa (S_{L1}), sedimentação líquida calculada através do método de datação do chumbo 210 (S_{L2}), e ressuspensão (Re) de fósforo total (ton), no reservatório de Salto Grande.	105
TABELA 39 - Sedimentação bruta (S_b), sedimentação líquida calculada através do balanço de massa (S_{L1}), sedimentação líquida calculada através do método de datação do chumbo 210 (S_{L2}), e ressuspensão (Re) de material particulado total (ton), no reservatório de Salto Grande.	105

Lista de abreviaturas

- a_c - área da abertura da câmara de sedimentação.
- A_i - área do ienésimo compartimento ou do reservatório.
- C_e - carga de entrada no período.
- C_{ei} - concentração de entrada no ienésimo mês (mg.L^{-1}).
- CIC - velocidade de sedimentação constante.
- C_n - concentração enésimo mês.
- CRS - velocidade de sedimentação variável.
- C_s - carga de saída no período.
- C_{sc} - concentração na câmara de sedimentação após 24 horas.
- C_{si} - concentração de saída no ienésimo mês (mg.L^{-1}).
- dM - massa (ton).
- dt - tempo (ano).
- K - coeficiente de atenuação do contraste vertical.
- M_f - massa final do período.
- M_i - massa no início do período.
- M_n - massa no enésimo mês.
- n_i - número de dias no ienésimo mês.
- Q_{ei} - vazão de entrada acumulada no ienésimo mês ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}$).
- Q_{si} - vazão de saída acumulada no ienésimo mês ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}$).
- SBRs - reatores aeróbios seqüenciais em batelada
- T_{re} - taxa de ressuspensão.
- T_{sdb} - taxa de sedimentação bruta.
- T_{sdl} - taxa de sedimentação líquida.
- UASB - reator anaeróbio de manta de lodo.
- v_c - volume da câmara de sedimentação.
- V_n - volume do reservatório ou compartimento no enésimo mês.
- Zds - profundidade no qual o disco de Secchi desapareceu.

RESUMO

O reservatório de Salto Grande, situado no município de Americana (S.P.), nas coordenadas 22° 44' de latitude sul e 47° 20' de longitude oeste, recebe influência de centros urbanos importantes. Com os objetivos de estimar o balanço de massa do fósforo e apresentar um modelo de balanço de massa para o reservatório e seus compartimentos, foram realizadas coletas mensais de agosto de 1996 a julho de 1997, em seis estações de coleta, sendo quatro no reservatório, e duas no rio Atibaia: uma, a montante e outra, a jusante do mesmo. As coletas de água no rio Atibaia foram feitas na sub-superfície; no reservatório, a coluna d'água foi integrada com auxílio de uma bomba. Foram determinadas concentrações de fósforo total e de materiais em suspensão (total, orgânico e inorgânico), nas amostras integrais e nas frações <68µm, <20µm e <0,45 µm. Também foram determinadas as concentrações das diferentes formas de fosfato dissolvido. Foram realizados, na coluna d'água, perfis de temperatura, pH, de concentrações de oxigênio dissolvido e de condutividade elétrica. Foram determinadas as concentrações de ferro total na água e de fósforo total no sedimento e nas macrófitas aquáticas. A sedimentação do fósforo foi estimada através da datação das camadas de sedimento, através do chumbo 210 e através de câmaras de sedimentação colocadas ao longo do reservatório. Os resultados obtidos, juntamente com os dados climatológicos, morfométricos do lago e de relevo, demonstraram que a vazão e o tempo de residência da água foram as principais funções de força atuantes como geradores de instabilidade do sistema e como promotores de desestratificações térmica e química da coluna d'água. As macrófitas aquáticas, com fauna e flora aderidas, representaram 14% do estoque de fósforo total da zona limnética. O fosfato inorgânico dissolvido foi a fração de entrada mais significativa do reservatório (40% do fósforo total), sendo o fosfato orgânico dissolvido a principal fração exportada (40% do fósforo total). Os resultados das concentrações de chumbo 210 nos pontos de coleta 2 e 3 foram prejudicados pela turbulência da água, provocada pela influência do rio Atibaia na entrada do reservatório. As taxas de retenção de fósforo total determinadas pelo método do chumbo 210, nos pontos 4 e 5 (compartimentos 3 e 4, respectivamente), foram superiores às encontradas pelo método do balanço de massa. O reservatório de Salto Grande apresentou, neste estudo, eficiências de: 88% na retenção de material particulado total; 91% para o material particulado inorgânico; 73% para o material particulado orgânico, 76% para o fósforo total; 69% para o fosfato total dissolvido; 86% para o fosfato inorgânico dissolvido; e 71% para o ferro total. O compartimento 1 apresentou resultados negativos de retenção de ferro total e de materiais particulados (total, orgânico e inorgânico). O compartimento 3 foi o que mais reteve fósforo total, materiais particulados (total, orgânico e inorgânico) e ferro total. O reservatório apresentou eficiência de retenção superior a sistemas de lagoa de estabilização e semelhante a sistemas de tratamento de efluentes UASB-SBRs. O reservatório de Salto Grande vem funcionando como um grande sistema de tratamento de efluentes e contribui sobremaneira para melhorar a qualidade da água do rio Atibaia e, conseqüentemente, do rio Piracicaba.

Palavras-chave: fósforo; balanço de massa; eutrofização; reservatório de Salto Grande

ABSTRACT

Located in Americana municipal district, at the end of Atibaia river watershed and adjacent the encounter with Jaguari river, Salto Alto reservoir is under the influence of important urban centers, such as Campinas, Paulínia and Americana. In order to estimate the mass balance of phosphorous and to present a mass balance model for this reservoir and its compartments (subdivisions), sample collections were carried out monthly from August 1996 to July 1997. Samplings were conducted in six collecting seasons: four in the reservoir and two in Atibaia river (one up-stream and one down-stream). In Atibaia river, water samples were collected from the under/sub-surface and in the reservoir, the water column was integrated/assembled with help of a pump. The total concentration of phosphorous and of material in suspension (total, organic and inorganic) was determined for integral samples and for fractions $<68 \mu\text{m}$, $<20 \mu\text{m}$ and $<0.45 \mu\text{m}$. The concentration of various forms of dissolved phosphate was also determined. In the water columns, profiles of temperature, pH, concentration of dissolved oxygen and electrical conductivity were measured. Concentrations of total iron in water and of total phosphorous in the sediment and in the aquatic macrophostes were determined. Phosphorous sedimentation was estimated through dating of sediment layers using lead 210 in several sedimentation compartments placed along the reservoir. These results, together with climatological, morphological data of the lake and also relief data, showed that both flow and residence time of water were the main agents force functions that generated instability in the system and promoted thermal and chemical des-stratification of the water column. The aquatic macrophites, including the adhered flora and fauna, represented 14% of phosphorous stock in the limnetic zone. Dissolved inorganic phosphate composed the most significant inflow of phosphorous in the reservoir (40% of total phosphate), whereas dissolved organic phosphate constituted the main exported fraction (40% of total phosphorous). Results of lead 210 concentration at collection points 2 and 3 were affected by turbulent water flow by influence of Atibaia river at the reservoir entrance. Total phosphorous retention rates determined by lead 210 approach at points 4 and 5 (compartments 3 and 4, respectively) were superior to that found/calculated through mass balance. In the present study, Salto Grande reservoir displayed retention efficiency of 88% for total particulate material, 91% for inorganic particulate material, 73% for organic particulate material, 76% for total phosphorous, 69% for total dissolved phosphate, 86% for dissolved inorganic phosphate and 71% for total iron. Compartment 1 exhibited negative results for retention of total iron and of particulate materials (total, organic, inorganic). Compartment 3 was the one which retained the largest amount of total phosphorous, particulate materials (total, organic, inorganic) and total iron. The reservoir presented higher retention efficiency than stabilization pond systems and similar efficiency to that of UASB-SBRs effluent treatment systems. Salto Grande reservoir has been functioning as a large system for effluent treatment and has contributed significantly to improve water quality in Atibaia river, consequently, in Piracicaba river.

Key words: phosphorous, mass balance, eutrophication, Salto Grande reservoir

1. INTRODUÇÃO

Economias e sociedades em todo o mundo dependem da água superficial para irrigação, atividades industriais, abastecimento da população e recreação. Em sua maioria, os recursos hídricos têm usos múltiplos, o que ocasiona conflitos pela antagonia dos interesses, já que não é desejável usar um mesmo corpo d'água como receptor de resíduos "in natura" (industriais e domésticos) e como fonte para abastecimento ou local de recreação. Apesar do grande desenvolvimento tecnológico atingido pelo homem e da sua absoluta dependência dos recursos hídricos, o rápido crescimento populacional e a desatenção com que esses recursos vêm sendo tratados, fazem com que a proteção, o manejo e a recuperação das águas doces ainda não sejam prioritários (COOKE et al., 1993).

A negligência da humanidade quanto à preservação dos recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, tem levado muitos ecossistemas a uma rápida degradação e uma "enfermidade", conhecida mundialmente como eutrofização.

A eutrofização das águas é um processo resultante do aumento de nutrientes, principalmente compostos de nitrogênio, fósforo, carbono e ferro, essenciais para o fitoplâncton e macrófitas aquáticas e pode ser medida através das respostas dadas pelas variáveis físicas, químicas e biológicas. O aumento no suprimento de nutrientes nos corpos de água, através de algum tipo de atividade humana, é conhecido como eutrofização artificial ou "cultural" (CALIJURI, 1988).

Lagos e reservatórios têm sido deteriorados através de excessivas adições de nutrientes, matéria orgânica e silte, que combinados, produzem aumento na biomassa de algas e plantas aquáticas, reduzem a transparência da água e freqüentemente provocam a diminuição do volume. Os corpos d'água, nestas condições, perdem mais do que sua beleza; perdem também seu atrativo para recreação, além da sua utilidade e segurança para o abastecimento público (industrial e doméstico). Sintomas da

eutrofização, como o florescimento de algas, diminuição da transparência da água, queda da concentração de oxigênio dissolvido, odor desagradável prejudicando o abastecimento de água potável, morte de peixes, desenvolvimento de plantas e animais nocivos à saúde e rápida perda do volume útil nos reservatórios, podem trazer perdas econômicas como: desvalorização das propriedades vizinhas, alto custo de tratamento da água para o abastecimento, doenças, depreciação da indústria do turismo, despesas com o manejo e recuperação e a necessidade de construção de novos reservatórios (COOKE et al., 1993).

No próximo estágio da eutrofização, o sistema, não podendo sustentar sua alta produtividade primária, em algum ponto, colapsa. Os consumidores, especialmente bactérias, e o processo de decomposição dominam o lago por algum período de tempo, com sérios distúrbios para a biota, alto consumo de oxigênio e conseqüente mortandade de certas espécies de peixes. Sistemas hipereutróficos são mais do que simplesmente eutróficos: são ecologicamente perturbados e instáveis. Esses incluem rios, lagos e reservatórios onde florescem algas e bactérias produtoras de toxinas, gases são liberados em forma de bolhas, e ocorrem flutuações extremas na qualidade da água e na produtividade em escalas diurna e sazonal. Lagos e reservatórios hipereutróficos são, de fato, o último estágio da eutrofização (BARICA, 1981).

Segundo TUNDISI (1986; in: CALIJURI, op. cit.), eutrofia e oligotrofia só podem ser definidas em um contexto regional comparativo, devido à complexa série de variáveis múltiplas que designam o estado trófico. Mas, segundo UHLMANN (1982), o fósforo tem sido reconhecido como o fator chave na causa da eutrofização na maioria dos casos estudados.

O interesse ecológico do fósforo provém de seu importante papel no metabolismo biológico e de sua relativa escassez na hidrosfera. Em comparação com a abundância natural dos outros componentes estruturais e nutritivos indispensáveis à matéria viva, o fósforo é o mais raro, e normalmente o que tem atuado como limitante da produtividade biológica. O fósforo presente em águas naturais encontra-se na forma de fosfatos, seja como fosfato orgânico particulado ou dissolvido, e também como fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato (WETZEL, 1983).

Carbono, nitrogênio e fósforo, principais constituintes da biomassa dos organismos, passam de formas inorgânicas dissolvidas para formas orgânicas particuladas e dissolvidas, através dos processos de fotossíntese e de biossíntese, enquanto estas últimas formas retornam às primeiras, através de vários processos catabólicos (CARMOUZE, 1994).

A principal importância desses ciclos está na disponibilização de nutrientes para a manutenção da produção primária, processo que produz energia para todo o metabolismo dos sistemas aquáticos e terrestres (GOLTERMAN, 1995).

Os estudos dos ciclos biogênicos têm necessariamente uma abordagem sistêmica, privilegiando as relações entre os principais componentes do ecossistema, ou seja, as relações entre o meio físico e o biológico e entre os próprios organismos. As características desses ciclos são propriedades emergentes do ecossistema, resultantes do conjunto das atividades biológicas que aí ocorrem. A própria biota é dividida em grupos de mesma função metabólica, o que obrigatoriamente conduz a agrupamentos de táxons (CARMOUZE, 1994).

Quando se examina o espectro de tamanhos das principais substâncias presentes em águas naturais, não se observa uma descontinuidade que possa justificar a separação entre materiais particulado e dissolvido. Pelo contrário, a transição entre material particulado e material verdadeiramente dissolvido é progressiva. Da mesma forma, superpõem-se materiais vivo e não vivo, bem como organismos autótrofos e heterótrofos. Por isso, fica difícil tentar agrupar organismos ou material não vivo, orgânico ou inorgânico em compartimentos distintos, que assegurem um papel funcional bem definido dentro de um ecossistema. O fracionamento por tamanho é costumeiramente utilizado pelos taxonomistas em classificação dos organismos (mesoplâncton, micropâncton, nanoplâncton e picoplâncton). Porém, esse é um assunto polêmico, pois as faixas de tamanhos utilizadas são bastante variadas, entre diferentes autores. No entanto, ao invés da preocupação em respeitar uma determinada classificação, é mais importante escolher intervalos de separação, de modo a agrupar, da melhor maneira possível, organismos funcionalmente semelhantes (CARMOUZE, op. cit.).

Desta forma, muitos autores têm agrupado os táxons pelo tamanho dos indivíduos, através do fracionamento do plâncton. FISHER et al. (1988) fizeram fracionamento do plâncton considerando os seguintes tamanhos: $<20\mu\text{m}$, $<8\mu\text{m}$, $<3\mu\text{m}$ e $<1\mu\text{m}$, para separar os diferentes grupos de organismos e medir a razão nitrogênio/fósforo assimilada por fração, em um lago perto do Rio Amazonas. TAYLOR & LEAN (1991) também fracionaram o plâncton do Lago Jacks em Ontário, para determinar a importância dos diferentes grupos de tamanhos no ciclo do fósforo. CURRIE & WYLIE (1989) fracionaram o plâncton (frações entre $<0,2\mu\text{m}$ a $>120\mu\text{m}$) para verificar se realmente os organismos do nano e picoplâncton constituíam a fração mais importante, conforme vem sendo observado e sugerido amplamente.

O fracionamento é, muitas vezes, importante, pois o estudo dos processos que controlam os ciclos fornece informações básicas sobre as diversas vias de produção, transformação e reciclagem da matéria orgânica no meio, e portanto, sobre as características funcionais dos grupos envolvidos, como também as relações de dominância e de subordinação que existem dentro da biota. Assim, os estudos dos ciclos biogeoquímicos podem servir de diretrizes para entender-se a evolução, tanto estrutural quanto funcional do ecossistema, ajudando a identificar as comunidades de maior importância, e a montar a estrutura mais apropriada para desenvolver estudos de ecossistemas, segundo uma abordagem sistêmica (CARMOUZE, 1994).

A entrada de fósforo nos lagos tem aumentado de maneira notável nos últimos tempos, como consequência dos usos e ocupações das bacias hidrográficas, e a redução das entradas, em muitos lagos produtivos, pode provocar um decréscimo relativamente rápido da capacidade produtiva destes sistemas. Porém, as taxas de produtividade biológica de um grande número de lagos são regidas, em grande parte, pela reciclagem interna em relação à entrada alóctone do fósforo (WETZEL, 1983). A redução da entrada de fósforo em lagos e reservatórios, através do tratamento dos esgotos ou de outra medida de recuperação, sem levar em consideração os sedimentos, tem ocasionado menos sucesso que o previsto, por causa da carga de fósforo já depositada (JANSSON et al., 1988).

Segundo WETZEL (op. cit.), o fósforo particulado constitui a maior fração desse elemento no epilimnio dos lagos, na forma de fosfatos orgânico e inorgânico, como constituintes celulares da matéria viva particulada do seston, ou associada, de diversas formas, com partículas orgânicas mortas e materiais inorgânicos (mais de 95%). No entanto, a concentração de fosfato reativo solúvel, encontrada nos lagos temperados, reflete, geralmente, o seu estado trófico; as concentrações de fósforo particulado não demonstram esta mesma relação. Contudo, o fósforo particulado representa uma parte importante, como reserva, no ciclo do fósforo nos lagos e reservatórios (BLOESCH et al., 1988).

O fosfato, diferente de outros macronutrientes, apresenta a característica peculiar de ser retirado de solução por processos de adsorção, além de sua precipitação natural ligada à sedimentação de matéria orgânica viva ou morta. Partículas de óxidos hidratados de metais tri e tetravalentes, dentre os quais Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{++} são importantes pela abundância em águas naturais, adsorvem íons fosfato e sedimentam-se juntamente com a matéria orgânica particulada.

Enquanto prevalecem condições de aerobiose no hipolimnio, a camada superficial do sedimento, também oxidada, e muito mais rica em compostos de Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{++} do que em íons fosfato, apresenta-se como uma barreira à liberação desse íon para a camada líquida. Nas camadas mais profundas do sedimento, caracterizadas pela ausência de oxigênio, bactérias anaeróbias utilizam outros aceptores de elétrons para seus anabolismos.

No sedimento, a diversidade da população microbiana e a multiplicidade de nichos, permitem a concomitância dessas reações, de forma que íons férricos (Fe^{3+}), reduzidos a ferroso (Fe^{2+}) podem ser precipitados por íons sulfeto (S^{2-}), provenientes da redução de sulfato (SO_4^{2-}), o mesmo ocorrendo com íons mangânico (Mn^{4+}). Essas reduções e trocas de ânions favorecem a desadsorção de íons fosfato, que apenas poderão se tornar disponíveis ao fitoplâncton, quando o hipolimnio, por estagnação da água ou excesso de carga orgânica tornar-se anaeróbio permitindo, assim, a desestratificação do sedimento (WELCH, 1988).

Muitos trabalhos têm demonstrado a importância do sedimento na liberação ou na imobilização de fósforo da água. Diferentes fatores têm sido sugeridos como

causas de influência nas taxas de liberação de fósforo do sedimento para água, tais como: condições redox, pH, temperatura da água, grau de mineralização, concentração de nitrato, presença de macrófitas e perifiton, difusão e turbulência provocadas por ventos e diferentes características do sedimento (MATINVESI & HEINONEN-TANSKI, 1992; GOLTERMAN et al., 1993; RIPL, 1993; SARAZIN et al., 1993; SINKE et al., 1993; PHILLIPS et al., 1994). Tanto os processos abióticos como os bióticos causam liberação de fósforo do sedimento. A influência da biota pode ser direta, através da mineralização do fosfato orgânico, mas também indireta, provocada por mudanças químicas críticas, como do potencial redox e pH, responsáveis pela liberação do fósforo (JANSSON et al., 1988).

Crescentes evidências sugerem que um suprimento interno de fósforo do sedimento pode dar suporte a uma nova produção primária (CARACO et al., 1992; MARSDEN, 1989). Observações no Lago Michigan sugerem que o fluxo de fósforo do sedimento é uma fonte significativa para a produção primária (BROOKS & EDGINTON, 1994).

A ressuspensão de fósforo do sedimento, definida como fluxo líquido do fósforo do sedimento para a coluna d'água do lago, ocorre quando a solubilização e o transporte do sedimento para água excedem o caminho inverso da sedimentação do fósforo. A quantidade de fósforo ressuspensa do sedimento é chamada de carga interna de fósforo (JANSSON et al., 1988).

Duas estratégias têm sido adotadas para se estimar a liberação de fósforo do sedimento para água: uma, feita através de aproximações experimentais, estuda o fluxo de fósforo em campo e em laboratório; a outra, determina a liberação através do cálculo do balanço de massa de fósforo em todo lago (JANSSON et al., 1988).

Vários autores têm aplicado modelos matemáticos para estimar o balanço de massa do fósforo em lagos e reservatórios (HENRIKSEN, 1992; LEONOV et al., 1992; SUNDE et al., 1993) porém, para aplicar algum modelo, normalmente são necessárias séries temporais de variáveis ambientais para alimentar e validar os modelos, (pois cada ambiente tem características diferentes, que exigem modelos específicos) ou pelo menos, dados relativos ao seu funcionamento, que possam servir de base para a validação dos modelos.

Um compartimento importante a ser levado em consideração no balanço de massa do fósforo em reservatórios, é a quantificação de macrófitas aquáticas. Segundo ESTEVES & CAMARGO (1986), com o represamento da água dos rios, surgem condições favoráveis ao desenvolvimento de extensas comunidades de macrófitas aquáticas em regiões mais rasas e de menor turbulência. Os nutrientes necessários para o crescimento dessas plantas são absorvidos da água e sedimento, conforme verificado por HOWARD-WILLIAMS & JUNK (1977) e TUNDISI (1982). PETRACCO (1995), estudando as macrófitas do reservatório de Barra Bonita, verificou a grande capacidade destes organismos de acumular nutrientes. Assim, as macrófitas aquáticas representam um importante componente na distribuição espaço-temporal dos nutrientes, como alimento para a fauna aquática, competindo por nutrientes durante períodos de crescimento máximo, ou elevando seus níveis pelo acúmulo e liberação de detritos e nutrientes para o sedimento (TUNDISI, 1982). Além desse importante papel no ciclo dos nutrientes, os bancos de macrófitas aquáticas exercem influência sobre algumas características, como por exemplo, padrões de mistura do sistema (CALIJURI, comunicação pessoal), temperatura da água, concentração de oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e material em suspensão (NOGUEIRA, 1989), acarretando mudanças significativas no equilíbrio de solubilidade do fósforo.

O conhecimento do estado em que se encontra um ecossistema, quanto à retenção ou liberação de fósforo, é fundamental na tomada de decisões para sua recuperação.

A retenção de fósforo pode ser determinada através de vários métodos. Medidas de sedimentação bruta, através de armadilhas, podem ser empregadas se forem levados em consideração os problemas teóricos e metodológicos, como: a ressuspensão e a ressedimentação; a mineralização decorrente do longo tempo de exposição da armadilha; as super ou subestimativas devido ao tipo de armadilha escolhida. Outro método a ser empregado é o cálculo do balanço de massa, que estima a retenção através da diferença entre as entradas e as saídas do fósforo no sistema. A fração retida ou o coeficiente de retenção líquido é proporcional ao fósforo que entrou e não foi perdido pela descarga.

Outra alternativa para estimar a retenção do fósforo num lago, envolve medidas diretas de sua concentração e datação do sedimento, através do método do chumbo 210. No entanto, o balanço de massa é, provavelmente, o método mais acurado para determinar-se a retenção do fósforo. Esse método tem sua precisão diretamente relacionada com a frequência e período de tempo das medidas realizadas (DILLON & EVANS, 1993).

O balanço de massa do fósforo foi estudado por vários autores no Canadá, Estados Unidos e Europa para estimar sua retenção (DILLON & EVANS, 1993). No Lago Võrtsjärv na Estônia, NÖGES et al. (1998) estimaram o balanço de massa, a sedimentação e a taxa de retenção do nitrogênio e fósforo total. RAMM & SCHEPS (1997), estudaram o balanço de massa do Lago Blankensee na Alemanha, para determinar a liberação de fósforo do sedimento. No reservatório Eau Galle nos Estados Unidos, foram comparadas as estimativas de retenção através do método do balanço de massa, das armadilhas de sedimentação e da medida direta do fósforo nas camadas de sedimento (JAMES & BARKO, 1997). Armadilhas de sedimentação e a estimativa de carga de entrada e saída de nitrogênio e de fósforo total também foram utilizados por ALAOUI-MHAMDI et al. (1996) para determinar o balanço de massa desses elementos no reservatório de Driss I, em Marrocos. Em sete lagos na região central de Ontário, no Canadá, foram levantados dados hidrológicos, balanço de massa e a concentração de fósforo total, por 15 anos, com objetivo de avaliar e calibrar um modelo estático de balanço de massa do fósforo para lagos desta região (DILLON & MOLOT, 1996). Nestes mesmos lagos DILLON & EVANS (1993), fizeram uma comparação da estimativa de retenção do fósforo total, entre o método do balanço de massa e da medida direta em camadas do sedimento. ARMENGOL et al. (1986) estudaram o fósforo no sedimento do reservatório Sau, na Espanha, para determinar as causas da eutrofização desse reservatório. No Brasil poucos trabalhos foram realizados até o momento. BARBOSA et al. (1998) fizeram um estudo do balanço de massa do nitrogênio e do fósforo total no reservatório da Pampulha em Minas Gerais, em duas estações do ano (seca e chuvosa). O balanço de massa do reservatório de Jurumirim foi estudado por HENRY et al. (1995), quando foram

avaliadas as entradas dos dois principais formadores do reservatório, os rios Paranapanema e Taquari.

A avaliação do balanço de massa do fósforo no reservatório de Salto Grande, levando em consideração os vários compartimentos (entrada, área alagada, as divisões do corpo principal e saída) e os vários componentes do sistema (diferentes porções particuladas e dissolvida na coluna d'água, macrófitas aquáticas e sedimento) é de fundamental importância, pois trará conhecimentos básicos sobre a dinâmica espacial e temporal desse elemento importantíssimo no processo de eutrofização de reservatórios, visto os poucos estudos desenvolvidos até, o momento, em regiões tropicais.

2. OBJETIVOS

- Estimar o balanço de massa do fósforo no reservatório de Salto Grande e em diferentes compartimentos.
- Determinar a distribuição espaço-temporal do fósforo no reservatório.
- Estimar o estoque de fósforo no reservatório de Salto Grande nos seguintes componentes: seston da coluna d'água ($>68\mu\text{m}$; $<68>20\mu\text{m}$; $<20>0,45\mu\text{m}$), dissolvido na coluna d'água ($<0,45\mu\text{m}$), macrófitas aquáticas, fauna e flora associadas, e sedimento.
- Determinar quais compartimentos do reservatório armazenam ou liberam fósforo no sedimento.
- Propor um modelo de balanço de massa e de distribuição espaço-temporal do fósforo, nos compartimentos e componentes do reservatório.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

3.1.1 Localização

A Bacia hidrográfica do rio Atibaia localiza-se no centro leste do Estado de São Paulo, aproximadamente entre os paralelos 22° 41' e 23° 18' sul, e os meridianos 46° 00' e 47° 16' oeste, perfazendo uma área total de 2724 km².

O reservatório de Salto Grande está situado no município de Americana (S.P.) a 22° 44' de latitude sul e 47° 20' de longitude oeste, a uma altitude de 535 m do nível do mar. A barragem represa o rio Atibaia a montante do encontro deste rio com o Rio Jaguari, ambos formadores do Rio Piracicaba (FIGURA 1).

A região de influência direta no reservatório corresponde a uma área compreendida entre os interflúvios das margens direita com a bacia hidrográfica do Rio Jaguari, e da margem esquerda com a bacia hidrográfica do Ribeirão do Quilombo, cobrindo uma área aproximada de 55 km², o que corresponde a 2,02% da área total da Bacia hidrográfica do rio Atibaia.

O reservatório tem, como única drenagem significativa a alimentá-lo, o rio Atibaia (vazão média anual de 36,50 m³.s⁻¹). Além desse rio, apenas pequenos córregos deságuam no reservatório, sendo o maior deles com cerca de 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.

Construída na década de 40, a usina entrou em funcionamento em 1950 com a finalidade de gerar energia elétrica. A área inundada mínima é de 10,55 km² e a

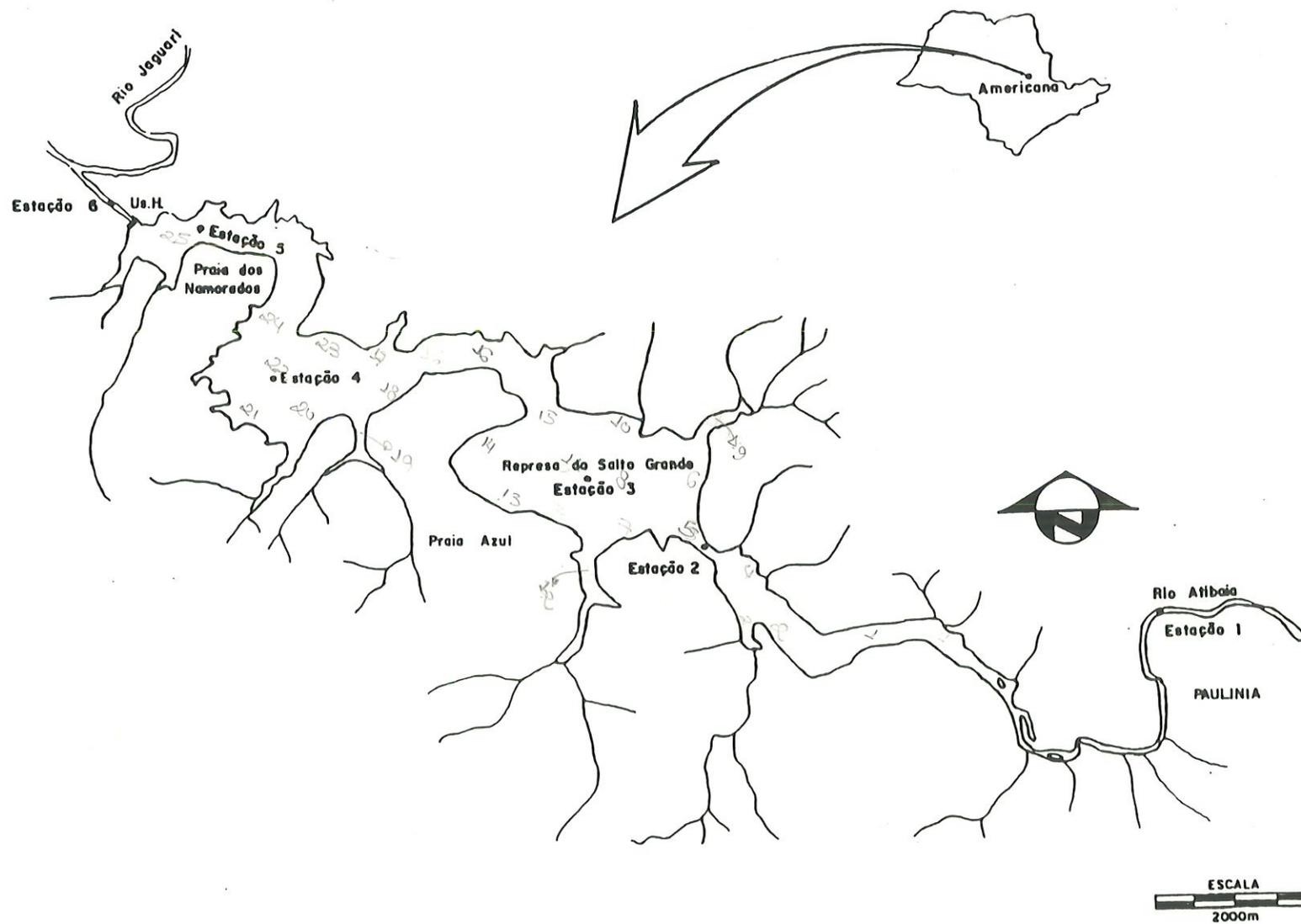


FIGURA 1 - Represa de Salto Grande (Americana, SP), sua localização no estado de São Paulo e localização dos pontos de coleta.

máxima de 13,25 km², com profundidades média de 8,00 m e máxima de 19,80m aproximadamente.

A barragem eleva em aproximadamente 20 m o leito do rio Atibaia, constituindo um reservatório com cerca de 106.10⁶ m³ de volume máximo, sendo utilizado apenas um volume de 35.10⁶ m³ de água para geração de energia elétrica (COELHO, 1993; CONSORCIO INTERMUNICIPAL PIRACICABA CAPIVARÍ, 1993).

3.1.2 Clima

De acordo com a classificação internacional de KÖPPEN, a bacia hidrográfica apresenta no trecho superior, formado pelas sub-bacias do Atibainha e 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 e úmido.

A temperatura média anual varia de 18°C, no trecho superior da bacia, a 20°C no trecho inferior.

Os maiores valores de precipitação são encontrados no trecho superior (1500 mm.ano⁻¹) e os menores, no trecho inferior (1300 mm.ano⁻¹), sendo os meses de dezembro a fevereiro os mais chuvosos e os meses de junho a agosto os mais secos (COELHO, 1993).

3.1.3 Geomorfologia

O reservatório de Salto Grande (Americana - SP), 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 encontra-se 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).

3.1.4 Uso e ocupação do solo

Além de fornecer energia elétrica, o reservatório é importante na irrigação, piscicultura, recreação e abastecimento. A baixa hidrográfica do rio Atibaia, principal contribuinte da represa, apresenta uma alta densidade urbana e industrial, principalmente em seu trecho inferior. Nesta região, o rio desempenha papel de manancial abastecedor, além de receber em suas águas a carga de esgotos domésticos, quase sempre sem tratamento.

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 ainda os despejos industriais e domésticos da cidade de Paulínia.

As vertentes da margem direita no 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 das margens encontra-se quase totalmente ocupada por chácaras de veraneio, clubes e áreas de lazer públicas, como as praias Azul e dos Namorados, que estão 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, com pequenas dimensões (COELHO, 1993; CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PIRACICABA CAPIVARÍ, 1993).

3.1.5 Geologia

A bacia tem seu início nas rochas cristalinas do Planalto Atlântico, e em seu baixo curso atravessa rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná, além de alguns corpos de rochas intrusivas básicas de idade juro-cretácica.

As unidades lito-estratigráficas do Planalto Atlântico cortadas pela 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 (Americana SP), o rio Atibaia percorre rochas da borda leste da Bacia do Paraná. Aí afloram rochas paleozóicas da Formação Itararé, rochas extrusivas básicas e sedimentos cenozóicos indiferenciados COELHO (1993).

3.2 Variáveis climáticas

3.2.1. Precipitação (mm), temperatura do ar (°C), radiação solar (cal. cm⁻².min⁻¹), insolação (h/dia), umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento (m.s⁻¹) e direção predominante do vento.

Os dados climatológicos de precipitação (mm), temperatura do ar (°C), radiação solar (cal.cm⁻².min⁻¹), insolação (h/dia), umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento (m.s⁻¹) e direção predominante do vento foram obtidos junto à estação climatológica da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo em Piracicaba (S.P.) (CIAGRI, 1998).

3.3. Variáveis hidráulicas e morfométricas

3.3.1. Vazão de entrada ($\text{m}^3.\text{mês}^{-1}$), vazão de saída ($\text{m}^3.\text{mês}^{-1}$), volume médio mensal ($\times 10^6 \text{m}^3$) e tempo médio de residência da água (dias).

Os dados de vazão de entrada e saída e volume médio mensal para o reservatório de Salto Grande, foram fornecidos pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL, com base nos dados de operação da usina hidroelétrica.

O tempo médio de residência da água no reservatório foi calculado mensalmente, dividindo-se o volume médio mensal do reservatório pela vazão média mensal de saída, em metros cúbicos por dia.

3.3.2 Área (m^2), profundidade média (m), volume médio (m^3) do reservatório e dos compartimentos.

* As áreas dos compartimentos e do reservatório foram calculadas através do sistema de informações geográficas IDRISI, no laboratório de Geoprocessamentos do Departamento de Hidráulica e Saneamento. As áreas dos compartimentos foram digitalizadas com base nos mapas do IGC, na escala de 1:10.000. Após a digitalização, foram geradas imagens em "RASTER", o que possibilitou o cálculo das áreas pelo programa acima citado. A área do reservatório foi determinada através da soma das áreas dos compartimentos.

A profundidade média dos compartimentos foi obtida através da média das profundidades encontradas em cada compartimento, durante o período de coleta. O volume foi calculado multiplicando-se a área do compartimento pela sua profundidade média, sendo o volume total do reservatório a soma dos volumes dos compartimentos.

A aferição foi realizada através dos dados, fornecidos pela Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL.

3.4. Variáveis físicas e químicas

Foram feitas coletas mensais de água em 6 estações de amostragem, assim distribuídas (FIGURA 1):

estação 1 - no rio Atibaia, antes do reservatório;

estação 2 - após a área alagada do reservatório, conhecida na região como pantanalzinho;

estação 3 - no início do reservatório;

estação 4 - no meio do reservatório;

estação 5 - próximo à barragem;

estação 6 - no rio Atibaia a jusante do reservatório.

Na FIGURA 2 estão apresentadas as distâncias entre as estações de coleta.

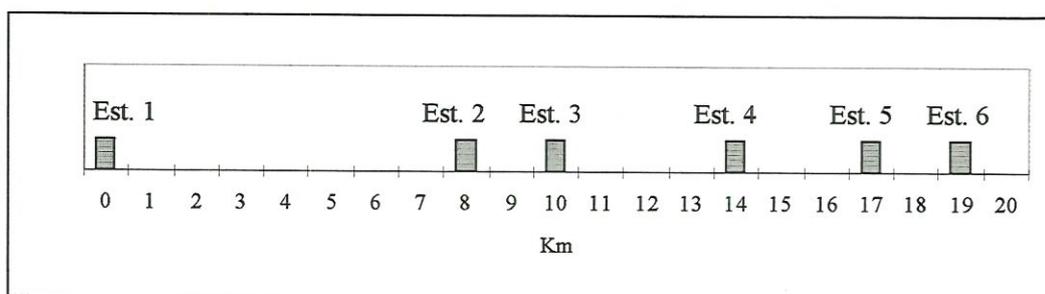


FIGURA 2 - Distancias entre as estações de coleta.

As amostras de água foram coletadas da seguinte forma:

- no rio Atibaia, a montante e a jusante do reservatório, com o auxílio de uma garrafa de Van Dorn, na sub-superfície;

- no reservatório, com o auxílio de bomba, integrando as profundidades de acordo com os perfis de temperatura e de concentração do oxigênio dissolvido, previamente determinados (TABELA 1).

TABELA 1 - Profundidades de integração (m) da coluna d'água nas estações de amostragem, nos dias de coleta, no reservatório de Salto Grande.

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
2 (superfície)	0 - 3,5	0 - 1,5	0 - 2	0 - 2,5	0 - 2	0 - 1,5	0 - 1,5	0 - 1,5	0 - 1,5	0 - 1,5	0 - 1,5	0 - 1,5
3 (superfície)	0 - 3,5	0 - 3	0 - 6	0 - 4,5	0 - 6	0 - 8	0 - 5	0 - 4,5	0 - 5,5	0 - 4,5	0 - 4,5	0 - 3,5
3 (fundo)	6 - 11	3 - 7	6 - 11	4,5 - 11	6 - 10,5	8 - 12	5 - 9,5	4,5 - 9	5,5 - 11	4,5 - 9	4,5 - 10	3,5 - 10
4 (superfície)	0 - 3	0 - 3	0 - 4	0 - 4,5	0 - 7,5	0 - 4,5	0 - 3,5	0 - 3	0 - 5	0 - 3,5	0 - 4	0 - 4,5
4 (fundo)	5 - 10	3 - 7	4 - 9	4,5 - 8	*	4,5 - 9	3,5 - 7	3 - 8	5 - 9	3,5 - 8,5	4 - 8	4,5 - 9
5 (superfície)	0 - 3,5	0 - 3	0 - 4,5	0 - 5	0 - 4	0 - 2	0 - 6	0 - 10	0 - 7	0 - 8	0 - 3	0 - 4
5 (fundo)	3,5 - 6	3 - 9	*	5 - 8	4 - 5,5	6 - 10	6 - 9	10 - 14	*	*	3 - 5	4 - 7

3.4.1 Radiação solar subaquática ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

A radiação solar subaquática foi determinada através de um quantômetro modelo Ly-Cor, da Lambda Instruments com sensibilidade entre 400-700 nm. Foi obtido um perfil completo de energia ($\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) na coluna d'água, de 25 em 25 cm de profundidade, até a profundidade de extinção da radiação.

3.4.2 Transparência da água (m), coeficiente de atenuação do contraste vertical, profundidade da estação de coleta (m), zona eufótica, zona afótica, zona de mistura, relação zona eufótica com profundidade máxima e relação zona eufótica com zona de mistura.

A transparência da água foi determinada através de um disco de Secchi. O coeficiente de atenuação do contraste vertical foi calculado a partir das medidas efetuadas com este disco. As profundidades nas quais o disco desapareceu, foram transformadas em coeficientes de atenuação do contraste vertical, através da seguinte fórmula de acordo com KIRK (1986):

$$K = \frac{9}{Z_{DS}} \quad \text{EQ1}$$

Onde:

K - coeficiente de atenuação do contraste vertical

Z_{DS} - profundidade na qual o disco de Secchi desapareceu, em metros

A profundidade da estação de coleta foi determinada através de um peso (5 kg) amarrado a uma corda graduada. A zona eufótica foi considerada até a profundidade que apresentou o valor de um por cento (1%) da radiação solar subaquática fotosinteticamente ativa. A zona afótica foi determinada subtraindo-se a zona eufótica da profundidade da estação de coleta.*A zona de mistura foi determinada através de diferença de temperatura inferior a 1°C entre a água superficial e a de distintas profundidades.

3.4.3 Temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$), pH, e condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

A temperatura (°C), o oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2\cdot\text{l}^{-1}$), o pH e a condutividade elétrica da água ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), foram determinados com uma sonda HORIBA, modelo U-10, de leitura direta em cada ponto de coleta. Até 5 metros de profundidade os perfis foram obtidos com intervalos de 50 centímetros. Após foram considerados intervalos de 1 metro.

A porcentagem de saturação do oxigênio dissolvido, foi estimada segundo WETZEL & LINKES (1991).

3.4.4 Fracionamento do material particulado nas amostras de água.

No laboratório, diferentes alíquotas das amostras foram submetidas a filtração, através de redes (aberturas de malha de 68 e 20 μm), e filtro de fibra de vidro WHATMAN GFC (0,45 μm de abertura de poro), para a separação das diferentes frações de material particulado.

A diferença entre as concentrações de fósforo da amostra bruta e da filtrada na rede de abertura de malha de 68 μm forneceu a estimativa deste elemento em partículas maiores que 68 μm . Nessa fração estão contidos o zooplâncton (principalmente, cladóceras, copépodos e parte dos náuplios e copepoditos), parte do fitoplâncton (principalmente colônias) e resíduos orgânico e inorgânico maiores que 68 μm .

A diferença das concentrações de fósforo entre as amostras filtradas nas redes de abertura de malha de 68 e 20 μm forneceu a estimativa deste elemento em partículas menores que 68 μm e maiores que 20 μm . Nessa fração estão contidos parte do zooplâncton (náuplios, copepoditos e rotíferos), o microfitoplâncton e resíduos orgânicos e inorgânicos.

A diferença das concentrações de fósforo entre as amostras fracionadas na rede de abertura de malha de 20 μ m e filtradas através de poro 0,45 μ m (filtro WHATMAN GFC) forneceu a estimativa deste elemento em partículas menores que 20 μ m e maiores que 0,45 μ m. Nessa fração estão contidos o nanofitoplâncton, bacterioplâncton e outras partículas orgânicas e inorgânicas.

A alíquota que atravessou o filtro WHATMAN GFC foi considerada contendo apenas compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos de fósforo (CARMUZE, 1994).

3.4.5 Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

O fósforo total foi determinado utilizando-se a mesma metodologia para as amostras fracionadas e não fracionadas.

As amostras de água para a determinação do fósforo total acondicionadas em frascos de polietileno e armazenadas em freezer, foram descongeladas e passaram pela seguinte metodologia: a amostra sofreu uma digestão com ácido sulfúrico e persulfato de sódio em autoclave a 120 °C por 1 hora. Então, a amostra foi parcialmente neutralizada com solução de hidróxido de sódio (APHA, 1985). Em seguida o fosfato foi determinado segundo método descrito em STRICKLAND & PARSONS (1960); através do qual em solução acidificada, o fosfato reage com molibdato para formar ácido fosfomolibdico, que reduzido para um complexo azul com ácido ascórbico, apresenta absorção máxima a 882nm.

3.4.6 Fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

As amostras de água para a determinação do fósforo total dissolvido e do fósforo inorgânico dissolvido foram previamente filtradas em filtros WHATMAN GFC, acondicionadas em frascos de polietileno e armazenadas em freezer. Após o descongelamento, as amostras de fósforo total dissolvido sofreram uma digestão com persulfato de sódio em autoclave a 120°C por uma hora. As amostras de fósforo

inorgânico dissolvido foram analisadas sem digestão prévia. A metodologia seguida para determinação foi a descrita em STRICKLAND & PARSONS (1960).

3.4.7 Ferro total (mg.L^{-1})

As amostras não filtradas acondicionadas em frascos de polietileno e foram acidificadas com solução de ácido clorídrico até pH 2, para posterior análise.

As análises foram realizadas pelo método da o-fenantrolina, através do qual o ion férrico foi reduzido ao estado ferroso em meio ácido por hidroxilamina e cujo complexo tratado com o-fenantrolina tem absorção máxima a 510nm, conforme descrito em APHA (1985).

3.4.8 Material em suspensão (mg.L^{-1})

Materiais em suspensão total, orgânico e inorgânico foram determinados em amostras brutas e fracionadas (malhas de 68 e 20 μm), retidos em filtros de fibra de vidro, previamente calcinados e de massas conhecidas (M1), por técnica gravimétrica descrita em TEIXEIRA et. al. (1965).

Os filtros contendo material particulado foram secos em estufa a 100°C, resfriados e pesados (M2). Então foram calcinados em mufla a 500°C, por 60 minutos, resfriados e pesados (M3).

As diferenças de massas entre: M1 e M2; M1 e M3; M2 e M3, forneceram as massas de material em suspensão total, inorgânico e orgânico, respectivamente.

4.4.9 Coleta e preparação do sedimento

Para as determinações no sedimento, foram coletadas amostras nos pontos 2, 3, 4 e 5, no mês de agosto de 1997, utilizando-se um amostrador cilíndrico, de aproximadamente um metro de comprimento e sete centímetros de diâmetro. Recolhe-se apenas uma amostra constituída dos primeiros 10 centímetros do sedimento. Em seguida, a amostra foi fatiada em subamostras de 2 em 2 centímetros. No laboratório, estas amostras foram colocadas em estufa a 60°C, até massa constante (peso seco) e usadas para determinação de fósforo e de ferro.

3.4.10 Fósforo total no sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Para mineralização da amostra, 200mg de sedimento seco foi misturado a 500mg de carbonato de sódio anidro e calcinado a 550°C por uma hora. O resíduo resfriado foi transferido para frascos erlenmeyer de 250ml, com 25ml de HCL 1N e aquecido em chapa por 15 minutos ou até a solução tornar-se amarela. Após resfriamento, a solução foi transferida para balão volumétrico de 100 ml, completando-se o volume com água deionizada. Alíquotas desta solução foram usadas para determinação de fosfato pelo método do molibdato (modificado de ANDERSEN, 1976).

3.4.11 Ferro total no sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Para análise, 200mg de sedimento foram tratadas com solução de ácido clorídrico e solução de hidroxilamina a quente (ANDERSEN, 1976). A concentração de ferro total foi determinada através do método da o-fenantrolina, conforme o item 3.4.1.5

3.5 Variáveis biológicas

3.5.1 Clorofila “a” ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

Foram feitas coletas mensais durante um ano (agosto de 1996 a julho de 1997) nas seis estações de amostragem. A clorofila “a” das diversas frações descritas anteriormente foram estimadas através dos pigmentos fotossintéticos, de acordo com WETZEL & LIKENS (1991).

No laboratório, após a coleta, as amostras foram filtradas a vácuo em filtros de fibra de vidro WHATMAN GFC. O volume filtrado variou de acordo com a quantidade que passava pelo filtro, sem obstruí-lo. Após a filtração, o material foi acondicionado em envelope de papel e colocado em frasco escuro, com sílica gel, e conservado à baixa temperatura (-20°C), até o momento de extração.

A extração do pigmento total foi feita por choque térmico, utilizando-se etanol 90% aquecido a 75°C como solvente, e resfriamento imediato após o aquecimento em água corrente, sob baixa iluminação. As leituras em espectrofotômetro UV-visível, a 665 e a 750nm, foram feitas no intervalo entre 6 e 24 horas após a extração (MARKER et al., 1980). Os cálculos foram feitos segundo NUSH (1980).

3.5.2 Estimativa da biomassa da comunidade de macrófitas aquáticas ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

A estimativa da biomassa de macrófitas aquáticas no reservatório foi realizada através da delimitação dos bancos de macrófitas com a utilização de GPS, para o cálculo da área ocupada por essa comunidade. Foi realizada uma amostragem em abril de 1997.

Para a coleta das plantas, foi utilizado como amostrador um quadrado de $0,25\text{ m}^2$ (WESTLAKE, 1965). Foram feitos cinco amostragens por banco, coletando todos

os indivíduos dentro do quadrado. As plantas foram acondicionadas em sacos plásticos.

No laboratório as plantas foram colocadas para secar em estufa a 55°C, até atingirem massa constante (peso seco). Após resfriamento, o material foi pesado determinando-se assim o peso seco. A biomassa em peso seco por metro quadrado (gPS.m^{-2}) foi calculada pela média das cinco amostras (WESTLAKE, op. cit.).

3.5.3 Fósforo total (mg.g^{-1}) nas macrófitas aquáticas, fauna e flora associada

As amostras secas de plantas foram trituradas individualmente e acondicionadas em potes de polietileno. Alíquotas de 200mg foram misturadas a 500 mg de carbonato de sódio e calcinadas a 550°C por uma hora e o resíduo tratado como descrito no item 3.4.2.2. O estoque de fósforo total nas macrófitas aquáticas, foi calculado multiplicando-se as concentrações deste nutriente pela biomassa referente.

3.6 Taxas de sedimentação bruta e líquida

A taxa bruta de sedimentação do fósforo total foi avaliada por LEITE (1998), através de câmaras de sedimentação de 2 litros, em duas profundidades (30 e 70 % da altura da coluna d'água) nos pontos de coleta 2, 3, 4 e 5 (Figura 1). Foram colocadas 4 câmaras, em cada profundidade, por um período de 24 horas. Foram realizadas amostragens mensais no período de agosto de 1996 a julho de 1997.

Após o período de tempo estipulado (24hs), o material sedimentado foi colocado em frascos de polietileno e conservado a uma temperatura de -10 °C. No laboratório, as análises de fósforo foram realizadas de acordo com o descrito no item 3.4.1.3.

A taxa de sedimentação mensal foi calculada segundo EDMONDSON & WINBERG (1971):

$$T_{sdb} = \frac{C_s \cdot v_c \cdot n_i \cdot A_i}{a_c} \quad \text{EQ2}$$

onde:

T_{sdb} - taxa bruta de sedimentação;

C_s - concentração na câmara de sedimentação após 24 horas;

v_c - volume da câmara de sedimentação;

a_c - área da abertura da câmara de sedimentação;

n_i - número de dias no i-ésimo mês;

A_i - área do i-ésimo compartimento ou do reservatório.

A taxa líquida de sedimentação foi determinada de duas maneiras distintas: A primeira, através do balanço de massa segundo VOLLENWEIDER (1988), utilizando-se a seguinte equação (3):

$$T_{sdl} = M_i + C_e - C_s - M_f \quad \text{EQ3}$$

onde:

T_{sdl} - taxa líquida de sedimentação;

M_i - massa no início do período;

C_e - carga de entrada no período; (Jornal; L)

C_s - carga de saída no período;

M_f - massa final do período.

As massas inicial e final foram determinadas através da equação (4), considerando-se que cada compartimento da represa fosse homogêneo em relação ao material sedimentável:

$$M_n = C_n \cdot V_n \quad \text{EQ4}$$

onde:

M_n - massa no n-ésimo mês;

C_n - concentração n-ésimo mês;

V_n - volume do reservatório ou compartimento no enésimo mês.

A taxa líquida de sedimentação também foi determinada através da datação do sedimento pelo método do chumbo 210 (Pb^{210}), conforme descrito em FOSTIER (1998). A datação foi realizada em conjunto com o projeto Piracena, sendo o CRHEA-USP encarregado das coletas e o laboratório IRD/CNEN da datação.

Para a realização da datação foram coletadas amostras de sedimento nos pontos 2, 3, 4 e 5, utilizando-se um amostrador cilíndrico, de aproximadamente um metro de comprimento e sete centímetros de diâmetro. A amostragem foi realizada no mês de agosto de 1997.

A partir dos dados de datação, a taxa de sedimentação foi calculada utilizando-se os modelos CRS (velocidade de sedimentação variável) e CIC (velocidade de sedimentação constante) (FOSTIER, 1998). Estes modelos propiciaram o cálculo da espessura do sedimento relativa a um ano.*Tomando-se como base a espessura do sedimento depositado no período de um ano e a concentração de fósforo total no sedimento (item 3.4.2.1), foi determinada a sedimentação líquida de fósforo total de cada compartimento, multiplicando-se a concentração do fósforo total pelo volume do sedimento depositado neste período. O volume do sedimento foi determinado multiplicando-se a espessura do sedimento pela área do compartimento.

3.7. Taxas de ressuspensão de fósforo total e material em suspensão total (ton.ano⁻¹).

As taxas de ressuspensão de fósforo total, ferro total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico (ton.ano⁻¹), foram determinadas subtraindo-se da taxa bruta de sedimentação (T_{sdb}), a taxa líquida de sedimentação (T_{sdl}), obtidas através dos métodos de balanço de massa e do chumbo 210 (DILLON & EVANS, 1993). Desta forma tem-se:

$$T_{re} = T_{sdb} - T_{sdl}; \quad \text{EQ5}$$

T_{re} - taxa de ressuspensão;

T_{sdb} - taxa bruta de sedimentação;

T_{sdl} - taxa líquida de sedimentação;

3.8. Balanços de massa de fósforo total, ferro total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico (ton.ano⁻¹).

Os balanços de massa para fósforo total, ferro total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico (ton.ano⁻¹) foram determinados através das diferenças das estimativas de entrada e saída destas espécies no reservatório no período de agosto de 1996 a julho de 1997. Para tanto, a estimativa de entrada foi obtida multiplicando-se as concentrações média mensais pelas vazões totais mensais. A soma dos doze meses resultou na estimativa de entrada para o período em estudo. O mesmo procedimento foi adotado para o cálculo da saída de cada espécie, sendo que foram utilizados as concentrações e as vazões mensais de saída do reservatório (DILLON & KIRCHNER, 1975).

Dessa forma temos:

$$\Sigma(C_{si}.Q_{si}) - \Sigma(C_{ei}.Q_{ei}) + dM/dt = 0$$

$$\Sigma(C_{si}.Q_{si}) - \Sigma(C_{ei}.Q_{ei}) = - dM/dt \quad \text{EQ6}$$

onde:

C_{si} - concentração de saída no i-ésimo mês(mg.L⁻¹);

Q_{si} - vazão de saída acumulada no i-ésimo mês (m³.mês);

C_{ei} - concentração de entrada no i-ésimo mês (mg.L⁻¹);

Q_{ei} - vazão de entrada acumulada no i-ésimo mês(m³.mês).

dM - massa (ton)

dt - tempo (ano)

Se dM/dt for maior do que zero (>0), o reservatório ou o compartimento estará retendo massa e se dM/dt for menor que zero (<0), perdendo massa.

3.9. Modelagem dos balanços de massa de fósforo total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico (ton.ano⁻¹)

Foram propostos modelos estáticos de balanços de massa de fósforo total, material em suspensão total, inorgânico e orgânico (ton.ano⁻¹). O modelo estático contém importantes informações sobre os fluxos e estoques no reservatório. Sua vantagem é que, em geral, ele apresenta uma representatividade adequada da situação média, além de ser facilmente usado para se comparar diferentes estágios fixos, prevalecendo as funções de força. Esse tipo de modelo é importante para se comparar os resultados de diferentes entradas externas e os processos de saída que possam ser encontrados, podendo-se comparar diferentes situações estáticas envolvidas (JORGENSEN, 1986).

Para tanto foi proposto um modelo global de balanço de massa, através do qual o reservatório foi considerado num primeiro instante, como um único compartimento e num segundo, composto por quatro compartimentos conforme FIGURA 3.

Devido à falta de linhas hipsográficas detalhadas, o volume dos compartimentos foram calculados multiplicando-se a área média do compartimento pela respectiva profundidade média.

→ A entrada não pontual (difusa) foi estimada como dois por cento da entrada pelo rio Atibaia. Essa estimativa foi feita com base na área do entorno do reservatório, estimada em dois por cento da área total da bacia hidrográfica do reservatório.

Em muitos modelos estáticos, nos quais as taxas dos processos são dadas como médias dos valores, num intervalo de tempo, e em muitos modelos simples, que contem medidas diretas dos parâmetros, a calibração não é necessária (JORGENSEN, 1986).

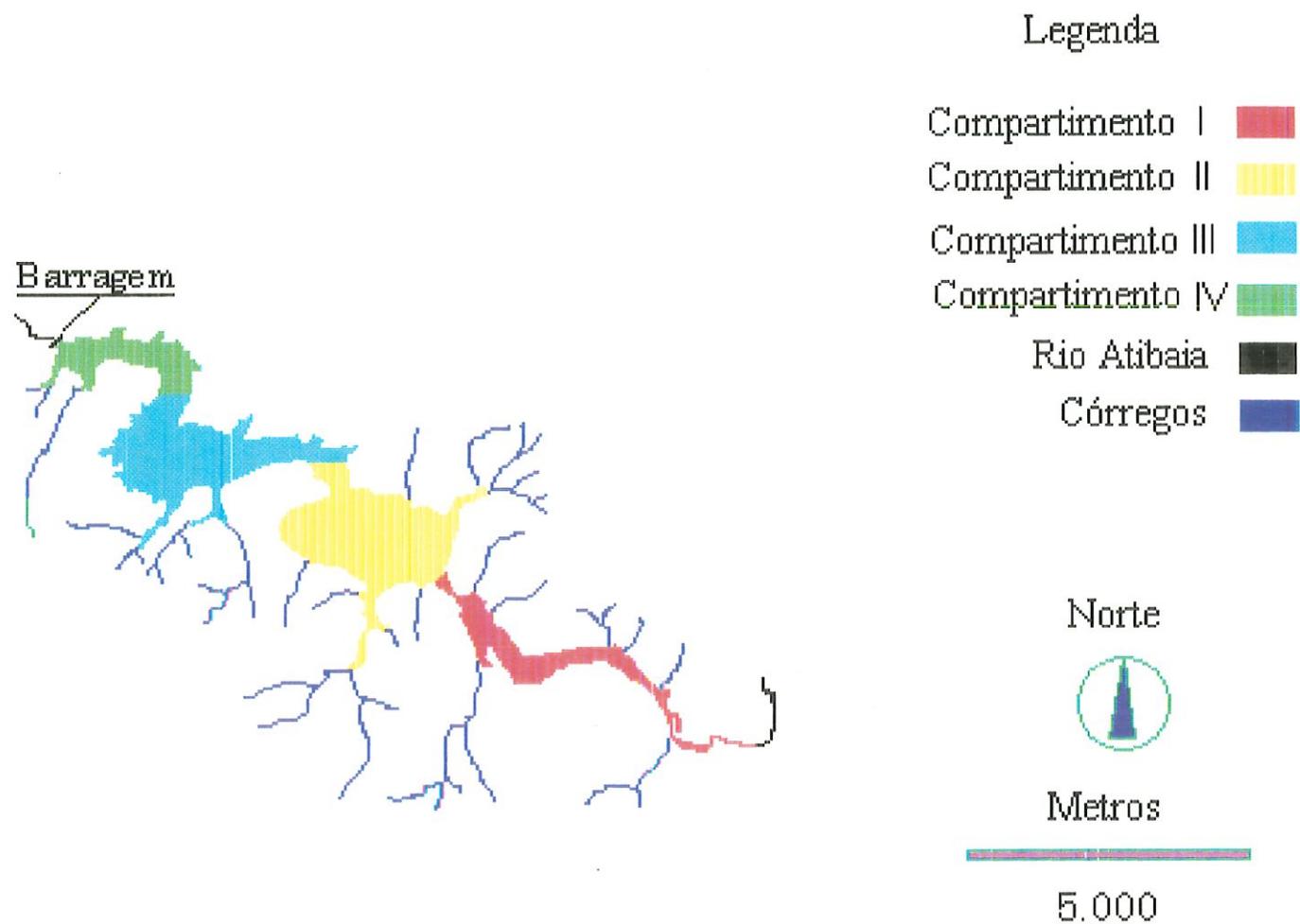


FIGURA 3 - Represa de Salto Grande (Americana, SP) e divisão por compartimentos.

4. RESULTADOS

4.1 Variáveis climáticas

4.1.1 Precipitação (mm), temperatura do ar (°C), radiação solar (cal. cm⁻².min⁻¹), insolação (h.dia⁻¹), umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento (m.s⁻¹) e direção predominante do vento.

Os valores de precipitação, temperatura do ar, radiação solar, insolação, umidade relativa do ar, velocidade média do vento e direção predominante do vento (as 7:00, 14:00 e 21:00 hs), estão apresentados na TABELA 2.

As maiores precipitações ocorreram nos meses de setembro de 1996 e janeiro de 1997, quando foram registradas as maiores precipitações acumuladas, para o período em estudo (352,2 mm). Os meses com menor pluviosidade foram agosto de 1996 e julho de 1997, meses estes que registraram as menores quantidades de chuva (23,7 e 21,1 mm, respectivamente).

A temperatura média do ar apresentou as maiores médias nos meses de dezembro de 1996 e janeiro de 1997 (25,2 e 24,9 °C, respectivamente). Os menores valores foram encontrados nos meses de maio e junho de 1997 (18,8°C).

O mês de fevereiro de 1997 foi o que apresentou o maior valor de radiação solar no período (424,1 cal.cm⁻².min⁻¹), sendo o mês de junho de 1997, o que apresentou o menor valor (250,1 cal.cm⁻².min⁻¹).

O mês de agosto de 1996 foi o que apresentou o maior número de horas de insolação (8,4 h.dia⁻¹) e o menor, ocorreu em janeiro de 1997 (4,2 h.dia⁻¹).

A umidade relativa do ar foi mais elevada no mês de janeiro de 1997 (86,9%); no mês de agosto de 1996 foi registrado seu menor valor (68,2%).

O maior valor de velocidade média do vento foi encontrado no mês de novembro de 1996 ($2,61 \text{ m.s}^{-1}$) e o menor, no mês de julho de 1997 ($1,52 \text{ m.s}^{-1}$). A direção predominante do vento variou de acordo com o horário de leitura. No horário da manhã (7:00 hs) o vento predominante foi o leste (E). No período da tarde (14:00 hs) não ocorreu uma predominância clara da direção do vento, variando, principalmente, entre o sul (S) e o oeste (W). No período da noite (21:00 hs) a direção predominante foi a sul (S) e, com menor frequência, a sudeste (SE). A direção predominante dos ventos fortes (acima de 2 m.s^{-1}) foi a sul (S), sendo que as maiores velocidades ocorreram de agosto a novembro de 1996.

TABELA 2 - Precipitação (mm), temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), radiação solar ($\text{cal. cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$), insolação (h/dia), umidade relativa do ar (%), velocidade média do vento (m.s^{-1}) e direção predominante do vento, para o reservatório de Salto Grande, no período de coleta.

	Precipitação (mm)	Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$)	Radiação solar ($\text{cal. cm}^{-2}.\text{dia}$)	Insolação (h/dia)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade média do vento (m.s^{-1})	Direção predominante do vento		
							às 7:00 hs	às 14:00 hs	às 21:00 hs
Ago/96	23,7	19,9	373,4	8,5	68,2	2,36	E	E	SE
Set/96	135,2	20,9	359,1	6,3	76,4	2,59	S/SE	SE	S
Out/96	238,5	23,1	409,1	6,9	79,6	2,44	S	S	S
Nov/96	212,0	23,4	407,6	6,2	79,5	2,61	SE	S	S
Dez/96	188,3	25,2	411,5	6,0	84,8	1,94	E	NW	SE
Jan/97	352,2	24,9	361,1	4,2	86,9	2,44	E	N	S
Fev/97	87,1	24,7	424,1	7,6	79,5	1,86	E	W	E
Mar/97	73,1	23,7	380,5	7,7	73,3	2,28	E	S	SE
Abr/97	42,3	21,1	356,2	7,6	73,2	1,93	E	W	S
Mai/97	60,6	18,8	304,7	6,6	78,3	2,11	S	SW	S
Jun/97	128,1	18,8	250,1	5,6	84,2	1,96	E	W	NW
Jul/97	21,1	19,7	307,2	7,3	77,3	1,52	E	N/NE	SE

Fonte: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

4.2 Variáveis hidráulicas e morfométricas

4.2.1 Vazão de entrada ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), vazão de saída ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), volume médio (m^3) e tempo médio de residência da água (dias).

As variáveis hidráulicas: vazões de entrada e saída, volume médio mensal e tempo médio de residência da água, bem como as suas médias anuais para o período de coleta, para o reservatório de Salto Grande estão apresentados na TABELA 3.

Os maiores valores de vazões de entrada e saída ocorreram nos meses de dezembro de 1996, janeiro e fevereiro de 1997. Os menores foram registrados nos meses de agosto de 1996 e julho de 1997.

Os meses de junho e julho de 1997 foram os que apresentaram os maiores volumes de água no reservatório. A menor cota do reservatório de Salto Grande, para o período estudado, foi constatada no mês de setembro de 1996.

O tempo médio de residência da água no reservatório variou de 13,93 dias (fevereiro de 1997) a 86,37 dias (julho de 1997), apresentando um valor médio anual de 44,51 dias.

TABELA 3 - Dados hidrológicos [vazão de entrada ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$), vazão de saída ($\text{m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$), volume médio mensal ($\times 10^6 \text{m}^3$) e tempo de residência (dias)] para o reservatório de Salto Grande (Americana - S.P.) no período de 08/96 a 07/97.

Mês	vazão de entrada acumulada no mês (m^3)	vazão de saída acumulada no mês (m^3)	volume médio mensal reservatório ($\times 10^6 \text{m}^3$)	tempo de residência (dias)
08/96	36.919.548	35.346.528	96,7543	82,12
09/96	89.484.984	92.496.960	94,6736	30,72
10/96	88.042.392	83.444.724	95,8973	35,63
11/96	84.125.088	86.081.688	96,7003	33,70
12/96	113.850.396	112.138.884	97,8185	27,04
01/97	195.096.384	187.759.332	97,9077	16,17
02/97	184.692.348	196.165.548	97,5944	13,93
03/97	77.553.576	77.923.512	94,5121	37,60
04/97	50.122.188	44.864.640	97,7996	65,40
05/97	46.427.688	44.817.120	100,6686	69,63
06/97	86.974.452	85.831.092	102,4988	35,83
07/97	36.295.776	36.794.736	102,5175	86,37
média	90.798.735	90.305.397	97,9452	44,51
acumulada no ano	1.089.584.820	1.083.664.764		

4.2.2 Área (m²), profundidade média (m) e volume (m³) do reservatório e seus compartimentos.

As variáveis morfométricas [área (m²), profundidade média (m) e volume (m³)] do reservatório de Salto Grande e de seus compartimentos estão apresentados na TABELA 4.

O reservatório de Salto Grande em Americana (S.P.), tem uma área de 11.900.000,00 m², com profundidade e volume médios de 8,23 m e 97.945.200 m³, respectivamente. O compartimento 2 do reservatório foi o que apresentou maiores valores de área, de profundidade e volume médios. Os menores valores de profundidade e volume médios foram encontrados no compartimento 1, sendo o compartimento 4, o menor em área.

TABELA 4 - Área (m²), profundidade média (m) e volume (m³) do reservatório de Salto Grande e seus compartimentos.

	Área (m ²)	Profundidade média (m)	volume (m ³)
Reservatório	11.900.000,00	8,23	97.945.200,00
Compartimento 1	1.877.767,54	2,41	4.525.068,24
Compartimento 2	4.807.209,89	10,32	49.619.038,32
Compartimento 3	3.537.825,86	8,61	30.451.162,68
Compartimento 4	1.677.196,71	7,96	13.349.930,76

4.2.3 Radiação solar subaquática (μE.m⁻².s⁻¹)

Os valores de radiação solar subaquática (μE.m⁻².s⁻¹) nas estações 2, 3, 4 e 5 nos meses de agosto de 1996 a julho de 1997 estão apresentados nas figuras de 4 a 7.

A radiação solar subaquática superficial para a estação 2 variou ao longo do tempo entre 150 e 850 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (janeiro de 1997 e novembro de 1996, respectivamente). A radiação fotossinteticamente ativa atingiu a maior profundidade nos meses de agosto de 1996, abril, maio, junho e julho de 1997 (entre 1,75 e 2,0 m) e a menor profundidade, em janeiro de 1997, 0,25 m (FIGURA 4).

Na estação 3, a penetração máxima da radiação fotossinteticamente ativa (**R.F.A.**) ocorreu no mês de julho de 1997, atingindo uma profundidade de 6,25m, sendo a menor profundidade de penetração da **R.F.A.** encontrada no mês de fevereiro de 1997 (1,0 m). A radiação solar da sub-superfície variou de 160 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ em janeiro de 1997, a 900 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ em fevereiro de 1997 (FIGURA 5).

Para a estação 4 o valor máximo de radiação solar da sub-superfície foi obtido no mês de novembro de 1996 (900 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e o mínimo, em dezembro de 1996 (250 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). A profundidade máxima atingida nessa estação, pela radiação fotossinteticamente ativa, foi de 4,50m em julho de 1997 e a mínima, de 1,25 m no mês de janeiro de 1997 (FIGURA 6).

A estação 5 apresentou valor máximo de radiação solar na superfície nos meses de outubro e novembro de 1996 (900 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e mínimo de 550 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, no mês de janeiro de 1997. A profundidade máxima de penetração da **R.F.A.** nessa estação foi encontrada no mês de julho de 1997 (5,50 m), e a mínima, em novembro de 1996 (1,50 m) (FIGURA 7).

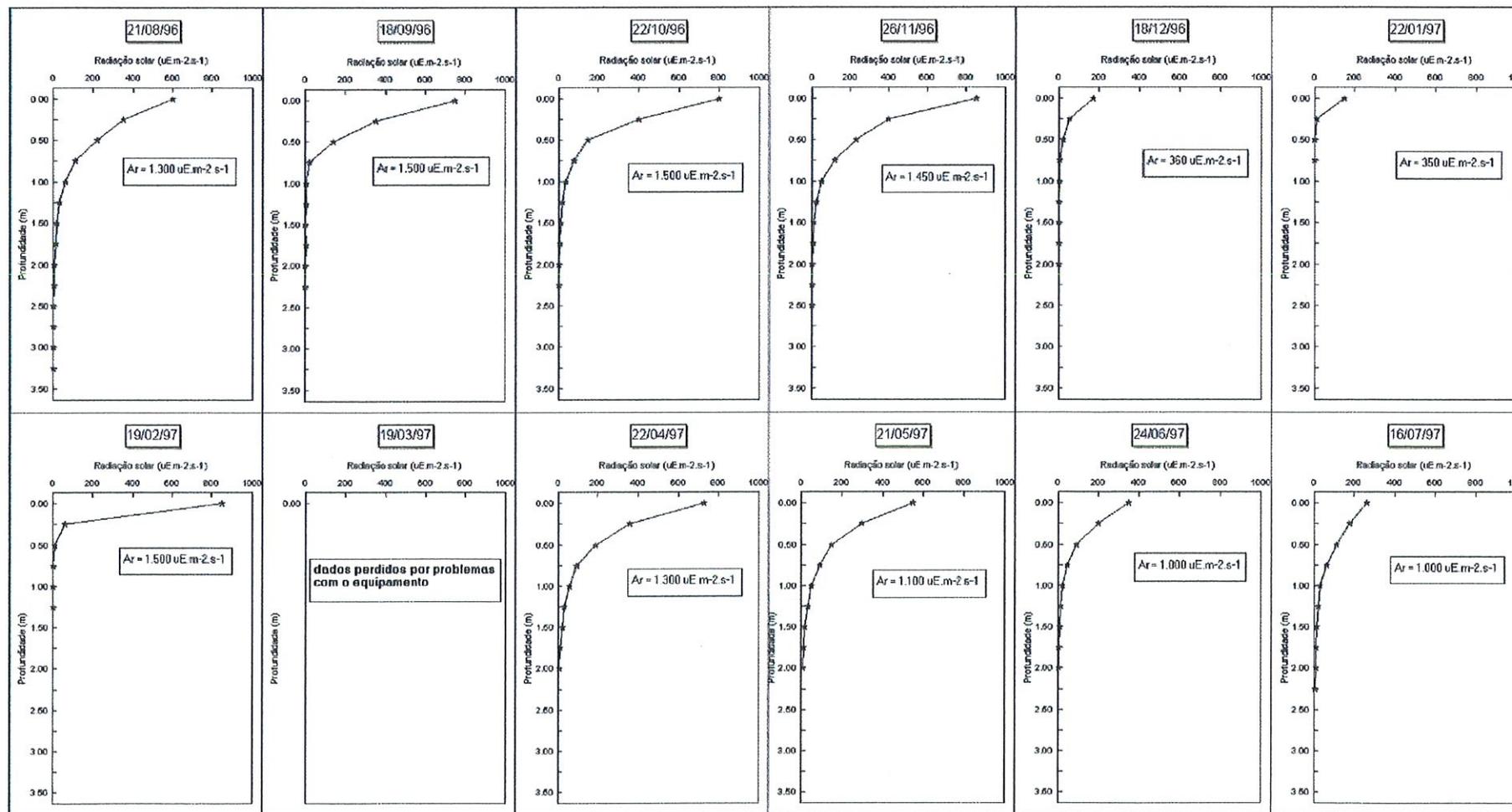


FIGURA 4 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) na estação 2 no período de agosto/96 a julho/97.

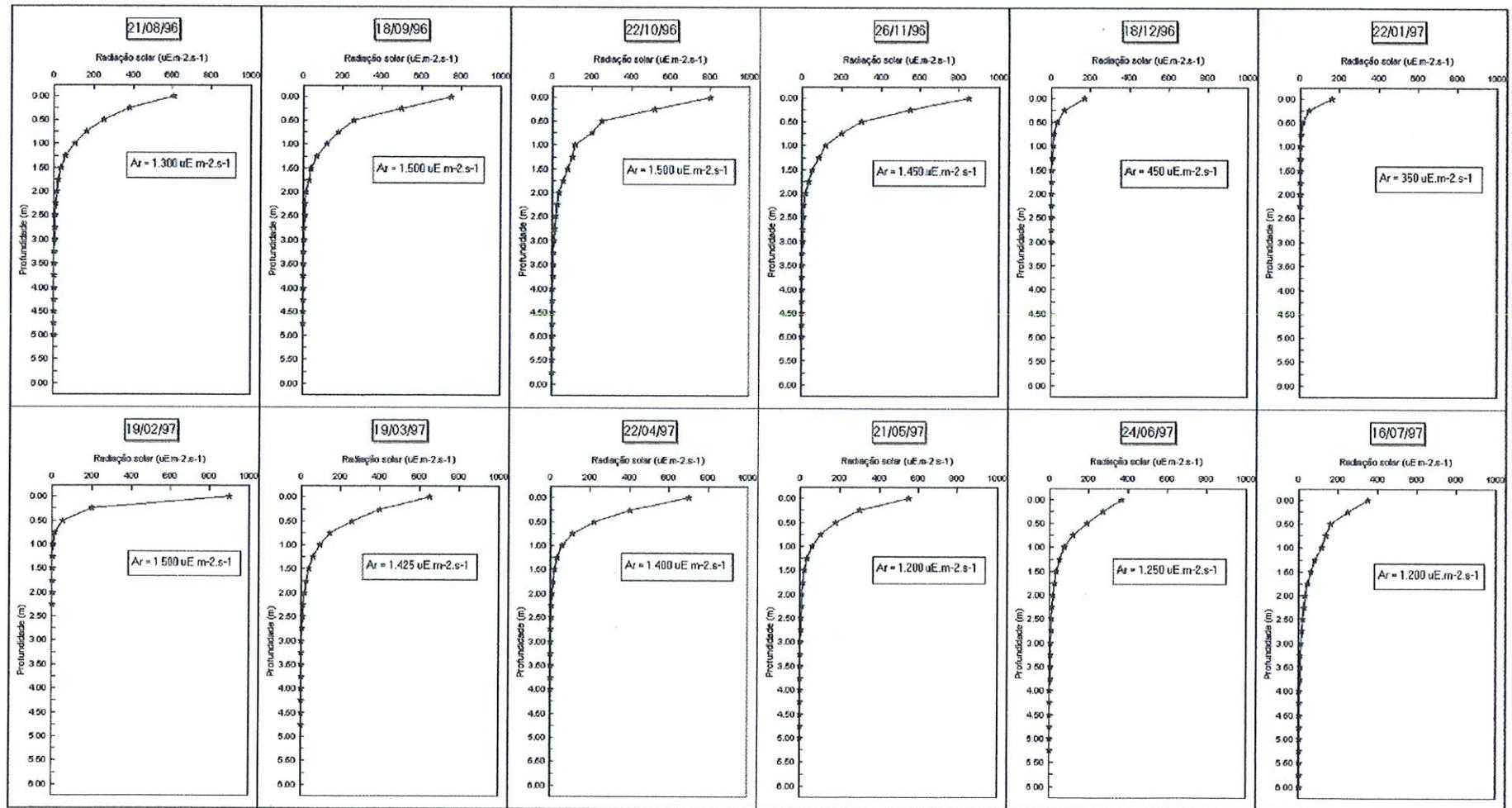


FIGURA 5 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) na estação 3 no período de agosto /96 a julho/97.

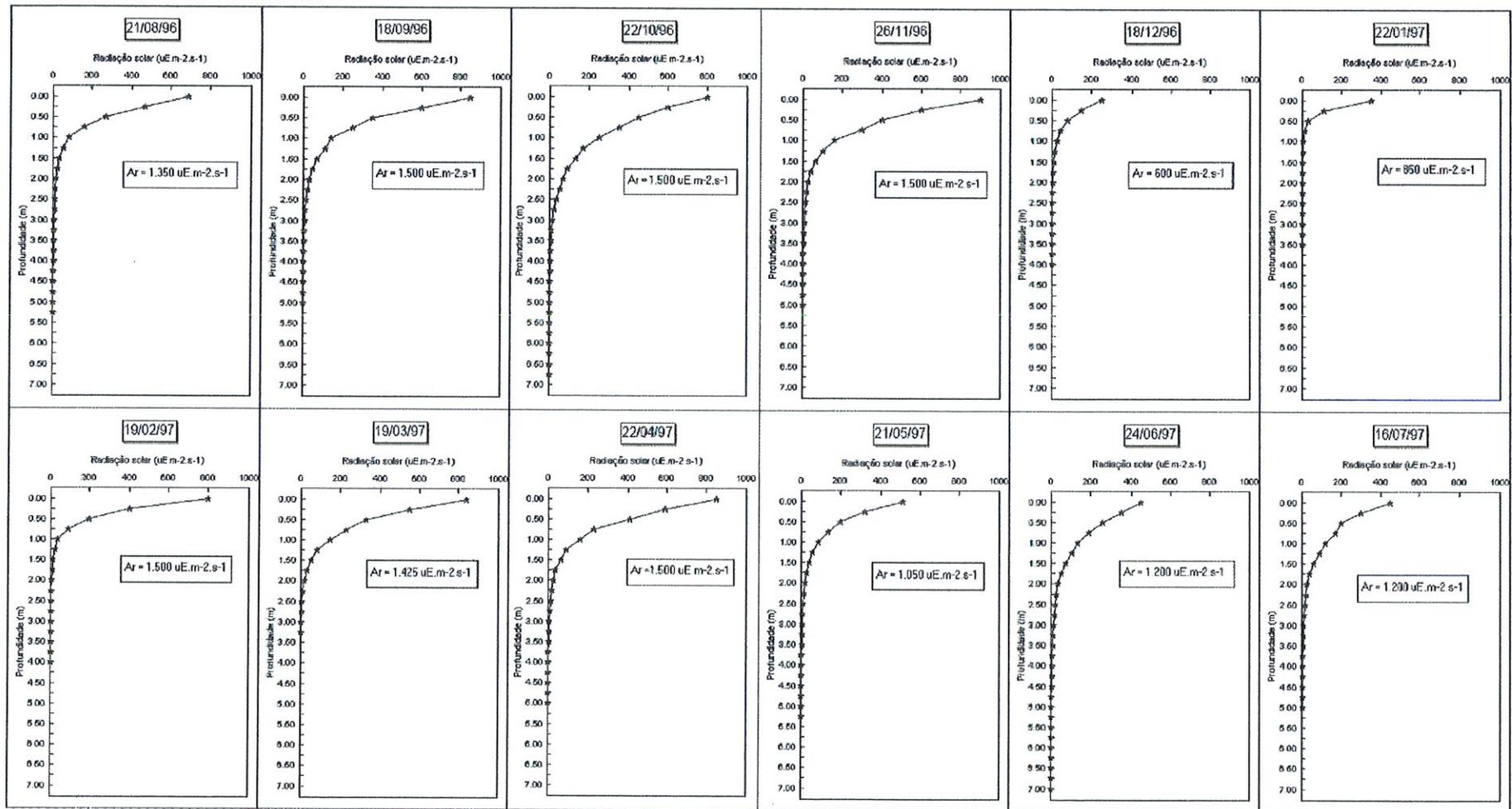


FIGURA 6 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) na estação 4 no período de agosto/96 a julho/97.

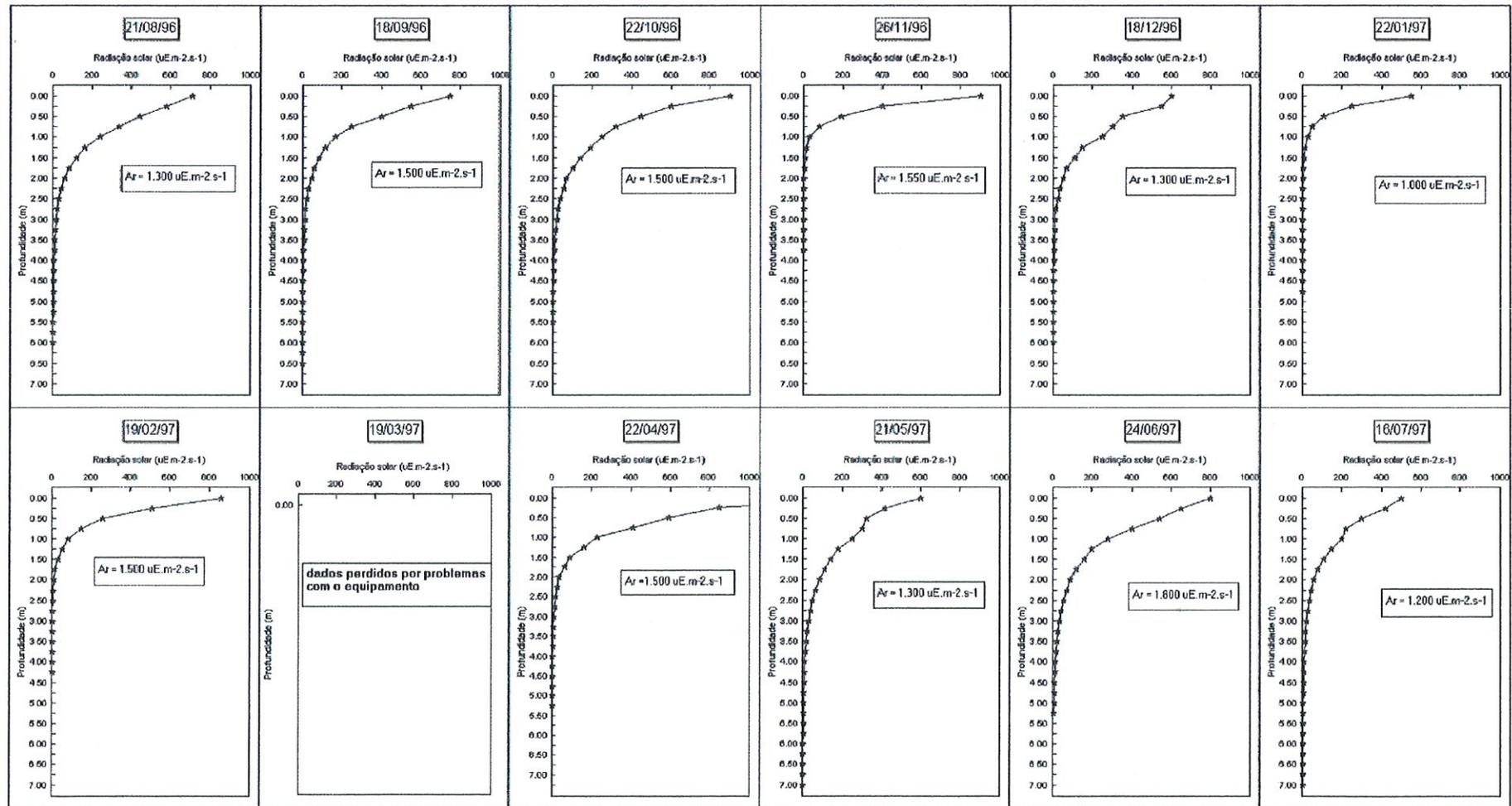


FIGURA 7 - Perfis de radiação solar subaquática ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) na estação 5 no período de agosto/96 a julho/97.

4.2.4 Transparência da água (m) e coeficiente de atenuação (K)

Os valores de profundidade de desaparecimento do disco de Secchi nas estações 2, 3, 4 e 5 no reservatório de Salto Grande, estão apresentados na FIGURA 8.

Nas tabelas de 5 a 8 estão apresentados além desses valores, também os de: radiação solar na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica (Zmax/Zeuf) e relação entre zona eufótica e zona de mistura (Zeuf/Zmix) nas estações 2, 3, 4 e 5 (respectivamente).

A profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.) na estação 2 variou entre 0,10 m (janeiro e fevereiro de 1997) e 0,75 m (julho de 1997). O coeficiente de atenuação (K) variou de 15, nos meses de agosto de 1996, abril, maio e julho de 1997, a 90 nos meses de janeiro e fevereiro de 1997. A profundidade máxima da estação de coleta 2 variou de 1,6 a 4,1 metros (março de 1997 e agosto de 1996, respectivamente). A zona eufótica variou entre 0,45 (janeiro de 1997) e 2,25 metros (julho de 1997). A zona afótica variou de 0,00 a 2,10 metros (abril de 1997 e agosto de 1996, respectivamente). A estação 2 apresentou a coluna d'água homogênea em todo o período de coleta. A relação profundidade máxima/ zona eufótica, apresentou os maiores valores nos meses de janeiro (4,44) e fevereiro (3,82) de 1997, e o menor valor foi encontrado no mês de abril de 1997 (1,08). A relação zona eufótica/ zona de mistura, apresentou os menores resultados nos meses de janeiro e fevereiro de 1997 (0,23 e 0,26, respectivamente) e os maiores, nos meses de abril e julho de 1997 (1,00 e 0,98, respectivamente).

Para estação 3, a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi variou entre 0,20 m, em fevereiro de 1997, e 2,30 m, em julho de 1997. O coeficiente de atenuação (K) oscilou entre 4 e 45 (julho de 1997 e fevereiro de 1997, respectivamente). A maior profundidade encontrada na estação 3 foi de 12,8 metros no mês de janeiro de 1997, e a menor, de 8,0 metros no mês de setembro de 1996. A zona eufótica variou de um máximo de 6,25 metros em julho de 1997 a um mínimo de 0,85 metros em fevereiro de 1997. A zona afótica variou entre 3,95 a 11,65 metros, nos meses de julho de 1997 e janeiro de 1997, respectivamente. A zona de mistura

para estação 3 chegou ao fundo, nos meses de dezembro de 1996, janeiro, março, abril e maio de 1997, apresentando menor profundidade no mês de outubro de 1996 (3,50 m) e maior profundidade no mês de janeiro de 1997 (12,80 m). Os maiores valores da relação profundidade máxima/ zona eufótica, foram encontrados nos meses de janeiro (11,13) e fevereiro (12,35) de 1997, e o menor, no mês de julho de 1997 (1,63). A relação zona eufótica/ zona de mistura, apresentou o menor valor no mês de janeiro de 1997 (0,09) e o maior, no mês de julho de 1997 (0,89).

Na estação 4, a menor profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, ocorreu no mês de janeiro de 1997 (0,40 m), e o maior valor, no mês de julho de 1997 (2,00 m). Valores entre 5 e 23 foram obtidos para o coeficiente de atenuação (K), nos meses de julho e janeiro de 1997, respectivamente. A profundidade máxima na estação 4 variou entre 7,2 e 11,5 metros (fevereiro de 1997 e agosto de 1996). A zona eufótica apresentou a menor profundidade no mês de janeiro de 1997, um valor de 1,25 metros, sendo sua maior profundidade encontrada no mês de julho de 1997: 4,50 metros. Inversamente à zona eufótica, a zona afótica apresentou a menor altura em julho e a maior, em janeiro de 1997: 5,10 e 8,25 metros respectivamente. A zona de mistura variou de 1,00 metro, em outubro de 1996 e fevereiro de 1997, a 9,50 metros, em janeiro e maio de 1997, chegando ao fundo nos meses de agosto e dezembro de 1996, janeiro e maio de 1997. A relação profundidade máxima/ zona eufótica foi máxima no mês de janeiro de 1997 (7,60), sendo o valor mínimo encontrado no mês de julho de 1997 (2,13). A relação zona eufótica/ zona de mistura, oscilou entre o menor valor encontrado no mês de janeiro de 1997 (0,13) e o maior valor no mês de outubro de 1996 (3,30).

Na estação 5, para a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi foram encontrados menor valor (0,45m), em novembro de 1996 e maior (2,45m) em julho de 1997. O coeficiente de atenuação (K), nessa estação de coleta, variou entre 4, nos meses de maio e julho de 1997 e 20 em novembro de 1996. A profundidade durante o período de coleta na estação 5 variou entre 5,2 e 14,8 metros, nos meses de junho e março de 1997, respectivamente. A zona eufótica atingiu a menor profundidade no mês de novembro de 1996 (1,45 m), e a maior, no mês de julho de 1997 (5,60 m). Para a zona afótica, os valores ficaram entre 0,40 e 8,80 metros

(junho e janeiro de 1997, respectivamente). A zona de mistura aprofundou-se completamente, atingindo o fundo, nos meses de dezembro de 1996, janeiro, abril e maio de 1997. No mês de outubro de 1996 sua profundidade atingiu apenas 1,00 m. A relação profundidade máxima/ zona eufótica, apresentou o maior valor (6,18) no mês de janeiro, e o menor valor (1,08), foi encontrado no mês de junho de 1997. A relação zona eufótica/ zona de mistura, foi menor no mês de janeiro de 1997 (0,16), e maior no mês de outubro de 1996 (3,60).

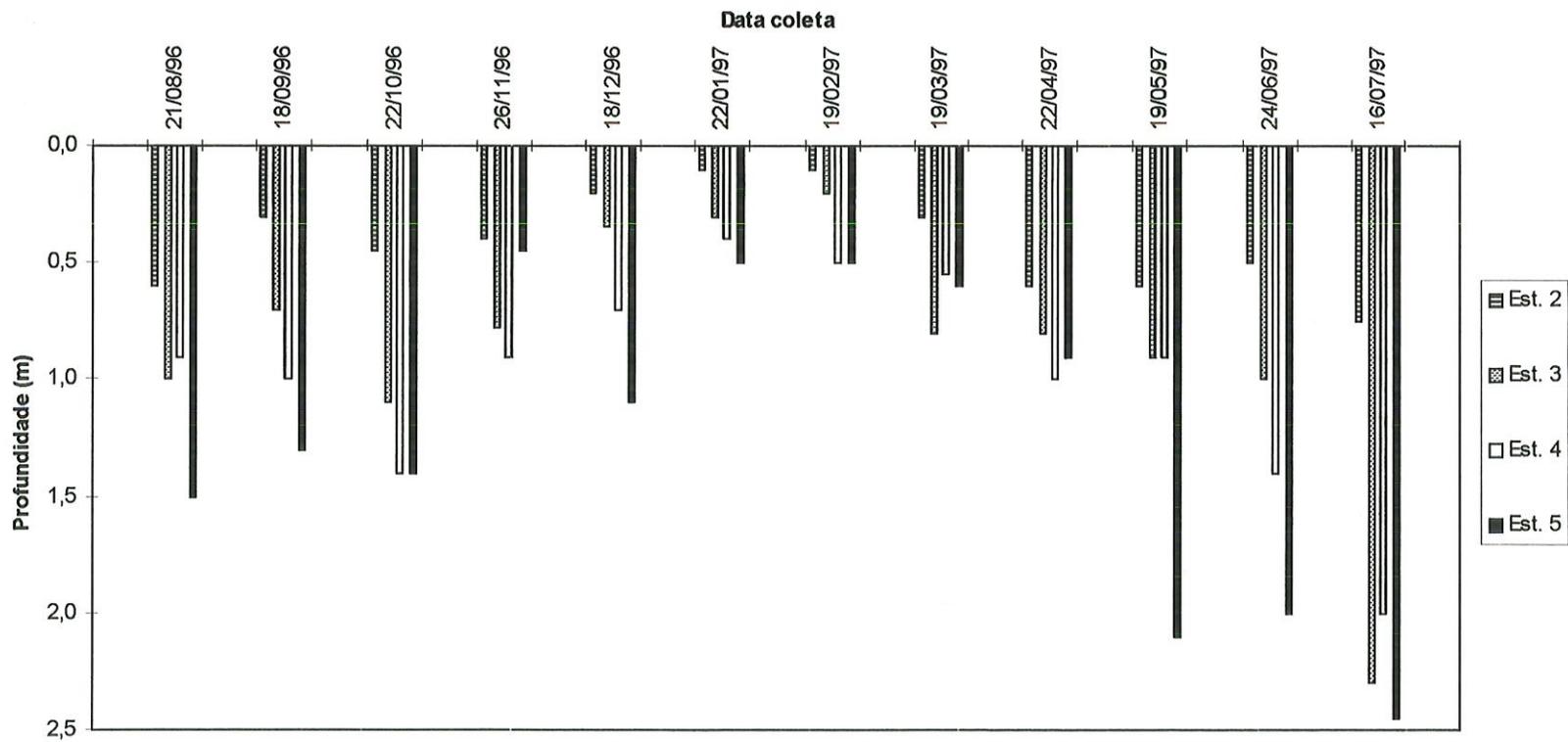


FIGURA 8 - Variação da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5 no período de agosto de 1996 a julho de 1997 na Represa de Salto Grande.

TABELA 5 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar fotossinteticamente ativa na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 2, no período de coleta.

Variável Data	D.S. (m)	Rad. Solar sub- superfície ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	K (m^{-1})	Zmax (m)	Zeuf (m)	Zaf (m)	Zmix	Zmax/Zeuf	Zeuf/Zmix
21/08/96	0,60	600	15	4,10	2,00	2,10	4,10	2,05	0,49
18/09/96	0,30	750	30	2,20	0,90	1,25	2,20	2,39	0,42
22/10/96	0,45	800	20	2,50	1,50	1,00	2,50	1,67	0,60
26/11/96	0,40	850	23	3,00	1,60	1,40	3,00	1,88	0,53
18/12/96	0,20	170	45	2,80	1,00	1,80	2,80	2,80	0,36
22/01/97	0,10	150	90	2,00	0,45	1,55	2,00	4,44	0,23
19/02/97	0,10	850	90	2,10	0,55	1,55	2,10	3,82	0,26
19/03/97	0,30	*	30	1,60	*	*	1,60	*	*
22/04/97	0,60	725	15	2,00	2,00	0,00	2,00	1,00	1,00
19/05/97	0,60	550	15	2,20	2,00	0,15	2,20	1,08	0,93
24/06/97	0,50	350	18	2,20	1,75	0,45	2,20	1,26	0,80
16/07/97	0,75	260	12	2,30	2,25	0,05	2,30	1,02	0,98

TABELA 6 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar fotossinteticamente ativa na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 3, no período de coleta.

Variável Data	D.S. (m)	Rad. Solar sub- superfície ($\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	K (m^{-1})	Zmax (m)	Zeuf (m)	Zaf (m)	Zmix	Zmax/Zeuf	Zeuf/Zmix
21/08/96	1,00	610	9	12,5	2,60	9,90	4,50	4,81	0,58
18/09/96	0,70	750	13	8,0	2,45	5,55	6,50	3,27	0,38
22/10/96	1,10	800	8	12,0	3,10	8,90	3,50	3,87	0,89
26/11/96	0,78	850	12	11,5	2,40	9,10	9,00	4,79	0,27
18/12/96	0,35	170	26	11,2	1,60	9,60	11,20	7,00	0,14
22/01/97	0,30	160	30	12,8	1,15	11,65	12,80	11,13	0,09
19/02/97	0,20	900	45	10,5	0,85	9,65	6,00	12,35	0,14
19/03/97	0,80	650	11	9,7	2,60	7,10	9,70	3,73	0,27
22/04/97	0,80	700	11	11,5	2,00	9,50	11,50	5,75	0,17
19/05/97	0,90	550	10	9,6	2,40	7,20	9,60	4,00	0,25
24/06/97	1,00	370	9	10,6	3,25	7,35	4,50	3,26	0,72
16/07/97	2,30	350	4	10,2	6,25	3,95	7,00	1,63	0,89

TABELA 7 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar fotossinteticamente ativa na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 4, no período de coleta.

Variável Data	D.S. (m)	Rad. Solar sub- superfície ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	K (m^{-1})	Zmax (m)	Zeuf (m)	Zaf (m)	Zmix	Zmax/Zeuf	Zeuf/Zmix
21/08/96	0,90	690	10	11,5	2,75	8,75	2,50	4,18	1,10
18/09/96	1,00	850	9	8,5	2,80	5,75	8,50	3,04	0,33
22/10/96	1,40	800	6	9,5	3,30	6,20	1,00	2,88	3,30
26/11/96	0,90	900	10	8,5	2,80	5,70	7,50	3,04	0,37
18/12/96	0,70	250	13	8,2	2,25	5,90	8,15	3,62	0,28
22/01/97	0,40	350	23	9,5	1,25	8,25	9,50	7,60	0,13
19/02/97	0,50	800	18	7,2	1,60	5,60	1,00	4,50	1,60
19/03/97	0,55	840	16	8,5	2,30	6,20	8,00	3,70	0,29
22/04/97	1,00	850	9	9,5	2,75	6,75	9,00	3,45	0,31
19/05/97	0,90	510	10	9,5	2,80	6,70	9,50	3,39	0,29
24/06/97	1,40	450	6	8,9	4,00	4,90	3,50	2,23	1,14
16/07/97	2,00	450	5	9,6	4,50	5,10	7,50	2,13	0,60

TABELA 8 - Valores de: profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (D.S.), radiação solar fotossinteticamente ativa na sub-superfície, coeficiente de atenuação (K), profundidade máxima (Zmax), zona eufótica (Zeuf), zona afótica (Zaf), zona de mistura (Zmix), relação entre profundidade máxima e zona eufótica e relação entre zona eufótica e zona de mistura na estação 5, no período de coleta.

Variável Data	D.S. (m)	Rad. Solar sub- superfície ($\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	K (m^{-1})	Zmax (m)	Zeuf (m)	Zaf (m)	Zmix	Zmax/Zeuf	Zeuf/Zmix
21/08/96	1,50	710	6	6,5	3,75	2,75	2,00	1,73	1,88
18/09/96	1,30	750	7	10,0	3,30	6,75	9,00	3,03	0,37
22/10/96	1,40	900	6	5,5	3,60	1,90	1,00	1,53	3,60
26/11/96	0,45	900	20	8,5	1,45	7,05	5,50	5,86	0,26
18/12/96	1,10	600	8	6,0	3,40	2,60	6,00	1,76	0,57
22/01/97	0,50	550	18	10,5	1,70	8,80	10,50	6,18	0,16
19/02/97	0,50	860	18	9,6	2,00	7,60	7,00	4,80	0,29
19/03/97	0,60	*	15	14,8	*	*	3,00	*	*
22/04/97	0,90	850	10	7,5	2,75	4,75	7,50	2,73	0,37
19/05/97	2,10	600	4	8,4	4,70	3,70	8,40	1,79	0,56
24/06/97	2,00	800	5	5,2	4,80	0,40	3,00	1,08	1,60
16/07/97	2,45	500	4	7,8	5,60	2,20	7,00	1,39	0,80

4.3 Variáveis físicas e químicas

4.3.1 A água

4.3.1.1 pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$).

Na TABELA 9, estão apresentados os valores de pH, condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), concentração de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 1, do rio Atibaia, a montante no reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1996 a julho de 1997.

O pH para estação 1, apresentou variações ao longo do tempo: o maior valor obtido foi de 7,22 em fevereiro de 1997 e o menor, de 6,43 em setembro de 1996.

A condutividade elétrica para esta estação apresentou o maior valor em maio de 1997 ($325 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), e o menor, em fevereiro de 1997 ($94 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

As concentrações de oxigênio dissolvido para estação 1, apresentaram uma queda gradual de agosto a novembro de 1996 de $1,92 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, e uma elevação gradual de novembro de 1996 a fevereiro de 1997 de $1,86 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, voltando novamente a cair e registrando a menor concentração no mês de maio de 1997 com $5,11 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

A temperatura da água variou de $6,5^{\circ}\text{C}$, apresentando o menor valor em junho de 1997, $19,3^{\circ}\text{C}$, e o maior, em janeiro de 1997, $25,8^{\circ}\text{C}$.

Na TABELA 10, estão apresentados os valores do pH, da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), concentrações de oxigênio dissolvido ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 6, rio Atibaia, a jusante do reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1996 a julho de 1997.

O pH na estação 6 variou ao longo do tempo, entre 7,21 (fevereiro de 1997) e 6,14 (setembro de 1996).

O maior valor de condutividade elétrica foi obtido em agosto de 1996 ($233 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), e o menor, em julho de 1997 ($78 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$).

O oxigênio dissolvido, para estação 6, apresentou a maior concentração no mês de outubro de 1996 ($6,80 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$); nos demais meses, as concentrações foram

mantidas baixas, variando entre 2,36 mg.L⁻¹ em maio de 1997 e 4,67 mg.L⁻¹ em setembro de 1996.

A temperatura da água variou entre 26,4 °C, em março de 1997, e 18,5 °C em junho de 1997.

TABELA 9 - Valores de pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura da água (°C) na estação 1 no período de agosto de 1996 a julho de 1997 na sub-superfície.

Data	pH	condutividade.	oxigênio diss.	Temperatura
21/08/96	7,20	205	7,44	21,0
18/09/96	6,43	117	6,62	21,9
22/10/96	6,46	121	6,32	25,6
26/11/96	7,01	143	5,52	24,9
18/12/96	6,75	110	6,55	25,0
22/01/97	7,10	121	7,24	25,8
19/02/97	7,22	94	7,38	24,0
19/03/97	6,47	162	6,02	25,7
22/04/97	6,67	212	5,89	23,6
21/05/97	7,02	325	5,11	21,6
24/06/97	6,94	180	6,16	19,3
16/07/97	7,09	284	6,11	20,3



TABELA 10 - Valores de pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na estação 6 no período de agosto de 1996 a julho de 1997 na sub-superfície.

data	pH	condutividade	oxigênio diss.	Temperatura
21/08/96	6,96	233	3,23	19,2
18/09/96	6,14	117	4,67	21,3
22/10/96	6,27	95	6,80	24,3
26/11/96	7,17	152	4,10	24,6
18/12/96	6,54	159	2,48	25,7
22/01/97	6,92	113	3,64	26,0
19/02/97	7,21	114	2,55	25,8
19/03/97	6,20	142	3,92	26,4
22/04/97	6,64	183	5,75	23,9
21/05/97	6,99	205	2,36	22,1
24/06/97	6,71	169	5,61	18,5
16/07/97	6,61	78	3,77	19,7

Nas figuras de 9 a 12 são apresentados os perfis mensais de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) para as estações 2, 3, 4 e 5, respectivamente, no período de agosto de 1996 a julho de 1997, no reservatório de Salto Grande.

As concentrações de oxigênio dissolvido para a estação 2, não variaram muito entre a superfície e o fundo. Ao longo do tempo, as concentrações de oxigênio dissolvido variaram entre $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ no mês de maio de 1997 e 5 mg.L^{-1} no mês de fevereiro de 1997 (FIGURA 9).

Na estação 3 as concentrações de oxigênio dissolvido variaram tanto no eixo temporal, quanto no espacial, com exceção dos meses de fevereiro e março de 1997, quando as concentrações mantiveram-se quase constantes ao longo do eixo vertical. Nos demais meses, ocorreram quedas acentuadas na concentração de oxigênio, chegando a apresentar anoxia nas maiores profundidades, nos meses de agosto, outubro e dezembro de 1996 e janeiro, abril, maio, junho e julho de 1997. As

concentrações próximas à superfície variaram de, $9,65 \text{ mg.L}^{-1}$, em agosto de 1996, a $2,25 \text{ mg.L}^{-1}$, em março de 1997 (FIGURA 10).

Na estação 4, as concentrações de oxigênio dissolvido também variaram nos eixos temporal e espacial. Somente no mês de outubro de 1996, as concentrações de oxigênio dissolvido, ao longo do eixo vertical, não demonstraram uma estratificação muito evidente, apesar de terem variado de $6,48 \text{ mg.L}^{-1}$, próximo a superfície, a $4,56 \text{ mg.L}^{-1}$, próximo ao fundo. Nos demais meses, quedas na concentração de oxigênio com aumento da profundidade, chegaram ao máximo nos meses de janeiro, abril, maio, junho e julho de 1997, apresentando fundo anóxico. As concentrações próximas à superfície variaram de 14 mg.L^{-1} , em agosto de 1996, a 5 mg.L^{-1} em março de 1997 (FIGURA 11).

Pode-se observar que na estação 5, somente o mês de maio de 1997 não apresentou-se estratificado para de oxigênio dissolvido muito evidente. Os demais meses apresentaram estratificações no perfil de oxigênio dissolvido, chegando a apresentar anoxia nos meses de janeiro, fevereiro, março e julho de 1997. O mês de outubro de 1996, apresentou uma estratificação inversa, aumentando a concentração da superfície para o fundo de $3,70 \text{ mg.L}^{-1}$ (0,5 m), a $5,09 \text{ mg.L}^{-1}$ (3 m), voltando a cair próximo ao fundo ($4,05 \text{ mg.L}^{-1}$). As concentrações próximas à superfície da água variaram entre 12 mg.L^{-1} , em agosto de 1996, a $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$, em maio de 1997 (FIGURA 12).

A temperatura da água na estação 2 variou ao longo do tempo entre $19 \text{ }^\circ\text{C}$, em agosto de 1996 e junho de 1997, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ em janeiro de 1997, não apresentando variação ao longo do eixo vertical que caracterizasse estratificação térmica (FIGURA 9).

Para estação 3, a temperatura da água variou, significativamente, da superfície ao fundo, caracterizando estratificação térmica, nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 1996, e fevereiro, junho e julho de 1997. As temperaturas mais baixas foram registradas no mês de junho de 1997 ($17,5 \text{ }^\circ\text{C}$ próximo ao fundo), e as mais altas, no mês de janeiro de 1997 ($26,1^\circ\text{C}$ próximo à superfície) (FIGURA 10).

Quedas bruscas na temperatura da água, entre zero e um metro de profundidade, foram registradas na estação 4 nos meses de outubro de 1996 e

fevereiro de 1997. Valores decrescentes de temperatura da água da superfície ao fundo, formando estratificação térmica, foram registrados nos meses de agosto, outubro e novembro de 1996 e fevereiro, março, abril, junho e julho de 1997. A menor temperatura foi registrada no mês de junho de 1997 (17,8 °C, próximo ao fundo), e a maior, no mês de fevereiro de 1997 (26,9 °C próximo à superfície) (FIGURA 11).

A estação 5 apresentou variação da temperatura na coluna d'água, caracterizando estratificação térmica, nos meses de agosto a novembro de 1996, e fevereiro, março, junho e julho de 1997. A temperatura mais elevada foi registrada no mês de março (27,3 °C próximo à superfície) e a menor, de 18,0 °C, no mês de junho de 1997, próximo ao fundo (FIGURA 12).

Os valores de pH da água para as estações de coleta 2, 3, 4 e 5 no reservatório de Salto Grande, obtidos nos meses de agosto de 1996 a julho de 1997, estão apresentados nas tabelas de 11 a 14. Os valores de pH variaram ao longo do espaço e do tempo entre 5,60 e 8,79, sendo em média, em torno de 6,0. Os maiores valores foram registrados na estação 5, no mês de novembro (8,79), e na estação 4, no mês de agosto (8,45). O menor valor foi registrado na estação 3 no mês de novembro de 1996 (5,60), próximo ao fundo.

A estação 2 apresentou variação do pH, ao longo do tempo, entre 5,90, em outubro de 1996, a 6,73, nos meses de janeiro e julho de 1997, não apresentando variação significativa ao longo do eixo vertical.

Nas estações 3, 4 e 5 o pH variou no eixo vertical em todos os meses, sendo que no mês de fevereiro de 1997, para estação 3 e no mês de março de 1997, para estação 5, esta variação foi inversa aos demais meses, com aumento no valor do pH da superfície para o fundo. A maior diferença entre o pH da superfície e do fundo, na estação 3, foi registrada no mês de outubro de 1996 (0,71) e a menor no mês de junho de 1997 (0,16). Na estação 4 a maior diferença foi registrada no mês de agosto de 1996 (1,9) e a menor nos meses de setembro e outubro de 1996 (0,28). A estação 5 apresentou a maior diferença no mês de novembro de 1996 (1,84) e a menor no mês de abril de 1997 (0,14).

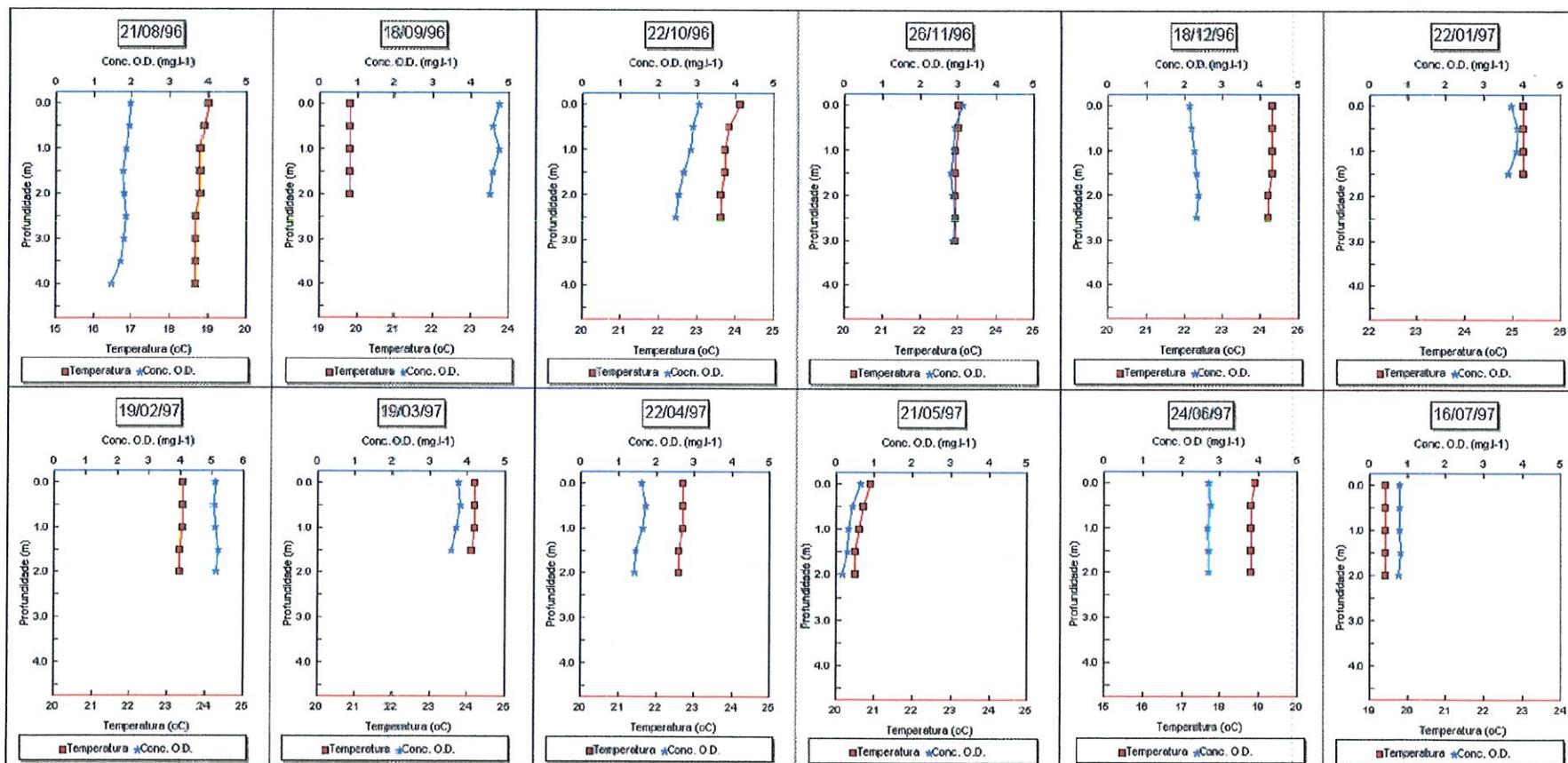


FIGURA 9 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 2, no período de agosto/96 a julho/97.

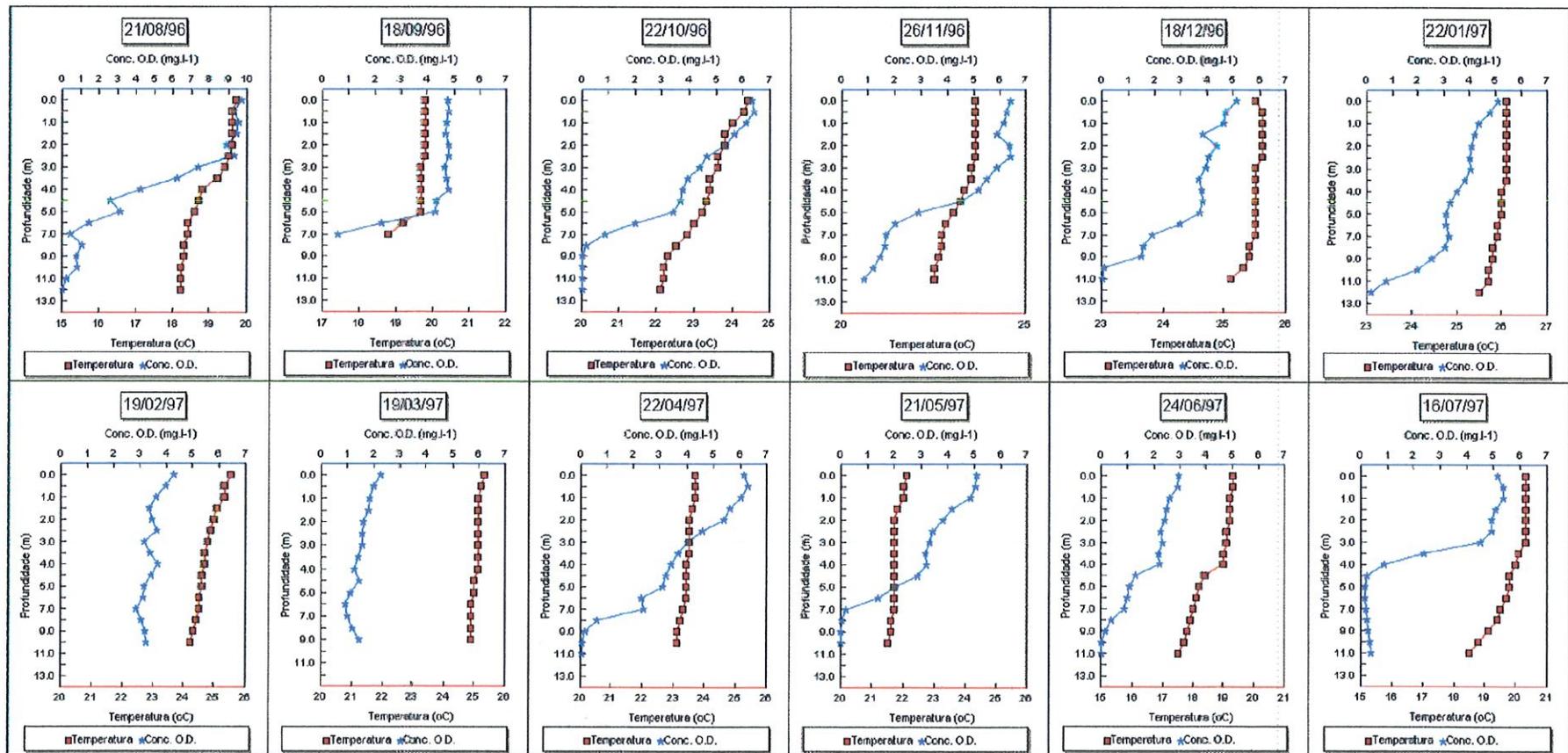


FIGURA 10 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 3, no período de agosto/96 a julho/97.

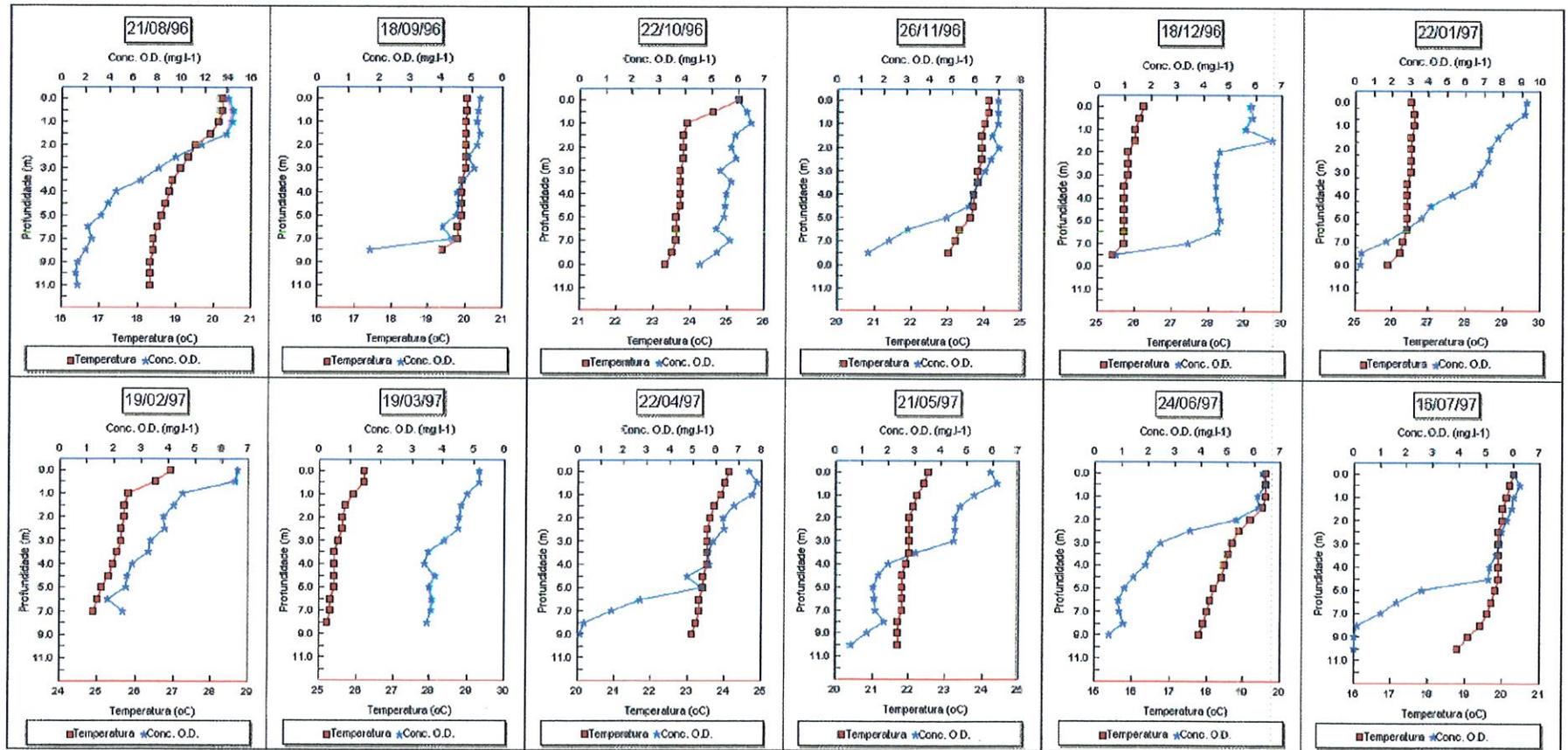


FIGURA 11 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 4, no período de agosto/96 a julho/97.

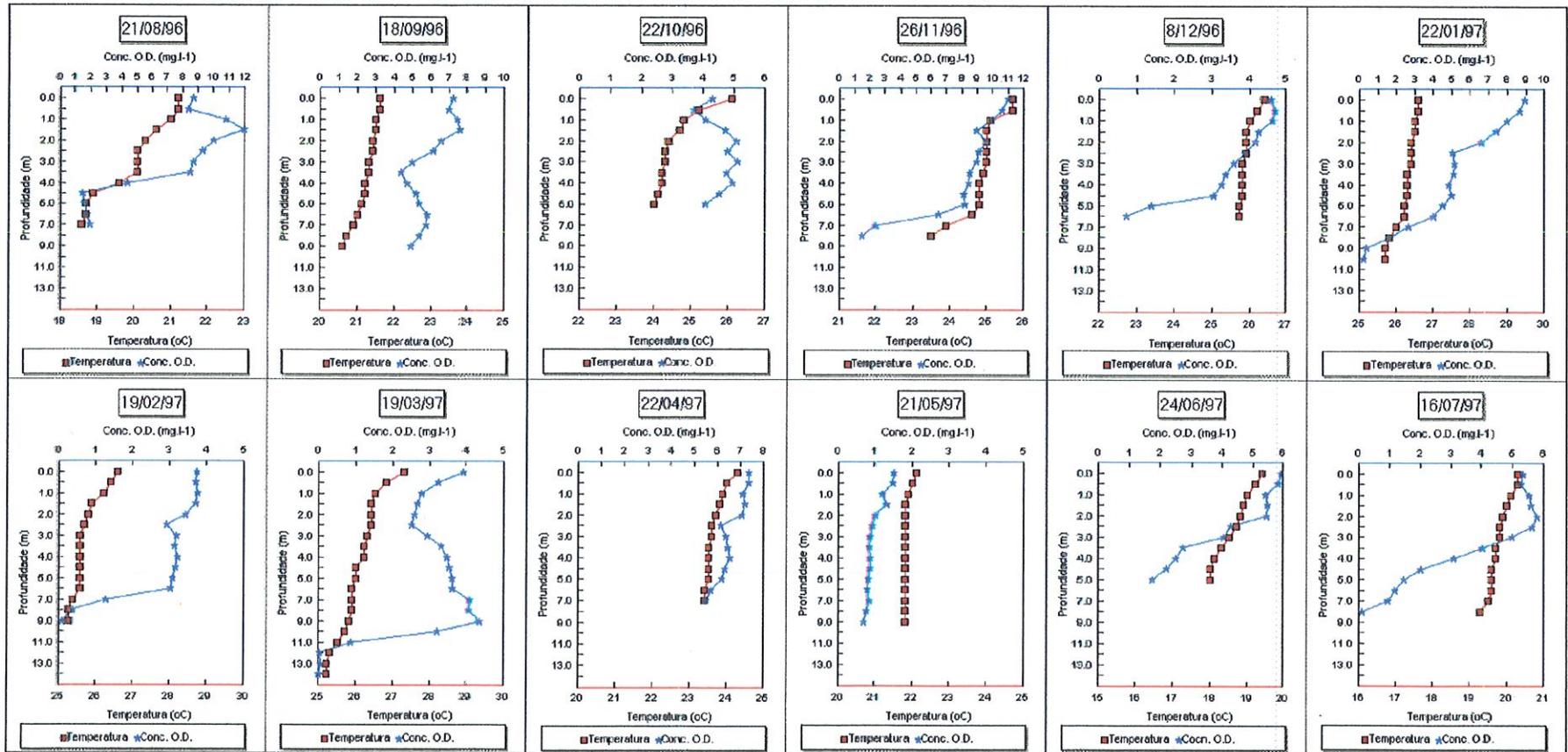


FIGURA 12 - Perfis mensais da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}) e temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) na estação 5, no período de agosto/96 a julho/97.

TABELA 11 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 2, no período de agosto/96 a julho/97.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	6,27	5,96	5,84	6,64	6,42	6,73	6,27	6,29	6,12	6,66	6,57	6,70
0,5	6,33	6,03	5,90	6,65	6,44	6,66	6,40	6,41	6,37	6,70	6,64	6,72
1,0	6,45	6,04	5,93	6,67	6,41	6,59	6,39	6,48	6,40	6,72	6,68	6,72
1,5	6,57	6,07	5,93	6,66	6,44	6,60	6,29	6,47	6,36	6,71	6,72	6,73
2,0	6,65	6,08	5,94	6,67	6,43	*	6,27	*	6,32	6,71	6,72	6,72
2,5	6,71	*	5,92	6,66	6,44	*	*	*	*	*	*	*
3,0	6,71	*	*	6,65	*	*	*	*	*	*	*	*
3,5	6,63	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4,0	6,59	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

TABELA12 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 3, no período de agosto/96 a julho/97.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	7,22	6,12	6,31	7,19	6,64	6,68	6,46	6,40	7,02	6,97	6,70	6,91
0,5	7,23	6,10	6,29	7,16	6,67	6,67	6,48	6,48	6,84	6,92	6,64	6,91
1,0	7,24	6,10	6,27	7,12	6,74	6,64	6,44	6,43	6,86	6,90	6,64	6,91
1,5	7,27	6,08	6,24	7,11	6,74	6,61	6,41	6,36	6,85	6,89	6,63	6,90
2,0	7,29	6,04	6,22	7,09	6,76	6,61	6,40	6,37	6,72	6,82	6,61	6,89
2,5	7,29	6,04	6,13	7,04	6,69	6,60	6,44	6,38	6,66	6,79	6,58	6,87
3,0	7,25	6,02	6,05	7,04	6,65	6,62	6,46	6,32	6,61	6,76	6,59	6,85
3,5	7,09	5,99	5,99	7,02	6,65	6,58	6,48	6,35	6,55	6,75	6,61	6,75
4,0	6,95	5,98	5,89	6,97	6,63	6,58	6,52	6,34	6,52	6,74	6,62	6,63
4,5	6,83	5,97	5,85	6,91	6,67	6,54	6,54	6,32	6,52	6,69	6,59	6,57
5,0	6,79	5,96	5,82	6,87	6,64	6,52	6,55	6,35	6,49	6,65	6,58	6,54
6,0	6,75	5,90	5,76	6,76	6,63	6,49	6,56	6,32	6,49	6,60	6,56	6,53
7,0	6,66	5,78	5,68	6,71	6,58	6,50	6,54	6,33	6,49	6,54	6,56	6,53
8,0	6,65	*	5,63	6,68	6,51	6,49	6,54	6,32	6,46	6,49	6,55	6,51
9,0	6,66	*	5,62	6,68	6,51	6,50	6,58	6,30	6,46	6,49	6,55	6,49
10,0	6,65	*	5,61	6,65	6,47	6,46	6,54	*	6,47	6,50	6,55	6,47
11,0	6,63	*	5,61	6,63	6,45	6,45	*	*	6,59	*	6,54	6,44
12,0	6,58	*	5,60	*	*	6,45	*	*	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

TABELA 13 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 4, no período de agosto/96 a julho/97.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0.0	8.45	6.24	6.20	7.18	6.87	7.49	7.04	6.32	7.00	6.98	6.92	6.79
0.5	8.45	6.23	6.19	7.19	6.85	7.56	6.93	6.36	7.00	6.95	6.89	6.78
1.0	8.41	6.22	6.22	7.19	6.85	7.57	6.85	6.39	7.04	6.93	6.91	6.77
1.5	8.27	6.21	6.22	7.19	6.85	7.53	6.77	6.36	7.01	6.87	6.90	6.76
2.0	8.01	6.20	6.17	7.19	6.81	7.53	6.73	6.37	6.93	6.82	6.86	6.74
2.5	7.45	6.20	6.13	7.15	6.77	7.15	6.73	6.35	6.98	6.79	6.77	6.73
3.0	7.14	6.18	6.10	7.16	6.76	7.09	6.69	6.30	6.87	6.78	6.67	6.71
3.5	6.99	6.16	6.08	7.12	6.78	6.93	6.60	6.30	6.85	6.74	6.61	6.70
4.0	6.84	6.15	6.06	7.11	6.78	6.87	6.58	6.31	6.82	6.66	6.60	6.69
4.5	6.74	6.12	6.05	7.08	6.79	6.82	6.53	6.24	6.76	6.60	6.60	6.68
5.0	6.69	6.11	6.03	7.03	6.77	6.76	6.50	6.24	6.77	6.58	6.58	6.62
6.0	6.61	6.06	6.02	6.90	6.76	6.63	6.49	6.22	6.70	6.57	6.56	6.53
7.0	6.57	6.02	6.00	6.82	6.66	6.60	6.47	6.26	6.65	6.55	6.55	6.48
8.0	6.54	5.96	5.98	6.75	6.45	6.48	*	6.26	6.59	6.55	6.54	6.44
9.0	6.55	*	5.92	*	*	6.48	*	*	6.60	6.54	6.55	6.41
10.0	6.56	*	*	*	*	*	*	*	*	6.48	*	6.39
11.0	6.55	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

TABELA 14 - Variação espaço-temporal dos valores mensais de pH, na estação 5, no período de agosto/96 a julho/97.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	6,91	6,36	5,99	8,79	6,81	7,36	6,60	6,26	7,00	6,45	6,88	6,51
0,5	6,91	6,35	5,91	8,78	6,80	7,24	6,61	6,24	6,99	6,44	6,85	6,51
1,0	6,93	6,35	5,86	8,66	6,74	7,07	6,63	6,17	7,00	6,42	6,83	6,50
1,5	7,25	6,39	5,87	8,55	6,75	6,90	6,63	6,16	6,99	6,41	6,81	6,52
2,0	7,27	6,36	5,93	8,53	6,70	6,85	6,62	6,17	6,99	6,40	6,79	6,53
2,5	7,06	6,28	5,96	8,40	6,69	6,70	6,60	6,18	6,97	6,38	6,79	6,55
3,0	6,96	6,18	5,97	8,23	6,64	6,64	6,59	6,19	6,95	6,37	6,72	6,53
3,5	6,87	6,12	5,97	8,08	6,64	6,63	6,60	6,24	6,95	6,36	6,69	6,50
4,0	6,71	6,11	5,97	8,06	6,64	6,60	6,55	6,30	6,94	6,35	6,64	6,44
4,5	6,52	6,14	5,94	8,04	6,63	6,63	6,55	6,32	6,94	6,34	6,63	6,40
5,0	6,45	6,15	5,92	7,95	6,51	6,59	6,55	6,32	6,94	6,34	6,60	6,35
6,0	6,44	6,19	5,81	7,68	6,50	6,54	6,49	6,35	6,94	6,31	*	6,32
7,0	6,48	6,19	*	7,25	7,08	6,46	6,43	6,37	6,86	6,29	*	6,30
8,0	*	6,16	*	6,95	*	6,41	6,39	6,42	*	6,27	*	6,28
9,0	*	6,12	*	*	*	6,35	6,35	6,43	*	6,23	*	*
10,0	*	6,11	*	*	*	6,54	*	6,40	*	*	*	*
11,0	*	*	*	*	*	*	*	6,31	*	*	*	*
12,0	*	*	*	*	*	*	*	6,25	*	*	*	*
13,0	*	*	*	*	*	*	*	6,26	*	*	*	*
14,0	*	*	*	*	*	*	*	6,29	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

Os valores de condutividade elétrica da água ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) nas estações 2, 3, 4 e 5 no reservatório de Salto Grande, estão apresentados nas tabelas de 15 a 18, respectivamente.

Os valores de condutividade elétrica da água nas estações 2, 3, 4 e 5, não apresentaram variações acentuadas, da superfície ao fundo, em todos os períodos de coleta.

Para a estação 2, a variação na condutividade ao longo do tempo foi de 232 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sendo a mínima encontrada de 84 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (fevereiro de 1997), e a máxima, de 316 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (maio de 1997) (TABELA 15).

A estação 3 apresentou uma variação na condutividade elétrica de 170 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, apresentando valores mínimo de 81 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, e máximo de 251 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em julho de 1997 e agosto de 1996 respectivamente (TABELA 16).

Na estação 4, a condutividade variou entre 81 e 248 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (julho de 1997 e agosto de 1996 respectivamente) (TABELA 17).

A estação 5 apresentou uma variação de valores de 140 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, com mínimo de 95 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e máximo de 235 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em outubro e agosto de 1996 respectivamente (TABELA 18).

Ao longo do eixo espacial os valores da condutividade elétrica não apresentou um padrão de variação definido.

TABELA 15 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 2, no período de coleta na Represa de Salto Grande.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	216	121	121	89	119	114	84	176	213	316	190	278
0,5	216	121	121	90	119	114	84	176	207	312	190	277
1,0	217	121	121	90	119	115	85	177	204	313	190	277
1,5	217	120	121	89	120	116	85	177	205	312	190	278
2,0	217	121	120	89	121	*	85	*	205	312	190	279
2,5	217	*	121	91	120	*	*	*	*	*	*	*
3,0	217	*	*	90	*	*	*	*	*	*	*	*
3,5	217	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4,0	220	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

TABELA 16 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 3, no período de coleta na Represa de Salto Grande.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	235	88	101	87	131	111	114	163	213	233	156	204
0,5	235	88	102	87	133	111	113	162	215	233	155	208
1,0	235	88	101	87	132	111	113	162	214	236	155	208
1,5	235	88	101	87	132	111	115	162	215	236	156	208
2,0	236	88	101	87	131	111	116	162	216	237	156	208
2,5	236	89	101	87	132	111	112	162	216	237	156	207
3,0	234	88	100	89	131	111	108	162	217	238	157	204
3,5	233	89	101	87	132	111	104	163	218	236	157	201
4,0	232	88	101	87	131	110	103	164	219	236	157	203
4,5	230	89	101	89	132	110	104	166	219	236	157	200
5,0	237	89	101	88	132	110	105	169	219	236	158	200
6,0	234	90	101	87	131	111	105	172	222	235	159	200
7,0	234	90	99	89	130	111	104	171	218	237	159	200
8,0	249	*	97	90	125	113	102	170	226	238	159	200
9,0	250	*	97	90	124	114	101	170	229	242	160	200
10,0	251	*	97	91	125	113	100	*	230	255	161	200
11,0	249	*	98	90	129	113	*	*	235	*	163	200
12,0	245	*	98	*	*	114	*	*	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

TABELA 17 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 4, no período de coleta na Represa de Salto Grande.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	241	101	97	88	150	110	115	146	182	206	166	81
0,5	241	101	95	88	151	110	114	146	181	206	166	83
1,0	241	101	95	88	152	110	114	145	182	205	166	84
1,5	241	101	95	89	153	110	114	145	184	205	166	84
2,0	241	101	94	89	155	110	115	146	185	206	166	84
2,5	242	101	95	88	155	110	114	146	186	205	164	84
3,0	243	101	94	87	156	110	116	146	186	205	162	84
3,5	243	100	95	88	156	111	115	146	186	207	161	84
4,0	245	99	94	88	156	111	121	146	188	210	161	84
4,5	245	99	95	89	156	112	122	146	188	210	161	84
5,0	245	99	95	87	156	114	119	146	195	215	160	84
6,0	244	97	94	89	156	114	122	147	199	216	161	85
7,0	244	98	95	89	153	114	115	150	207	220	162	84
8,0	247	104	95	86	146	115	*	150	213	224	163	84
9,0	248	*	95	*	*	116	*	*	*	226	162	82
10,0	248	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	82
11,0	248	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

TABELA 18 - Variação espaço-temporal dos valores de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) na estação 5, no período de coleta na Represa de Salto Grande.

Profundidade	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
0,0	232	114	96	154	159	111	113	141	182	201	166	163
0,5	232	115	95	153	158	111	113	141	181	202	166	164
1,0	231	115	95	152	159	111	113	141	182	203	166	164
1,5	231	114	95	152	158	111	113	141	183	204	166	164
2,0	232	114	95	152	159	111	114	140	183	204	167	166
2,5	231	115	95	152	159	112	114	141	183	204	168	166
3,0	232	115	95	152	158	112	114	141	183	204	169	167
3,5	231	115	95	152	158	112	115	141	183	204	168	167
4,0	231	114	95	151	158	112	115	141	183	203	168	166
4,5	231	115	95	151	158	112	115	142	183	204	168	165
5,0	232	114	95	152	158	112	115	142	182	205	169	165
6,0	235	114	*	153	160	112	116	143	181	203	*	164
7,0	*	113	*	152	*	113	117	144	184	203	*	164
8,0	*	112	*	154	*	114	118	145	*	204	*	163
9,0	*	111	*	*	*	114	119	145	*	204	*	*
10,0	*	*	*	*	*	116	*	146	*	*	*	*
11,0	*	*	*	*	*	*	*	146	*	*	*	*
12,0	*	*	*	*	*	*	*	148	*	*	*	*
13,0	*	*	*	*	*	*	*	149	*	*	*	*
14,0	*	*	*	*	*	*	*	150	*	*	*	*

* - valores ausentes pois o aparelho atingiu o fundo.

4.3.1.2 Fósforo total e nas frações >68; <68>20; <20>0,45 (μm); fosfato dissolvido inorgânico (<0,45 inrog.) e fosfato dissolvido orgânico (<0,45 org.) ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

As concentrações de fósforo total e nas frações >68; <68>20; <20>0,45 (μm), fosfato dissolvido inorgânico e fosfato dissolvido orgânico ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas estações de coleta de 1 a 6, no reservatório de Salto Grande, estão apresentados nas tabelas de 19 a 24. Na FIGURA 13 estão apresentadas as médias anuais das concentrações de fósforo, anteriormente citadas, nas diferentes estações de coleta.

O maior valor médio de fósforo total foi obtido na estação 1, ocorrendo uma queda gradativa das médias ao longo do eixo longitudinal do reservatório.

A estação 1 foi a que apresentou maior concentração média de fosfato dissolvido inorgânico ($102,23 \mu\text{g.L}^{-1}$). Uma queda gradual na concentração foi observada da estação 1 à 6, atingindo o valor de $12,64 \mu\text{g.L}^{-1}$ na estação 5 superfície.

Na estação 1, no rio Atibaia, antes do reservatório, as concentrações de fósforo total, variaram de um máximo de $450,13 (\mu\text{g.L}^{-1})$ em fevereiro de 1997, a um mínimo de $107,32 (\mu\text{g.L}^{-1})$, em janeiro de 1997. As frações que apresentaram as maiores concentrações nessa estação foram as de fosfato dissolvido orgânico, variando de $25,66$ à $225,06 \mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro e maio de 1997, respectivamente) e a fração <20>0,45 μm , com concentrações variando entre $33,76$ e $195,18 \mu\text{g.L}^{-1}$ (janeiro e fevereiro de 1997).

Na estação 2, após a área alagada, no início do remanso do reservatório, as concentrações de fósforo total variaram de $90,40 (\mu\text{g.L}^{-1})$ em janeiro de 1997 a $354,68 (\mu\text{g.L}^{-1})$ em fevereiro de 1997. A fração <20>0,45 μm , foi a que apresentou as maiores concentrações nesta estação, variando entre $21,77$ a $172,18 \mu\text{g.L}^{-1}$ (janeiro e fevereiro de 1997), seguida do fosfato dissolvido orgânico ($32,46$ a $146,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, janeiro e maio de 1997).

As concentrações de fósforo total na estação 3, variaram de $73,01 (\mu\text{g.L}^{-1})$ em novembro de 1996, a $151,07 (\mu\text{g.L}^{-1})$ em fevereiro de 1997, na superfície e entre $60,59 \mu\text{g.L}^{-1}$ (outubro de 1996) e $284,80 \mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro de 1997), no fundo. A fração <20>0,45 μm foi a que apresentou as maiores concentrações, tanto para

superfície quanto para o fundo, variando de 13,15 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (julho de 1997) a 55,52 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (maio de 1997) na superfície e de 11,15 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (junho de 1997) a 56,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (janeiro de 1997) no fundo.

A estação 4, superfície, apresentou valores de fósforo total, variando entre 47,50 e 127,30 ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nos meses de abril e janeiro de 1997, respectivamente. Concentrações variando entre 11,98 e 35,99 ($\mu\text{g.L}^{-1}$), foram encontradas para fração <20>045 μm , nos meses de fevereiro e janeiro de 1997. Na estação 4 fundo, os valores de fósforo total variaram de 43,53 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (julho de 1997) a 115,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro de 1997). O fosfato dissolvido inorgânico foi a fração que apresentou as maiores concentrações, na estação 4 fundo, variando de 4,96 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (agosto de 1996) a 46,48 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro de 1997).

O fósforo total, na estação 5 superfície, variou entre 39,41 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em maio de 1997, a 92,28 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em fevereiro de 1997. A fração que apresentou as maiores concentrações foi a <20>045 μm , variando entre 7,89 a 39,87 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro de 1997 e novembro de 1996). Na estação 5 fundo, a concentração do fósforo total variou entre 31,64 e 89,63 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (agosto de 1996 e fevereiro de 1997). A fração <20>045 μm foi a que apresentou as maiores concentrações variando de 7,50 a 35,57 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (agosto e novembro de 1996).

Na estação 6, foram encontradas concentrações de fósforo total variando de 29,34 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em agosto de 1996 a 100,28 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em fevereiro de 1997 e concentrações variando de 0,00 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em agosto de 1996 a 76,89 ($\mu\text{g.L}^{-1}$) em fevereiro de 1997 para o fosfato dissolvido inorgânico.

As frações >68 e <68>20 μm , foram as que apresentaram as menores concentrações em todas as estações de coleta.

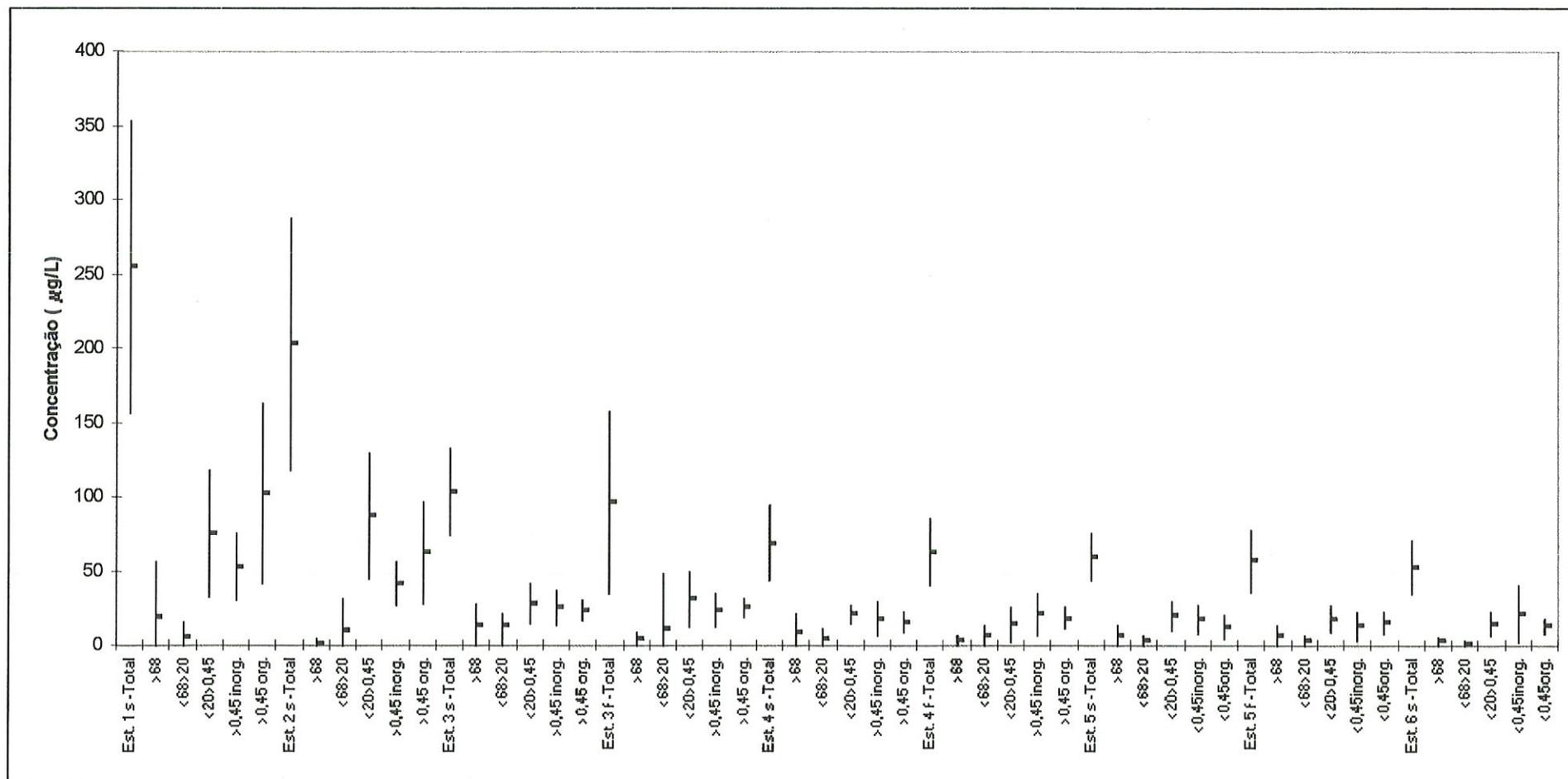


FIGURA 13 - Média e desvio padrão da concentração de fósforo total ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) e fósforo nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), nas estações de coleta da represa de Salto Grande.

TABELA 19 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na Estação 1 da represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	263,05	212,24	215,51	253,49	164,73	107,32	450,13	181,43	199,06	398,76	276,84	331,94
	>68	0,00	2,63	20,16	12,12	0,00	18,44	135,95	0,00	20,63	14,07	0,00	0,00
	<68>20	7,60	7,54	0,88	9,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,65	35,47	0,00
Superfície	<20>0,45	91,40	66,89	42,58	85,57	59,97	33,76	195,18	47,93	44,87	60,55	96,01	75,45
	>0,45 inorg.	41,89	47,25	54,46	59,70	50,08	21,20	93,34	45,80	17,93	91,43	64,20	47,21
	>0,45 org.	122,16	87,93	97,43	86,13	54,68	33,92	25,66	87,70	115,63	225,06	81,16	209,28

TABELA 20 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na Estação 2 da represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	230,95	172,89	192,64	155,22	146,92	90,40	354,68	128,53	154,48	344,47	177,82	286,45
	>68	0,00	0,00	0,00	8,86	0,00	0,00	0,00	4,41	0,00	4,18	0,00	0,00
	<68>20	3,23	0,00	0,00	0,00	3,68	0,00	79,24	1,50	13,62	10,50	3,33	0,00
Superfície	<20>0,45	118,31	78,68	90,94	63,79	57,70	21,77	172,18	63,26	58,85	120,23	66,32	137,68
	>0,45 inorg.	34,60	32,93	42,26	37,79	50,62	36,17	67,12	16,61	27,33	63,56	56,22	36,26
	>0,45 org.	74,81	61,28	59,44	44,78	34,92	32,46	36,14	42,75	54,68	146,00	51,96	112,51

TABELA 21 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na Estação 3 da represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	123,91	81,50	78,63	73,01	103,93	151,04	151,07	81,16	86,78	107,85	73,75	127,94
	>68	11,56	0,74	0,00	3,83	0,00	34,87	18,24	20,51	2,77	10,92	5,97	47,34
	<68>20	28,88	16,17	1,85	3,32	13,44	17,30	24,66	0,00	13,12	13,98	8,80	16,39
Superfície	<20>0,45	29,78	19,29	25,28	24,54	32,60	46,67	16,18	18,33	38,22	55,52	14,89	13,15
	>0,45 inorg.	23,77	15,68	25,64	23,07	32,73	22,25	58,75	21,57	16,85	15,02	28,07	22,50
	>0,45 org.	29,92	29,62	25,86	18,25	25,16	29,96	33,24	20,75	15,82	12,41	16,02	28,56
	Total	75,19	70,04	60,59	68,48	100,58	115,00	284,80	72,57	85,84	76,95	66,98	78,92
	>68	1,90	0,00	0,00	8,74	4,00	0,00	10,03	9,80	3,39	13,65	0,53	0,00
	<68>20	0,81	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	129,50	0,00	0,21	0,00	5,97	1,77
Fundo	<20>0,45	39,97	30,62	11,80	15,86	27,51	56,00	71,20	22,04	40,19	15,21	11,15	31,69
	>0,45 inorg.	1,67	14,69	29,91	18,86	39,65	27,32	36,70	15,67	20,94	33,45	27,07	16,62
	>0,45 org.	30,84	24,18	18,88	25,02	29,42	31,68	37,37	25,06	21,12	14,64	22,25	28,85

TABELA 22 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na Estação 4 da represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	64,44	60,12	57,39	59,12	63,71	127,30	115,79	69,86	47,50	52,21	56,86	53,50
	>68	15,34	0,31	0,00	10,09	6,24	41,82	16,56	10,06	0,00	0,71	7,24	3,83
	<68>20	21,63	3,06	3,33	0,00	5,12	3,41	12,12	2,24	5,15	0,00	1,15	0,00
Superfície	<20>0,45	15,13	27,16	21,27	20,36	16,12	35,99	11,98	20,74	20,66	26,01	18,04	18,30
	>0,45 inorg.	0,00	10,80	20,11	16,06	20,36	19,08	47,09	16,79	8,37	18,48	20,82	21,83
	>0,45 org.	12,34	18,79	12,68	12,61	15,87	27,01	28,04	20,03	13,33	7,01	9,61	9,55
	Total	52,89	58,13	49,41	51,77	*	94,93	115,29	72,75	44,56	57,21	55,92	43,53
	>68	4,38	5,45	0,00	2,47	*	12,77	0,00	0,00	0,00	7,12	0,00	0,00
	<68>20	8,97	3,92	0,00	0,85	*	9,65	22,66	1,56	1,47	0,00	9,09	13,86
Fundo	<20>0,45	7,23	1,26	0,00	22,13	*	14,62	11,33	35,66	24,30	22,72	17,77	0,00
	>0,45 inorg.	4,96	28,93	38,11	14,35	*	35,43	46,48	15,30	4,57	17,54	12,39	13,83
	>0,45 org.	27,35	18,57	11,30	11,97	*	22,46	34,83	20,22	14,21	9,83	16,66	15,84

TABELA 23 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na Estação 5 da represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	67,20	58,13	55,27	78,63	52,21	68,71	92,28	66,24	45,26	39,41	42,73	49,77
	>68	20,25	13,72	8,21	8,50	5,09	0,88	4,65	7,97	0,15	0,00	0,00	12,59
	<68>20	10,44	1,75	0,00	0,00	0,00	6,03	7,62	0,00	5,21	0,00	3,33	0,00
Superfície	<20>0,45	9,25	24,16	17,24	39,87	18,86	31,07	7,89	19,42	17,07	26,77	15,62	10,62
	<0,45 inorg.	17,44	4,75	23,46	21,09	18,82	9,28	38,97	21,04	11,00	4,96	17,99	21,19
	<0,45 org.	9,82	13,75	6,36	9,17	9,44	21,45	33,16	17,81	11,84	7,67	5,79	5,36
	Total	31,64	43,12	*	69,21	48,85	76,86	89,63	71,30	*	*	45,50	35,35
	>68	4,75	15,00	*	3,97	7,74	18,57	8,47	4,00	*	*	0,00	0,15
	<68>20	0,00	0,28	*	4,91	10,39	4,71	0,00	4,68	*	*	2,30	5,77
Fundo	<20>0,45	7,50	9,65	*	35,57	12,15	19,86	15,92	28,28	*	*	16,24	14,09
	<0,45 inorg.	5,72	4,90	*	15,38	10,36	11,29	36,36	13,42	*	*	15,34	6,56
	<0,45 org.	13,67	13,29	*	9,38	8,22	22,44	28,88	20,93	*	*	11,62	8,78

TABELA 24 - Variação temporal da concentração de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e nas frações >68, <68>20, <20> 0,45, <0,45 inorgânico e <0,45 orgânico (μm), na Estação 6 da represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	29,34	53,41	47,29	58,92	51,97	60,06	100,28	61,74	47,59	38,67	39,53	40,09
	>68	0,92	6,64	0,00	2,94	0,00	1,97	7,50	2,38	4,62	0,00	4,47	5,03
	<68>20	2,54	0,00	0,00	3,53	0,77	4,30	3,91	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Superfície	<20>0,45	10,29	21,62	10,97	25,89	14,80	17,94	11,98	27,83	16,12	6,09	3,09	10,09
	<0,45 inorg.	0,00	14,28	27,36	16,14	23,74	14,10	76,89	9,41	18,87	19,19	22,93	11,08
	<0,45 org.	15,59	10,87	8,96	10,41	12,67	21,76	*	22,11	7,97	13,39	9,03	9,88

4.3.1.3 Ferro total ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

As concentrações de ferro total na água para as estações de coleta 1, 2, 3, 4, 5 e 6, estão apresentadas na TABELA 25. Na FIGURA 14 estão apresentados os valores médios, máximos e mínimos da concentração de ferro total para estações de 1 a 6.

A concentração máxima de ferro total, foi obtida na estação 1 no mês de janeiro de 1997 ($7.571,5 \mu\text{g.L}^{-1}$) e a concentração mínima, na estação 4, fundo, no mês de outubro de 1996 ($102,0 \mu\text{g.L}^{-1}$). As estações 1 e 2 foram as que apresentaram os maiores valores de concentração de ferro total e as estações 5, fundo, e 6, as que apresentaram as menores concentrações.

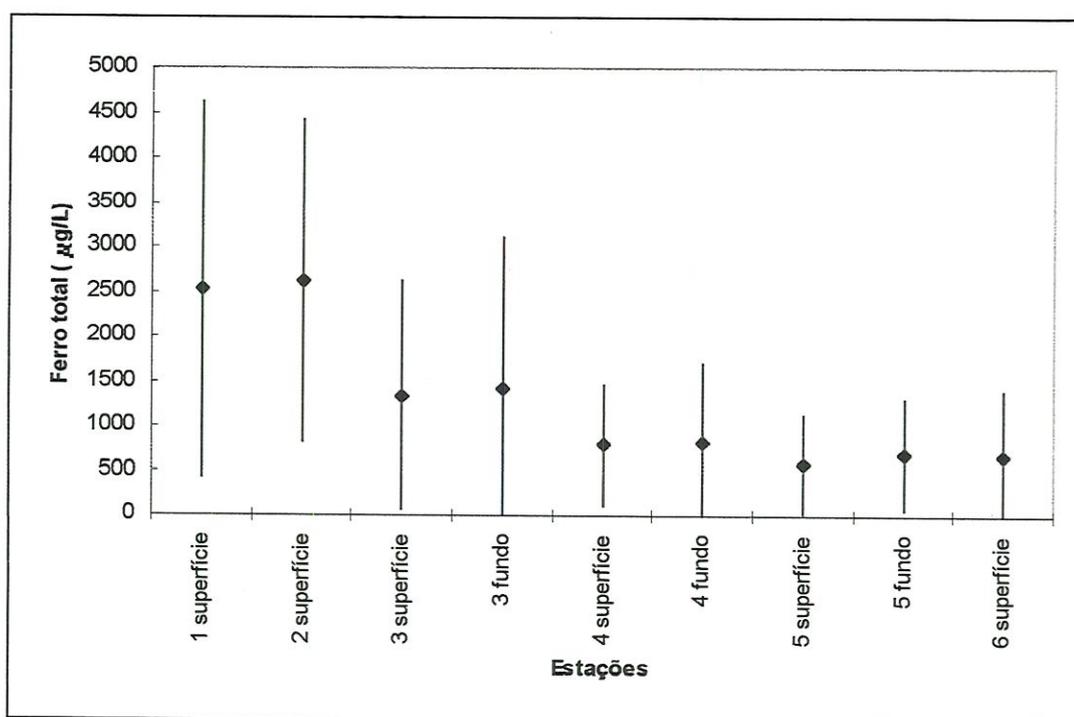


FIGURA 14 - Variação espacial da concentração média do ferro total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água, nas estações de coleta do rio Atibaia e no reservatório de Salto Grande.

TABELA 25 - Variação espaço-temporal da concentração de ferro total ($\mu\text{g/l}$) na água, no reservatório de Salto Grande .

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
1 super.	1494,8	2026,5	653,4	3180,2	4996,5	7571,5	3763,7	2089,9	355,5	1103,7	2295,8	782,1
2 super.	1556,6	2940,2	970,0	2462,9	3550,9	5431,4	6605,5	1634,2	1555,2	1218,1	2600,1	968,1
3 super.	562,5	1328,1	886,3	903,7	1853,8	2374,0	4933,9	1279,4	536,2	324,9	852,3	294,1
3 fundo	439,6	1356,8	219,9	1030,7	2303,9	4326,1	5181,7	749,5	570,4	242,2	464,5	316,4
4 super.	363,3	920,3	167,6	524,9	819,4	1781,4	2143,2	1289,5	281,1	155,5	232,8	*
4 fundo	435,7	984,5	102,0	468,6	*	2030,1	2825,5	1232,9	128,3	275,0	423,1	183,7
5 super.	231,4	394,6	263,2	368,8	490,6	1133,7	2076,7	556,2	237,5	116,3	808,9	158,0
5 fundo	372,1	481,7	*	401,7	330,0	772,5	2198,5	1004,2	*	*	468,5	159,6
6 super.	222,5	455,5	152,9	586,2	568,1	1436,2	2429,5	1492,5	188,2	137,3	318,3	138,8

* - valores inesistentes

4.3.1.4 Materiais em suspensão: total, inorgânico e orgânico (mg.L⁻¹)

O material em suspensão total, inorgânico e orgânico nas amostras totais e nas frações >68; <68>20; <20>0,45 µm, estão apresentados, respectivamente nos seguintes conjuntos de figuras: 15 a 23, 24 a 32 e 33 a 41.

A estação 1 apresentou aumento nas concentrações dos materiais em suspensão total, inorgânico e orgânico do mês de agosto de 1996, até o mês de fevereiro de 1997, quando foram registrados os maiores valores, com uma queda abrupta nos meses subsequentes, encontrando-se as menores concentrações no mês de maio de 1997 (figuras 15, 24 e 33).

Na estação 2, o aumento das concentrações dos materiais em suspensão total, inorgânico e orgânico foram de agosto de 1996 até janeiro de 1997. No mês de fevereiro ocorreu uma queda nas concentrações, mas mantendo valores elevados em relação aos meses anteriores a janeiro. A partir de março, houve uma queda acentuada nas concentrações, sendo encontrados os menores valores, no mês de julho de 1997 (figuras 16, 25 e 34).

Na estação 3, tanto na superfície quanto no fundo, os materiais em suspensão total e inorgânico apresentaram aumento nas concentrações de agosto de 1996 a fevereiro de 1997, quando foram registradas as maiores concentrações. As menores concentrações para o material em suspensão total na estação 3, tanto para superfície quanto para o fundo, foram registradas no mês de outubro de 1996; o material em suspensão inorgânico apresentou as menores concentrações no mês de maio de 1997 (figuras 17, 18, 26 e 27). As concentrações do material em suspensão orgânico, tanto na superfície quanto no fundo, mostraram queda de agosto de 1996, até outubro de 1996, e aumento até fevereiro, quando foram registrados os maiores valores. Em março de 1997, o material em suspensão orgânico apresentou um queda na concentração na estação 3, superfície, e um aumento gradual, até o mês de maio, registrando uma nova queda no mês de junho de 1997, registrando-se então as menores concentrações. Na estação 3, fundo, as concentrações do material em suspensão orgânico apresentou uma queda nas concentrações a partir do mês de março 1997, que foram mantidas até o mês de maio de 1997. Nova queda nas

concentrações, no mês de junho de 1997 foi responsável pelos menores valores de material em suspensão orgânico para esta estação (figuras 35 e 36).

O material em suspensão total, na estação 4, superfície apresentou uma queda nas concentrações de agosto a outubro de 1996 e uma elevação até janeiro, quando foram registradas as maiores concentrações. A partir de fevereiro as concentrações caíram, atingindo os menores valores no mês de julho de 1997 (FIGURA 19). O material em suspensão inorgânico aumentou em concentração de agosto de 1996, até janeiro de 1997, mantendo os valores aproximados em fevereiro. As menores concentrações foram registradas em julho de 1997, após uma queda gradual nos meses anteriores (FIGURA 28). O material em suspensão orgânico na estação 4, superfície, não apresentou um padrão de crescimento ou queda, oscilando ao longo do ano. As maiores concentrações foram obtidas nos meses de agosto de 1996 e janeiro de 1997, sendo que as menores concentrações foram registradas no mês de junho de 1997 (FIGURA 37).

Na estação 4, fundo, as concentrações de material em suspensão total e inorgânico aumentaram de agosto de 1996 até fevereiro de 1997, quando ocorreram as maiores concentrações. A partir de março de 1997, houve uma queda gradual até julho de 1997, registrando-se então as menores concentrações (figuras 20 e 29). O material em suspensão orgânico apresentou as maiores concentrações no mês de novembro de 1996, e as menores, no mês de julho de 1997 (FIGURA 38).

A estação 5, superfície, apresentou concentrações máximas de material em suspensão total e orgânico no mês de novembro de 1996, e as menores, em junho de 1997 (figuras 21 e 39). O material em suspensão inorgânico mostrou um aumento nas concentrações de agosto de 1996 até janeiro de 1997 mantendo os valores em fevereiro e março de 1997. As menores concentrações foram encontradas no mês de outubro de 1996 (FIGURA 30).

Na estação 5, fundo, as concentrações de materiais em suspensão total e orgânico apresentaram valores máximos em novembro de 1996 e as menores concentrações em junho e julho de 1997 (figuras 22 e 40). O material em suspensão inorgânico aumentou os valores das concentrações de agosto 1996 para fevereiro de

1997 quando apresentaram os maiores valores; em julho de 1997 foram obtidos os menores valores (FIGURA 31).

Para a estação 6, os materiais em suspensão total e orgânico apresentaram as maiores concentrações em novembro de 1996, janeiro e fevereiro de 1997 (figuras 23 e 41). As menores concentrações foram encontradas no mês de junho de 1997 para o material em suspensão total e em julho de 1997 para o material em suspensão orgânico. O material em suspensão inorgânico mostrou um aumento das concentrações de agosto para fevereiro, quando os valores atingiram o máximo. As menores concentrações foram encontradas no mês de outubro de 1996 (FIGURA 32).

Para o material em suspensão total, orgânico e inorgânico as frações >68 e $<68>20$ μm , foram as que apresentaram as menores concentrações, chegando muitas vezes apresentarem valores nulos.

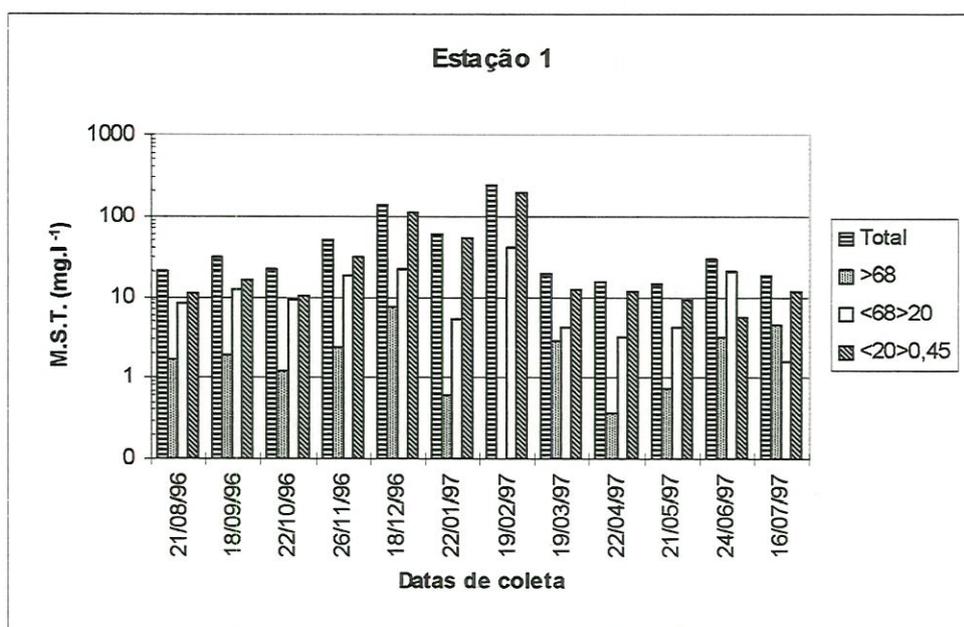


FIGURA 15 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações >68 μm , $<68>20$ μm e $<20>0,45$ μm na estação 1 na Represa de Salto Grande.

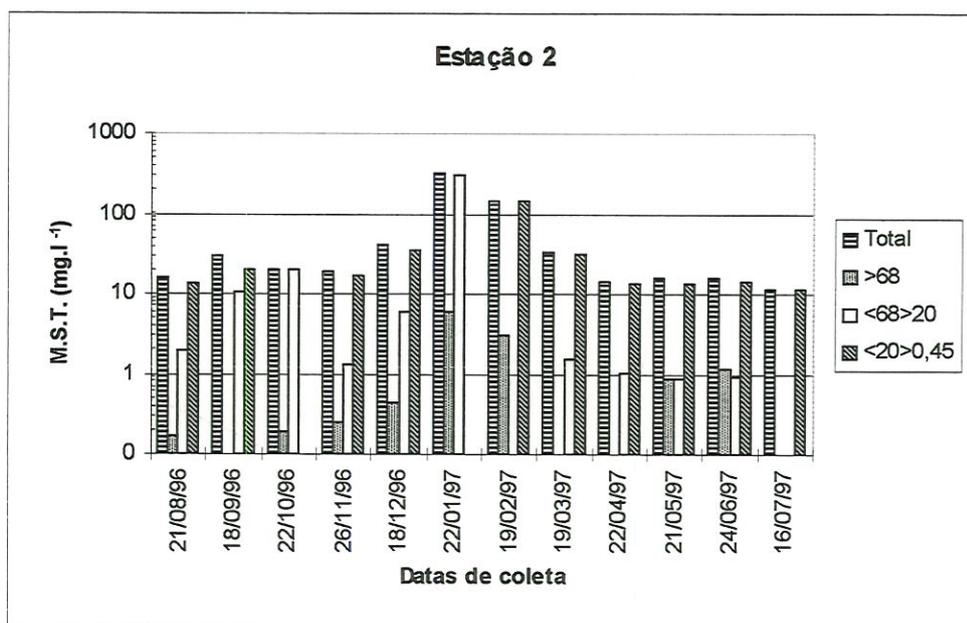


FIGURA 16 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 2 na Represa de Salto Grande.

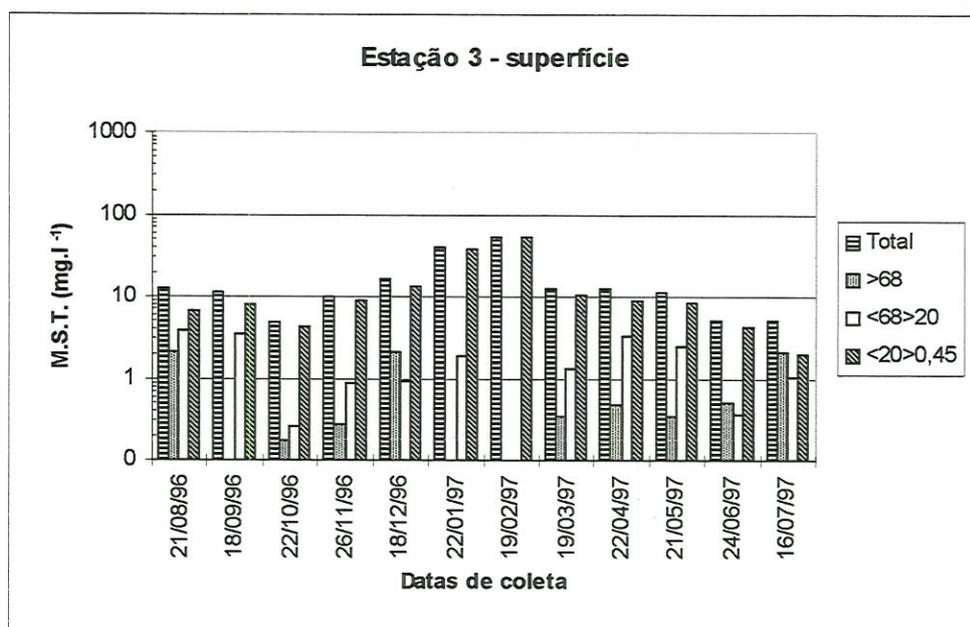


FIGURA 17 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 superfície na Represa de Salto Grande.

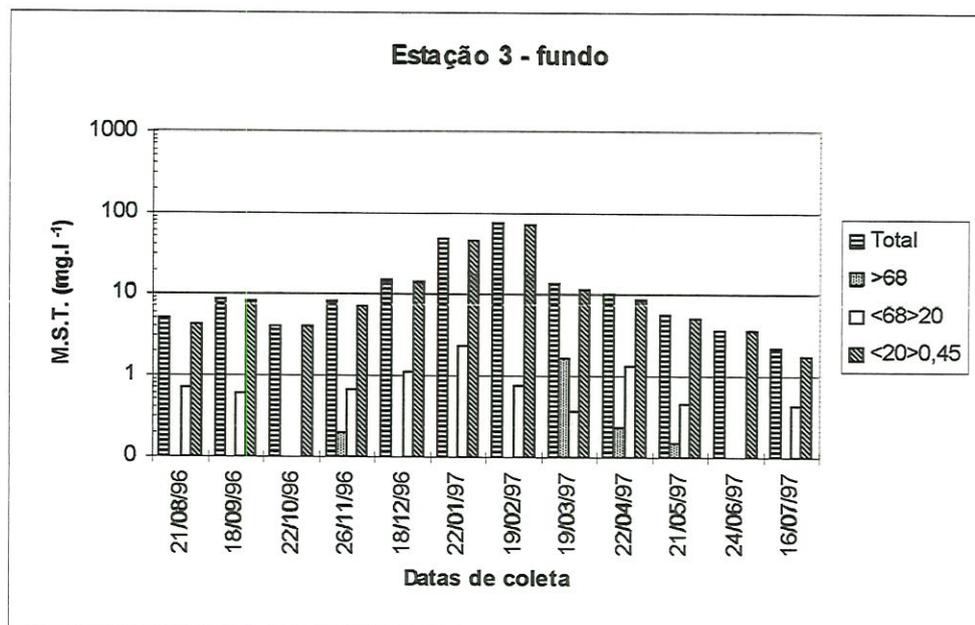


FIGURA 18 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 fundo na Represa de Salto Grande.

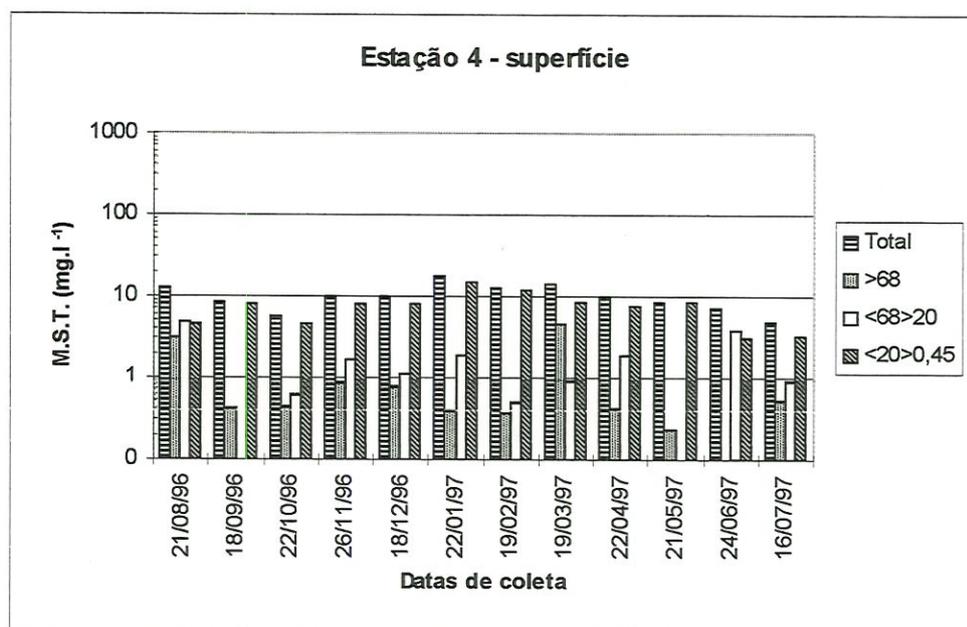


FIGURA 19 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 superfície na Represa de Salto Grande.

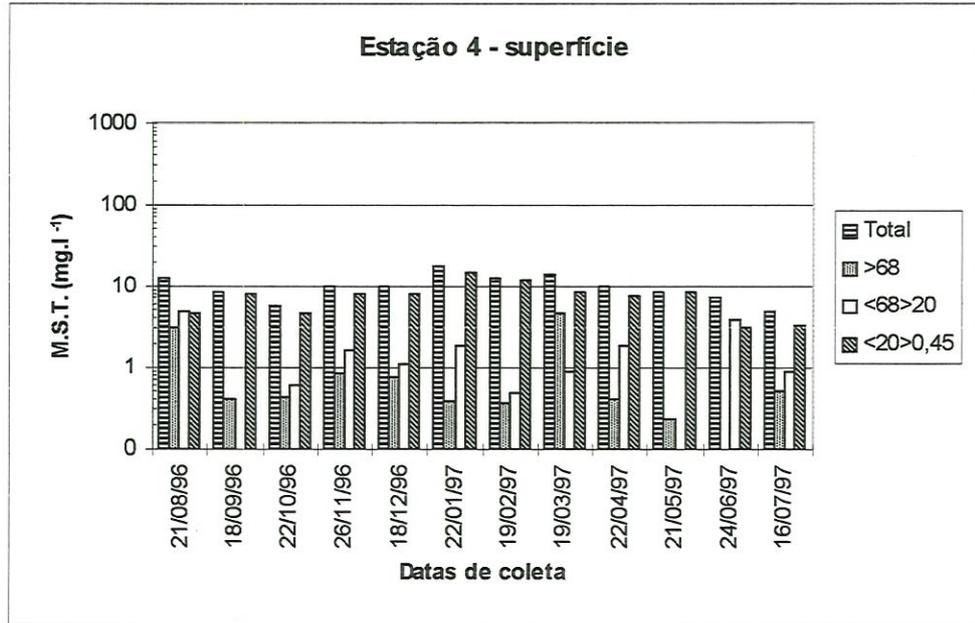


FIGURA 20 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 fundo na Represa de Salto Grande.

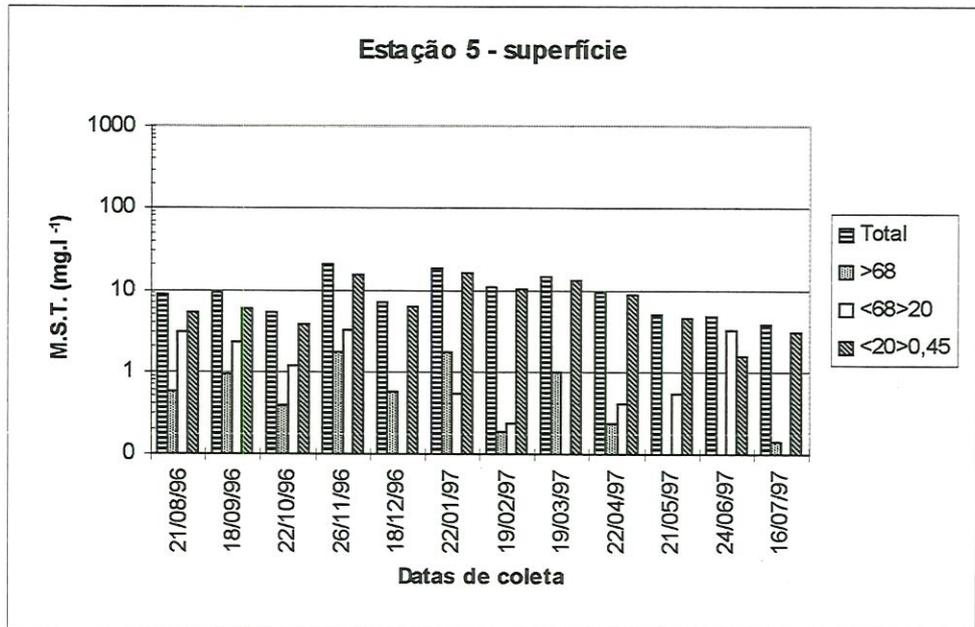


FIGURA 21 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 superfície na Represa de Salto Grande.

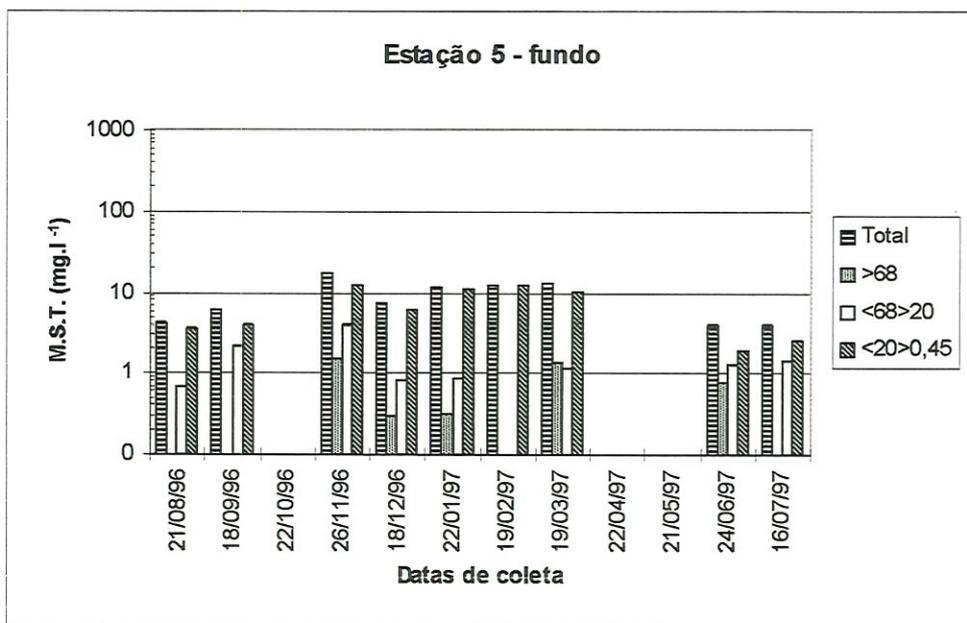


FIGURA 22 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 fundo na Represa de Salto Grande.

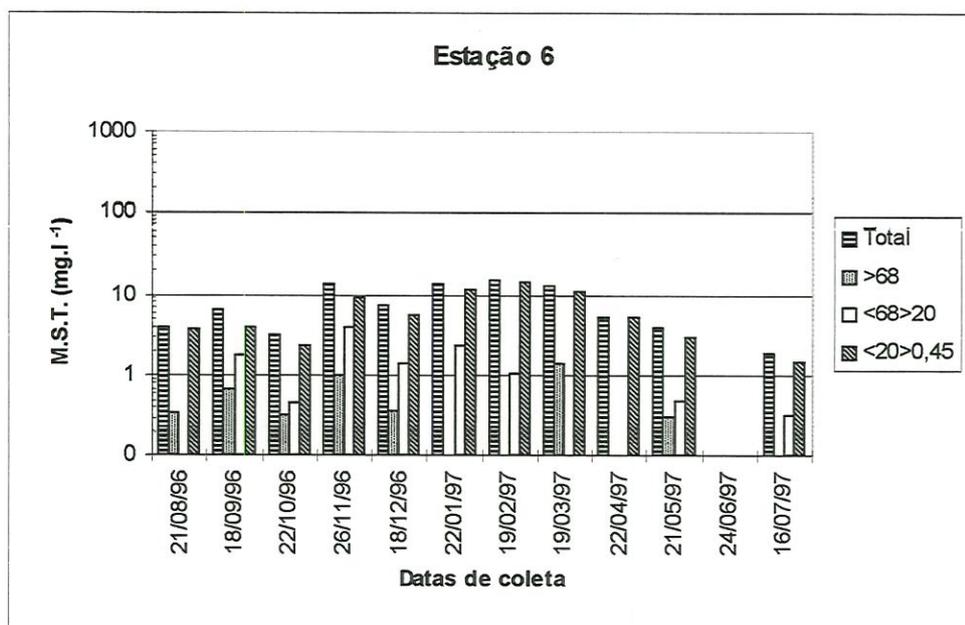


FIGURA 23 - Variação temporal da concentração de material em suspensão total (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 6 do rio Atibaia a jusante na Represa de Salto Grande.

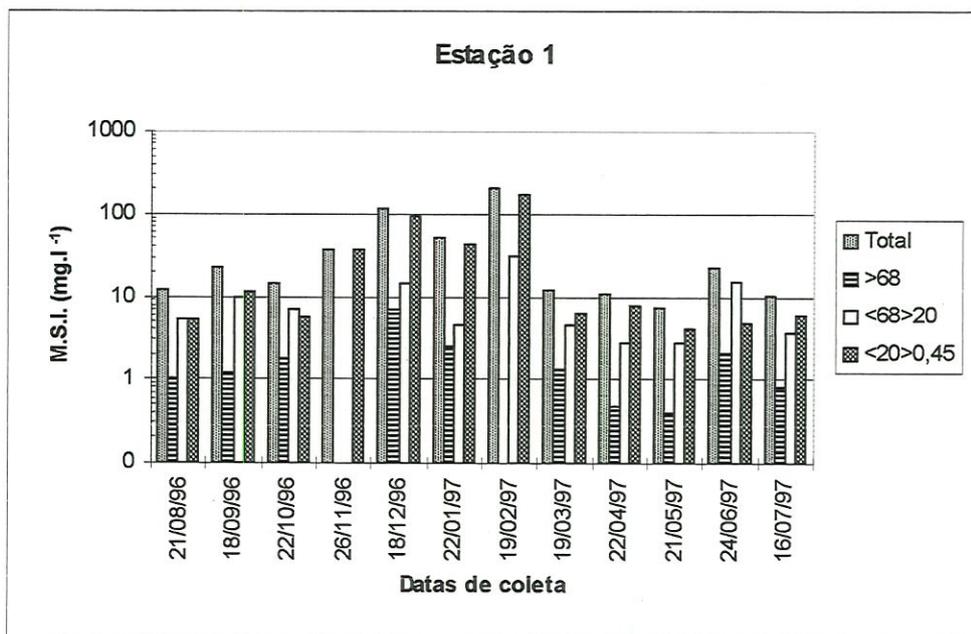


FIGURA 24 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 1 do rio Atibaia a montante na Represa de Salto Grande.

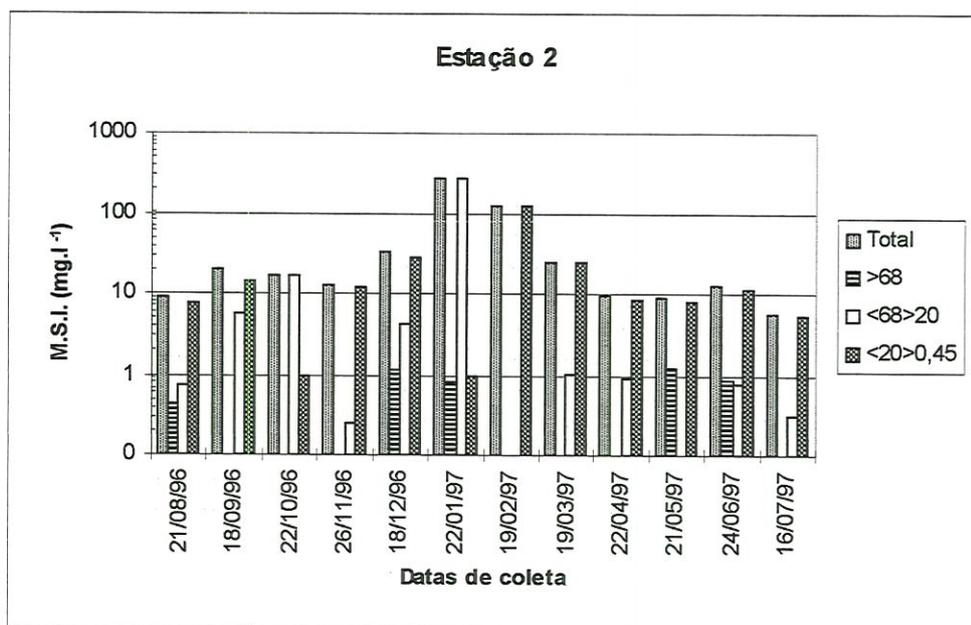


FIGURA 25 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 2 na Represa de Salto Grande.

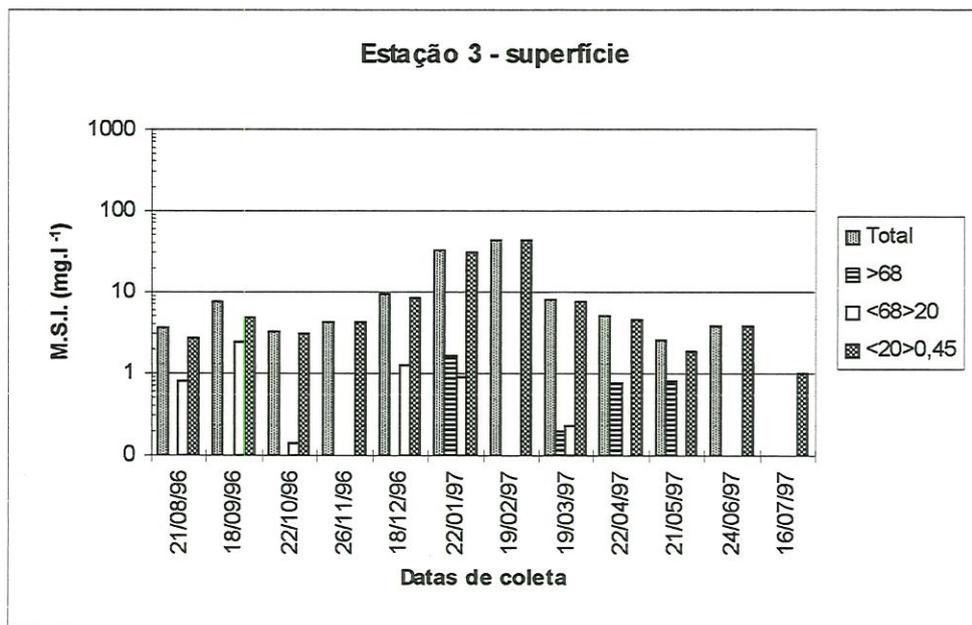


FIGURA 26 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 superfície na Represa de Salto Grande.

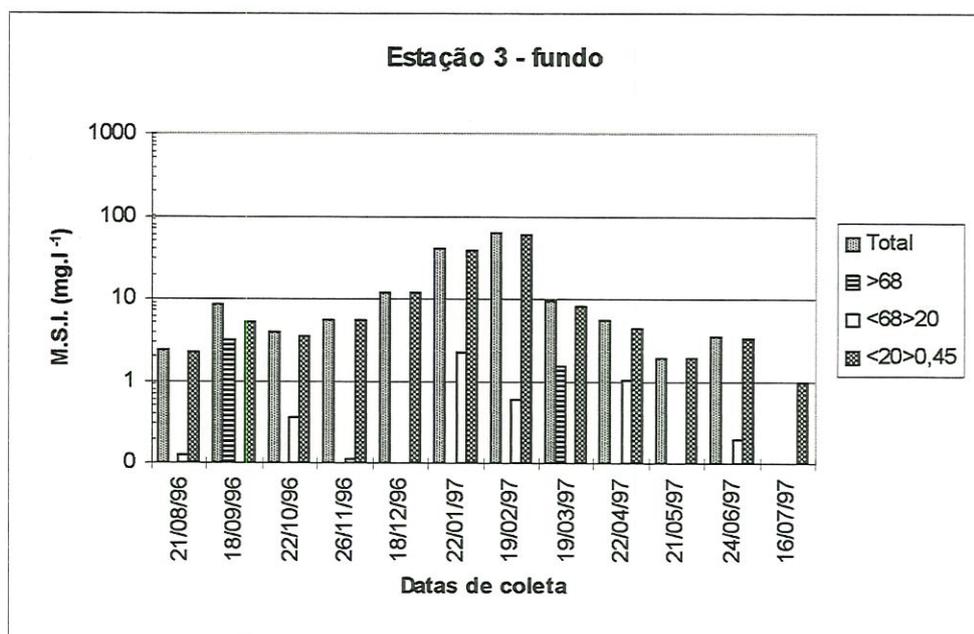


FIGURA 27 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 fundo na Represa de Salto Grande.

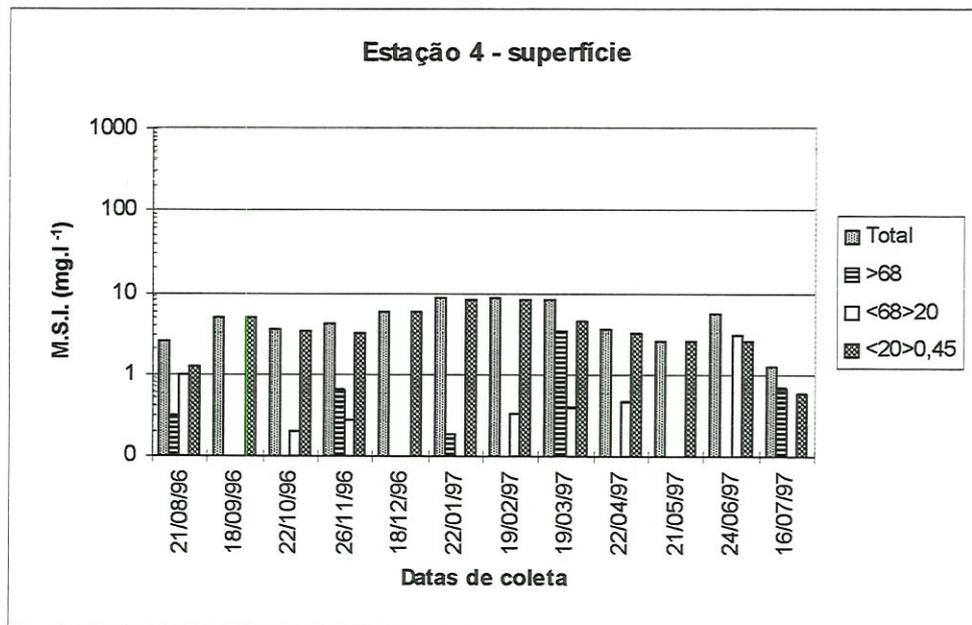


FIGURA 28 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 superfície na Represa de Salto Grande.

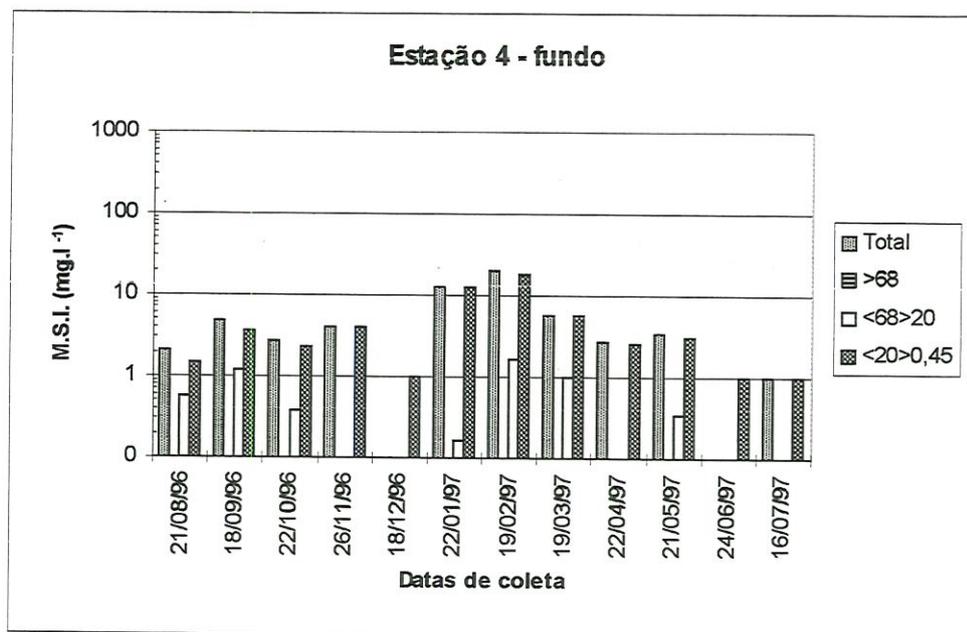


FIGURA 29 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 fundo na Represa de Salto Grande.

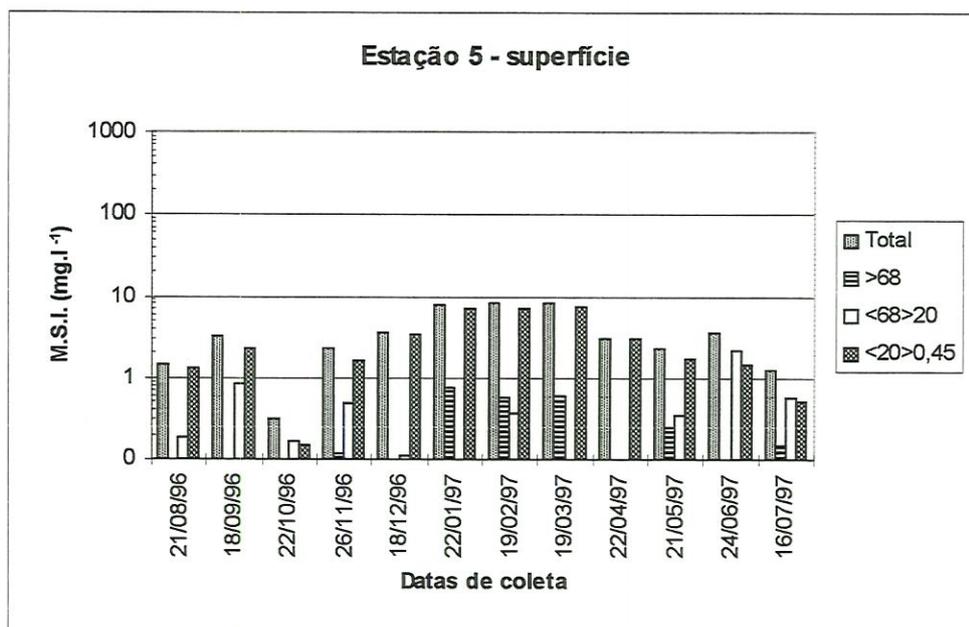


FIGURA 30 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 superfície na Represa de Salto Grande.

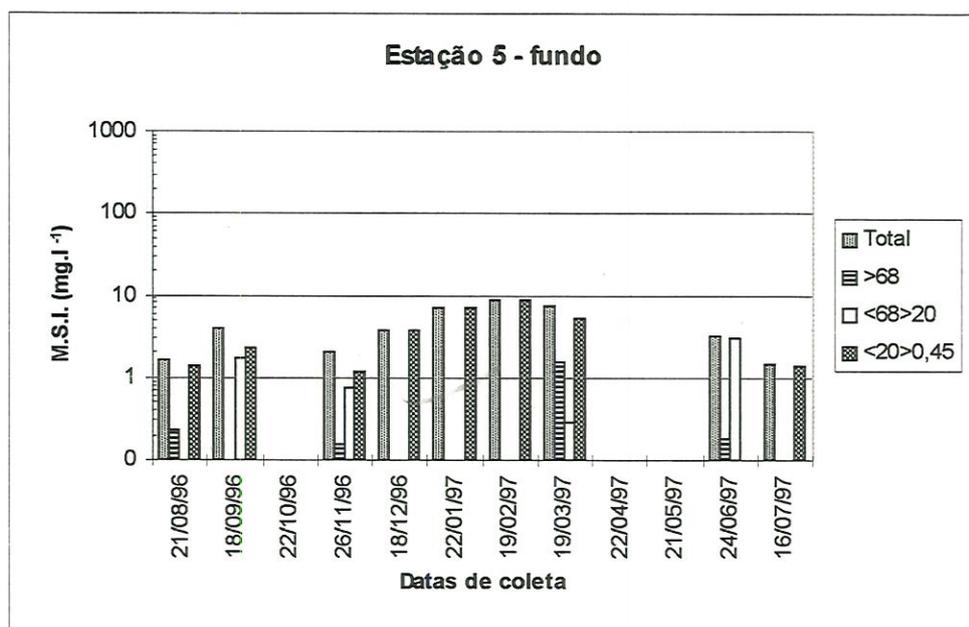


FIGURA 31 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 fundo na Represa de Salto Grande.

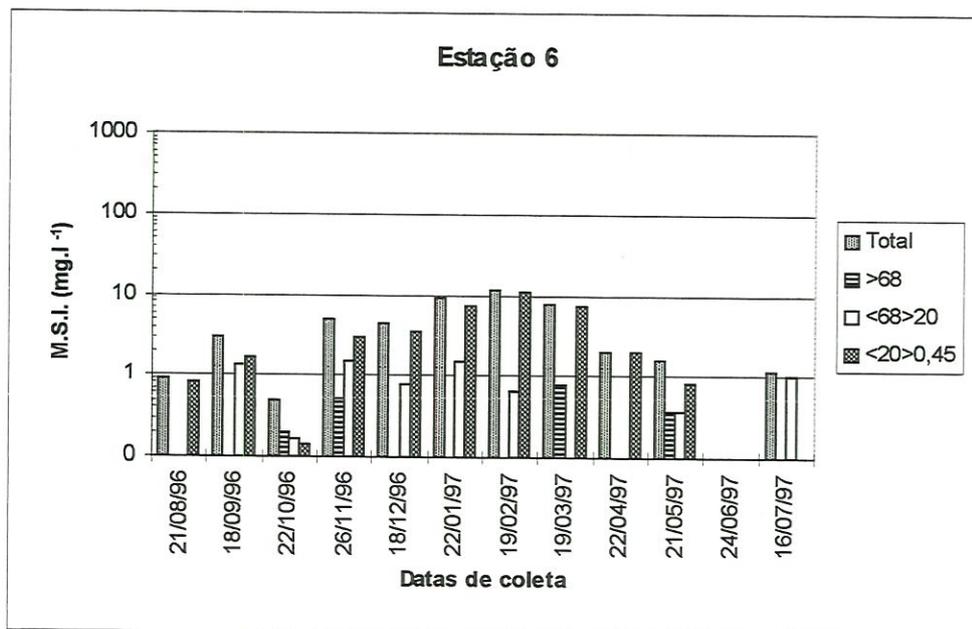


FIGURA 32 - Variação temporal da concentração de material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 6 no rio Atibaia a jusante da Represa de Salto Grande.

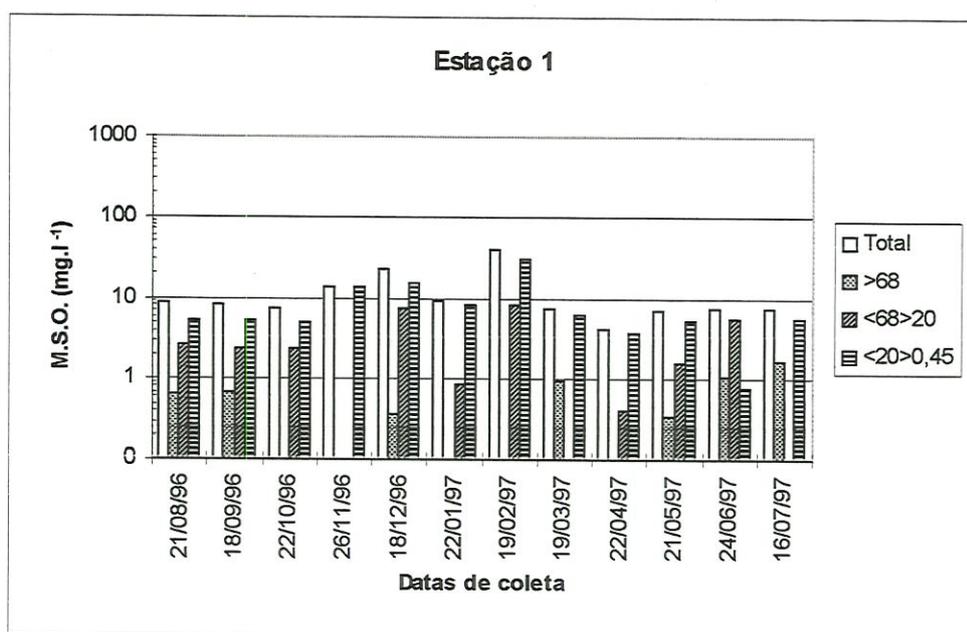


FIGURA 33 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 1 no rio Atibaia a montante da Represa de Salto Grande.

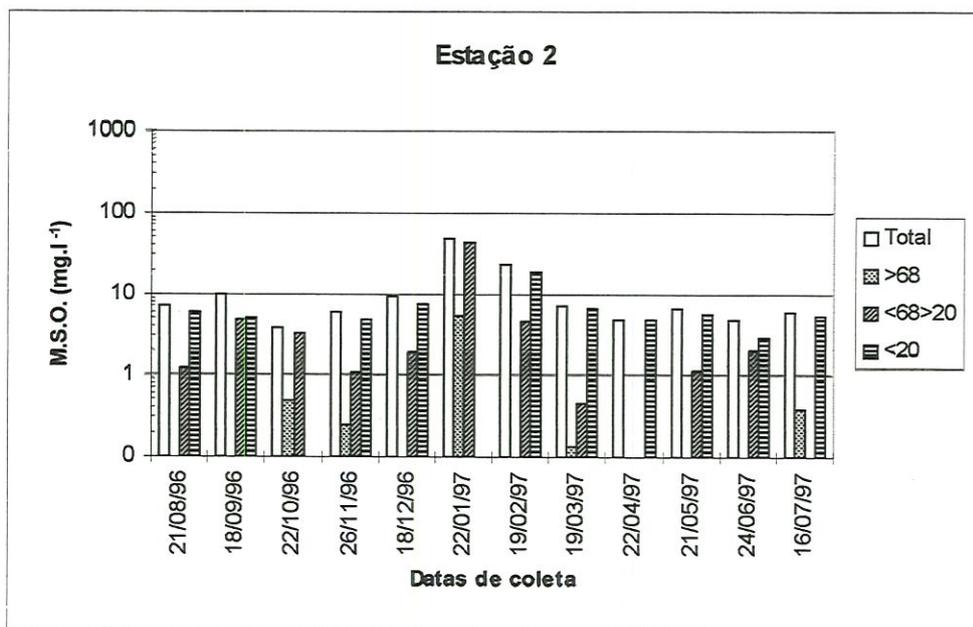


FIGURA 34 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 2 na Represa de Salto Grande.

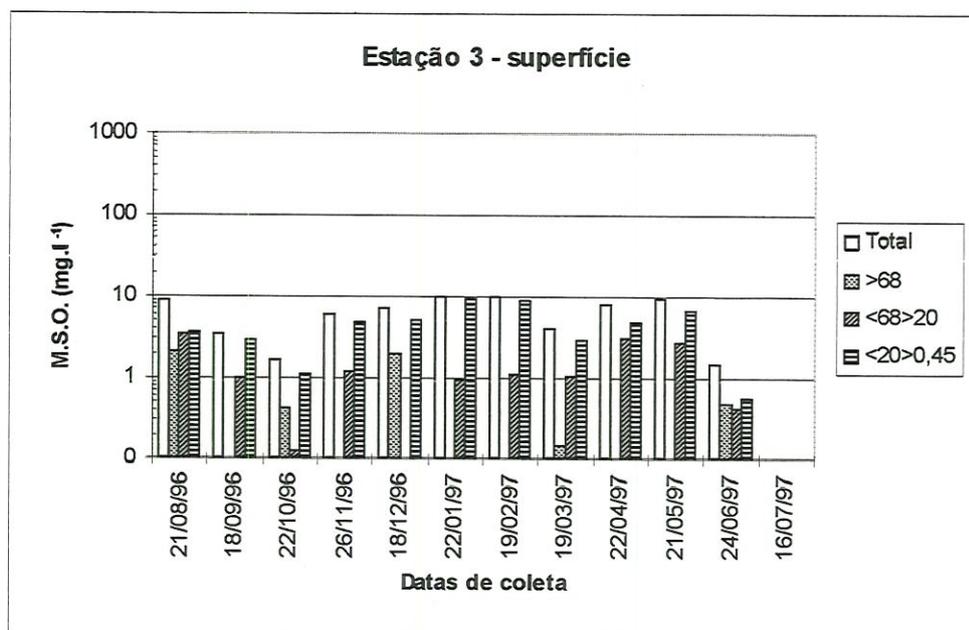


FIGURA 35 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 superfície na Represa de Salto Grande.

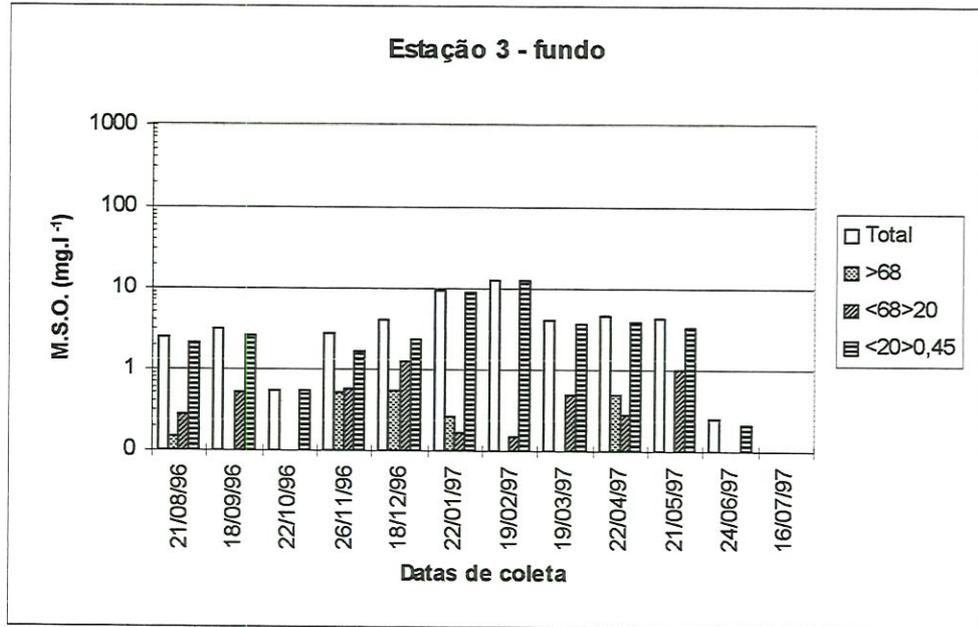


FIGURA 36 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 3 fundo na Represa de Salto Grande.

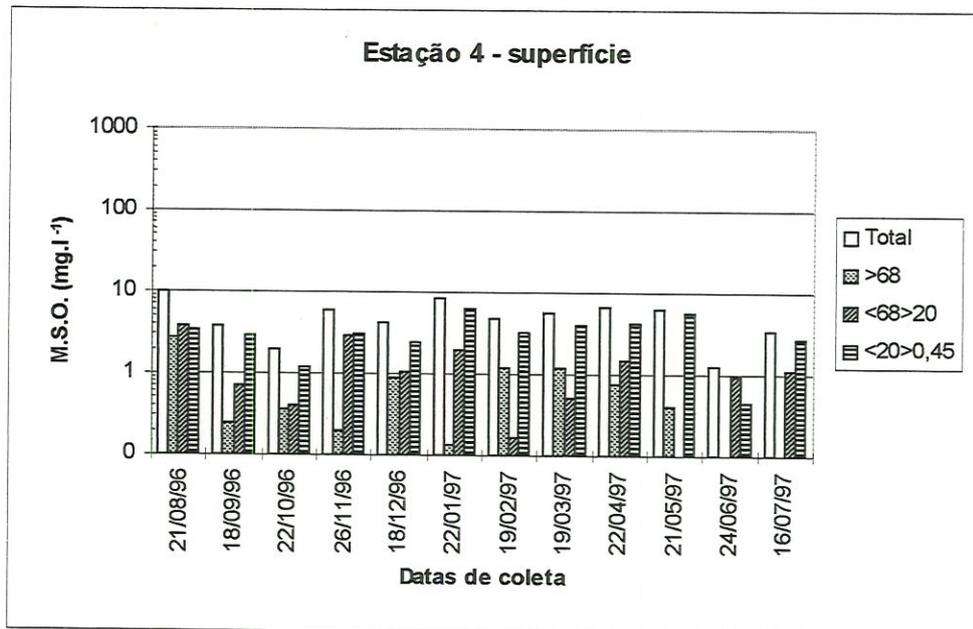


FIGURA 37 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ estação 4 superfície na Represa de Salto Grande.

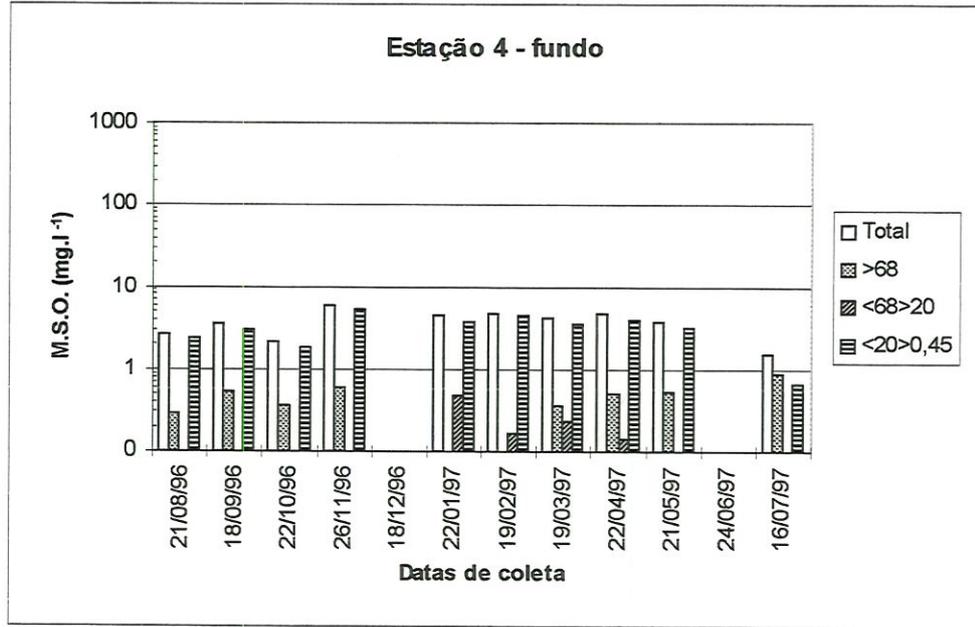


FIGURA 38 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 4 fundo na Represa de Salto Grande.

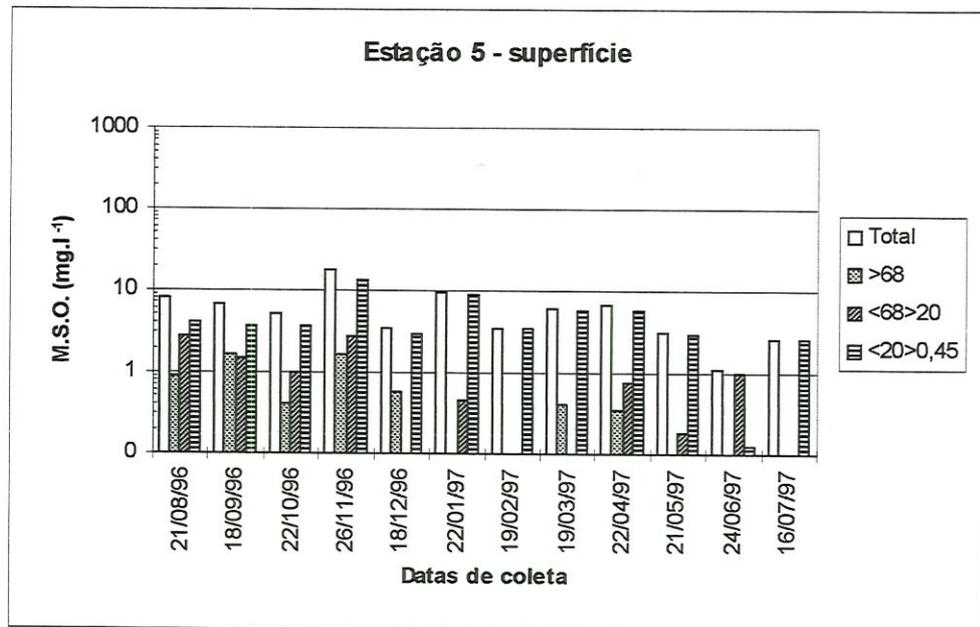


FIGURA 39 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 superfície na Represa de Salto Grande.

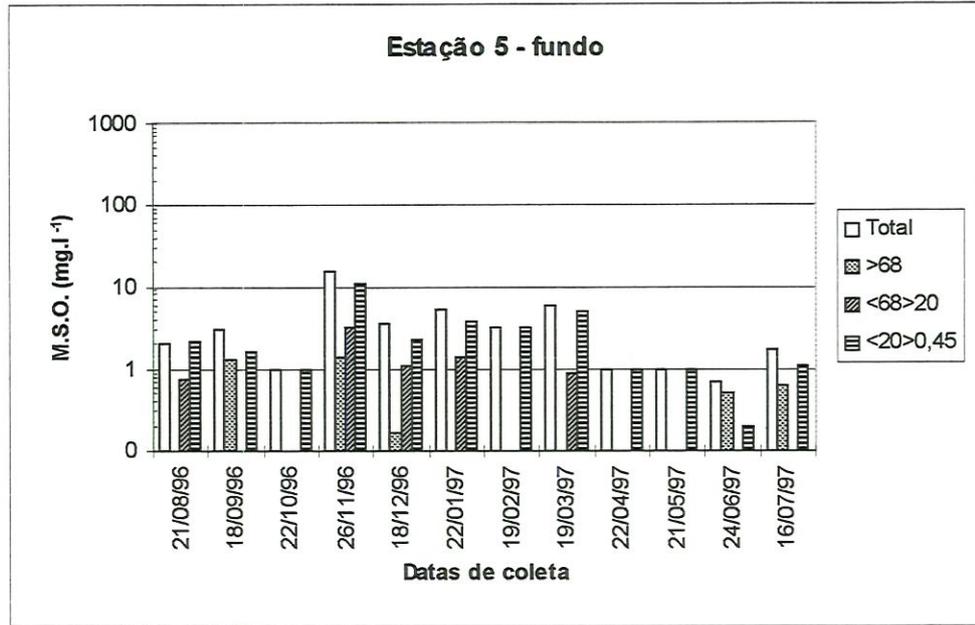


FIGURA 40 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 5 fundo na Represa de Salto Grande.

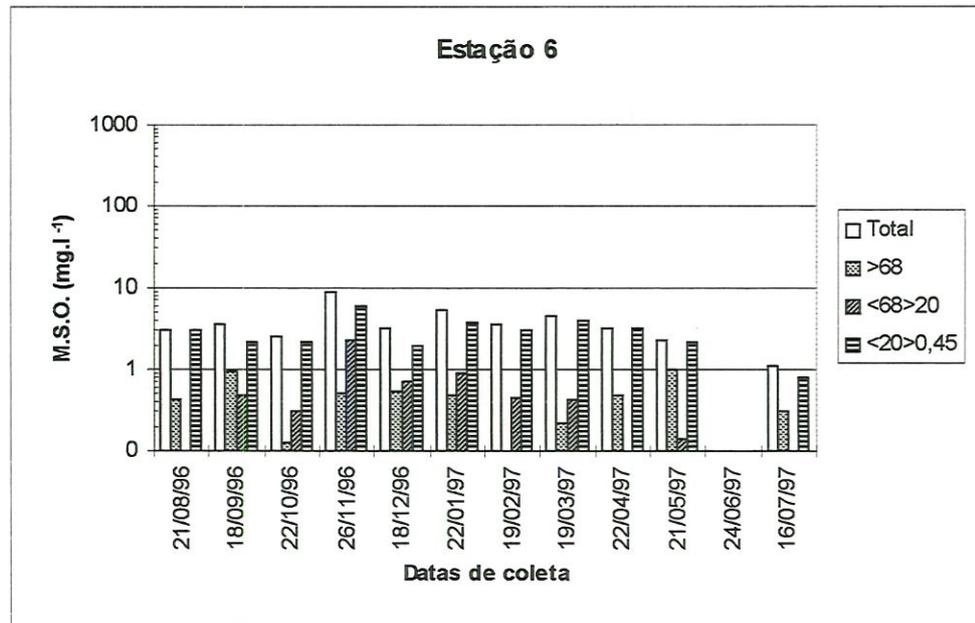


FIGURA 41 - Variação temporal da concentração de material em suspensão orgânico (mg.L^{-1}) nas frações $>68 \mu\text{m}$, $<68>20 \mu\text{m}$ e $<20>0,45 \mu\text{m}$ na estação 6 no rio Atibaia a jusante da Represa de Salto Grande.

4.3.2 O Sedimento

4.3.2.1 Fósforo total no sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

As concentração de fósforo total no sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) nas profundidades de 0 a 10 cm nas estações 2, 3, 4 e 5 estão apresentadas na TABELA 26.

A maior concentração foi encontrada na estação 3, na porção entre 6 a 8 cm ($3.367,30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), e a menor, foi obtida na estação 4 na porção entre 6 a 8 cm ($886,05 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

TABELA 26 - Concentração de fósforo total no sedimento ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5 nas profundidades de 0 a 10 cm na Represa de Salto Grande.

Prof. sed. (cm)	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5
0 a 2 (cm)	1 241,25	2 050,10	1 436,25	1 669,50
2 a 4 (cm)	1 552,60	1 805,30	1 264,75	1 508,65
4 a 6 (cm)	1 291,80	1 560,60	1 005,75	1 482,35
6 a 8 (cm)	1 147,90	3 367,30	886,05	1 470,10
8 a 10 (cm)	1 253,25	2 195,65	907,70	1 512,95
média	1.297,36	2.195,79	1.100,10	1.528,71

4.3.2.2 Ferro total no sedimento ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)

Na TABELA 27 estão apresentadas as concentrações de ferro total no sedimento ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) nas profundidades de 0 a 10 cm, nas estações 2, 3, 4 e 5. As concentrações de ferro no sedimento variaram de $89,04 \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ na estação 3 na faixa entre 6 a 8 cm, a $39,80 \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ na estação 2 na camada de 4 a 6 cm.

TABELA 27 - Concentração de ferro total no sedimento (mg.g^{-1}) nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5 nas profundidades de 0 a 10 cm na Represa de Salto Grande Americana - SP.

Prof. sed. (cm)	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5
0 a 2 (cm)	47,60	69,35	70,18	49,15
2 a 4 (cm)	46,12	77,67	57,18	47,79
4 a 6 (cm)	39,80	73,52	68,48	46,62
6 a 8 (cm)	40,52	89,04	55,52	48,02
8 a 10 (cm)	48,23	75,91	55,45	49,77
média	44,45	77,10	61,36	48,27

4.4 Variáveis biológicas

4.4.1 Clorofila ($\mu\text{g.L}^{-1}$)

As concentrações de clorofila *a* na água nas amostras totais e frações $>68;$ $<68>20$ e $<20>0,45$ μm para as estações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 estão apresentadas nas tabelas de 28 a 33.

Na estação 1 a maior concentração de clorofila *a* foi de $13,02 \mu\text{g.L}^{-1}$, obtida no mês de outubro de 1996, sendo que a menor foi de $4,19 \mu\text{g.L}^{-1}$ em janeiro de 1997. A fração que apresentou as maiores concentrações foi a $<20>0,45\mu\text{m}$, com valores variando entre $0,93$ a $9,42 \mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro e agosto de 1996).

Na estação 2, a maior concentração foi de $14,65 \mu\text{g.L}^{-1}$ (agosto de 1996) e a menor foi de $4,19 \mu\text{g.L}^{-1}$ (dezembro de 1996). A fração $<20>0,45$ mm foi a que apresentou as maiores concentrações, variando entre $0,00 \mu\text{g.L}^{-1}$, em setembro de 1996 e janeiro de 1997, a $14,30 \mu\text{g.L}^{-1}$. em agosto de 1996.

Concentrações variando entre $4,19$ e $43,94 \mu\text{g.L}^{-1}$, foram encontradas na estação 3 superfície para clorofila *a* nas amostras totais. Os maiores valores para o fracionado foram obtidos na fração $<20>0,45\mu\text{m}$, com concentrações variando entre $3,14$ e $28,25 \mu\text{g.L}^{-1}$ (março e maio de 1997). Na estação 3 fundo, foram encontradas

concentrações nas amostras totais variando de 2,44 $\mu\text{g.L}^{-1}$, em junho de 1997, a 17,79 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em abril de 1997. A fração que apresentou maiores concentrações foi a $<20>0,45\mu\text{m}$, variando entre 1,05 a 9,42 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (novembro de 1996 e maio de 1997).

Na estação 4 a clorofila *a* total variou de 8,38 a 35,57 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro e agosto de 1996) na superfície e de 3,14 $\mu\text{g.L}^{-1}$, em agosto de 1996, a 16,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$, em abril de 1997, no fundo. A fração mais representativa foi a $<20>0,45\mu\text{m}$, tanto na superfície como no fundo, obtendo concentrações que variaram entre 5,93 e 22,32 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (outubro de 1996 e maio de 1997) na superfície e variação entre 1,05 e 13,60 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (julho e abril de 1997) no fundo.

Na estação 5, a variação na concentração de clorofila *a* total, foi de 4,19 a 34,04 $\mu\text{g.L}^{-1}$ na superfície e de 3,49 a 36,27 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no fundo. A fração $<20>0,45\mu\text{m}$, foi a mais representativa nesta estação, variando de 4,19 a 23,25 $\mu\text{g.L}^{-1}$, na superfície e de 0,00 a 17,86 $\mu\text{g.L}^{-1}$, no fundo.

Para estação 6 a concentração desta variável foi de 2,79 a 26,51 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo que a fração $<20>0,45\mu\text{m}$ variou de 1,05 a 10,82 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Espacialmente as maiores concentrações médias de clorofila foram obtidas nas estações 3 (17,27 $\mu\text{g.L}^{-1}$), 4 (19,38 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e 5 (18,18 $\mu\text{g.L}^{-1}$), na superfície.

TABELA 28 - Variação temporal da concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações $>68\mu\text{m}$, $<68>20$ e $<20>0,45$ μm , na estação 1 na Represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	12,21	4,65	13,02	7,80	7,44	4,19	5,58	4,65	5,23	10,81	5,58	9,42
Superfície	>68	0,35	1,40	4,18	4,45	0,00	1,40	2,79	0,00	0,00	0,00	1,86	0,04
	$<68>20$	2,44	2,32	3,26	0,00	3,72	1,39	0,00	0,93	0,00	4,19	0,00	1,70
	$<20>0,45$	9,42	0,93	5,58	3,35	3,72	1,40	2,79	3,72	5,23	6,63	3,72	7,67

TABELA 29 - Variação temporal da concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações $>68\mu\text{m}$, $<68>20$ e $<20>0,45$ μm na estação 2 na Represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	14,65	5,58	13,02	6,28	4,19	9,77	5,58	6,98	9,77	13,25	6,98	10,11
Superfície	>68	0,35	0,00	0,00	0,00	0,47	6,98	0,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,00
	$<68>20$	0,00	5,58	4,75	1,05	0,00	2,79	0,00	0,47	2,10	2,09	2,79	2,09
	$<20>0,45$	14,30	0,00	8,27	5,23	3,72	0,00	5,58	6,51	7,67	9,77	4,19	8,02

TABELA 30 - Variação temporal da concentração de clorofila a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 <68>20 e <20>0,45 na estação 3 na Represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	30,69	7,67	6,98	10,11	20,93	16,28	6,87	4,19	38,71	43,94	8,37	12,56
Superfície	>68	20,23	0,00	0,00	0,70	3,14	0,47	0,59	0,35	2,44	0,00	0,00	1,74
	<68>20	0,00	0,69	0,00	2,43	5,58	1,86	1,40	0,70	18,13	15,69	2,79	5,93
	<20>0,45	10,46	6,98	6,98	6,98	12,21	13,95	4,88	3,14	18,14	28,25	5,58	4,88
	Total	4,53	6,98	4,54	4,19	4,19	6,05	5,58	3,84	17,79	13,25	2,44	4,53
Fundo	>68	1,04	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00
	<68>20	2,44	1,74	0,00	3,14	1,05	3,26	2,10	0,70	9,07	3,84	0,70	2,79
	<20>0,45	1,05	4,19	4,54	1,05	3,14	2,79	2,79	2,09	8,72	9,42	1,74	1,74

TABELA 31 - Variação temporal da concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 <68>20 e <20>0,45 na estação 4 na Represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	35,57	8,38	12,91	11,86	18,23	32,09	13,02	16,05	25,46	27,55	11,16	20,28
Superfície	>68	0,69	1,40	3,14	1,75	0,00	0,93	0,00	0,01	0,00	0,00	0,70	1,45
	<68>20	23,02	0,70	3,84	3,48	4,98	13,95	3,72	2,79	7,87	5,23	2,09	4,88
	<20>0,45	11,86	6,28	5,93	6,63	13,25	17,21	9,30	13,25	17,59	22,32	8,37	13,95
Fundo	Total	3,14	7,33	14,65	11,86	*	3,25	5,58	13,59	16,04	11,51	3,14	3,14
	>68	0,00	0,00	0,00	0,70	*	0,92	2,79	0,00	0,35	0,00	0,00	1,39
	<68>20	0,70	4,89	4,54	1,74	*	0,47	0,00	2,43	2,09	3,14	0,70	0,70
	<20>0,45	2,44	2,44	10,11	9,42	*	1,86	2,79	11,16	13,60	8,37	2,44	1,05

TABELA 32 - Variação temporal da concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 <68>20 e <20>0,45 na estação 5 na Represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	25,46	16,39	13,60	34,04	16,39	32,08	4,19	16,74	28,95	8,72	8,72	12,90
Superfície	>68	3,14	0,00	2,79	4,47	2,79	2,32	0,00	0,00	4,89	0,00	0,00	0,70
	<68>20	12,90	2,09	0,00	7,25	3,48	6,51	0,00	2,32	3,59	2,09	2,09	1,74
	<20>0,45	9,42	14,30	10,81	22,32	10,12	23,25	4,19	14,42	20,47	6,63	6,63	10,46
	Total	3,84	8,37	*	36,27	7,68	6,05	3,72	17,21	*	*	3,49	5,93
Fundo	>68	0,00	0,00	*	6,14	0,01	0,00	0,00	0,47	*	*	1,40	2,09
	<68>20	1,40	8,37	*	12,27	1,39	2,82	0,00	1,86	*	*	0,00	0,00
	<20>0,45	2,44	0,00	*	17,86	6,28	3,23	3,72	14,88	*	*	2,09	3,84

TABELA 33 - Variação temporal da concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas amostras totais e nas frações >68 <68>20 e <20>0,45 μm , na estação 6 na Represa de Salto Grande.

Profundidade	Fração	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
	Total	6,63	13,60	9,77	26,51	5,24	12,55	2,79	11,16	11,86	4,88	3,49	3,84
Superfície	>68	0,00	0,00	3,49	1,05	0,70	0,00	0,93	0,00	0,70	0,00	1,74	0,00
	<68>20	2,79	2,78	2,44	15,00	2,44	6,97	0,00	4,18	5,93	0,70	0,70	1,40
	<20>0,45	3,84	10,82	3,84	10,46	2,10	5,58	1,86	6,98	5,23	4,19	1,05	2,44

4.4.2 Biomassa (g.m^{-2}), fósforo total (mg.g^{-1}), e fósforo total por área (mg.m^{-2}) em macrófitas, fauna e flora associadas.

A biomassa (g.m^{-2}), fósforo total (mg.g^{-1}), e fósforo total por área (mg.m^{-2}) em macrófitas, fauna e flora associadas do reservatório de Salto Grande estão apresentados na TABELA 34. As macrófitas aquáticas no reservatório de Salto Grande ocupam uma área estimada de 1.123.966,94 m^2 .

As massas de biomassa de macrófita, fauna e flora aderidas nos cinco quadrados coletados, variaram de 648 a 1088 (g), com um valor médio de 872,8 (g). As concentrações de fósforo total variaram de 1,325 a 1,510 (mg.g^{-1}), com um valor médio de 1,383 (mg.g^{-1}). Os valores médios de fósforo total, por área, foram de 1.212,78 (mg.m^{-2}).

TABELA 34 - Biomassa (g.m^{-2}), concentração de fósforo total (mg.g^{-1}) e fósforo total por área (mg.m^{-2}) em macrófitas fauna e flora associadas, no reservatório de Salto Grande.

	Biomassa macrófita (g.m^{-2})	Fósforo (mg.g^{-1})	Fósforo /área (mg.m^{-2})
quadrado 1	1.088	1,41	1.535,11
quadrado 2	828	1,33	1.097,90
quadrado 3	648	1,34	868,45
quadrado 4	956	1,51	1.443,37
quadrado 5	844	1,33	1.119,57
média	873	1,38	1.212,78



4.5 Taxa de sedimentação bruta

As taxas de sedimentação bruta mensal de fósforo total nas estações 2, 3, 4 e 5, a 30 e 70 % da profundidade da estação, estão apresentadas na TABELA 35.

As maiores taxas foram encontradas na estação 2, a 70 % da profundidade da estação, variando entre um mínimo de 2,70 ($\text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$) no mês de abril de 1997 a um máximo de 14,34 ($\text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$) no mês de outubro de 1996. As menores taxas foram obtidas na estação 5, a 30 % da profundidade da estação, com valor mínimo de 0,54 ($\text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$) no mês de abril de 1997, e valor máximo de 3,34 ($\text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$) no mês de setembro de 1996.

TABELA 35 - Taxa de sedimentação mensal do fósforo total ($\text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$) para as estações de coleta 2, 3, 4 e 5 a 30 e 70 % da profundidade da estação, no reservatório de Salto Grande.

	Est.2- 30%	Est.2- 70%	Est.3- 30%	Est.3- 70%	Est.4- 30%	Est.4- 70%	Est.5- 30%	Est.5- 70%
22/08/96	2,83	4,90	1,37	2,11	1,58	1,21	0,87	0,95
19/09/96	6,89	6,19	3,92	4,00	3,62	3,51	3,34	3,17
23/10/96	11,34	14,34	1,83	2,42	1,47	1,68	0,99	1,45
27/11/96	4,17	7,12	2,18	3,44	1,60	2,06	1,21	1,56
18/12/96	1,24	11,25	4,23	2,23	1,51	2,33	1,14	1,86
23/01/97	*	*	1,46	1,42	0,89	1,21	0,97	1,40
20/02/97	1,03	*	0,84	1,74	1,05	1,47	0,99	1,91
20/03/97	4,89	2,89	1,35	4,64	1,30	1,52	1,19	2,10
23/04/97	2,86	2,70	*	*	0,67	0,71	0,54	0,55
22/05/97	6,17	6,23	0,96	1,72	0,78	0,56	0,86	1,04
25/06/97	2,16	3,29	2,56	2,49	1,59	1,24	0,88	0,78
17/07/97	2,51	3,46	1,66	1,75	1,11	1,03	0,87	0,98

* - valores inexistentes

As taxas de sedimentação mensal do material particulado total ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para as estações de coleta 2, 3, 4 e 5, a 30 e 70 % da profundidade da estação, no período de coleta, estão apresentadas na TABELA 36.

A maior taxa de sedimentação do material em suspensão total foi determinada na estação 2, a 70% da profundidade da estação, no mês de dezembro de 1996 ($931,60 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). A menor taxa foi determinada na estação 4, a 30 e 70% da profundidade da estação, no mês de maio de 1997 ($3,70 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$)

TABELA 36 - Taxa de sedimentação mensal do material em suspensão total ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) para as estações de coleta 2, 3, 4 e 5 a 30 e 70 % da profundidade da estação, no reservatório de Salto Grande - Americana S.P, no período de coleta.

	Est.2 - 30%	Est.2 - 70%	Est.3 - 30%	Est.3 - 70%	Est.4 - 30%	Est.4 - 70%	Est.5 - 30%	Est.5 - 70%
22/08/96	47,40	61,90	10,30	13,30	8,00	8,90	6,20	7,60
19/09/96	168,70	275,00	17,80	25,10	15,40	20,10	15,80	18,50
22/10/96	103,60	124,60	12,50	22,30	8,80	23,80	6,90	18,10
26/11/96	249,00	438,00	13,10	23,50	13,00	12,20	6,20	9,80
18/12/96	455,50	931,60	18,60	44,80	12,40	24,80	8,80	22,30
22/01/97	*	*	57,80	141,70	12,40	35,50	13,20	32,00
20/02/97	30,70	*	99,70	180,50	9,50	52,00	10,90	29,30
20/03/97	360,00	315,60	14,00	16,30	12,40	16,60	13,70	18,40
23/04/97	45,10	79,40	*	*	6,20	6,20	5,00	6,40
22/05/97	53,20	59,60	4,30	6,10	3,70	3,70	6,30	7,80
25/06/97	40,50	91,40	12,60	16,00	4,60	9,90	4,30	7,10
17/07/97	16,40	21,90	4,70	4,70	3,70	3,80	4,70	6,00

* - valores inexistentes

4.6 Balanço de massa do fósforo total, ferro total, material particulado total, inorgânico e orgânico (ton)

A estimativa anual dos valores de entrada, saída e retenção do fósforo total, ferro total, material particulado total, inorgânico e orgânico, para o reservatório de Salto Grande e nos compartimentos 1, 2, 3 e 4 (FIGURA 3), estão apresentados na TABELA 37.

O reservatório de Salto Grande apresentou uma retenção de 203,24 toneladas de fósforo total; 2.675,46 toneladas de ferro total; 73.021,78 toneladas de material particulado total; 61.619,29 toneladas de material particulado inorgânico e 11.402,49 toneladas de material particulado orgânico.

O compartimento 2 foi o que apresentou os maiores valores de retenção de massa, para as variáveis analisadas: 101,51 ton de fósforo total, 1.538,59 ton de ferro total, 66.679,96 ton de material particulado total, 58.272,82 ton de material particulado inorgânico e 8.407,13 ton de material particulado orgânico. Os menores valores de retenção foram obtidos no compartimento 4, com exceção do material particulado orgânico, que apresentou a menor retenção no compartimento 3 (TABELA 37).

Valores de retenção negativos foram encontrados no compartimento 1, para o ferro total (-57,65 ton), material particulado total (-21.470,60 ton), material particulado inorgânico (-19.464,61 ton) e material particulado orgânico (-2.209,56 ton).

TABELA 37 - Balanço de massa do fósforo total, ferro total, material particulado total, inorgânico e orgânico (ton), no reservatório de Salto Grande e seus compartimentos, no período de agosto de 1996 a julho de 1997.

		Fósforo total	Ferro total	M.P.T.	M.P.I.	M.P.O.
	Entrada	268,56	3.761,95	83.047,37	67.425,01	15.622,36
Reservatório	Saída	65,32	1.086,49	10.025,59	5.805,72	4.219,87
	Retenção	203,24	2.675,46	73.021,78	61.619,29	11.402,49
	Entrada	268,56	3.761,95	83.047,37	67.425,01	15.418,77
Compartimento 1	Saída	213,45	3.819,59	104.517,97	86.889,62	17.628,33
	Retenção	55,11	-57,65	-21.470,60	-19.464,61	-2.209,56
	Entrada	213,45	3.819,59	104.517,97	86.889,62	17.628,33
Compartimento 2	Saída	111,95	2.281,00	37.838,01	28.616,80	9.221,20
	Retenção	101,51	1.538,59	66.679,96	58.272,82	8.407,13
	Entrada	111,95	2.281,00	37.838,01	28.616,80	9.221,20
Compartimento 3	Saída	84,14	1.230,82	17.441,20	9.956,45	7.484,75
	Retenção	27,81	1.050,18	20.396,81	18.660,35	1.736,45
	Entrada	84,14	1.230,82	17.441,20	9.956,45	7.484,75
Compartimento 4	Saída	65,32	1.086,49	10.025,59	5.805,72	4.219,87
	Retenção	18,82	144,33	7.415,61	4.150,73	3.264,88

4.7 Sedimentação bruta, sedimentação líquida e ressuspensão

Nas tabelas 38 e 39 estão apresentados os valores de sedimentação bruta (S_b), sedimentação líquida - calculada através do balanço de massa (S_{L1}), sedimentação líquida - calculada através do método de datação do chumbo 210 (S_{L2}), e ressuspensão (Re) para fósforo total e material particulado total, respectivamente.

Os maiores valores de sedimentação bruta e líquida foram encontrados no compartimento 2, tanto para o fósforo total, quanto para o material particulado total, sendo que a ressuspensão foi maior no compartimento 1.

A datação dos perfis de sedimento e o cálculo da sedimentação líquida através do método do chumbo 210, só foram possíveis para os compartimentos 3 e 4. Para os

perfis dos compartimentos 1 e 2 não foi possível a datação, pois os mesmos apresentaram resultados com características de forte perturbação das camadas de sedimentação, impedindo a datação. Desta forma só foi possível fazer o cálculo de sedimentação líquida nos compartimentos 3 e 4. Estes compartimentos apresentaram valores de sedimentação líquida, através do método do chumbo 210, maiores que os de sedimentação bruta, inviabilizando o cálculo da ressuspensão.

O reservatório apresentou uma ressuspensão de 87 toneladas para o fósforo total e de 200.618,47 toneladas para o material particulado total.

TABELA 38 - Sedimentação bruta (S_b), sedimentação líquida calculada através do balanço de massa (S_{L1}), sedimentação líquida calculada através do método de datação do chumbo 210 (S_{L2}), e ressuspensão (Re) de fósforo total (ton), no reservatório de Salto Grande.

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Reservatório
S_B ton	140,60	146,52	65,59	29,77	382,48
S_{L1} ton	55,64	102,75	28,69	19,12	206,20
S_{L2} ton	-	-	81,07	62,04	-
Re ton	46,19	29,42	4,85	6,54	87,00

TABELA 39 - Sedimentação bruta (S_b), sedimentação líquida calculada através do balanço de massa (S_{L1}), sedimentação líquida calculada através do método de datação do chumbo 210 (S_{L2}), e ressuspensão (Re) de material particulado total (ton), no reservatório de Salto Grande.

	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3	Comp. 4	Reservatório
S_B ton	164.423,90	78.853,15	23.411,39	9.354,06	276.042,50
S_{L1} ton	-21.374,65	68.165,90	20.893,50	7.534,10	75.424,03
S_{L2} ton	-	-	73.691,81	40.583,79	-
Re ton	185.798,55	10.683,25	2.517,89	1.819,96	200.618,47

4.8 Modelagem do fósforo total, material particulado total, inorgânico e orgânico (ton).

Nas figuras 42 e 43 estão apresentados os modelos de fósforo total, material particulado total, inorgânico e orgânico, para o reservatório de Salto Grande.

Os modelos compartimentalizados do reservatório estão apresentados nas figuras 44, 45, 46 e 47.

Estes modelos são a representação gráfica dos resultados do balanço de massa, sedimentação bruta e líquida e da ressuspensão do fósforo total e do material particulado total, inorgânico e orgânico apresentados anteriormente.

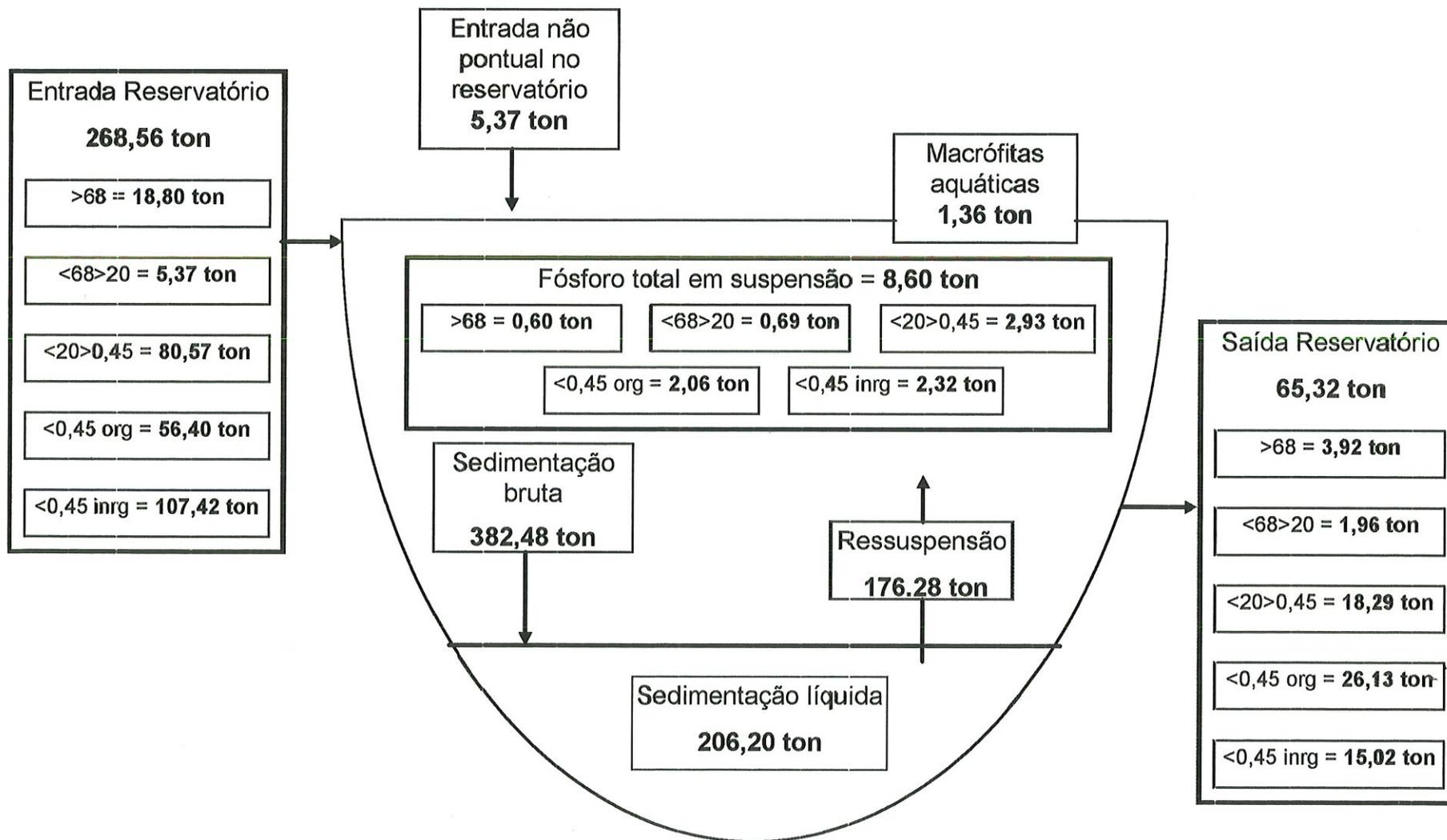


FIGURA 42 - Modelo do balanço de massa do fósforo total e do fósforo em partículas maior que 68 μm (>68); menor que 68 μm e maior que 20 μm (<68>20); menor que 20 μm e maior que 0,45 μm (<20>0,45); menor que 0,45 μm orgânico (<0,45) e menor que 0,45 μm inorgânico (<0,45) para o reservatório de Salto Grande, no período de agosto de 1996 a julho de 1997.

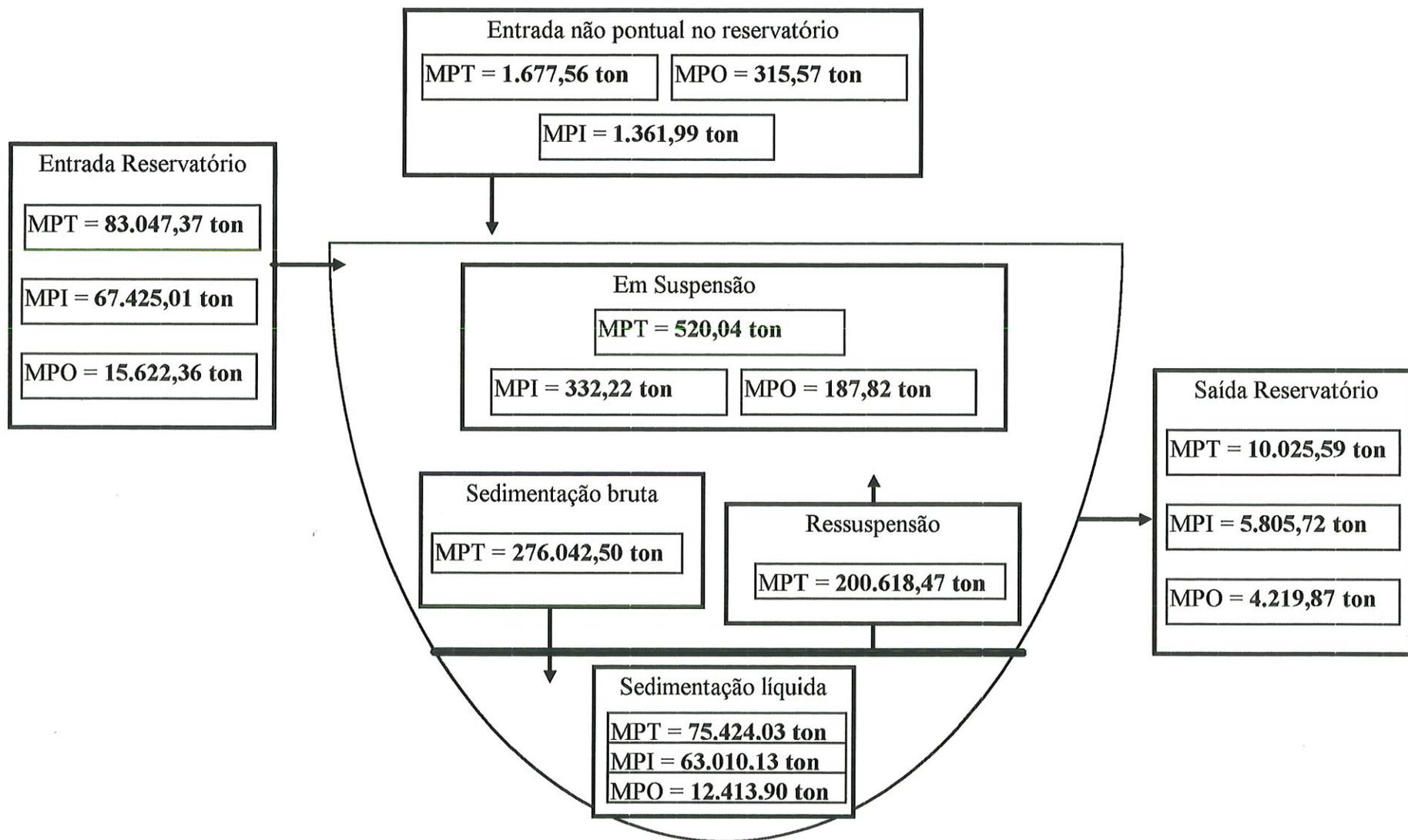


FIGURA 43 - Modelo do balanço de massa do material em suspensão total, inorgânico e orgânico para o reservatório de Salto Grande. para o período de agosto de 1996 a julho de 1997.

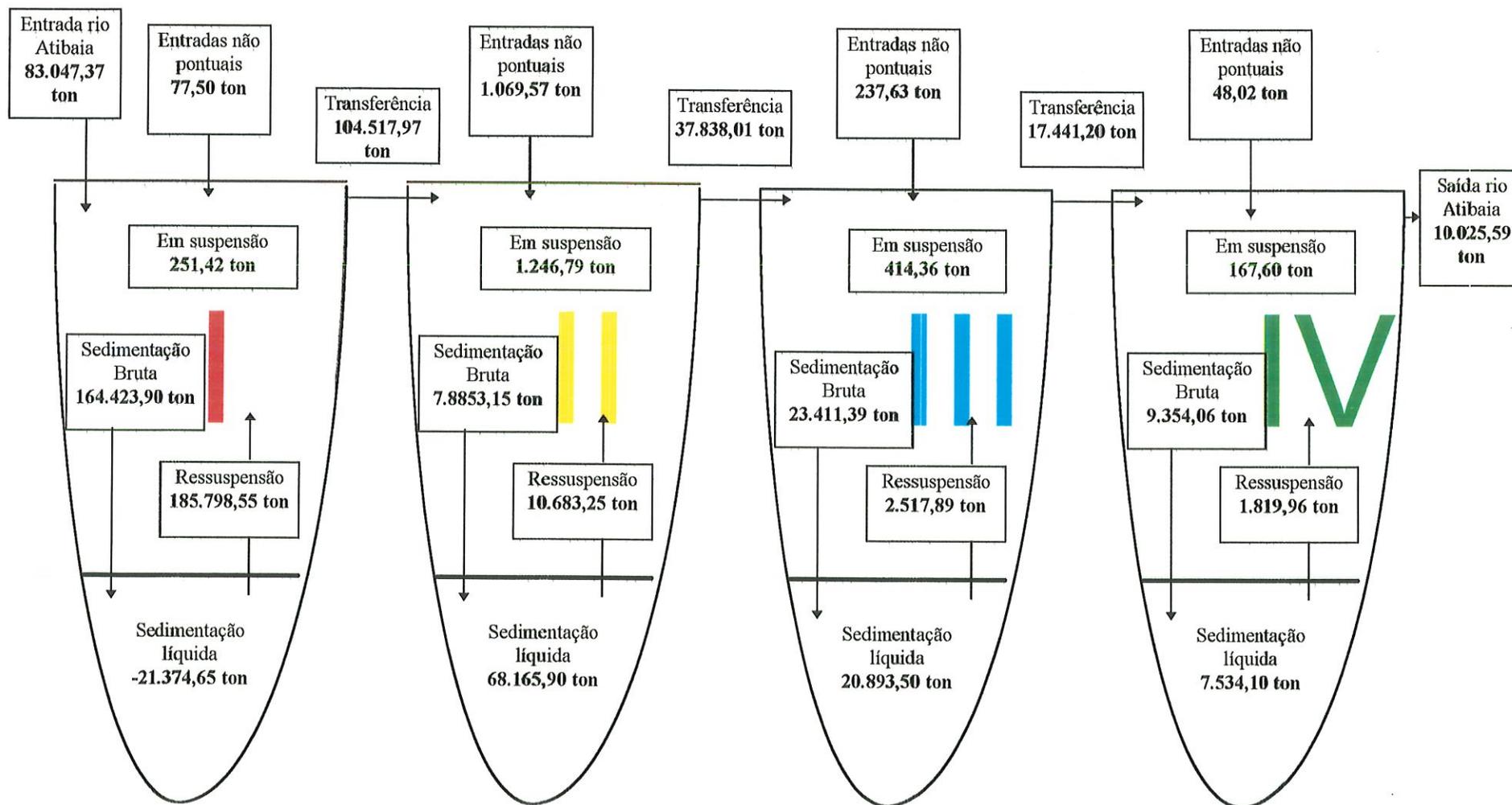


FIGURA 45 - Modelo do balanço de massa do material particulado total nos compartimentos do reservatório de Salto Grande.

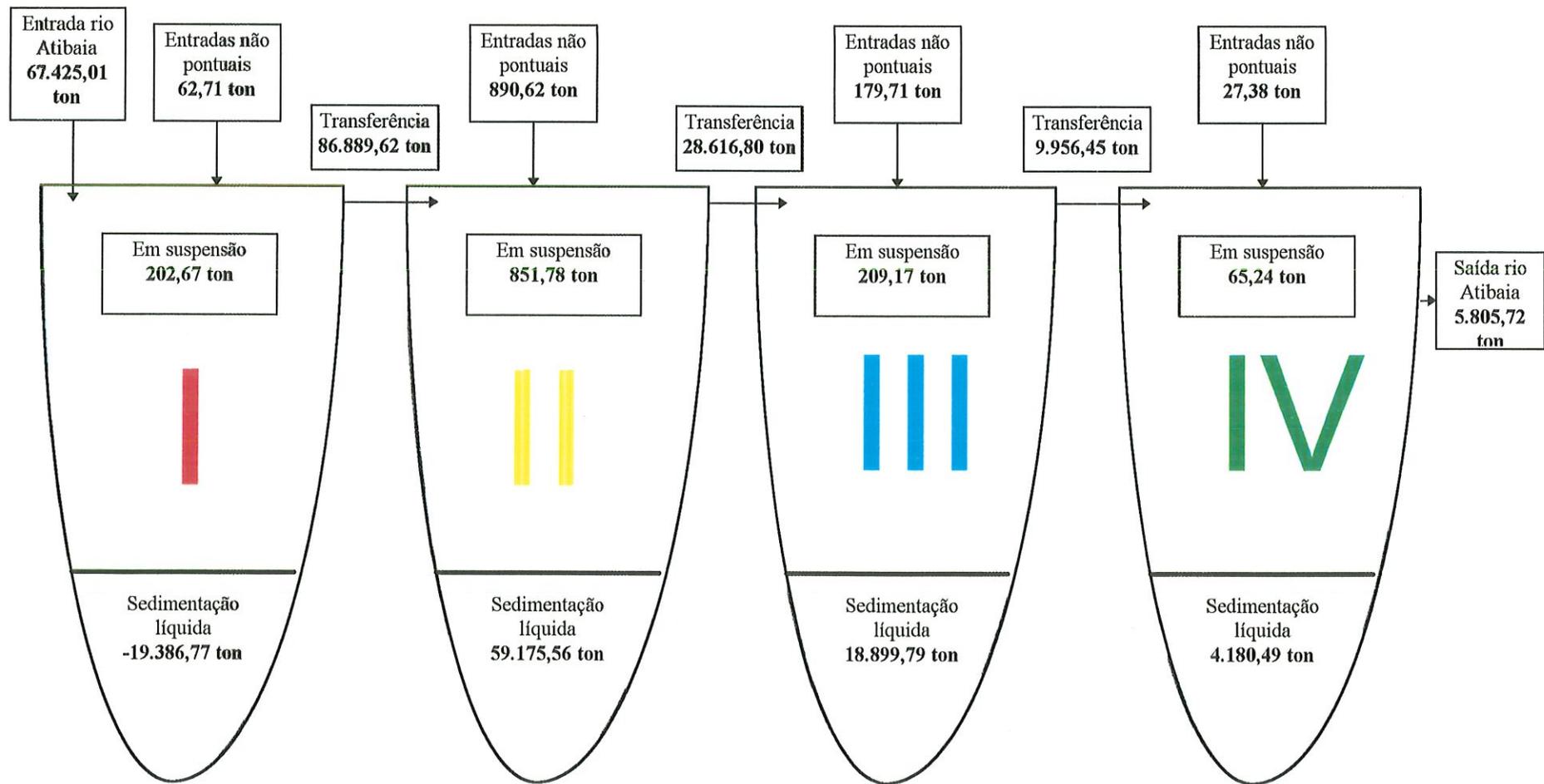


FIGURA 46 - Modelo do balanço de massa do material particulado inorgânico nos compartimentos do reservatório de Salto Grande.

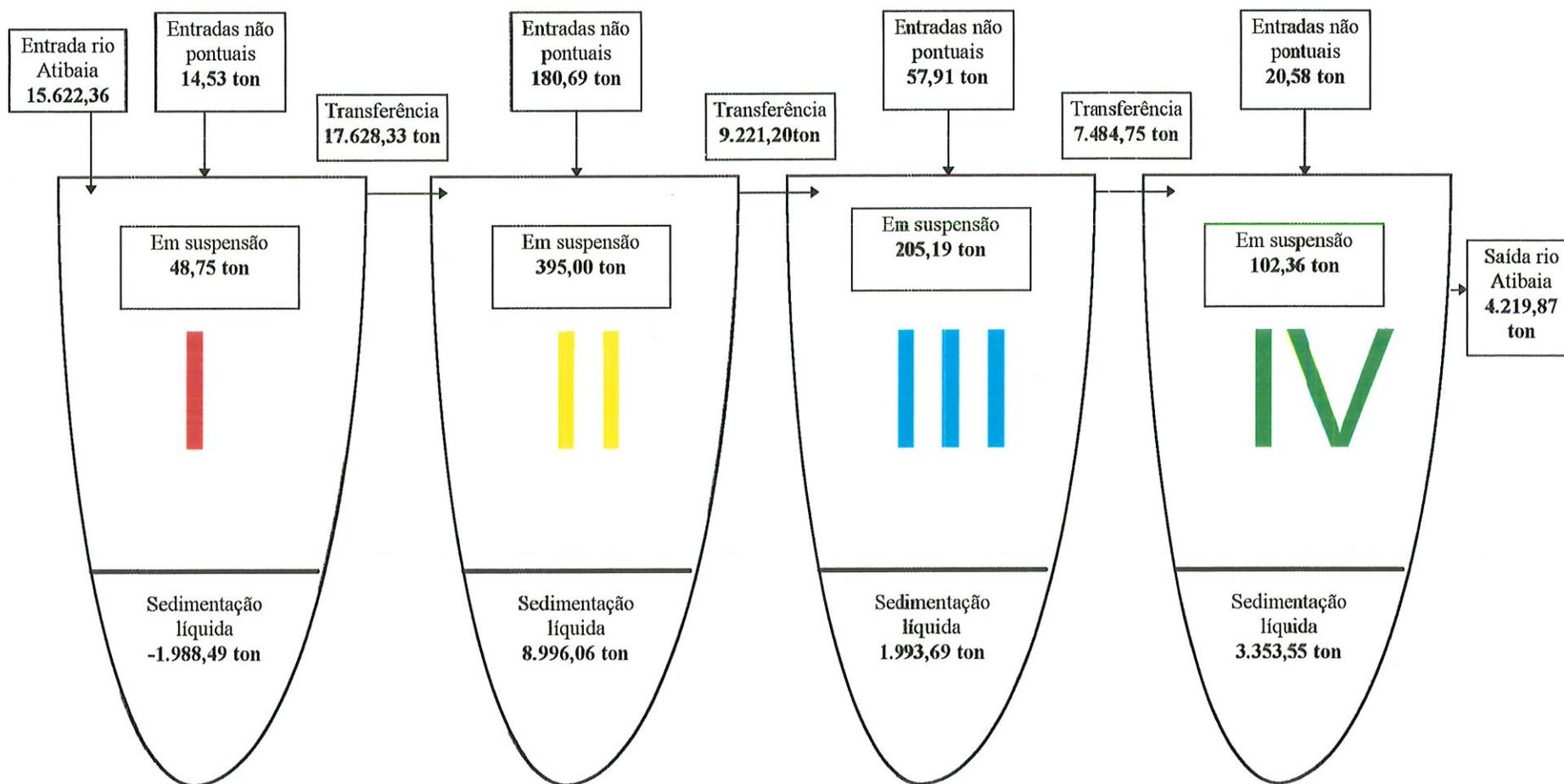


FIGURA 47 - Modelo do balanço de massa do material particulado orgânico nos compartimentos do reservatório de Salto Grande.

5. DISCUSSÃO

Em regiões tropicais pode-se distinguir duas estações climáticas bem definidas: a seca (de abril a setembro) e a chuvosa (de outubro a março), caracterizadas por apresentar, respectivamente, baixos e altos valores de radiação solar, temperatura, pluviosidade e umidade relativa do ar. As características físicas, químicas e biológicas de ecossistemas são variáveis diretamente relacionadas às condições climáticas, às quais o sistema está sendo submetido. Situado em uma região de clima *Cwa*, de acordo com a classificação de KÖPPEN, ou seja, com inverno seco e verão quente e úmido, o reservatório de Salto Grande, no período observado, esteve sujeito, conforme esperado, a maiores índices de pluviosidade nos meses de verão (outubro de 1996 a janeiro de 1997) e a menores nos meses de inverno (agosto de 1996 e julho de 1997). Os maiores valores de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, também foram encontrados no período de verão. O mês de junho de 1997, apesar de ter apresentado o menor valor de temperatura média do período (18,8 °C), apresentou valores elevados de precipitação e umidade relativa do ar, incomuns no período de inverno, chegando a superar os meses de fevereiro e março de 1997.

As variações no padrão climático da região em estudo, com meses de verão apresentando baixas precipitações (fevereiro e março de 1997) e o mês de junho de 1997 (inverno) apresentando precipitação mais elevada e conseqüente elevação na umidade relativa do ar, foram devidas ao fenômeno climático conhecido como “EL NIÑO”, responsável pela elevação da temperatura das águas do Oceano Pacífico próximas à costa do Chile, e que interfere nas condições climáticas de todo o planeta, provocando maior pluviosidade no sul do Brasil e seca nas regiões norte e nordeste; o último fenômeno “EL NIÑO”, ocorreu no biênio 97/98.

As precipitações elevadas nos meses de verão culminaram com o aumento das vazões de entrada e de saída do reservatório, que por sua vez, reduziram o tempo de residência da água, até 13,93 dias, valor encontrado em fevereiro de 1997. O maior valor do tempo de residência foi atingido no mês de julho de 1997 (86,37 dias) e sua média anual foi de 44,51 dias. Volumes baixos e quase constantes no verão e os maiores volumes no início do inverno (TABELA 3), foram devidos à estratégia de operação da usina, já que, além de gerar energia elétrica, o reservatório é também utilizado para regular a vazão do Rio Piracicaba, a jusante (CPFL, 1994). O valor elevado da precipitação no mês de junho de 1997 (128,1 mm), chegando a superar os meses de fevereiro e março de 1997 (87,1 e 73,1 mm respectivamente), também contribuiu para que o maior volume do reservatório fosse registrado no mês de julho de 1997 ($102,51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Os maiores valores de velocidade média do vento foram registrados no período entre agosto e novembro de 1996, mês este que apresentou o maior valor ($2,61 \text{ m.s}^{-1}$). A direção predominante do vento variou muito, tanto em escala diária, como sazonal. Nictimeralmente, os ventos predominantes foram: leste, no período da manhã; sul e oeste, no período da tarde; e sul e sudeste, a noite.

A quantidade e composição (qualidade) espectral da radiação solar direta que chega à superfície de uma massa d'água, varia com a latitude, estação do ano, hora do dia, altitude e condições meteorológicas, as quais são função da mudança dinâmica das distâncias angulares da radiação, da transparência molecular da atmosfera e da distância que a luz deve percorrer. Parte da radiação solar que chega à superfície da água é perdida por reflexão. Os valores da reflexão variam muito, pois dependem do ângulo de incidência, da topografia e das condições meteorológicas. Quando a superfície da água é perturbada pela ação do vento, a reflexão aumenta, podendo diminuir um pouco, se as ondas forem muito fortes e a luz incidir mais perpendicularmente. Parte da energia luminosa total que penetra na água, é absorvida pela própria água, e pelas partículas em solução e em suspensão. Outra parte, é dispersa pelos componentes iônicos e moleculares da água, seus solutos e, principalmente, pelo material em suspensão (WETZEL, 1981).

Na região de Americana, o período compreendido entre outubro de 1996 a março de 1997 (primavera e verão) foi o que apresentou os maiores valores de radiação solar. Nesse período, a radiação solar atingiu o valor máximo no mês de fevereiro de 1997 ($424,1 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), pouca precipitação (87,1 mm) e altos valores do período de insolação ($7,6 \text{ h.dia}^{-1}$), se comparado com o mês de janeiro de 1997 ($361,1 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), que apresentou a maior precipitação (352,2 mm) e o menor período de insolação ($4,2 \text{ h.dia}^{-1}$) (TABELA 2).

A radiação solar na superfície do reservatório, ao longo dos eixos espacial e temporal, variou significativamente com as mudanças climáticas. A cobertura irregular por nuvens e o horário de medida (que variou das 9:00 hs, na estação 2, às 12:00 hs, na estação 5), foram os fatores responsáveis pela variação espacial da radiação solar incidente sobre a superfície do lago. A maior variação ao longo do eixo espacial foi registrada no mês de dezembro de 1996, quando a radiação solar na superfície foi de $360 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, na estação 2, e $1.300 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, na estação 5. No tempo, os menores valores foram registrados nos meses de dezembro de 1996 e janeiro de 1997, devido à cobertura de nuvens.

Os meses de maiores valores de precipitação e cobertura de nuvens, caracterizados pelos menores valores de horas de insolação (dezembro de 1996 e janeiro de 1997), foram os que apresentaram os menores valores de radiação solar subaquática. A cobertura de nuvens, o horário de medida e a concentração de material em suspensão, influenciaram na penetração da radiação solar na coluna d'água (figuras 3, 4, 5 e 6). Quedas abruptas na radiação solar subaquática, até 1 metro de profundidade, foram registradas nos meses de dezembro de 1996 e janeiro e fevereiro de 1997, em todas as estações de coleta. As precipitações elevadas, resultando nas maiores vazões registradas (TABELA 3) e conseqüente redução no tempo de residência da água no período de verão, fizeram com que as estações de coleta sofressem influências acentuadas do material em suspensão (figuras de 15 a 23), o que limitou a penetração da luz e ocasionou reduções da zona eufótica e da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (FIGURA 8 e tabelas de 5 a 8). Nesse período, também foram registrados os maiores valores de zona afótica e do coeficiente de atenuação do contraste vertical (K) para todas as estações. Os baixos

valores de pluviosidade e de vazão e o aumento no tempo de residência da água, provocando a diminuição na concentração do material em suspensão inorgânico (figuras 15 a 23), no período de inverno, permitiram maior penetração da radiação solar. Esse fato é corroborado pelos maiores valores de profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (FIGURA 8) e conseqüente aumento na zona eufótica (tabelas de 5 a 8) e menor coeficiente de atenuação (k) (tabelas de 5 a 8).

CALIJURI et al. (1999) determinaram, no reservatório de Salto Grande, valores da zona eufótica variando de 0,75 m em janeiro de 1996 a 4,25 m em agosto de 1995.

No reservatório de Barra Bonita, o aumento do material em suspensão na água, na época de grande precipitação, tem sido apontado como o principal fator responsável pela redução da zona eufótica, com interferência nas respostas fotossintéticas da comunidade fitoplanctônica, segundo CALIJURI (1988).

Segundo HENRY (1993), no reservatório de Jurumirim próximo à barragem, a a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi variou de 2 m, na estação seca, a 3,12 m, na estação chuvosa. Esse fato ocorre nesse sistema pois, segundo NOGUEIRA (1996), a transparência e a penetração de luz na água apresentam um padrão de variação temporal parcialmente dependente das variações climáticas.

CALIJURI (1999), caracterizando o reservatório de Barra Bonita, destacou dois períodos distintos: o verão, com zona eufótica reduzida, alta vazão, menor tempo de residência, baixa transparência da água, aumento do material inorgânico em suspensão e mudança na qualidade ótica da água (devido, principalmente, à qualidade do material orgânico dissolvido: coeficiente de atenuação da água, no verão > coeficiente de atenuação da água, no inverno). Nesta época do ano, a água do reservatório de Barra Bonita apresenta altos valores de condutividade elétrica, elevadas concentrações de nutrientes inorgânicos, maiores concentrações de clorofila e conseqüentemente maior produção primária do fitoplâncton. Ocorre nestes meses, menor intensidade de vento, sendo a luz, o principal fator limitante à produção primária fitoplanctônica. Neste período (verão), a mistura da água, em decorrência da alta vazão, pode determinar, um ambiente turbulento, com sedimentação mínima e ressuspensão máxima (CHALAR-MARQUISÁ, 1998). Quando predominam elevados valores de temperatura e radiação solar, e menor intensidade ou ausência de vento, as

estratificações temporárias conduzem o ambiente a uma estabilidade térmica, com a presença de hipolímio anóxico (CALIJURI & dos SANTOS, 1996).

O período de inverno, segundo CALIJURI E dos SANTOS (op. cit.), é caracterizado por apresentar maiores valores de zona eufótica, tempo de residência da água, transparência da água, material orgânico em suspensão e condutividade elétrica, e menores valores de vazão, material orgânico dissolvido, concentrações de nutrientes, concentrações de clorofila (provavelmente em função da menor concentração de fosfato na zona eufótica) e, conseqüentemente, menor produção primária. Neste período, marcado por isoterma da coluna d'água, os dias nos quais ocorreram baixa intensidade ou ausência de ventos verificou-se baixas concentrações de oxigênio dissolvido nas camadas superficiais e hipolímio anóxico. Quando o vento age no sistema, provocando turbulência, o oxigênio dissolvido é encontrado até o fundo. Nestes meses, ocorrem as maiores concentrações de fósforo total particulado. No fluxo vertical, segundo CHALAR-MARQUISÁ (1998), ocorre a sedimentação de materiais orgânicos sintetizados na zona eufótica.

O reservatório de Salto Grande, neste estudo, apresentou grandes variações na concentração de oxigênio dissolvido e na temperatura, principalmente no sentido vertical. As concentrações de oxigênio dissolvido variaram de $14,35 \text{ mg.L}^{-1}$ na estação 4 a $0,5 \text{ m}$ de profundidade, no mês de agosto de 1996, a $0,00 \text{ mg.L}^{-1}$ nas estações 3, 4 e 5 nas profundidades próximas ao fundo, em vários meses do período de coleta (figuras 10, 11 e 12). A estação 2, apresentou homogeneidade na coluna d'água, devido a suas características hidrodinâmicas: pouca profundidade (profundidade máxima de 4 m), e uma considerável velocidade de fluxo (constatada durante as amostragens pelo arraste dos barcos e dos experimentos de sedimentação, devido ao estrangulamento das margens e a forte influência do rio Atibaia) (FIGURA 1). As estações 3, 4 e 5 apresentaram estratificações químicas tendo por base a concentração do oxigênio dissolvido e térmica, nos meses de inverno (agosto e setembro de 1996 e junho e julho de 1997) e na maioria dos meses de verão. Oxiclina não foram registradas nos meses: fevereiro e março de 1997 na estação 3; outubro de 1996 nas estações 4 e 5; e abril e maio de 1997 na estação 5.

Decrecimos rápidos das concentrações de oxigênio dissolvido, com a presença de hipolimnio anóxico, nos meses em que ocorreram as maiores vazões e os menores tempos de residência da água foram atribuídos, para o reservatório de Barra Bonita, ao transporte de material particulado; devido à entrada de matéria orgânica da zona litorânea e da bacia de drenagem para a região mais profunda do sistema e à ressuspensão do material do fundo (CALIJURI, 1999). A mesma autora, observou que reservatórios eutróficos, geralmente estão mais sujeitos à maior depleção de oxigênio dissolvido durante o verão do que os oligotróficos.

As maiores diferenças nos valores de temperatura, ao longo do eixo vertical, foram registradas nos meses de agosto e outubro de 1996, fevereiro, junho e julho de 1997, com uma diferença máxima de 2 °C. Na maioria das vezes, as estratificações térmicas foram acompanhadas pelas estratificações do oxigênio dissolvido.

STRASKRABA (1973) sugere que o tempo de residência seja um fator “chave” para o entendimento da limnologia de reservatórios. Dependendo do tamanho e da morfometria da represa, a diminuição do tempo de residência da água, em decorrência do aumento na vazão, pode explicar uma mudança na estabilidade do ambiente, considerada uma transição entre uma condição de estratificação para uma de mistura.

Vários autores têm atribuído ao vento, um papel importante na mistura da coluna d'água dos reservatórios no Brasil. ARCIFA & FROEHLICH (1986), num estudo dos padrões de circulação vertical em dez reservatórios do estado de São Paulo, verificaram que o vento é um importante fator na mistura da coluna d'água desses sistemas. DE FILIPPO (1987), ARANHA (1990), CALIJURI & TUNDISI (1990), CALIJURI & DOS SANTOS (1996) e CALIJURI (1999) evidenciaram que o vento é uma importante função de força na oscilação da estabilidade térmica do reservatório de Barra Bonita. TUNDISI (1981), CALIJURI (1988) e OLIVEIRA (1993) observaram o mesmo comportamento no Reservatório do Lobo (Broa). HENRY (1990) demonstrou que o reservatório de Jurumirim também recebe fortes influências do vento em relação à sua estrutura térmica e relacionou esta influência ao fato do reservatório estar inserido numa planície, ter uma largura bastante considerável (largura máxima de 10,5 km), as encostas das duas vertentes serem suaves e o vento soprar sempre na direção do maior eixo do reservatório.

Para o reservatório de Salto Grande a situação é oposta à descrita por HENRY (op. cit.): a direção predominante de vento sul no período de maior intensidade do mesmo, cruzando quase que transversalmente ao maior eixo do reservatório; a variação nictemeral na direção do vento (TABELA 2); as vertentes laterais altas e muito próximas às margens (especialmente as da face sul, onde as distâncias da margem variaram de 1,3 a 5,5 km, com um desnível de até 78 m); a presença de grandes bancos de macrófitas aquáticas flutuantes (área total estimada em 1.123.966,94 m²) e a pequena largura (largura máxima 1,5 km), contribuíram para impedir que o vento atuasse de forma a provocar a instabilidade do sistema e romper a estratificação térmica e química da coluna d'água no inverno.

Dessa forma, a vazão, e o conseqüente menor tempo de residência da água no reservatório, parecem ser as principais funções de força responsáveis pela turbulência e conseqüente desestratificações químicas e térmicas nas estações 3, 4 e 5, sendo que o vento, ao contrário de muitos reservatórios no Estado de São Paulo, parece não influenciar de maneira significativa a mistura da coluna d'água no reservatório em questão.

A pouca influência do vento sobre o sistema também foi observada por HENRY & BARBOSA (1989) nos lagos Don Helvécio e Carioca, no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais e por HENRY & CURY (1981) na Represa do Rio Pardo, em Botucatu, no Estado de São Paulo. FROEHLICH et al. (1978) também constataram que ventos fortes não sopram com freqüência no reservatório de Salto Grande, sendo sua influência, isolada, insuficiente para efetuar a circulação completa da coluna d'água.

Segundo WETZEL (1983), a morfometria de um reservatório, sua exposição ao vento e a estrutura da estratificação, são fatores importantes na determinação dos padrões de circulação da água. Em geral, a velocidade da correnteza originada pelo vento é de, aproximadamente, 2% da velocidade do vento que a provocou. Além do mais, é preciso um período razoavelmente longo de tempo, para que o vento provoque um arraste na camada superficial do reservatório e inicie um processo de mistura com capacidade de romper a estratificação da coluna d'água.

Para TUNDISI (1990), as principais funções de força que controlam os processos químicos nos reservatórios da América do Sul são o vento, a vazão e o tempo de residência da água. No reservatório de Salto Grande fica evidente que as principais funções de força são a vazão e o tempo de residência da água, visto que o vento não atua de maneira efetiva no sistema.

O pH no reservatório de Salto Grande variou de 5,60, na maior profundidade da estação 3, a 8,79 na superfície da estação 5. Na prática a estação 2 não apresentou variação do pH em relação a profundidade devido ao predomínio da turbulência. Ao longo do tempo, o pH nessa estação variou de 5,90, em outubro de 1996, a 6,73, nos meses de janeiro e julho de 1997. Vários fatores devem ter influenciado os valores de pH, pois o reservatório como um todo parece não apresentar um padrão de variação do pH muito relacionado com as estações do ano. Nesse contexto supõe-se que a variação do pH deva estar relacionada a lançamentos de efluentes no rio Atibaia a montante do reservatório.

As variações nos valores de pH ao longo da profundidade, especialmente no mês de agosto de 1996, para as estações 3, 4 e 5, e nos meses de novembro de 1996 e janeiro de 1997 nas estações 4 e 5, provavelmente sejam devidas as maiores atividades fotossintéticas, evidenciadas pelas altas concentrações de oxigênio dissolvido e de clorofila na superfície. Segundo WETZEL (1981), uma maior intensidade da fotossíntese em relação a respiração, na zona trofогênica, provoca uma diminuição da concentração de CO₂ e um aumento do pH, enquanto que na zona trofолítica e nos sedimentos, a maior respiração aumenta a concentração do CO₂ e reduz o valor do pH.

A Lagoa do Taquaral (Campinas), apresentou valores altos de pH (9,8) e oxigênio dissolvido (saturação de 239%) na superfície, sendo esses valores atribuídos ao processo fotossintético, devido à grande quantidade de algas encontradas no local (MATSUMURA-TUNDISI et al., 1986).

No reservatório de Salto Grande a condutividade elétrica não apresentou variação significativa ao longo do eixo vertical em todas as estações durante o período de amostragem. Os maiores valores nas estações 3, 4 e 5 foram registrados no mês de agosto de 1996 (251; 248 e 235 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, respectivamente). Na estação 2

os valores variaram entre $84 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (fevereiro de 1997) e $316 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (maio de 1997). Apesar dos menores valores de condutividade elétrica terem sido registrados tanto nos meses de inverno, como nos de verão (estações 3 e 4, $81 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no mês de julho de 1997; e estação 5, $140 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no mês de outubro de 1996), os meses de inverno foram nos que se registraram os maiores valores. A estação 1, no rio Atibaia também apresentou maiores valores de condutividade elétrica nos meses mais secos, com queda durante o período de maior precipitação. As quedas nos valores da condutividade elétrica nos meses de verão devem estar relacionadas às diluições provocadas pelos grandes volumes de água que entraram no sistema neste período.

OISHI (1996), estudando o reservatório de Barra Bonita, também atribuiu os menores valores de condutividade no período de precipitações elevadas à diluição provocada pelo maior volume de água afluente.

PROBST et al. (1992) estudando os rios Congo e Ubangi, observaram que as concentrações de cátions e ânions dissolvidos variaram inversamente com a vazão, atribuindo a queda da condutividade, à diluição da água do rio, pela chuva.

Na água do reservatório de Salto Grande as concentrações do ferro total variaram de $0,10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (outubro de 1996) na maior profundidade da estação 4, a $7,57 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (janeiro de 1997) na estação 1. As concentrações de ferro total na água aumentaram nos meses de maior pluviosidade, em todas as estações de coleta. Este fato deve estar relacionado com a maior concentração de material em suspensão inorgânico proveniente do solo da região. Observando a TABELA 25, fica evidente que as concentrações de ferro total foram aumentando de outubro de 1996 até fevereiro de 1997, voltando a cair até maio de 1997. A elevada pluviosidade registrada em junho de 1997 (128,1 mm), fez com que as concentrações de ferro na água voltassem a aumentar, nesse mês, em todas as estações de coleta. A maior concentração média foi registrada na estação 2 com uma queda gradual até a estação 6, sendo que, próximo ao fundo, as concentrações médias foram ligeiramente maiores que as da superfície nas estações 3, 4 e 5 (FIGURA 14). Nas estações 3 e 4, as diferenças das concentrações da superfície e do fundo foram maiores nos meses de verão. Este fato foi, provavelmente, devido à maior taxa de sedimentação do material em suspensão nesse período, como pode ser observado na TABELA 36.

O desenvolvimento de programas eficientes de manejo de sistemas ecológicos, requer o conhecimento de seus metabolismos que significa determinar os processos biológicos nele desenvolvidos e, conseqüentemente, as transferências de energia dos seus diversos níveis tróficos (CALIJURI, 1999).

A produção de matéria fotossintética, pela comunidade fitoplanctônica, é o processo mais importante do metabolismo de um sistema. Pela fotossíntese, a energia luminosa é convertida em energia química, estocável em compostos orgânicos como carboidratos, lipídeos e proteínas (CALIJURI, op. cit.). A produção primária fitoplanctônica é controlada pela interação de muitos fatores, que segundo STRASKRABA (1973; 1980), pode ser teoricamente admitida como um ponto localizado em um multiespaço, caracterizado, no mínimo, pela posição geografia, morfometria, qualidade ótica da água, fatores hídricos e interações biológicas das populações.

A maior concentração média de clorofila *a*, foi obtida na estação 4 superfície ($19,07 \mu\text{g.L}^{-1}$). Com relação ao fracionamento das amostras, a fração mais representativa do fitoplâncton no reservatório de Salto Grande, foi a de tamanho $<20>0,45 \mu\text{m}$, com porcentagens médias de concentração variando entre 56 e 83% dos pigmentos totais encontrados na coluna d'água. A fração de tamanhos de partículas $<68>20 \mu\text{m}$, apresentou uma porcentagem média variando entre 17 e 44%; a fração de tamanho $>68 \mu\text{m}$ foi menos significativa em termos quantitativos, aparecendo com porcentagem média variando de 0 a 4%. A predominância quantitativa da fração de tamanhos $<20>0,45 \mu\text{m}$, seguida da $<68>20 \mu\text{m}$, também foi verificada no material em suspensão orgânico ($<20>0,45$ variou de 62 a 89%; $<68>20$ ficou entre 9 e 30%; >68 entre 0 e 12%).

Segundo CALIJURI (1999) no reservatório de Barra Bonita (SP), a comunidade fitoplanctônica menor que $20\mu\text{m}$ (nanoplâncton), foi responsável por 76% da produção total.

OLIVEIRA (1993), em estudo realizado no braço do Rio Capivara (Represa de Barra Bonita), concluiu que a contribuição do nanoplâncton (fração $<20\text{mm}$) foi extremamente importante no verão, sendo responsável por praticamente toda a produção. Em Salto Grande, a maior contribuição do nanoplâncton para a

produtividade primária total foi de 94,5% da total (CALIJURI et al., 1999). Segundo CALIJURI (1988), em Barra Bonita, o nanoplâncton dominou durante oito dos doze meses estudados.

A distribuição de tamanho dos organismos fitoplanctônicos é importante na determinação das direções e das magnitudes dos fluxos de carbono e de energia na zona eufótica de sistemas pelágicos, e via sedimentação, na zona afótica e no sedimento. De acordo com WEHR et al. (1994), sistemas cujas importâncias relativas de picoplâncton autotrófico são elevadas, apresentaram taxas de perdas reduzidas.

Segundo CALIJURI (1999), na Represa de Barra Bonita a comunidade <20 μ m apresentou biomassa variando de 17% a 85% da total. DEBERDT (1997), no reservatório de Salto Grande encontrou para fração <20 μ m, próximo a barragem, biomassa variando, em média, entre 21% e 37%.

Os valores da concentração de clorofila *a* total encontrados neste estudo, foram baixos, se comparados aos encontrados por CALIJURI (1999) em Barra Bonita, mas similares aos obtidos por DEBERDT (1997) em Salto Grande, apesar de serem um pouco menores. Estes devem estar relacionado à diluição provocada pela integração da coluna d'água (TABELA 1). A comparação entre os resultados de biomassa expressos em clorofila nos diferentes sistemas aquáticos brasileiros, é problemática, segundo CALIJURI (1999). A mesma autora, atribui esta dificuldade à inexistência de um método comprovadamente eficiente de extração de pigmento, aos erros metodológicos usuais, e à falta de padronização das unidades utilizadas.

Em estudos ecológicos de macrófitas aquáticas, a determinação da biomassa e de seu conteúdo de determinado elemento são fundamentais para estimar-se a produção de matéria orgânica e inferir-se sobre o poder de estocagem que essas plantas representam para o ambiente. As macrófitas têm reconhecida capacidade de estocar nutrientes, que retornam ao sistema aquático, através da excreção e decomposição de sua biomassa. A importância de determinar-se o estoque de um nutriente na biomassa das macrófitas aquáticas, relaciona-se ao fato de quantificar-se a importância desse compartimento no balanço de massa do nutriente (PETRACCO, 1995).

As macrófitas aquáticas no reservatório de Salto Grande ocupam uma área estimada de 1.123.966,94 m². Durante os períodos com predominância do vento leste, os bancos de macrófitas flutuantes tenderam a agrupar-se próximos à barragem, formando um grande tapete verde sobre a lamina d'água (FOTO 1). A biomassa de macrófitas, fauna e flora associadas apresentou uma massa média de 872,8 g.m⁻² de matéria seca, e uma concentração média de fósforo total de 1.212,78 mg.m⁻². A quantidade de fósforo total retido na biomassa de macrófitas, fauna e flora associadas, no reservatório de Salto Grande, foi estimada em 1,36 toneladas. Esta quantidade representa 14% do estoque de fósforo total da zona limnética.

A comparação dos resultados obtidos neste estudo com os encontrados em literatura é difícil, pois a metodologia habitualmente empregada, retira a fauna e flora associadas e, analisa separadamente raízes, caules e folhas das macrófitas. Neste estudo, as macrófitas, fauna e flora associadas foram analisadas como um compartimento único, tratando o compartimento como uma caixa preta, onde foram feitas amostragens aleatórias para estimar a média do fósforo no compartimento.

Segundo MORAES (1998), as espécies que predominaram no reservatório de Salto Grande, durante o período de coleta, foram: *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*, *Brachiaria arrecta* e *Cyperus sesquiflorus*, apresentando biomassa de 380,75 g.m⁻²; 1.368,75 g.m⁻²; 1.209,60 g.m⁻²; e 823,80 g.m⁻², respectivamente. A mesma autora, verificou que não houve variação espacial significativa entre as biomassas das macrófitas.

Nos últimos dez anos, vários autores têm demonstrado, para os reservatórios do Estado de São Paulo, uma drástica redução da zona eufótica nos períodos de grande precipitação, atribuindo ao tipo de ocupação territorial, o maior impacto nos processos erosivos que podem ser os responsáveis pelo aumento dos sólidos em suspensão na água, culminando com o assoreamento de reservatórios (CALIJURI, 1999).

O material em suspensão total e inorgânico apresentaram uma distribuição similar em todas as estações de coleta, com as maiores concentrações no verão (período chuvoso) e as menores concentrações no inverno (período seco). Apesar de não ter apresentado um padrão claro de distribuição temporal, o material orgânico em

suspensão apresentou uma tendência a aumentar sua concentração no verão, nas estações 1 e 2. Nas demais estações (3, 4, 5 e 6), o material orgânico em suspensão apresentou uma distribuição temporal sem um padrão definido, com tendência à homogeneidade durante todo o ano. Ao longo do eixo longitudinal, as maiores concentrações do material em suspensão total, orgânico e inorgânico, também apresentaram queda gradual na concentração, da estação 1 para a 6. As maiores concentrações do material em suspensão nos meses de verão estão relacionadas às maiores precipitações e conseqüente maior arraste de matéria inorgânica, principalmente, para o reservatório. A maior vazão afluyente e menor tempo de residência no período de verão, fizeram com que ocorresse o aumento na concentração do material em suspensão, principalmente inorgânico, em todo reservatório.

Aumento nas concentrações de material em suspensão durante o período de verão, também foram observadas por CALIJURI (1988, 1999), no reservatório de Barra Bonita (São Paulo). GIANI et al. (1988) atribuíram a redução na transparência da água no Lago da Pampulha, Minas Gerais, ao aumento do material em suspensão carregado pelas chuvas de verão. No Reservatório do Paranoá, no Distrito Federal, PINTO-COELHO & GIANI (1985) verificaram que o material em suspensão aumentou no período de maiores precipitações. HENRY (1990) verificou que o material em suspensão no reservatório de Jurumirim, São Paulo, tem pouca variabilidade ao longo do tempo, sendo pequena a sua participação como agente de atenuação da radiação solar. HENRY & CURI (1983) verificaram, ao estudarem a Represa do Rio Pardo (Botucatu, SP), que reservatórios com baixos tempos de residência são bastante suscetíveis à introdução de material alóctone, afetando significativamente a transparência da água.

O modelo de balanço de massa do material particulado total, orgânico e inorgânico (FIGURA 43) indica que o material inorgânico foi a principal fonte de material particulado (81%) que entrou no sistema, ficando o material orgânico responsável por apenas 19 %. Quanto à exportação de material particulado pelo reservatório de Salto Grande, 58% foi de material inorgânico e 42% de orgânico. O aumento na contribuição do material orgânico particulado na saída do reservatório é

explicado pela síntese de matéria orgânica autóctone, devido ao aumento no tempo de retenção da água em relação ao sistema lótico (rio Atibaia) e o aumento da zona eufótica nas estações próximas à barragem (estações 4 e 5), o que propiciou, provavelmente, o incremento do processo de produção primária; evidenciado pelo aumento da concentração média de clorofila *a* na estação 4.

Com referência à retenção do material particulado, o reservatório de Salto Grande apresentou uma eficiência de 88% para o material particulado total, 91% para o material inorgânico particulado, e 73% para o material orgânico particulado.

O reservatório de Barra Bonita apresentou retenções similares ao de Salto Grande, com 93% do material particulado total, 95% do material inorgânico particulado e 79% do material orgânico particulado (OISHI, 1996).

Segundo WETZEL (1981), a maior parte do fósforo nos lagos está na forma particulada ($>0,45 \mu\text{m}$) e representa cerca de 95% do fósforo total do sistema. No reservatório de Salto Grande o fosfato total dissolvido representou, em média, 46 a 53% enquanto o fosfato inorgânico dissolvido, por uma fração entre 25 e 40%. CALIJURI (1999), encontrou porcentagens bem inferiores no reservatório de Barra Bonita (11,85% para o fosfato total dissolvido e 6,33% para o fosfato inorgânico dissolvido). OLIVEIRA (1993), apesar das baixas concentrações no Reservatório do Lobo (Broa) encontrou porcentagens variando entre 22 e 30%, para o fosfato total dissolvido, e entre 13 e 28%, para o fosfato inorgânico dissolvido. Na Lagoa do Taquaral, um ambiente hipereutrofizado, o fosfato total dissolvido representou 23% e o fosfato inorgânico dissolvido, 9% do fósforo total (MATSUMURA-TUNDISI et al., 1986).

Os ciclos dos macronutrientes e micronutrientes estão intimamente ligados aos processos biológicos, e as proporções atômicas da biota refletem o modo pelo qual estas substâncias são processados no sistema. A distribuição dos nutrientes nas águas superficiais é portanto, uma função de processos geoquímicos, físicos e biológicos (CALIJURI, 1999).

Ao longo do eixo longitudinal, as formas de fósforo estudadas apresentaram os maiores valores na estação 1 (concentração média fósforo total $254,54 \mu\text{g.L}^{-1}$; fosfato total dissolvido $134,84 \mu\text{g.L}^{-1}$; e fosfato inorgânico dissolvido $102,23 \mu\text{g.L}^{-1}$)

sofrendo quedas gradativas até a estação 6 (concentração média fósforo total $52,41 \mu\text{g.L}^{-1}$; fosfato total dissolvido $24,64 \mu\text{g.L}^{-1}$; e fosfato inorgânico dissolvido $13,14 \mu\text{g.L}^{-1}$) conforme pode ser observado nas figuras 12 e 13. Na Lagoa do Taquaral, foram encontradas concentrações médias de $75,79 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fósforo total, $17,26 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fosfato total dissolvido e $6,90 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fosfato inorgânico dissolvido (MATISUMURA-TUNDISI et al., 1986). No reservatório de Barra Bonita as maiores concentrações foram de $307,11 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fósforo total, $36,40 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fosfato total dissolvido e $19,43 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fosfato inorgânico dissolvido (CALIJURI, 1999). Esses resultados, especialmente os relativos às formas dissolvidas evidenciam as altas concentrações de fósforo no sistema Salto Grande. Com base na classificação proposta por Wellcome caracterizam como um sistema hipereutrófico.

As concentrações de fósforo, no reservatório de Salto Grande, apresentaram dinâmicas diferentes em dois conjuntos de estações: as estações 1 e 2 excederam as demais, no inverno (agosto e setembro de 1996, mais junho e julho de 1997) (tabelas 19 e 20), ocorrendo o oposto no verão, ou seja as estações 3, 4, 5 e 6 apresentando-se mais ricas em espécies fosfatadas.

Este fato pode estar relacionado com a influência do rio Atibaia sobre a dinâmica do reservatório, principalmente nas estações 1 e 2. Desta forma, com o aumento da precipitação, a diluição predominou sobre o aumento das concentrações do fósforo total, fosfato total e inorgânico dissolvidos para as duas primeiras estações. Já nas estações 3, 4, 5 e 6, o menor tempo de residência e a menor sedimentação no início do reservatório, proporcionaram um aumento da concentração do material inorgânico em suspensão em todo o reservatório, fazendo com que as concentrações de fósforo total e do fosfato total e inorgânico dissolvidos fossem mais altas nos meses de verão.

RIOS (1993) e TEIXEIRA (1993) verificaram para os córregos e ribeirões da Bacia do Ribeirão do Feijão em São Carlos S.P., que as concentrações de fósforo e fosfato total e inorgânico dissolvidos e outros nutrientes, sofrem diluição no período de maior precipitação (verão). Esse fato também foi verificado por SÉ (1992), estudando o sistema lótico da Bacia do Ribeirão Monjolinho em São Carlos S.P. MARICATO (1994), estudando o braço do Rio Paranapanema no reservatório de

Jurumirim, observou o efeito de diluição do fósforo total, que variou de $19,84 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso a $23,76 \mu\text{g.L}^{-1}$ no seco. OISHI (1996), estudando as entradas do reservatório de Barra Bonita, verificou que as concentrações de fósforo total, fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico dissolvido apresentaram picos durante a estiagem e uma queda na estação chuvosa. A mesma autora atribuiu este comportamento à possível ação de fontes pontuais de fosfato nos rios, sendo a ação das chuvas, fator de diluição dessas fontes.

As estações 3, 4, 5 e 6, recebem influências do rio Atibaia na concentração de fósforo, quando da diminuição do tempo de residência (verão), fazendo com que o material particulado principalmente inorgânico invadissem toda a represa. Essa afirmação é corroborada pelos resultados do material em suspensão inorgânico que tem sua concentração aumentada em todo o reservatório durante o período de verão (figuras de 24 a 32), principalmente nos meses de janeiro e fevereiro de 1997.

Aumentos na concentração das formas de fósforo no período de chuva, em relação ao período seco, também foram relatados por: CALIJURI (1999) no reservatório de Barra Bonita, com variação média entre $42,55$ e $87,33 \mu\text{g.L}^{-1}$ (estações seca e chuvosa, respectivamente); CALIJURI et al. (1999) no reservatório de Salto Grande, onde o fósforo orgânico total atingiu concentração de $244,42 \mu\text{g.L}^{-1}$ no verão de 1996; e por BARBOSA et al. (1998) na Lagoa da Pampulha (MG), com concentrações de fósforo orgânico total, variando de $30,00 \mu\text{g.L}^{-1}$ na época seca a $92,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ na época chuvosa.

De acordo com STRASKRABA (1995) a concentração de fósforo num sistema aquático é resultado de dois processos: entrada de fósforo e sua transformação no corpo d'água. Os processos biológicos de assimilação e liberação do fósforo pelo fitoplâncton desempenham papel dominante na transformação, mas processos físicos e químicos como sedimentação, adsorção e liberação pelos sedimentos e outros processos biológicos devem ser considerados.

A sedimentação do fósforo total no reservatório de Salto Grande, ocorreu em maior proporção na entrada do reservatório (estação 2), com acentuado declínio nas estações a jusante, variando, no período de verão, de $14,34 \text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ na estação 2 a $2,10 \text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ na estação 5 e de $6,23$ a $3,17 \text{g.m}^{-2}.\text{mês}^{-1}$ (estações 2 e 5,

respectivamente) no inverno. A sedimentação mais elevada de fósforo total na estação 2 já era esperada, pois a sedimentação é maior no início do remanso do reservatório, principalmente de material particulado mais grosso. Esse padrão de deposição também foi observado por COELHO (1993) no reservatório de Salto Grande e por PIÃO (1995), em estudo desenvolvido no braço do Ribeirão dos Carrapatos, na Represa de Jurumirim (SP).

O valor máximo de sedimentação encontrado por MARQUISÁ (1998) no reservatório de Barra Bonita, foi semelhante ao encontrado em Salto Grande, próximo à barragem ($2,39\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mês}^{-1}$) e superior ao encontrado pelo mesmo autor no Reservatório do Lobo (Broa) ($1,10\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mês}^{-1}$).

PIÃO (1995) encontrou valores nas taxas de sedimentação no braço do Ribeirão dos Carrapatos na Represa de Jurumirim no início do remanso ($15,83\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mês}^{-1}$) semelhantes aos verificados em Salto Grande. Os maiores valores de sedimentação foram encontrados a 70% da profundidade da estação. Provavelmente o aumento dos valores na sedimentação foi devido à ressuspensão do fósforo do sedimento e à sua ressedimentação. PIÃO (op. cit.) e MARICATO (1994) também observaram essa diferença nas câmaras de superfície e fundo no reservatório de Jurumirim, atribuindo-a também à ressedimentação do fósforo suspenso do sedimento.

No sedimento da estação 3 as maiores concentrações de fósforo total encontradas (com valor médio de $2.195,79\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) devem estar relacionadas as maiores taxas de sedimentação líquida (tabelas 38 e 39). As menores concentrações na estação 4 (média de $1.100,10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) provavelmente estejam relacionadas à distância da entrada do rio Atibaia e à ausência dos bancos de macrófitas, por longo período de tempo, nessa região. O fato desses bancos de macrófitas localizarem-se preferencialmente na estação 5, devem fazer com que a concentração do fósforo no sedimento seja maior nessa estação do que na anterior (estação 4). A coloração preta e a presença de pedaços de macrófitas no sedimento da estação 5, identificados durante a coleta, demonstram que essa região do reservatório sofre forte influência dos bancos de macrófitas (FOTO 1, ANEXO). A queda da concentração do fósforo total no perfil de sedimento, nas estações 4 e 5, devem estar relacionadas à maior

estabilidade física desses compartimentos, visto que as estações 2 e 3 são fortemente influenciadas pela entrada do rio Atibaia, o que impossibilitou a datação do sedimento pelo método do chumbo 210, devido à ressuspensão freqüente provocada pela turbulência local e pela ressedimentação.

A base de muitas considerações teóricas e práticas pertinentes ao manejo de lagos, é o estabelecimento do balanço de massa desses sistemas. Isso implica no conhecimento do que entra no lago, vindo da bacia hidrográfica e a quantidade, a distribuição e os caminhos de retorno desses recursos (WETZEL, 1981). O balanço de massa do fósforo pode ser usado para predizer, "in situ", a taxa de retenção e de ressuspensão do fósforo do sedimento para a coluna d'água. O conhecimento da quantidade líquida da retenção e ressuspensão do fósforo total pelos sedimentos do lago é potencialmente útil para o estabelecimento do sucesso dos programas de recuperação de lagos, precedidos pela redução das entradas externas de fósforo (DILLON & EVANS, 1993).

A estimativa do balanço de massa do fósforo no reservatório de Salto Grande, demonstra a grande eficiência na retenção desse elemento no sistema. Com as cargas de entrada estimadas em 268,56 ton.ano⁻¹ para o fósforo total; 163,82 ton.ano⁻¹ para o fosfato total dissolvido; e 107,42 ton.ano⁻¹ para o fosfato inorgânico dissolvido e cargas de saída em 65,32 ton.ano⁻¹; 41,15 ton.ano⁻¹; e 15,02 ton.ano⁻¹ (respectivamente, para as três formas de fósforo), o sistema apresentou uma eficiência na retenção desses elementos de 76% para o fósforo total; 69% para o fosfato total dissolvido; e 86% para o fosfato inorgânico dissolvido. A sedimentação bruta foi estimada em 382,48 ton.ano⁻¹, sendo 87,00 ton.ano⁻¹ atribuídas à ressuspensão, o que resultou em uma sedimentação líquida de 206,20 ton.ano⁻¹, para esse elemento. Alta taxa de retenção também foi verificada para o ferro total, com 71% (2.675,46 ton.ano⁻¹), material particulado total, com 88% (73.021,78 ton.ano⁻¹), material particulado inorgânico, com 91% (61.619,29 ton.ano⁻¹) e material particulado orgânico, com 73% (11.402,49 ton.ano⁻¹).

O reservatório de Barra Bonita apresentou cargas superiores às encontradas em Salto Grande, porém apresentou porcentagens de retenção semelhantes. Para o fósforo total, Barra Bonita apresentou uma introdução de 2.567,54 ton.ano⁻¹, uma

exportação de 467,78 ton.ano⁻¹ e retenção de 2.099,76 ton.ano⁻¹ o que corresponde a 82% de todo fósforo que entra no reservatório. Para o fosfato total dissolvido, Barra Bonita apresentou estimativa de retenção de 75% (701,48 ton.ano⁻¹) e retenção de 83% (596,88 ton.ano⁻¹) para o fosfato total dissolvido (OISHI, 1996). Cargas mais elevadas no reservatório de Barra Bonita devem estar relacionadas aos usos do solo da bacia hidrográfica aliados à sua maior vazão, visto que o rio Atibaia é um tributário do Rio Piracicaba, que por sua vez é um dos formadores do reservatório de Barra Bonita. Quanto à maior porcentagem de retenção de Barra Bonita, esta deve estar relacionada ao maior tempo de residência da água desse reservatório (tempo de residência entre 30 e 180 dias) em relação a Salto Grande (tempo de residência entre 14 e 82 dias).

No sistema de Lagos SW Frisian na Holanda, no Lago Tjeukemeer foi registrada uma taxa de entrada de fósforo de 745 kg.d⁻¹, semelhante à encontrada para Salto Grande (736 kg.dia⁻¹). Para os Lagos Groot Brekken e Slotemeer foram verificadas taxas inferiores (421 e 96 kg.dia⁻¹, respectivamente). Porém, as taxas de saída foram bem superiores às de Salto Grande (710 kg.d⁻¹ Lago Tjeukemeer, 420 kg.d⁻¹ Lago Groot Brekken e 104 kg.d⁻¹ Lago Slotemeer), revelando eficiências de retenção muito baixas (4% Lago Tjeukemeer, 0,24% Lago Groot Brekken e -8% Lago Slotemeer) (HARRY, 1992).

Comparado a sistemas de tratamento de esgotos, o reservatório de Salto Grande apresentou altas taxas de retenção, principalmente para o fósforo, visto que sistemas de lagoas de estabilização são, segundo SILVA & MARA (1979), SILVA (1991) e CERQUEIRA (1995), ineficientes na remoção do fósforo, com taxas inferiores a 10%.

SOUZA (1996) estudando um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), seguido de reatores aeróbios seqüenciais em batelada (SBRs) tratando substrato sintético simulando esgotos sanitários, determinou eficiência de 57% no sistema UASB-SBRs; 44% no reator UASB e 29% nos reatores SBRs na remoção do fósforo total. O mesmo autor verificou que eficiências elevadas de remoção de fósforo total ocorreram quando foi adicionado cloreto férrico ao afluente, na concentração de

200mg.L⁻¹. Nesse caso, as eficiências de remoção foram de 84% no reator UASB, 48% no SBRs e 92% no sistema combinado (UASB-SBRs).

A retenção do fósforo total observada no reservatório de Salto Grande, foi comparável à encontrada no sistema UASB-SBRs, visto que o mesmo apresentou uma eficiência de remoção de 76% para o fósforo total, 69% para o fosfato total dissolvido e 86% para o fosfato inorgânico dissolvido. Essa eficiência, provavelmente esteja relacionada à grande quantidade de ferro total que entra em Salto Grande (3.761,95 ton.ano⁻¹; concentração média de 2,53 mg.L⁻¹). As formas de ferro que entram no reservatório devem atuar como o cloreto férrico no sistema estudado por SOUZA (op.cit.), aumentando a eficiência na retenção do fósforo.

Em análise compartimentalizada do reservatório, o compartimento 2 (FIGURA 2) foi o que apresentou as maiores porcentagens de retenção para os elementos analisados. Essa parte do reservatório reteve 50% do fósforo total, 58% do ferro total, 91% do material particulado total, 95% do material particulado inorgânico e 75% do material particulado orgânico. O compartimento 1, apesar de ter retido 27% do fósforo total, apresentou resultados negativos de retenção para o ferro total (-2%), material particulado total (-29%), orgânico (-19%) e inorgânico (-32%).

Segundo HILLBRICHT-ILKOWSKA (1995), a capacidade de retenção do fósforo em áreas alagadas, em alguns estudos realizados em vários lugares no mundo, variaram de 13% a 98% de eficiência.

PRYSTAY & LO (1998) estudando áreas alagadas artificiais construídas para o tratamento de efluentes de indústria de produção de vegetais, em larga escala, em estufas, no Canadá, observaram que esses sistemas não tiveram efeito na remoção do nitrogênio total e dos sólidos totais, e que o fósforo total foi removido em média de 65%.

Segundo WITAKER (1993), o efeito mais marcante da presença das áreas alagadas, faz-se sentir ao nível do ciclo hidrológico e do ciclo dos bioelementos, ao modificarem os fatores hídricos, o transporte dos sedimentos, a forma química e o movimento dos elementos e ao atuarem como fonte, retentores e transformadores de inúmeras substâncias inorgânicas, biológicas e genéticas. As funções mais importantes que exercem sobre a água dos ecossistemas a jusante, de acordo com a mesma autora,

são: a absorção de nutrientes inorgânicos, a exportação de material orgânico e detritos, a capacidade de purificação de águas poluídas, a regulação da produtividade primária e conseqüentemente o controle da eutrofização.

As áreas alagadas funcionam como um filtro na maioria dos reservatórios e vêm sendo utilizadas, por vários pesquisadores, como modelo na construção de estações de tratamento de esgotos domésticos, industriais e de água de abastecimento (SALATI, 1987; HILLBRICHT-ILKOWSKA, 1995; VERHOEVEN, 1996).

O compartimento 3 apresentou taxas de retenção maiores que o compartimento 4, com exceção do material particulado orgânico. Provavelmente, essa exceção foi devido ao aumento da biomassa fitoplanctônica nesse compartimento, fazendo com que a biomassa retida fosse menor. O aumento da biomassa fitoplanctônica foi evidenciado pelos valores de clorofila do compartimento 3, responsável pelas maiores concentrações (média $19,01 \mu\text{g.L}^{-1}$).

De acordo com os resultados do modelo do balanço de massa do fósforo (FIGURA 42), as frações mais significativas na entrada do reservatório foram: o fosfato inorgânico dissolvido (40%), partículas com tamanhos entre $0,45$ e $20\mu\text{m}$ (30%) e o fosfato orgânico dissolvido (21%). Na zona limnética o fósforo esteve distribuído da seguinte forma: 34% em partículas com tamanhos entre $0,45$ e $20\mu\text{m}$; 27% como fosfato inorgânico dissolvido; 24% como fosfato orgânico dissolvido; 8% em partículas com tamanhos entre 20 e $68\mu\text{m}$; e 7% em partículas $>68 \mu\text{m}$. Na saída do reservatório, a fração mais significativa foi de fosfato orgânico dissolvido (40%), seguido das partículas com tamanho entre $0,45$ e $20\mu\text{m}$ (28%) e do fosfato inorgânico dissolvido (23%). A fração mais importante no reservatório de Salto Grande, tanto na entrada, na zona limnética, como na saída foram as formas dissolvidas (fosfato total e inorgânico dissolvidos) que juntas representaram mais de 50% do fósforo total.

Basicamente dois métodos podem ser usados para determinar-se a retenção líquida do fósforo em lagos: o método do balanço de massa, através do qual o cálculo da retenção é estimado pela diferença entre as quantidades de fósforo afluentes e efluentes do sistema e o método que envolve a medida direta da concentração de

fósforo no sedimento, seguido da datação das camadas de sedimento através do chumbo 210 (DILLON & EVANS, 1993).

Neste estudo procurou-se estimar a retenção do fósforo por esses dois métodos. Porém, as determinações das concentrações de chumbo 210 nos pontos de coleta 2 e 3 foram prejudicadas pela turbulência da água, provocada pela influência do rio Atibaia na entrada do reservatório. Essa turbulência provocou distúrbios na formação das camadas de sedimento, tornando a deposição irregular, o que impossibilitou a datação nestes pontos.

No entanto, foi possível determinar-se a retenção do fósforo pelo método do chumbo 210, nos pontos 4 e 5 (compartimentos 3 e 4, respectivamente), o que possibilitou uma comparação dos dois métodos. Os resultados foram bastante discrepantes, sendo encontrados valores de retenção líquida no compartimento 3 de 81,07 ton.ano⁻¹ pelo método do chumbo 210, e de 28,69 ton.ano⁻¹ para o método do balanço de massa. No compartimento 4 foram estimadas retenções líquidas de 62,04 ton.ano⁻¹ e de 19,12 ton.ano⁻¹, pelos métodos do chumbo 210 e balanço de massa, respectivamente.

Grandes diferenças na estimativa da retenção do fósforo por esses dois métodos, com valores inferiores obtidos pelo método do balanço de massa, foram reportados por OSBORNE (1981) e MOSS (1980), no Lago Barton Broad na Inglaterra; por AVNIMELECH & LACHER (1979) em estudo de um tanque de piscicultura em Israel. DILLO & EVANS (1993), também encontraram valores inferiores de retenção estimados pelo método do balanço de massa em relação ao método do chumbo 210, estudando sete lagos em Ontário, Canadá, atribuindo esta discrepância a possíveis erros tanto metodológicos quanto conceituais dos dois métodos. Porém, os mesmos autores consideram que o método do balanço de massa, provavelmente seja o mais acurado para se estimar a retenção de fósforo em lagos, apesar do custo alto e do longo tempo de experimentação para sua determinação.

Para o reservatório de Salto Grande fica evidente que o método do balanço de massa foi mais versátil na estimativa de retenção não só do fósforo, como também dos demais parâmetros estimados, pois pelo método de determinação direta no sedimento

não foi possível determinar as camadas de sedimentação dos dois primeiros compartimentos do reservatório.

Lagoas de estabilização correspondem a qualquer lagoa ou grupo de lagoas projetadas para o tratamento biológico de resíduos industriais ou domésticos (GLOYNA, 1973); caracterizam-se pelo elevado grau de eutrofia provocado pela grande quantidade de matéria orgânica que recebe e permitem o estabelecimento do ciclo de decomposição-síntese da matéria orgânica (FORESTI & TUNDISI, 1973).

Existem basicamente três tipos de lagoas de estabilização:

- 1- lagoas anaeróbias, são mais profundas, recebem cargas orgânicas elevadas, não têm oxigênio dissolvido, e apresentam processos biológicos com predomínio da fermentação anaeróbia.
- 2- lagoas facultativas, apresentam uma zona superior aeróbia sobrepondo-se à uma zona anaeróbia, com lodo em decomposição.
- 3- lagoas aeróbias, são lagoas rasas, sem camada de lodo, contendo oxigênio dissolvido em todas as profundidades, durante todo tempo, proveniente, principalmente, da atividade fotossintética.

O termo facultativa refere-se à dualidade ambiental característica desse tipo de lagoa, apresentando uma camada superficial aeróbia e uma camada de fundo anaeróbia. Durante o dia, a camada aeróbia ocupa a maior parte da coluna d'água, devido principalmente à produção de oxigênio fotossintético e à reaeração superficial. Ao anoitecer, a camada anaeróbia passa a prevalecer na maior parte da coluna d'água. Essa região em que ora aparece como aeróbia, ora como anaeróbia, caracteriza e denomina esse tipo de lagoa como facultativa. A zona anaeróbia é constituída pela matéria orgânica sedimentada, dando origem ao lodo, presente no fundo da lagoa. Esse lodo é decomposto anaerobiamente e convertido, principalmente a CO_2 e CH_4 (metano). Uma das principais características das lagoas facultativas é a grande quantidade de algas presente na camada superficial, principalmente próxima à saída do seu efluente, dando a este uma coloração esverdeada. A variação da concentração de clorofila em lagoas facultativas normalmente está compreendida entre $500 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $2.500 \mu\text{g.L}^{-1}$. Assim como o oxigênio, o pH da lagoa varia de acordo com as horas do dia. Como as algas retiram o CO_2 do meio mais rapidamente do que ocorre sua

anteriormente, o reservatório de Salto Grande apresentou: 1) valores menores na condutividade elétrica, concentrações de nutrientes e clorofila; 2) valores semelhantes de pH, material em suspensão, retenção de coliformes fecais, material em suspensão e DBO₅ e 3) valores superiores na retenção de nutrientes. As diferenças quanto a dimensões, cargas de entrada, concentração de ferro e principalmente tempo de retenção devem ter influenciado para que alguns dos parâmetros comparados variassem entre os sistemas. Porém, fica claro que Salto Grande está funcionando como um grande sistema de tratamento e contribui, sobre maneira, para melhorar a qualidade da água do rio Atibaia e conseqüentemente do Rio Piracicaba.

As altas condutividades elétricas em todas as estações e datas de coleta, as pequenas profundidades de penetração de luz, profundidade de desaparecimento do disco de Secchi e valores do quantômetro, as estratificações do oxigênio dissolvido e do pH, as altas concentrações de: clorofila, fósforo total, fosfato total e inorgânico dissolvidos, material em suspensão total, inorgânico e orgânico e do ferro total na coluna d'água, as altas cargas de entrada de nutrientes e material em suspensão total, inorgânico e orgânico, evidenciam que o reservatório de Salto Grande é um ambiente hipereutrofizado. Se comparados à Represa de Barra Bonita, classificada como eutrófica por CALIJURI (1988 e 1999), nota-se que as condições de Salto Grande são ainda mais críticas. A degradação ambiental deste sistema, evidenciada pelos resultados obtidos, é muito elevada e só serão revertidas com a atuação do poder público e da sociedade civil, em cooperação mútua, quando esforços serão necessários para reduzir-se drasticamente os lançamentos de esgoto, tanto industrial quanto doméstico, após tratamento, visando a redução da DBO₅ e principalmente a remoção de nitrogênio e de fósforo. Só assim, poderão ser tomadas medidas de ecotecnologia para a recuperação deste sistema.

6. CONCLUSÕES

- 1- A predominância de vento sul, no período de sua maior velocidade, cruzando quase que transversalmente o maior eixo do reservatório; a variação nictemeral na direção do vento (TABELA 2); as vertentes laterais altas e muito próximas das margens (especialmente as da face sul, onde as distâncias da margem variaram de 1,3 a 5,5 km, com um desnível de até 78 m); a presença de grandes bancos de macrófitas aquáticas flutuantes (área total estimada em 1.123.966,94 m²) e a pequena largura (largura máxima de 1,5 km) contribuíram para impedir a atuação do vento, fazendo com que a vazão do reservatório e conseqüentemente o tempo de residência da água fossem considerados como a principal função de força que atua no reservatório de Salto Grande, como geradora de instabilidade do sistema e como promotora de desestratificação térmica e química da coluna d'água.
- 2- No reservatório de Salto Grande, as macrófitas aquáticas, fauna e flora aderidas, ocuparam uma área estimada de 1.123.966,94 m², com uma massa de fósforo estimada em 1,36 toneladas, representando 14% do estoque de fósforo total da zona limnética.
- 3- Matéria inorgânica foi a principal fonte de material particulado (81%) que entrou no sistema. A contribuição do material orgânico particulado na entrada do sistema, aumentou nos sucessivos pontos de coleta, atingindo 42% na saída do reservatório. Esse aumento foi explicado pela síntese de matéria orgânica que ocorre no reservatório, devido ao aumento no tempo de retenção da água em relação ao sistema lótico (rio Atibaia), propiciando uma maior produção primária, evidenciada pela concentração

média de clorofila *a* na estação 4 e pelo acúmulo de macrófitas aquáticas em todo o reservatório e, especialmente, na estação 5 (FOTO 1).

- 4- Em relação ao fósforo total, o fosfato inorgânico dissolvido foi a fração mais significativa na entrada do reservatório, respondendo por 40%, seguido pela fração particulada entre 0,45 e 20 μ m, com 30%.
- 5- O fosfato orgânico dissolvido representou 40% de todo fósforo exportado do reservatório de Salto Grande durante o período de estudo, sendo a principal fração exportada, seguido pelo fósforo particulado de tamanhos entre 0,45 e 20 μ m, com 28%.
- 6- O compartimento 1, apresentou resultados negativos de retenção para o ferro total (-2%), material particulado total (-29%), orgânico (-19%) e inorgânico (-32%), demonstrando que a área alagada de Salto Grande vem exportando matéria, principalmente no período de verão, quando o aumento da vazão ressuspendeu e transportou esses materiais.
- 7- Por ser o compartimento 2 a região de remanso do reservatório, esta área foi a que mais reteve fósforo total (50%), materiais particulados total (91%), orgânico (75%) e inorgânico (95%) e ferro total (58%), fazendo com que essas substâncias apresentassem concentrações decrescentes acentuadas e gradativas, ao longo do eixo espacial das estações de coleta de 3 a 6.
- 8- O reservatório de Salto Grande apresentou eficiência da retenção de fósforo superior aos sistemas de lagoas de estabilização e valores de retenção semelhantes aos sistemas de tratamento de efluentes UASB-SBRs, quando nos mesmos foram adicionado cloreto férrico. Essa eficiência, provavelmente esteja relacionada à grande quantidade de ferro total que entra em Salto Grande (3.761,95 ton.ano⁻¹; concentração média de 2,53 mg.L⁻¹), adsorvendo ions fosfato e sedimentando-se juntamente com a matéria orgânica particulada.

9- O reservatório de Salto Grande vem funcionando como um grande sistema de tratamento de efluentes e contribui, sobremaneira, para melhorar a qualidade da água do rio Atibaia, à jusante, e conseqüentemente do Rio Piracicaba, pois apresentou, neste estudo, eficiências de retenção de: 88% do material particulado total; 91% material particulado inorgânico; 73% material particulado orgânico; 76% fósforo total; 69% fosfato total dissolvido; 86% fosfato inorgânico dissolvido; e 71% ferro total.

7. RECOMENDAÇÕES

Somente após a redução drástica dos lançamentos de esgotos industrial e doméstico, através de tratamento, visando a redução da DBO₅ e principalmente a remoção de nitrogênio e de fósforo, bem como o reflorestamento das margens do rio Atibaia e do reservatório de Salto Grande, poderão minimizar a hipereutrofização desse sistema. Conjuntamente a estas medidas, recomenda-se:

- a remoção mecânica frequente das macrófitas aquáticas para auxiliar a retirada de fósforo do sistema e facilitar a atuação do vento como função de força na circulação da coluna d'água;

- a abertura do vertedouro, quando possível, no período de inverno para a retirada de florescimentos de cianofícias, bem como de fósforo do sistema;

- um monitoramento das seguintes variáveis: pH, concentração de oxigênio dissolvido, temperatura da água, concentrações de fósforo total e de fosfato inorgânico dissolvido nas estações de coleta 2, 4 e 6, com pelo menos uma coleta mensal. Esse monitoramento deverá ser implantado conjuntamente com as medias sugeridas anteriormente, para fornecer prognósticos da recuperação do sistema e orientar as novas medidas a serem tomadas.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALAOUI-MHAMDI, M., ALEYA, L. & BAHHOU, J. (1996). Nitrogen compounds and phosphate of the Driss I reservoir (Morocco): input, output and sedimentation. **Hydrobiologia**, 335:75-82.
- ANDERSEN, J.M. (1976). An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Water Research**, 10(4):329-331.
- APHA (1985). **Standard methods for the examination of water and waste water**. 13th edition, New York, 874 p.
- ARANHA, F.J. (1990). **Influência de fatores hidráulicos e hidrológicos na composição e biomassa do fitoplâncton, em curto período de tempo na represa de Barra Bonita, Médio Tietê, SP**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 150 p.
- ARCIFA, M.S. & FROEHLICH, C.G. (1986). Padrões de circulação vertical em dez reservatórios do Estado de São Paulo. **Ciência e Cultura**, 38(4):684-693.
- ARMENGOL, J.; CRESPO, M.; MORGUI, J.A. & VIDAL, A. (1986). Phosphorus budgets and forms of phosphorus in the Sal reservoir sediment: na interpretation of the limnological record. **Hydrobiologia**, 143:331-336.
- AVNIMELECH, Y. & LACHER, M. (1979). A tentative nutrient balance for intensive fish ponds. **Bamidgeh**, 31:3-8.
- BARBOSA, F.; GARCIA, F.C.; MARQUES, M.M.G.S.M & NASCIMENTO, F.A. (1998). Nitrogen and phosphorus balance in a eutrophic reservoir in Minas Gerais: a first approach. **Rev. Brasil. Biol.**, 58(2):233-239.
- BARICA, J. (1981). Hypereutrophy - the ultimate stage of eutrophication. **W.H.O. Water Quality Bulletin**. 6(4):95-98, 155-156.

- BLOESCH, J.; ARMENGOL, J.; GIOVANOLI, F. & STABEL, H. H. (1988). Phosphorus in suspended and settling particulate matter of lakes. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, 30:85-91.
- BROOKS, A. S. & EDGINTON, D. N. (1994). Biogeochemical control of phosphorus cycling and primary production in Lake Michigan. **Limnol. Oceanogr.**, 39:961-968.
- CALIJURI, M. C. (1988). **Respostas fisiológicas da comunidade fitoplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização.** Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 293 p.
- CALIJURI, M. C. (1999). **A comunidade fitoplanctônica em um reservatório tropical (Barra Bonita-SP).** Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 211p.
- 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.** 50(4):893-913.
- CALIJURI, M.C. & DOS SANTOS, A.C.A. (1996). Short-term changes in the Barra Bonita reservoir (São Paulo, Brazil): emphasis on the phytoplankton communities. **Hydrobiologia**, 330: 163-175.
- CALIJURI, M.C.; DEBERDT, G.L.B & MINOTI, R. (1999). A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande (Americana - SP). In: HENRY, R. (1999). **Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais.**
- CARACO, N. F.; COLE, J. J. & LIKENS, G. E. (1992). New and recycled primary production in an oligotrophic lake: Insights for summer phosphorus dynamics. **Limnol. Oceanogr.** 37:590-602.
- CARMOUZE, J. P. (1994). **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas.** Edgard Blücher, São Paulo, 254 p.
- CIAGRI. (1998). Dados climatológicos. <http://www.ciagri.usp.br/~emdabreu/>.

- COELHO, M. P. (1993). **Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana-SP**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 133p.
- CONSORCIO INTERMUNICIPAL PIRACICABA CAPIVARI. (1993). **Relatório preliminar sobre a recuperação da qualidade das águas da Represa de Salto Grande-Americana-S.P.** Americana.
- COOKE, D. C.; WELCH, E. B.; PETERSON, S.A. & NEWROTH, P. R. (1993). **Restoration and management of lakes and reservoirs**. 2 ed. London, Lewis Publishers, 548p.
- CPFL, 1994. Usina Hidroelétrica do reservatório de Salto Grande. **Relatório**, Americana, São Paulo.
- CURIE, D. J. & WYLIE, J. (1989). A comparison of the movements of inorganic carbon, organic carbon and phosphorus through whole plankton communities. **32nd - Conf. on Great Lakes Research**, p40.
- DEBERDT, G.L.B. (1997). **Produção primária e caracterização da comunidade fitoplanctônica no reservatório de Salto Grande (Americana - SP) em duas épocas do ano**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 439p.
- DE FILIPPO, R. (1987). **Ciclo sazonal do fitoplâncton, fatores climáticos e hidrológicos na represa de Barra Bonita, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 90 p.
- DILLON, P.J. & EVANS, H.E. (1993). A comparison of phosphorus retention in lakes determined from mass balance and sediment core calculations. **Wat. Res.**, 27(4):659-668.
- DILLON, P. J. & KIRCHNER, W. B. (1975). The effects of geology and land use on the export of phosphorus concentration in lake water. **Jour. Fish. Res. Bd Canada.**, 31:1771-1778.
- DILLON, P.J. & MOLOT, L.A. (1996). Long-term phosphorus budgets and an examination of a steady-state mass balance model for central Ontario lakes. **Wat. Res.**, 30(10):2273-2280.

- EDMONDSON, W. T. & WINBERG, G. G. (1971). **A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh water**. Oxford, Blackwell, 358p, (IBP handbook nº 17).
- ESTEVES, F. A. & CAMARGO, A. F. M. (1986). Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem de nutrientes. **Acta Limnol. Bras.** 1:273-298.
- FALÓTICO, M.H.B. (1993). **Características limnológicas e aspectos da composição e distribuição da comunidade zooplanctônica em sua fase de enchimento (reservatório de Samuel Rondônia)**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 195 p.
- FISHER, T. R.; DOYLE, R. D. & PEELE, E. R. (1988). Size- fractionated up take and regeneration of ammonium and phosphate in a tropical lake. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 23:637-641.
- FORESTI, E. & TUNDISI, J.G. (1973). Estimativa preliminar da produção primária em lagoas de estabilização. In: **VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária**, Salvador. São Paulo: USP, 16p.
- FOSTIER, A.H. (1998). **Contaminação e dinâmica de metais de interesse toxicológico na Baía do Rio Piracicaba**. Relatório técnico, FAPESP processo 95/5075-9.
- FROEHLICH, C.G; ARCIFA-ZAGO, M.S. & CARVALHO, M.A.J. (1978). Temperature and oxygen stratification in Americana Reservaoir, State of São Paulo, Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, 20:1710-1719.
- GIANI, A.; PINTO-COELHO, R.M.; OLIVEIRA, S.J.M. de & PELLI, A. (1988). Ciclo sazonal de parâmetros físico-químicos da água e distribuição horizontal de nitrogênio e fósforo no Reservatório da Pampulha (Belo Horizonte, MG, Brasil). **Ciência e Cultura**, 40(1):69-77.
- GLYNA, E.F. (1973). **Estanques de estabilizacion de aguas residuales**. Genebra, 192p.
- GOLTERMAN, H. L. (1995). Preface to the symposium "Nutrient cycles, a joy forever". **Hydrobiologia**, 35(1):7-8.

- GOLTERMAN, H. L.; GRAAF, L. M. de & GROOT, C. J. de. (1993). Phosphate compounds in sediments. 1. Inorganic and biological aspects. **Hydrobiologia**, 253(1-3):99-100.
- HARRY, J.W.J. Van H. (1992). Phosphorus eutrophication in the SW Frisian lake district 2. phosphorus balances and simulation of reduction scenarios. **Hydrobiologia**, 233:271-281.
- HENRIKSEN, H. J. (1992). Stage-discharge and quality-quantity relationship and trend at gauging station-calculation method in HYDROS and STOQ. **4 Int. Conf. Hydraul. Eng. HYDROSOFT/92**.
- HENRY, R. (1990). **Estrutura espacial e temporal do ambiente físico e químico e análise de alguns processos ecológicos na Represa de Jurumirim (Rio Paranapanema, SP) e na sua bacia hidrográfica**. Tese de Livre Docência, UNESP, Botucatu, 242 p.
- HENRY, R. (1993). Thermal regime and stability of Jurumirim Reservoir (Paranapanema River, São Paulo, Brazil). **Int. Revue ges. Hydrobiol.**, 78(4):501-511.
- HENRY, R. & CURY, P.R. (1981). Influência de parâmetros climatológicos sobre alguns fatores físico-químicos da água na Represa do Rio Pardo (Boucatu, SP). **Rev. Brasil. Biol.**, 41(2):299-306.
- HENRY, R. & BARBOSA, F.A.R. (1989). Thermal structure, heat content and stability of two lakes in the National Park of Rio Doce Valley (Minas Gerais, Brasil). **Hydrobiologia**, 171:189-199.
- HENRY, R.; CARVALHO, E.D; NOGUEIRA, M.G.; POMPEO, M.L.M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; SANTOS, C.M dos; LUCIANO, S. de C. & FUJIHARA, C.Y. (1995). The Jurumirim Reservoir. **XXVI SIL Congress**, São Paulo, July, 23-29.
- HILLBRICHT-ILKOWSKA, A. (1995). Managing ecotones for nutrients and water. **Ecology International**, 22:73-93.
- HOWARD-WILLIAMS, C. & JUNK, W. J. (1977). The chemical composition of Central Amazonian aquatic macrophytes with special reference to their role in the ecosystem. **Arch. Hydrobiol.**, 79:446-464.

- JAMES, W.F. & BARKO, J.W. (1997). Net and gross sedimentation in relation to the phosphorus budget of Eau Galle Reservoir, Wisconsin. **Hydrobiologia**, 345:15-20.
- JANSSON, M. E.; FLEISCHER, S.; GÄCHTER, R.; KELDERMANN, P.; LÓFGREN, S.; NÚRNBERG, G.; PROVINI, A. & SINKE, A. (1988). Phosphorus release from lake sediments. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, 30:91-93.
- JENSEN, H. S. & ANDERSEN, F. O. (1992). Importance of temperature, nitrate, and pH for phosphate release from aerobic sediments of four shallow, eutrophic lakes. **Limnol. Oceanogr.** 37:577-589.
- JORGENSEN, S. E. (1986). **Fundamentals of ecological modeling**. Elsevier, Amsterdam, 389 p.
- KELLMER, E. & PIRES, E.C. (1998). **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro, ABES, 242p.
- KIRK, J.T.O (1986). Optical Limnological - A manifesto. In; DE DECKER. P. & WILLAMS W.D. (eds). **Limnology in Australia**. Australia and Dr. Junk Pubs. Dordrecht. The Netherlands, 33-62.
- LEITE, M.A. (1998). **Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande (Americana-SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 167 p.
- LEONOV, A. V.; MARGOLINA, G. L. & SOKOLOV, A. G. (1992). Application of an imitational mathematical model for a phosphorus system. **Gidrotckhnicheskoe Stroitel'stvo**, 8:40-45.
- MARICATO, F.E. (1994). **Caracterização físico-química e sedimentação nas regiões de desembocadura dos rios Paranapanema e Taquari, e no reservatório de Jurumirim (alto Paranapanema - SP)**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 205 p.
- MARKER, F. H.; NUSH, E. A.; RAI, H. & RIEMANN, B. (1980). The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods:

- conclusions and recommendatons. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.** 14:91-106.
- MARSDEN, M. W. (1989). Lake restoration by reducing external phosphorus loading: The influence of sediment phosphorus release. **Freshwater Biol.** 21:139-162.
- MATINVESI, J. & HEINONEN-TANSKI, H. (1992). Biodegradable substance in lake sediments and their relation to sediment microbiological activity and phosphorus recycling. **Aqua-Fenn.**, 22(2):193-200.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; HINO, K. & ROCHA, O. (1986). Características limnológicas da Lagoa do Taquaral (Campinas, SP) - Um ambiente hipereutrófico. **Ciência e Cultura**, 38(3):420-425.
- MORAES, A.R. de.(1998). **Estimativa do estoque de elementos químicos em macrófitas aquáticas no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 90p.
- MOSS, B. (1980). Further studies on the paleolimnology and changes in the phosphorus budget of Barton Broad, Norfolk. **Freshwat. Biol.**, 10:261-280.
- NÕGES, P.; JÄRVET, A.; TUVIKENE, L. & NÕGES, T. (1998). The budgets of nitrogen and phosphorus in shallow eutrophic Lake Võrtsjärv (Estonia). **Hydrobiologia**, 363:219-227.
- NOGUEIRA, F. M. B. (1989). **Importância das macrófitas aquáticas *Eichhornia azurea* e *Scirpus cubensis* Poepp & Kunth na ciclagem de nutrientes e nas principais características limonológicas da Lagoa do Infernã (SP)**. Dissertação de mestrado. PPG-ERN-DCB, UFSCar, 147 p.
- NOGUERA, M.G. (1996). **Composição, abundância e distribuição espaço-temporal das populações planctônicas e das variáveis físico-químicas na Represa de Jurumirim, Rio Paranapanema, SP**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 439p.
- NUSCH, E.A. (1980). Comparison of diferent methods for chlorophyll and phaeopigment determination. **Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.**, 14:14-36.

- OSBORNE, P.L. (1981). Phosphorus and nitrogen budgets of Barton Broad and predicted effects of a reduction in nutrient loading on phytoplankton biomass in Barton, Sutton and Stalham Broads, Norfolk, United Kingdom. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 66:171-202.
- OLIVEIRA, H.T. (1993). **Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (Braço do Rio Capivara) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita, S.P., com ênfase na comunidade fitoplanctônica.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 328p.
- OSHI, M.K. (1996). **Caracterização do meio físico, das características físicas e químicas e de fluxo de nutrientes em tributários da bacia hidrográfica do reservatório de Barra Bonita (Médio Tiete -SP).** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 199p.
- PETRACCO, P. (1995). **Determinação da biomassa e estoque de nitrogênio e fósforo de *Polygonum spectabile* Mart. e *Paspalum repens* Berg da Represa de Barra Bonita (SP).** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 108 p.
- PHILLIPS, G.; JACKSON, R.; BENNETT, C. & CHILVERS, A. (1994). The importance of sediment phosphorus release in the restoration of very shallow lakes (The Norfolk Broads, England) and implications for biomanipulation. *Hydrobiologia*, 275-276:445-456.
- PIÃO, A. C. S. (1995). **Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo Ribeirão dos Carrapatos Município de Itai (SP), sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumirim).** Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 194 p.
- PINTO-COELHO, R.M. & GIANI, A. (1985). Variações sazonais do fitoplâncton e fatores físico-químicos da água no Reservatório do Paranoá. *Ciência e Cultura*, 37(12):2000-2006.
- PROBST, J.L.; NKOUNKOU, R.R.; KREMPP, G.; BRICQUET, J.P. THIÉBAUX, J.P. & OLIVRY, J.C. (1992). Dissolved major elements exposed by the Congo

- and the Ubangi rivers during the period 1987-1989. **J. of Hydrology**, 135:237-257.
- PRYSTAY, W. & LO, K.V. (1998). Assessment of constructed wetlands for the reduction of nitrogen and phosphorus from greenhousewastewater. Abstracts, **6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control**, Águas de São Pedro, p. 42.
- RAMM, K. & SCHEPS, V. (1997). Phosphorus balance of a polytrophic shallow lake with the consideration of phosphorus release. **Hydrobiologia**, 342/343:43-53.
- RIOS, L. (1993). **Estudo limnológico e fatores ecológicos em ribeirões e córregos da Bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão (estado de São Paulo)**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 146 p.
- RIPL, W. (1993). P-flus regulation in sediments by transport processes. **Hydrobiologia**, 253(1-3):218.
- SALATI, E. (1987). Edaphic-phytodepuration: a new approach to wastewater treatment. In: REDDY, K.R. & SMITH, W.H. (EDS.). **Aquatic plants for wastewater treatment and resource recovery**. Magnolia Publishing Inc. Florida, p 199-208.
- SARAZIN, G.; GAILLARD, J. F.; PHILIPPE, L. & RABOUILLE, C. (1993). Organic matter mineralization and nutrient fluxes at the sediment-water interface of a eutrophic lake (Aydat Lake, Puy de Dome, Frnce). **Chem. Geol.**, 107(3-4):471-476.
- SÉ, J. A. da S. (1992). **O Rio do Monjolinho e sua bacia hidrográfica como integradores de sistemas ecológicos. Um conjunto de informações para o início de um processo de pesquisas ecológicas, de educação, planejamento e gerenciamento ambientais a longo prazo**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 381 p.
- SINKE, A. J. C.; COTTAAR, F. H. M.; BUIS, K. & KEIZER, P. (1993). The role of microbial processes in the phosphorus flux regulation between sediments and water. **Hydrobiologia** 253(1-3):218.



- SOUZA, J.T. de. (1996). **Pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio de fluxo ascendente em reator aeróbio seqüencial em bateladas e coluna de lodo anaeróbio para desnitrificação**. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 258 p.
- STRASKRABA, M. (1973). Limnological basis for modelling reservoir ecosystem. In: ACKERMANN, W.C.; WHITE, G.F.; WORTHINGTON, E.B. (eds.) **Man made lakes: their problems and environment effects**. Geophysical Monographs, 17: American Geophysical Union, Washington DC:517-535.
- STRASKRABA, M. (1980). The effects of physical variables on freshwater production: analyses based on models. In: LE CREN, E.D. & LOWE-McCONNELL, R.H. (eds). **The functioning of freshwater ecosystems**. Cambridge (I.B.P., 22):13-84.
- STRICKLAND, J. D. & PARSONS, T. R. (1960). A manual of sea water analysis. **Bull. Fish. Res. Be. Cam.** 125:1-185.
- SUNDE, E.; THORSTENSON, T.; TORSVIK, T.; VAAG, J. E. & ESPEDAL, M. S. (1993). Field-related mathematical model to predict and reduce reservoir souring. **Proceeding of the 1993 SPE International Symposium on Oilfield Chemistry**.
- TAYLOR, W. D. & LEAN, D. R. S. (1991). Phosphorus pool sizes and fluxes in the epilimnion of a mesotrophic lake. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.**, 48(7):1293-1301.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G. & KUTNER, M. B. (1965). Plankton studies in a mangrove II; the standing-stock and some ecological factors. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, 24:23-41.
- TEIXEIRA, D. (1993). **Caracterização limnológica das sistemas lóticos e variação temporal e espacial de invertebrados bentônicos na Bacia do Ribeirão do Feijão (São Carlos - S.P.)**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 210 p.
- TUNDISI, J.G. (1981). Typology of reservoir in Southern Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** 21:1031-1039.
- TUNDISI, J. G. (1982). Shallow waters in South America: present knowledge and perspectives for future research and management. In **Inter. Scient. Workshop**

- on ecosystem dynamics in freshwater wetlands and shallow water bodies.**
Proceedings. Moscow, Center of Inter. Projects GKNT:63-97.
- TUNDISI, J.G. (1990). Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. **Rev. Brasil. Biol.**, 50(4):937-955.
- UHLMANN, D. (1982). Evaluation of strategies for controlling eutrophication of lakes and reservoirs. **Int. Revue ges Hydrobiol.**, 67(6):821-835.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba (S.P.), "<http://www.ciagri.usp.br/~emdabreu/>", 20 de julho de 1998.
- VERHOEVEN, J.T.A. (1996). Wetlands for wastewater treatment: opportunities and limitations. In: MATHEWS, K. & HO, G.E. **Workshop on wetland for wastewater treatment.** Murdoch, p.1-9.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1988). Assessment of mass balance, in **Guidelines of lake management: principles of lake management**, vol. 1, ILEC, p.53-70.
- WEHR, J.D.; LE, J. & CAMPBELL, L. (1994). Does microbial biomass affect pelagic ecosystem efficiency - na experimental study. **Microb. Ecol.**, 27:1-17.
- WELCH, E.B. (1988). In-lake eutrophication control: progress and limitations, in **Water pollution control: in Asia**, IAWPRC, P. 423-431.
- WESTLAKE, D. P. (1965). Some basic data for investigation of the productivity of aquatic macrophytes. **Mem. Inst. Ital. Idrobiol.**, 18:229-248, suplemento.
- WETZEL, R. G. (1983). **Limnology.** Saunders College, Philadelphia, 762 p.
- WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E. (1991). **Limnological analyses.** Springer Verlag, New York, 2^o ed, 391 p.
- WITAKER, V.A. (1993). **A área alagada da Represa do Lobo (Itirapina-SP) - os processos ecológicos associados aop potencial de desnitrificação dos sedimentos.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 137 p.

ANEXOS

TABELA 1A - Estimativa de carga mensal do fósforo total (tom.mês⁻¹) nas estações de coleta de 1 a 6, no reservatório de Salto Grande.

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
Estação 1	9,50	18,99	18,97	21,32	17,70	20,94	83,14	14,27	9,98	18,51	23,59	11,64
Estação 2	8,53	15,47	16,96	13,06	16,73	17,64	65,51	9,97	7,74	15,99	15,47	10,40
Estação 3	3,68	6,78	6,13	5,95	11,64	25,95	27,37	5,96	4,33	4,29	6,12	3,75
Estação 4	2,17	5,29	4,70	4,66	7,25	21,68	21,34	5,53	2,31	2,54	4,90	1,76
Estação 5	1,82	4,53	4,87	6,22	5,75	14,20	16,80	5,33	2,27	1,83	3,84	1,54
Estação 6	1,04	4,94	3,95	5,07	5,83	11,28	19,67	4,81	2,14	1,73	3,39	1,47

TABELA 2A - Estimativa de carga mensal do ferro total (tom.mês⁻¹) nas estações de coleta de 1 a 6, no reservatório de Salto Grande.

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
Estação 1	55,19	181,34	57,53	267,53	568,85	1477,17	695,13	162,08	17,82	51,24	199,68	28,39
Estação 2	57,47	263,10	85,40	207,19	404,27	1059,65	1219,99	126,74	77,95	56,55	226,14	35,14
Estação 3	18,50	120,13	48,70	81,37	236,68	653,58	934,14	78,67	27,73	13,16	57,26	11,08
Estação 4	14,75	85,23	11,87	41,79	93,29	371,80	458,84	97,81	10,26	9,99	28,52	6,67
Estação 5	11,14	39,21	23,17	32,41	46,71	185,95	394,80	60,51	11,90	5,40	55,55	5,76
Estação 6	7,86	42,13	12,76	50,46	63,71	269,66	476,58	116,30	8,44	6,15	27,32	5,11

TABELA 3A - Estimativa de carga mensal de material em suspensão total (tom.mês⁻¹) nas estações de coleta de 1 a 6, no reservatório de Salto Grande.

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
Estação 1	755,93	2748,62	1853,29	4189,43	15536,82	11393,53	40503,03	1498,10	748,07	658,11	2522,26	640,17
Estação 2	580,19	2336,99	1788,58	1565,78	4804,48	60831,05	26974,32	2420,99	719,90	711,50	1387,20	396,99
Estação 3	323,28	788,03	379,68	762,38	1756,14	8476,84	11026,13	1002,38	560,14	400,74	384,32	131,80
Estação 4	315,43	736,01	459,47	829,68	1138,50	3306,83	3230,55	927,27	423,53	348,51	327,24	123,86
Estação 5	233,29	658,27	469,97	1573,98	809,05	2928,01	2088,50	1049,53	458,02	228,10	254,40	117,73
Estação 6	140,06	590,82	261,81	1195,46	829,83	2515,98	2808,40	979,19	218,72	172,01	251,49	68,53

TABELA 4A - Estimativa de carga mensal de material em suspensão inorgânico (tom.mês⁻¹) nas estações de coleta de 1 a 6, no reservatório de Salto Grande.

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
Estação 1	439,34	1999,90	1252,40	2932,60	12978,95	9962,89	33771,00	930,64	548,24	334,28	1893,13	381,56
Estação 2	325,35	1735,96	1457,06	1045,25	3817,78	51583,48	22901,85	1852,21	472,40	416,13	1098,75	183,29
Estação 3	108,45	629,75	299,34	400,65	1118,58	6885,24	9181,52	684,41	257,53	103,60	312,02	105,60
Estação 4	85,15	401,00	278,43	322,83	646,10	2084,21	2370,16	542,41	142,22	116,37	328,33	44,46
Estação 5	51,46	223,71	26,41	179,19	408,44	1424,15	1532,85	596,50	124,05	105,62	192,43	39,24
Estação 6	31,37	256,68	41,72	430,41	468,18	1514,56	2170,77	615,60	78,51	70,05	99,80	28,06

TABELA 5A - Estimativa de carga mensal de material em suspensão orgânico (tom.mês⁻¹) nas estações de coleta de 1 a 6, no reservatório de Salto Grande.

Estação	21/08/96	18/09/96	22/10/96	26/11/96	18/12/96	22/01/97	19/02/97	19/03/97	22/04/97	21/05/97	24/06/97	16/07/97
Estação 1	316,59	748,63	600,89	1053,25	2557,82	1430,64	6732,04	567,46	199,89	323,83	629,13	258,61
Estação 2	254,74	601,03	331,52	520,52	986,68	9247,57	4072,47	568,78	247,50	295,42	288,45	213,69
Estação 3	214,83	295,30	94,65	361,74	637,56	1591,60	1844,61	318,05	302,61	297,14	75,56	131,91
Estação 4	230,29	335,01	181,04	506,85	492,40	1222,62	860,39	384,90	281,31	232,14	108,72	91,65
Estação 5	181,83	434,56	443,56	1394,79	400,61	1350,99	555,65	453,03	333,96	122,48	61,97	78,49
Estação 6	108,69	336,46	220,13	765,05	361,65	1001,41	637,64	363,59	140,20	101,96	60,94	40,47

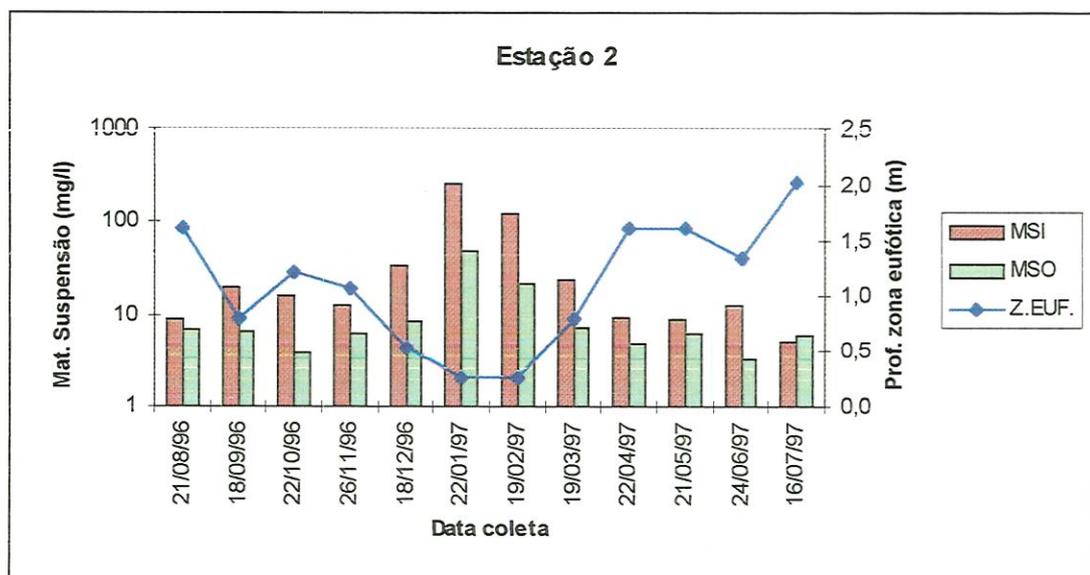


FIGURA 1A - Valores da profundidade da zona eufótica, material em suspensão inorgânico e orgânico, na estação 2 no reservatório de Salto Grande no período de coleta.

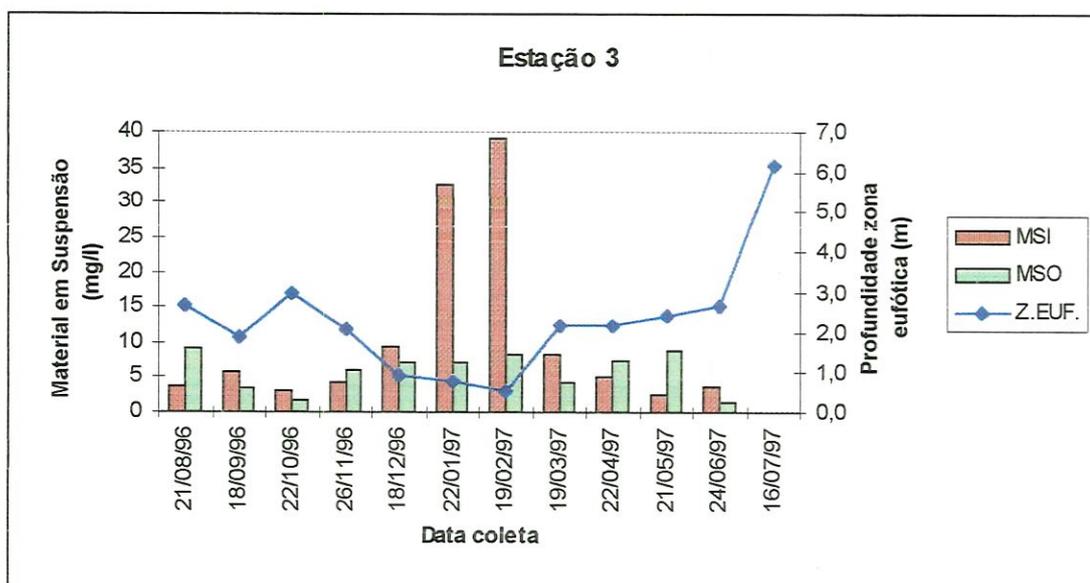


FIGURA 2A - Valores da profundidade da zona eufótica, material em suspensão inorgânico e orgânico, na estação 3 no reservatório de Salto Grande no período de coleta.

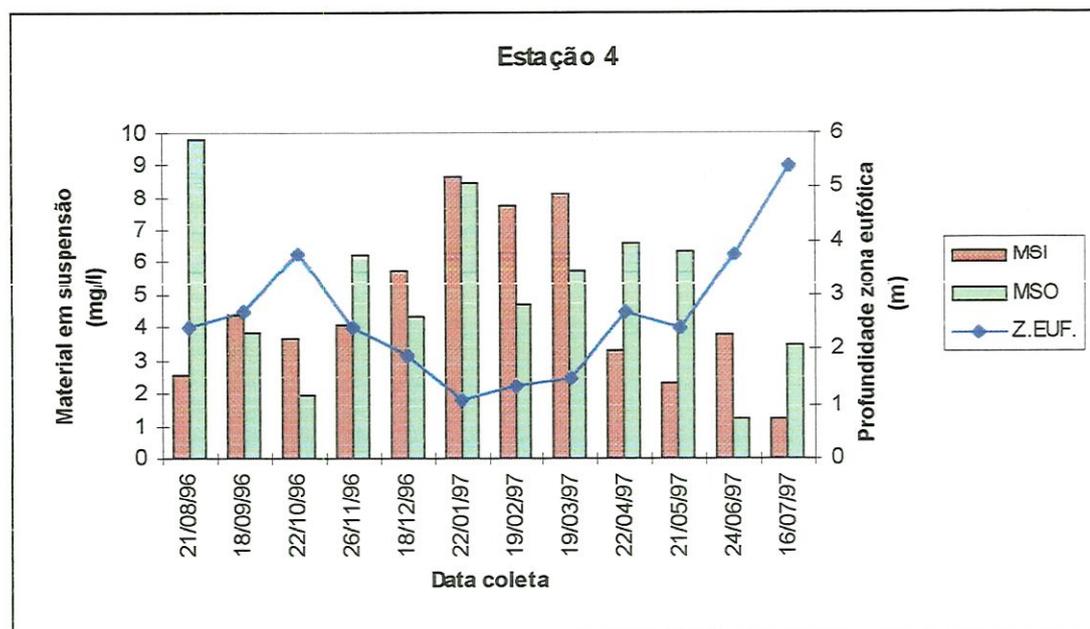


FIGURA 3A - Valores da profundidade da zona eufótica, material em suspensão inorgânico e orgânico, na estação 4 no reservatório de Salto Grande no período de coleta.

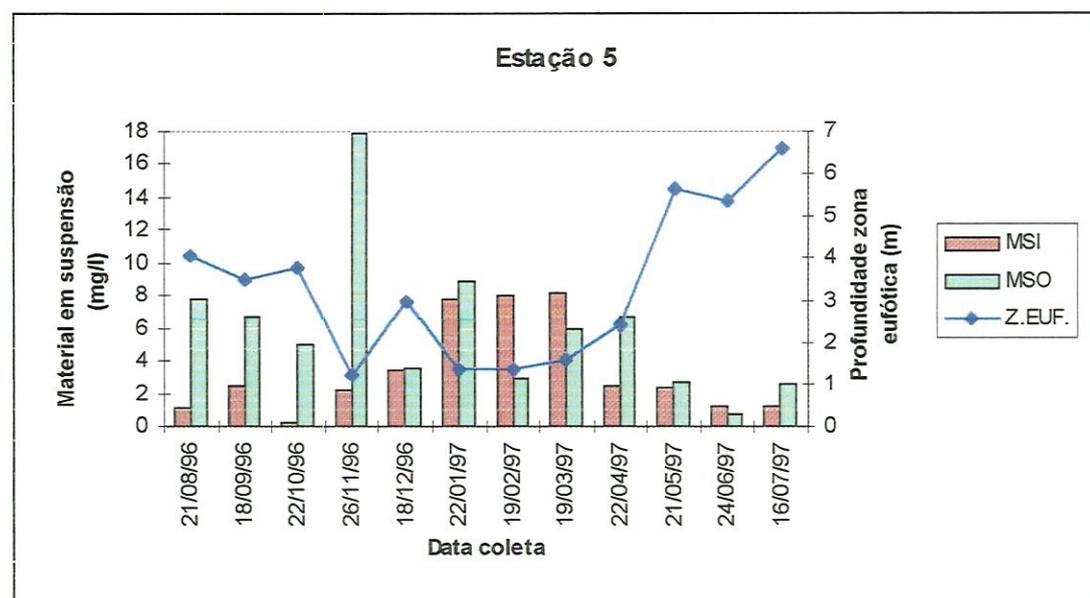


FIGURA 4A - Valores da profundidade da zona eufótica, material em suspensão inorgânico e orgânico, na estação 5 no reservatório de Salto Grande no período de coleta.



FOTO 1- Banco de macrófitas aquáticas deslocado pela ação do vento junto a barragem da Represa de Salto Grande (Americana-SP).