**“Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no
Reservatório de Salto Grande (Americana - SP) e sua
influência sobre as características limnológicas do sistema.”**

Maurício Augusto Leite

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

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Evaldo Luiz
Gaeta Espíndola**

São Carlos

1998

AGRADECIMENTOS

Ao professor Evaldo Luiz Gaeta Espíndola, pela confiança, empenho, ensinamentos e idéias. Mais que um orientador, um amigo.

À Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Calijuri, pela grande ajuda na realização do projeto e do trabalho em Salto Grande.

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa

À CPFL, na pessoa do Sr. Clemir Antônio Belém, por oferecer toda infraestrutura ao nosso trabalho.

Ao INPE, na pessoa da Prof. Dr. Evlyn Márcia Moraes de Leão Novo, pelas imagens de satélite.

Ao Instituto Agronômico de Campinas e à ESALQ, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Aos técnicos do CRHEA-USP: Marcelo, Amândio, Miro, Luci, Betão, Denise, América, pelo grande trabalho de campo e laboratório, paciência e brincadeiras, sem os quais, nosso projeto tornaria-se inviável. Obrigado. PICANHA ?? SIM !!!

À bibliotecária Regina C. Vidal e à secretária Claudete Poianas da Silva, pela dedicação, disponibilidade em todos os momentos e amizade.

Ao Sr. Francisco pela confecção das câmaras de sedimentação.

Ao mestrando Paulo Pamplin, pela ajuda com os sedimentos, ao Prof. Dr. Antônio Carlos Pião e ao Msc. Maurício Cetra, pela imensa ajuda com o tratamento estatístico.

Aos amigos Paulão e Léo, pela recepção em São Carlos e à turma de março de 1996 pelos churrascos.

Às amigas Alê, Dri, Pazú, pela amizade, apoio profissional, sorvetes, cinemas, cafés da tarde e sessões de análise gratuitas.

Aos amigos Frufru, Cyro, Celina, Abílio, Bitar, Saci, Ney, André Cordeiro, Alfredo, Márcia Eler, Paula, Eneida, Serginho, Gina, Luísa e André, Luís, Míriam, Carlão e Tales, Juliana e Ana Maya, Cris. Obrigado por tudo !!!

À Ellen G. Igarashi, pelo amor, paciência, amizade e pelos grandes momentos que passamos juntos.

Ofereço este trabalho aos meus pais, Omar e Sylza, e aos meus irmãos, Murillo e Maria Eugênia, pelo apoio e confiança em todos os momentos da minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	11
RESUMO	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 A sedimentação em reservatórios: causas e consequências.	17
1.2 A utilização de câmaras de sedimentação: tipos, montagem, usos e problemas.	23
2 OBJETIVOS	33
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
3.1 Clima	36
3.2 Vegetação.....	36
3.3 Geologia	37
3.4 Geomorfologia	37
3.5 Tipos de solo, uso e ocupação do entorno do reservatório	38
4 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 Estações de coleta e frequência de amostragens	40
4.2 Procedimento de coleta	41
4.3 Variáveis analisadas	42
4.3.1 Fatores climatológicos	42
4.3.2 Fatores hidrológicos	42
4.3.2.1 Vazão e tempo médio de residência da água	42
4.3.2.2 Transparência da água e extensão da zona eufótica	42
4.3.2.3 Temperatura da água, pH, condutividade e oxigênio dissolvido.....	43
4.3.2.4 Radiação solar subaquática.....	43
4.3.2.5 Nutrientes químicos totais e dissolvidos	43
4.3.2.6 Material em Suspensão	44
4.3.2.7 Concentração de clorofila a e feofitina.....	45
4.4 Taxa de sedimentação de material particulado, clorofila a, nutrientes totais e dissolvidos nas câmaras de sedimentação	46

4.5 Cálculo da vida útil do reservatório	49
4.6 Análise Estatística	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 Caracterização física e química do Reservatório de Salto Grande	52
5.1.1 Transparência da água, limite da zona eufótica e radiação solar subaquática.....	52
5.1.2 Temperatura da água e oxigênio dissolvido	59
5.1.3 pH e condutividade	68
5.2 Caracterização biológica (clorofila a e feofitina), química (nutrientes) e taxa de sedimentação de N e P no Reservatório de Salto Grande.....	71
5.3 Concentração e taxa de sedimentação de material em suspensão no Reservatório de Salto Grande.	102
5.4 Análise comparativa efetuada entre as câmaras de sedimentação utilizadas na área de estudo.	123
5.5 Influência da área de entorno sobre o processo de sedimentação no Reservatório de Salto Grande.	127
6 CONCLUSÕES.....	138
7 BIBLIOGRAFIA	140
ANEXO.....	150

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Localização do município de Americana no Estado de São Paulo.	35
FIGURA 02.- Imagem Reservatório de Salto Grande, no mês de agosto de 1996.	39
FIGURA 03 - Distribuição das estações de coleta ao longo do Reservatório de Salto Grande	41
FIGURA 04 - Câmaras de sedimentação confeccionadas na proporção comprimento/diâmetro 3:1, com volume médio de 2,2 litros	47
FIGURA 05 - Flutuador de madeira com bóias confeccionadas para sustentar as câmaras de sedimentação	47
FIGURA 06 - Medidas iniciais e finais da visibilidade do disco de Secchi e limite da zona eufótica nas estações de coleta, no Reservatório de Salto Grande.	53
FIGURA 07 - Medidas iniciais e finais da radiação solar subaquática, obtidas nas diferentes estações de coleta no Reservatório de Salto Grande	57
FIGURA 08 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1996	60
FIGURA 09 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em setembro de 1996	60
FIGURA 10 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em outubro de 1996	61
FIGURA 11 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em novembro de 1996	61
FIGURA 12 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da	

- água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em dezembro de 1996 62
- FIGURA 13 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em janeiro de 1997 62
- FIGURA 14 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em fevereiro de 1997 63
- FIGURA 15 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em março de 1997 63
- FIGURA 16 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em abril de 1997 64
- FIGURA 17 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em maio de 1997 64
- FIGURA 18 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em junho de 1997 65
- FIGURA 19 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em julho de 1997 65
- FIGURA 20 - Valores iniciais e finais de pH no Reservatório de Salto Grande, nas diferentes estações de coleta 69
- FIGURA 21 - Valores iniciais e finais de condutividade no Reservatório de Salto Grande, nas diferentes estações de coleta. 70
- FIGURA 22 - Concentrações de clorofila *a* e feofitina obtidas a 30 e a 70% da profundidade local, nas estações de coleta do Reservatório de Salto Grande, durante o período de 24 horas de incubação. 73
- FIGURA 23 - Valores iniciais e após 24 horas de incubação, de nitrogênio e

fósforo total obtidos nas diferentes estações e profundidades de coleta no Reservatório de Salto Grande.	77
FIGURA 24 - Taxa de sedimentação de nitrogênio e fósforo total, obtidos a 30 e 70% de profundidade, nas diferentes estações de coleta, durante o período de estudo no Reservatório de Salto Grande.	80
FIGURA 25 - Média e desvio padrão do nitrogênio total nas 4 estações do ano	84
FIGURA 26 - Média e desvio padrão do nitrogênio total nos 5 pontos de coleta	85
FIGURA 27 - Variação espacial e temporal da concentração de nitrato, nitrito e amônia, obtida nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação.	86
FIGURA 28 - Média e desvio padrão do fósforo total nas 4 estações do ano	94
FIGURA 29 - Média e desvio padrão do fósforo total nos 5 pontos de coleta	94
FIGURA 30 - Média e desvio padrão do fósforo total nas 2 profundidades de incubação das câmaras de sedimentação.	95
FIGURA 31 - Variação espacial e temporal da concentração de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico, obtida nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação	97
FIGURA 32 - Variação espacial e temporal da concentração de silicato reativo, obtida nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação	100
FIGURA 33 - Concentrações iniciais de material em suspensão total, inorgânico e orgânico, obtidas nas estações de coleta S=superfície, F=fundo, no Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.	103
FIGURA 34 - FIGURA 34: Concentrações de material em suspensão total, inorgânico e orgânico obtidas a 30 e 70% da profundidade local nas estações de coleta do Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo após 24 horas.	106
FIGURA 35 - Valores de vento máximo observados durante a incubação e retirada dos experimentos e taxa de sedimentação no	

Reservatório de Salto Grande.	109
FIGURA 36 - Vazão acumulada no período de 24 horas e quantidade de material em suspensão que entra no Reservatório de Salto Grande (estação 1)	109
FIGURA 37 - Contribuição das frações orgânica e inorgânica do material sedimentado no Reservatório de Salto Grande em agosto de 1996.	110
FIGURA 38 - Contribuição das frações orgânica e inorgânica do material sedimentado no Reservatório de Salto Grande em dezembro de 1996.	111
FIGURA 39 - Taxas de sedimentação total , inorgânico e orgânico obtidas a 30 e 70% da profundidade local nas estações de coleta do Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo de 24 horas.	113
FIGURA 40 - Média e desvio padrão da taxa de sedimentação na quatro estações do ano.	118
FIGURA 41 - Média e desvio padrão da taxa de sedimentação nos 5 pontos de coleta.	119
FIGURA 42 - Média e desvio padrão da taxa de sedimentação nas 2 profundidades de incubação.	119
FIGURA 43 - Valores de taxa de sedimentação, tempo de residência médio da água e precipitação mensal	121
FIGURA 44 - Taxa de sedimentação anual no Reservatório de Salto Grande.	121
FIGURA 45 - Valores de deposição anual de material em suspensão e previsão de vida útil no Reservatório de Salto Grande	121
FIGURA 46 - Estudo comparativo entre da taxa de sedimentação das frações total , inorgânico e orgânico nas câmaras de sedimentação 3:1 e 10:1 para a em dois períodos do ano (seco e chuvoso), nas diferentes estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, após 24 horas de incubação.	123
FIGURA 47 - Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido e temperatura da	

água obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1997	124
FIGURA 48 - Média e desvio padrão nas câmaras 3:1 (método 1) e câmaras 10:1 (método 2).	126
FIGURA 49 - Entrada de material em suspensão no Reservatório de Salto Grande, no mês de agosto de 1996.	127
FIGURA 50 - Antigo leito do rio Atibaia no Reservatório de Salto Grande	128
FIGURA 51 - Entrada de material em suspensão no Reservatório de Salto Grande, no mês de novembro de 1997.	129
FIGURA 52 - Uso e ocupação do solo do entorno do Reservatório de Salto Grande no mês de agosto de 1996.	130
FIGURA 53 - Uso e ocupação do solo do entorno do Reservatório de Salto Grande no mês de novembro de 1996.	131

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Fonte de variação, para clorofila-a, para estação do ano (1), ponto de coleta (2) e profundidade (3); graus de liberdade (GL), F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.	75
TABELA 02 - Fonte de variação, para nitrogênio total, para estação do ano (1), ponto de coleta (2) e profundidade (3); graus de liberdade (GL), F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.	83
TABELA 03 - Teste de Tuckey, para nitrogênio total, nas estações do ano. Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4), ao nível de 5% de significância.	83
TABELA - 04 Teste de Tuckey, para nitrogênio total, nos pontos de coleta ao nível de 5% de significância.	84
TABELA 05 - Fonte de variação, para fósforo total, para estação do ano (1), ponto de coleta (2) e profundidade (3); graus de liberdade (GL), F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.	92
TABELA 06 - Teste de Tuckey, para fósforo total, nas estações do ano. Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4), ao nível de 5% de significância.	92
TABELA 07 - Teste de Tuckey, para fósforo total, para os pontos de coleta ao nível de 5% de significância.	93
TABELA 08 - Teste de Tuckey, para fósforo total, para as profundidades 1 (30%) e 2 (70%), ao nível de 5% de significância.	93
TABELA 09 - Fonte de variação, para a taxa de sedimentação, para estação do ano (1), ponto de coleta (2) e profundidade (3); graus de liberdade (GL), F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.	116
TABELA 10 - Teste de Tuckey, para taxa de sedimentação, nas estações do ano. Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4), ao nível de 5% de significância.	117
TABELA 11 - Teste de Tuckey , para taxa de sedimentação, nos pontos de coleta ao nível de 5% de significância.	117
TABELA12 - Teste de Tuckey, para taxa de sedimentação, para as	

profundidades 1 (30%) e 2 (70%), ao nível de 5% de significância.	117
TABELA 13 - Estimativa de vida útil do Reservatório de Salto Grande em cada estação de coleta.	120
TABELA 14 - Comparação das metodologias de câmaras de sedimentação, pelo método de Kolmogorov-Smirnov, com $p < 0,05\%$.	125
TABELA 15: - Classes de usos e ocupação, área e porcentagem do entorno do reservatório no mês de agosto de 1996.	132
TABELA 16 - Classes de usos e ocupação, área e porcentagem do entorno do reservatório no mês de novembro de 1996.	133
TABELA 17 - Aplicação de métodos ecotecnológicos para a melhoria da qualidade de água do Reservatório de Salto Grande.	135

RESUMO

LEITE, M. A. *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema*. São Carlos, 1998. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta o estudo desenvolvido no Reservatório de Salto Grande (Americana, São Paulo) durante o período de agosto de 1996 a julho de 1997, para avaliar a taxa de sedimentação de material em suspensão alóctone que entra no reservatório pelo rio Atibaia (principal afluente) e pela área de entorno, bem como seus efeitos sobre as características físicas, químicas e biológicas do sistema e sua relação com o uso e ocupação da bacia hidrográfica, climatologia e mecanismos operacionais da barragem. Para tanto, foram selecionadas cinco estações de coleta considerando-se a morfometria do reservatório, nas quais foram colocadas, mensalmente, câmaras de sedimentação na proporção comprimento/diâmetro 3:1, a 30 e 70% da profundidade local, durante um período de 24 horas. Paralelamente à incubação, foram efetuadas medidas iniciais da temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, penetração de luz, material em suspensão e nutrientes (nitrogênio e fósforo total), sendo que do material sedimentado foram quantificados os nutrientes totais e dissolvidos, material em suspensão (total, inorgânico e orgânico), clorofila *a* e feofitina. Os dados obtidos demonstram um gradiente de deposição de material em suspensão no sentido do rio Atibaia (Estação 1) para a barragem (Estação 5), com valores mais elevados no período chuvoso (taxa de sedimentação de $90,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $2,23 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ nas estações 1 e 5, respectivamente) em relação ao período seco (taxa de sedimentação de $6,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $1,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ nas estações 1 e 5, respectivamente). A maior contribuição do material em suspensão corresponde à fração inorgânica (entre 60 e 90%) em todas as estações no período chuvoso, sendo que no período seco a fração orgânica torna-se mais expressiva nas estações 3, 4 e 5 (aproximadamente 50%). A deposição de nitrogênio e fósforo total apresenta um comportamento semelhante ao do material em suspensão, com valores máximos nas câmaras de sedimentação incubadas a 70%. As

taxas de sedimentação de nitrogênio variaram entre 0,1 a 1,0 mg N.cm⁻².dia⁻¹ (estação 1, em julho e dezembro de 1996, respectivamente) e as de fósforo entre 4,0 e 50,0 µg P.cm⁻².dia⁻¹ (estação 1, em julho e dezembro de 1996, respectivamente). Para as outras variáveis analisadas, também verificou-se as diferenças espacial (gradiente horizontal) e temporal, as quais foram mais acentuadas entre os períodos seco e chuvoso. Considerando-se os fatores que influenciam o processo de sedimentação, os principais foram a precipitação, a vazão, o tempo de residência da água e as atividades desenvolvidas na área de entorno do reservatório, com períodos diferenciados nas culturas existentes (principalmente a da cana-de-açúcar). Em relação as fontes de entrada de material alóctone, verifica-se que o rio Atibaia é o principal contribuinte, sendo que 90% desse material é depositado preferencialmente nas estações 1 e 2, formando um delta na entrada do reservatório. Os dados obtidos para taxa de sedimentação de material em suspensão e nutrientes (como fósforo e nitrogênio total), em comparação a outros sistemas, são considerados elevados, demonstrando o elevado processo de eutrofização, a perda dos usos múltiplos e a diminuição da vida útil do reservatório, bem como os impactos gerados pelas atividades antropogênicas desenvolvidas na bacia hidrográfica, influenciando a qualidade de água do sistema.

Palavras-chave: Taxa de sedimentação, deposição de nitrogênio e fósforo, eutrofização, Reservatório de Salto Grande.

ABSTRACT

LEITE, M. A. *Spatial and temporal variation of the sedimentation rate in Salto Grande Reservoir (Americana-SP) and its influence on the limnological characteristics of the system*. São Carlos, 1998. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The present work shows the study developed in Salto Grande Reservoir (Americana-SP), from August 1996 to July 1997, to determine the sedimentation rate of allocthonous material, inputted in the reservoir by its main tributary (Atibaia river) and by the watershed, relationed with the physical, chemical and biological characteristics of the system and its relationship with the landuse, climatology and operational mechanisms of the dam. Five samplig stations were selected considering the reservoir morfometry, where sedimentation traps (aspect ratio 3:1) were incubeded monthly, at 30 e 70% of the local depht, during 24 hours. At the moment of incubation, water temperature, pH, conductivity, dissolved oxigen, light penetration, suspended matter and nutrients (total phosphorus and nitrogen) were measured. In the settled material, dissolved and total nutrients, suspended matter (total, inorganic and organic), chlorophyll *a* and phaeopigments were determined. The data shows a deposition gradient of the suspended matter from Atibaia river (sampling station 1) toward to the dam (sampling station 5), with higher values in rainy season ($90,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ and $2,23 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ at station 1 and 5 respectively) compared with dry season ($6,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ and $1,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ at station 1 and 5, respectively). The major contribution of the suspended matter is given by the inorganic component (60 to 90%) at all stations in the rainy season, however, in dry season the organic component became more expressive at stations 3, 4 and 5 (about 50%). The settling flux of total nitrogen and total phosphorus shows the same pattern of the suspended matter, with maximun values in the traps incubeded at 70%. The sedimentation rate for total nitrogen varied from $0,1 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ to $1,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ (sampling station 1, in July and December 1996, respectively) and for total phosphorus from $4 \text{ }\mu\text{g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ to $50,0 \text{ }\mu\text{g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$ (sampling station 1, in July and December 1996, respectively). The main factors that

influence the sedimentation process are precipitation, inflow, residence time of water and the different land use around the reservoir, mainly the sugar cane culture. Regarding to allochthonous material sources inputted in the reservoir, was observed that the principal contribution is from Atibaia river, settling about 90% of the suspended matter between station 1 and 2, where there is the formation of a delta. Sedimentation rate data for suspended matter and nutrients (total phosphorus and nitrogen), are considered very high when comparing with other systems, showing a increase on eutrofication process, lost of multiple uses and the siltation of the reservoir's entry.

Key words: Sedimentation rate, settling of nitrogen and phosphorus, eutrofication, Salto Grande Reservoir

1 INTRODUÇÃO

1.1 A sedimentação em reservatórios: causas e consequências.

Uma das grandes metas mundiais neste final de século é, sem dúvida alguma, a utilização racional dos corpos d'água, sejam eles lóticos (rios, córregos) ou lênticos (lagos, represas) e sua conservação com relação a qualidade de água de forma a atender o uso múltiplo de seus recursos. Porém, para a perfeita relação entre uso e conservação faz-se necessário conhecer os processos físicos, químicos e biológicos que interagem dentro desses ecossistemas, gerando informações, através de estudos mais aprofundados, de sua estrutura e funcionamento para a posterior implantação de planos de manejo mais adequados.

Entre os diversos sistemas aquáticos estão os reservatórios, os quais apresentam uma importância fundamental pela sua própria característica de usos múltiplos, como produção de energia elétrica, irrigação, criação de peixes, abastecimento de água para consumo, navegação e recreação. No entanto, a disposição de resíduos (nutrientes e poluentes) provenientes de despejos industriais e domésticos, resíduos da monocultura da cana-de-açúcar, etc., tem gerado diversos problemas, ocasionando a eutrofização dos reservatórios, aumentando a carga de sedimentos depositados, bem como a concentração de metais pesados e outros elementos tóxicos.

Vários problemas podem ser observados em reservatórios, destacando-se a entrada e deposição de sedimentos, fato este relacionado basicamente com o uso e ocupação da bacia hidrográfica e do seu entorno. As principais fontes geradoras são as atividades agrícolas (com o uso inadequado do solo e ausência de práticas de conservação), bem como as atividades industriais e domésticas geradoras de esgotos

sem tratamento prévio, ocasionando um aumento no transporte e na deposição de compostos tóxicos, o aumento da turbidez da água, a diminuição da área navegável e interferência nos processos físicos, químicos e biológicos, além da própria perda da capacidade de armazenamento de água, como apresentado por THORTON et al. (1990). Segundo o autor, o transporte e a deposição de sedimentos são processos dominantes em reservatórios, influenciando de forma significativa os mecanismos e processos de funcionamento do sistema. O autor também enfatiza que o sedimento não é somente o maior poluente da água por peso e volume, mas também o grande transportador e catalisador de defensivos agrícolas, resíduos orgânicos, nutrientes e organismos patogênicos.

Segundo GLYMPH (1973), todo curso d'água transporta algum tipo de sedimento e existe uma tendência natural para que este seja depositado quando ocorre uma alteração (diminuição) do fluxo de água, o que acontece quando o corpo d'água é represado por uma barragem. Desta forma, os reservatórios, apesar das suas diferenças físicas e dos impactos sofridos, podem ser considerados como uma bacia coletora de sedimentos, os quais, segundo CARVALHO (1994), representam partículas derivadas da rocha ou de materiais biológicos que podem ser transportados pela água ou pelo vento aos locais de deposição. Essas partículas em lagos ou oceanos podem ser originadas de fontes autóctones ou alóctones, sendo que a contribuição do rio é a principal fonte alóctone para os lagos enquanto que a produção primária tem contribuição significativa para o bioeston autóctone (ROSA et al., 1991). Segundo o autor, a erosão, o transporte de sedimento, distribuição, deposição e ressuspensão são processos conduzidos basicamente por forças meteorológicas e correntes, sendo as partículas transformadas por processos físicos, químicos e biológicos tais como a decomposição, mineralização, dissolução, adsorção, coagulação, precipitação, produção de "pelets" fecais e degradação bacteriana. CARMACK et al. (1979)¹ apud (JAMES et al., 1987) menciona que os reservatórios são dominados pelas entradas dos rios, regimes de fluxos advectivos e vazão de saída, sendo que as características hidrodinâmicas, transporte e sedimentação de material alóctone, fornecem um ambiente físico que favorece o

¹ CARMACK, E. C. Importance of lake-river interactions on seasonal patterns in the general circulation of Kamloops Lake, British Columbia. *Limnol. Oceanogr.* 24: p-634-644.

estabelecimento de gradientes físicos, químicos e biológicos da entrada do reservatório para a barragem (BAXTER, 1977)² apud (JAMES et al., 1987).

GLYMPH (1973) também considera que a quantidade de sedimento depositada em um dado reservatório depende da quantidade de material em suspensão enviada para o mesmo e da capacidade do reservatório reter as partículas em suspensão (eficiência de retenção). Entretanto, a quantidade de sedimentos depositada dentro de um sistema varia muito entre reservatórios devido à variabilidade espacial e temporal da quantidade e das características do sedimento carreado pelos cursos d'água, bem como das circunstâncias que causam sua deposição.

Em relação à sedimentação, pode-se considerar que esta atua como um dos processos fundamentais que governam o metabolismo do lago, influenciando a regeneração de nutrientes no epilímnio, removendo matéria particulada para o fundo e controlando o suprimento de nutrientes para a comunidade bentônica (BLOESCH & UEHLINGER, 1986). Os processos de sedimentação em lagos estão intimamente relacionados com os padrões de fluxo hidrológico e topografia da bacia, a qual influencia o regime hidrodinâmico (HAKANSON & JANSSON, 1983), sendo estes processos considerados por KOZERSKI (1994) como um dos mais importantes processos físicos em águas em todo o mundo, com bilhões de toneladas de material em suspensão sendo depositados nos corpos d'água.

Segundo CARVALHO (1994) a sedimentação é um processo derivado do sedimento, abrangendo a erosão, transporte nos cursos d'água e deposição do sedimento, sendo comum referir-se à sedimentação somente aos aspectos de assoreamento de reservatórios.

Os estudos de sedimentação tornaram-se comuns nos últimos tempos devido à necessidade de estudos orçamentários para o manejo racional da água (ZYTKOWICZ, 1989) e, segundo ROSA (1991), as câmaras de sedimentação são ferramentas que podem ser usadas para investigar o fluxo de decaimento da partícula através da coluna d'água, considerando-se que outros métodos como datação de

² BAXTER, R.M. Environmental effects of dams and impoundments. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 8: p 255-283.

sedimentos e balanço de massa (modelos de entrada e saída para lagos) podem medir somente as taxas de acumulação dos sedimentos de fundo.

Segundo SLY (1978)³ apud (HAKANSON & JANSSON, 1983), as formas mais importantes de forças direcionais ou energia de entrada, em termos de resposta sedimentológica, são: ventos, vazão do rio e aquecimento atmosférico, sendo que os efeitos dessas formas de entrada são controlados pela morfometria do lago, pelo relevo do entorno e pelo regime hidrológico predominante do lago.

A avaliação do material sedimentado na zona pelágica do lago é importante por diversas razões, como a sua relação com a produção biológica, identificação de restos de algas e zooplâncton, taxa de sedimentação, significado químico do conteúdo orgânico no metabolismo do lago, intensidade e extensão da mineralização e sua relação com a deposição de sedimentos (WHITE & WETZEL, 1973), sendo ainda a coleta do seston sedimentado uma ferramenta essencial na medição da ciclagem de nutrientes entre a zona trofotônica e os sedimentos (FUHS, 1973).

GRAF (1983), no entanto, menciona que o processo de sedimentação em reservatórios ainda não é bem conhecido, mas sua compreensão é de grande importância para o gerenciamento dos recursos hídricos ao considerar-se as consequências da deposição de sedimentos em reservatórios sob o ponto de vista econômico, principalmente quando é estimado a capacidade de armazenamento do sistema. RAO et al. (1989), por exemplo, ao estudarem o processo de sedimentação no reservatório Gandhisagar, na Índia, com o objetivo de conhecer o padrão de sedimentação para prevenir a perda da sua capacidade de armazenamento, constataram que em 13 anos o reservatório perdeu cerca de 4,3% de sua capacidade devido a uma sedimentação acelerada.

O Brasil, por ser um país com elevado número de reservatórios com os mais diversos usos, inclusive a geração de 95 % de toda energia elétrica consumida em nosso país, também sofre com o problema do assoreamento. CARVALHO (1994) avalia que alguns reservatórios com volume acima de 1 km³ apresentam períodos de assoreamento superiores a 100 anos, ultrapassando a vida útil das instalações das usinas. Contudo, existem reservatórios parcialmente assoreados, mas que ainda não

³ SLY, P. G. (1978) *Sedimentary process in lakes*. In: LERMAN, A. Ed. Lakes: chemistry, geology, physics. Springer, Berlin Heidelberg, New York. p. 65-89.

apresentam problemas evidentes de operação como é o caso de Três Marias (rio São Francisco), Barra Bonita (rio Tietê), Salto Grande (rio Atibaia) e Capivara (rio Paranapanema).

Em relação a própria sedimentação, observa-se, segundo BONDURANT & LIVESEY (1973), que existe um padrão geral similar para todos os represamentos, observando-se que a água do rio com alta velocidade e turbulência alimenta o lago onde o fluxo é lento e a carga de sedimento depositada. Parte do sedimento que entra é depositado no próprio volume armazenado e a outra no canal a montante, observando-se que as partículas maiores, incluindo a carga de material do fundo, sedimentam formando um delta, enquanto que as mais leves, especialmente argila, são distribuídas além do interior do lago. Essas partículas podem ainda interagir com os sais dissolvidos e produzir uma floculação inicial ou também permanecer em suspensão por longos períodos, mantendo uma elevada turbidez no reservatório. Segundo OKUMURA (1995), existem partículas muito finas de sedimentos que não são depositadas, exceto sob condições de reduzida turbulência da água, sendo estas partículas capazes de permanecer em suspensão por longos períodos de tempo.

Segundo GLYMPH (1973), numerosos fatores afetam os padrões e os processos de deposição, entre os quais o nível da água do reservatório, temperatura e minerais dissolvidos na água, composição mineral dos sedimentos (principalmente as frações argila), relações de volume do reservatório e sua capacidade de armazenamento, configuração da bacia do reservatório e a quantidade de sedimento previamente depositada dentro do mesmo.

Com relação ao transporte e a velocidade de sedimentação, verifica-se que existem diferenças de um reservatório para outro, sendo esses processos condicionados pela vazão, tempo de residência e seção transversal dos rios que formam o reservatório, além da característica morfométrica do sistema, localização e uso da bacia hidrográfica.

Dentre esses aspectos, a morfometria é extremamente importante, uma vez que existem diferenças de fluxo, renovação de água, profundidade de mistura, concentração de partículas em suspensão, etc., ocasionando diferenças no estabelecimento de processos físicos, químicos e biológicos particulares em cada

seção, e provocando o aparecimento de gradientes tanto verticais como horizontais (TUNDISI, 1988; ARMENGOL & SAB, 1990; KIMMEL et al., 1990), o que leva a compartimentalização ou formação de seções com gradientes físicos e químicos, com circulação específica e reduzida, o que consequentemente influencia na deposição dos sedimentos e também na estruturação das comunidades biológicas.

O tempo de residência das partículas na coluna d'água também é de fundamental importância nos processos de transformação, e é usualmente limitado pelo fluxo descendente em relação à perda das partículas através da saída do reservatório (ROSA et al., 1991).

A sedimentação também contribui para o processo de eutrofização de lagos e reservatórios, uma vez que o material orgânico transportado para dentro do lago é decomposto e durante este processo o oxigênio disponível é utilizado, e ao mesmo tempo, nutrientes são liberados. Estes e outros nutrientes transportados pelos sedimentos promovem uma aceleração da atividade biológica e uma super-produção de plantas e animais. Estas plantas e animais, por sua vez, morrem e acumulam-se no fundo do reservatório, contribuindo para a parcela de sedimentos de origem autóctone (BONDURANT & LIVESEY, 1973).

O fluxo de deposição do material particulado em suspensão é reconhecido como um dos processos fundamentais para o entendimento dos ecossistemas aquáticos, especialmente com relação à produção primária e a perda de matéria orgânica das camadas trofogênicas, retirando e transportando poluentes, e influenciando a entrada de carbono orgânico particulado na cadeia alimentar bentônica. DILLON et al. (1990), menciona o importante papel dos sedimentos nos mecanismos e processos de funcionamento dos lagos e embora o processo sedimentar não possa ser totalmente compreendido por problemas metodológicos relacionados, por exemplo, à quantificação da sedimentação em curtos períodos de tempo, onde as técnicas de traçadores radioativos e cores (como utilizado para determinar a sedimentação em longos períodos de tempo) não são utilizadas, pode-se avaliar o fluxo e as taxas de deposição de sedimentos na coluna d'água através da utilização de armadilhas de sedimentação.

1.2 A utilização de câmaras de sedimentação: tipos, montagem, usos e problemas.

As câmaras de sedimentação foram usadas primeiramente na virada do século, sendo reintroduzidas na década de 50 e popularizadas na última década. Uma ampla revisão sobre câmaras de sedimentação foi efetuada por BLOESCH & BURNS (1980), REYNOLDS et al. (1980) e BLOMQVIST & HAKANSON (1981).

Um dos problemas encontrados baseava-se na concepção errônea do efeito “snow-fence”, no qual qualquer coletor tenderia a superestimar o material coletado pela diminuição da turbulência no entorno da câmara ou subestimar pela perda de material coletado. Tal fato promoveu o uso de diferentes modelos de câmaras, incluindo garrafas, jarras, funis e cilindros, sendo este último considerado o melhor instrumento para avaliar corretamente o fluxo de deposição descendente da matéria particulada (ROSA et al., 1991), desde que apresente as dimensões apropriadas (principalmente a relação comprimento/diâmetro). Em outros trabalhos realizados com câmaras de sedimentação, como os de GARDNER (1980), BLOESCH & BURNS (op cit.) e BLOMQVIST & HAKANSON (1981) concluiu-se que: (a) cilindros simples são as melhores formas de câmaras de sedimentação em todos os tipos de água (estagnada, turbulenta, límnic e marinha), (b) recipientes (vasilhas) com gargalo estreito superestimam a sedimentação, (c) funis geralmente subestimam o material coletado, (d) os cilindros devem possuir relações (comprimento/diâmetro) maiores que 3, e esse valor deve ser aumentado (acima de 6) em águas turbulentas e (e) os cilindros devem ter diâmetros maiores que 4 cm.

PENNINGTON (1973), obteve resultados satisfatórios em testes com cilindros, com réplicas em pares, de vários diâmetros e comprimentos, mostrando que o seston era retido em proporção constante à área de abertura, indicando não haver o efeito “snow-fence”, visto que o decréscimo do material retido seria esperado com o aumento da circunferência em relação a área de abertura do cilindro.

As câmaras de sedimentação mais modernas são feitas de PVC transparente ou não-transparente ou de “plexiglass”, que são de fácil uso. Entretanto, materiais revestidos com Teflon devem ser usados para prevenir a contaminação se organoclorados ou hidrocarbonetos forem analisados. Similarmente, se pequenas

quantidades de metais forem analisadas, materiais metálicos nas armações das câmaras e nas âncoras devem ser evitados (ROSA et al., 1991).

Segundo BLOMQVIST & HAKANSON (1981), pode-se distinguir vários tipos de câmaras de sedimentação com relação à sua técnica de construção, como:

1) Câmaras de sedimentação apoiadas nos sedimentos - são usadas estritamente em áreas de acumulação, onde não ocorra o transporte nem erosão, podendo ser de dois tipos:

- a) apoiadas na superfície do sedimento;
- b) colocadas acima da superfície do sedimento, na água

2) Câmaras de sedimentação amarradas às bóias - são as mais utilizadas, considerando-se a forma e o tamanho do recipiente, quantificação da ressuspensão e decomposição do material sedimentado, podendo ser também de dois tipos:

- a) ancoradas
- b) soltas na coluna d'água

O uso de câmaras de sedimentação geralmente não fica restrito somente à determinação da deposição de material em suspensão particulado, sendo utilizado em outros estudos como sedimentação de algas (LIVINGSTONE & REYNOLDS, 1981), sedimentação de nitrato, nitrito, amônio (COBELAS, 1993), carbono orgânico particulado (BLOESCH et al., 1977 e COBELAS, 1993), sedimentação de nitrogênio e fósforo (WHITE & WETZEL, 1975, BLOESCH et al., op cit. e MARQUISÁ, 1998) e sedimentação de ferro e alumínio (MARQUISÁ, op cit.).

Diversos estudos foram feitos com o objetivo de relacionar a taxa de sedimentação com os fatores físicos, químicos e biológicos, como os de HENRY & MARICATO (1996), utilizando armadilhas cilíndricas na relação comprimento/diâmetro 3:1, segundo EDMONDSON & WINBERG (1972). As câmaras foram colocadas na coluna d'água durante um período de 7 a 11 dias, a 30% e a 70% da profundidade total do reservatório, para avaliar a taxa de sedimentação do tripton, relacionando-a com outros parâmetros como clorofila a e condutividade no Reservatório de Jurumirim (SP). Os resultados mostraram que nos pontos do rio Taquari, onde as concentrações de seston eram mais elevadas, a condutividade e a concentração de clorofila a apresentavam a mesma tendência.

PORCALOVA (1989), utilizando armadilhas cilíndricas na relação comprimento/diâmetro 5:1, como descrito em BLOESCH & BURNS (1980), colocadas na coluna d'água por um período de 1 a 2 semanas, determinou a taxa de sedimentação no Reservatório Rimov e também obteve uma relação com a concentração de clorofila a e de fósforo total, observando que o fluxo sedimentar de fósforo era proporcional aos fluxos sedimentares de clorofila a e matéria seca (seston).

PIÃO (1995) analisando o transporte de nitrogênio pelo Ribeirão dos Carrapatos (Itaí-SP.), pela mesma metodologia de armadilhas cilíndricas descrita em HENRY & MARICATO (1996), observou que a concentração de sólidos totais, sólidos dissolvidos e sólidos suspensos aumentava após a passagem do rio pela zona urbana, assim como a condutividade, o fósforo e o nitrogênio total apresentaram comportamentos semelhantes devido a entrada de matéria orgânica (esgoto doméstico) da cidade de Itaí, introduzida no rio.

CALLIERI et al., (1991), utilizando a mesma metodologia de BLOESCH & BURNS (op cit.), determinaram o fluxo de deposição e a velocidade de decaimento do seston, do Carbono Orgânico Particulado e da clorofila a no Lago di Mergozzo (Norte da Itália), obtendo uma relação com a atividade microbiológica na decomposição da matéria orgânica dentro das armadilhas. Os autores observaram que o fluxo de deposição do seston era superior ao da clorofila a e ao do Carbono Orgânico Particulado, mas a velocidade de decaimento da fração inorgânica e da clorofila a eram superiores a do seston.

LAROCQUE et al., (1996), utilizando câmaras de sedimentação construídas de "plexiglass", com relação 6:1, determinou a sedimentação de algas, a relação com a biomassa e a distribuição do tamanho de algas no epilímnio do lago Lac Croche (Canadá), encontrando valores de $500,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ entre outubro de 1991 e maio de 1992.

Porém, diversos problemas decorrem da utilização das câmaras de sedimentação. Alguns aspectos físicos relacionados com a eficiência de retenção ainda são discutidos, principalmente avaliando-se a alteração da quantidade de material coletado pelas câmaras de sedimentação, como por exemplo: a) zooplâncton (e outros organismos nadadores) aprisionados e ativos dentro das câmaras, b)

decomposição bacteriana de matéria orgânica particulada dentro das câmaras e c) ressuspensão do material de fundo para dentro das câmaras.

Considerando-se os organismos nadadores, verifica-se que o impacto da movimentação e da excreção pode ser significativa durante períodos de alta densidade da comunidade de zooplâncton, o que pode ser removido ou selecionado por um peneiramento prévio para análise (ROSA et al., 1991). Segundo MARQUISÁ (1998), alguns métodos podem ser utilizados para resolver este problema, como a colocação de redes de malha entre 200-300µm, no interior da armadilha, evitando-se assim a entrada de organismos, bem como de algumas partículas, mas permitindo a passagem de organismos menores que a malha.

Outro método de evitar a ação desses organismos foi proposto por COALE (1990), onde o autor desenvolveu uma armadilha cilíndrica com uma série de funis que concentram passivamente o material sedimentado dentro de um tubo coletor central (considerando que os organismos que entram na armadilha são distribuídos ao acaso), os quais são separados do material sedimentado, apresentando resultados satisfatórios. Outra forma seria a retirada manual dos organismos diretamente do filtro, o que é realizado por meio de uma lupa após a filtragem, tendo como problemas a demanda de tempo, a retirada de material junto aos organismos e a dificuldade de separação dos organismos que apresentam estrutura mucilaginosa.

Em relação à acelerada decomposição bacteriana da matéria orgânica acumulada dentro das armadilhas, observa-se que existe uma dependência da composição do material aprisionado, da temperatura e do tempo de exposição das armadilhas. Com relação ao tempo de exposição, experimentos comparando curtos e longos períodos de incubação das armadilhas têm mostrado que, em muitas situações, a perda através da decomposição é considerada aceitável com uma variação menor que 10%, se as armadilhas não forem expostas por mais de 1 ou 2 semanas (ROSA et al., 1991).

O tempo de exposição de 2 semanas tem sido recomendado por BLOESCH & BURNS (1980)⁴ apud ROSA et al. (1991) e adotado pela maioria dos pesquisadores, sendo que durante o período de inverno a exposição por 3 semanas é aceitável. Em

⁴ BLOESCH, J. & BURNS, N. M. (1980) A critical review of sedimentation trap technique. *Schweiz. Z. Hydrol.*, v. 42 (15).

lagos tropicais e oceanos a tendência de decomposição dentro das armadilhas é de maior preocupação e talvez não seja facilmente controlada.

Apesar de algumas precauções durante a experimentação, o problema das mudanças aceleradas do material aprisionado continua e necessita ser reconhecido, investigado e dominado. O uso de venenos ou preservativos pode manter o material aprisionado inalterado, porém, os venenos somente matam as bactérias e os organismos planctônicos, enquanto que os preservativos conservam, até mesmo em parte, as células mortas. Além disso, o problema do uso seletivo desses aditivos, o modo de aplicação de venenos e preservativos ainda não está totalmente padronizado, devendo ser testado em experimentos de laboratório antes de seu uso *in situ* (ROSA et al., op cit.).

Além da influência dos organismos nadadores e da decomposição bacteriana, deve-se considerar a ressuspensão do material sedimentado. A ressuspensão é um dos principais problemas envolvidos no processo de determinação da taxa de sedimentação, podendo questionar a validade dos resultados de quantificação do transporte da coluna d'água ao fundo do lago. A quantidade de material ressuspenso aumenta geralmente próximo ao fundo e durante períodos de vento persistente, ruptura da termoclina, chuva, etc. e também pela atividade dos organismos de fundo, sendo que a comparação da composição química das partículas coletadas na coluna d'água pelas armadilhas e da camada superficial dos sedimentos (fonte potencial da ressuspensão) pode servir para distinguir e quantificar a ressuspensão (MARQUISÁ, 1998).

A sedimentação é freqüentemente maior em locais de águas rasas em relação a grandes profundidades. A diferença espacial, em muitos casos, é o resultado direto da ressuspensão, tendo, como exemplo, taxas de sedimentação de $100,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em um local raso (23 m) no Lago Ontário, cerca de 50 vezes maior que as taxas observadas a 130 metros de profundidade (EVANS, 1994).

HILTON et al. (1986) menciona 10 mecanismos para a distribuição do sedimento, dos quais 5 estão relacionados diretamente com a ressuspensão:

1) Mistura Contínua Completa - no qual o material a ser sedimentado é continuamente misturado por todo o volume do lago, sendo que a concentração de

partículas na coluna d'água, constante na região de mistura e deposição, ocorrem eventualmente ao longo de todo o fundo;

2) Mistura Completa Intermitente - na qual a ressuspensão temporária ocorre em todo o fundo do lago em momentos de estresse (precipitação) e a deposição do material ressuspenso é relativamente linear com a profundidade do lago;

3) Mistura Completa Intermitente do Epilímnio - na qual os sedimentos no epilímnio sofrem uma ressuspensão temporária e a deposição ocorre uniformemente sobre o fundo abaixo do epilímnio, mas é relativamente linear à profundidade do lago, acima da termoclina;

4) Ação de Ondas Periféricas - na qual os sedimentos acima da base da onda são ressuspenso praticamente de forma contínua e a deposição aumenta linearmente com a profundidade;

5) Redistribuição de Sedimento ao Acaso - na qual a ressuspensão ocorre continuamente acima da base da onda em lagos rasos e a deposição ocorre ao acaso como função da profundidade.

A ressuspensão do sedimento, conhecida por influenciar a ciclagem de nutrientes e deposição de sedimentos, tem sido reconhecida como um dos importantes processos em lagos (BLOESCH, 1994), e tem sido estudada a vários anos, desde o trabalho de GASITH (1975), no qual o autor propõe um método de correção para a fração ressuspendida no material depositado. Essa correção é baseada nas diferenças entre a fração orgânica do tripton e o que foi ressuspenso do sedimento, isto é, a sedimentação bruta (matéria secundária) menos a sedimentação líquida (matéria primária), sendo colocado como: T = tripton em suspensão (mg. peso seco); f_T = fração orgânica de T [%]; R = sedimento ressuspenso do fundo (mg. peso seco); f_R = fração orgânica de R [%]; S = material depositado na câmara (mg. peso seco); f_S = fração orgânica de S [%]. Assim, tem-se:

$$R = S - T \quad (1)$$

$$R \cdot f_R = S \cdot f_S - T \cdot f_T \quad (2)$$

$$R = S \cdot \frac{(f_S - f_T)}{(f_R - f_T)} \quad (3)$$

Outros autores realizaram trabalhos com o objetivo de determinar a ressuspensão, como BENGTSSON & HELLSTROM (1992), CORNETT et al. (1994), DILLON et al. (1990), HICKS et al. (1994), KRISTENSEN et al. (1992), GLOOR et al. (1994) e EVANS (1994).

Segundo BLOESCH (1994), o método mais interessante para quantificar a ressuspensão, usando câmaras de sedimentação, foi proposto por FLOWER (1991), que efetuou uma comparação entre câmaras com relação comprimento/diâmetro maior que 5, e câmaras que possuíam uma relação menor. Considerando-se que as câmaras anteriores determinaram o fluxo primário e secundário, as câmaras posteriores produziram o fluxo de deposição similar ao encontrado nos depósitos de fundo (calculados por dados radiométricos), isto é, o fluxo de deposição real.

Em relação ao fluxo de decaimento, BLOMQVIST & HAKANSON (1981) mencionam que todos os dados obtidos de câmaras de sedimentação devem ser interpretados com muito cuidado, uma vez que a velocidade de deposição do material particulado depende de muito fatores, como a densidade da partícula ou agregado, a densidade do meio (água), a forma e tamanho da partícula e a força da gravidade.

Segundo HAKANSON & JANSSON (1983), em águas tranquilas, as partículas mais densas do que a água precipitam-se com velocidade constante, pois a força resultante (F_s) que age movendo as partículas para baixo, é igual a força de resistência da água (D_f), a qual se opõe ao movimento das partículas. Assim sendo, tem-se a força resultante que é a diferença entre a força peso (que atua de cima para baixo em uma partícula) e o empuxo (força que atua de baixo para cima), sendo que a força resultante é dada pela Equação 1:

$$F_s = \frac{\pi \cdot d^3}{6} (\rho_s - \rho) \cdot g$$

6

onde:

F_s = força resultante causadora da sedimentação (N)

d = diâmetro da partícula (m)

ρ_s = densidade da partícula (kg.m^{-3})

ρ = densidade da água (kg.m^{-3})

g = aceleração da gravidade (m.s^{-2})

Tem-se ainda a força de resistência da água (D_f) decorrente do atrito entre a água e a partícula, que é contrária à força resultante e proporcional a v^2 , apresentada pela Equação 2:

$$D_f = C_d \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{1}{2}$$

onde:

D_f = força de arrasto total (N)

C_d = coeficiente de resistência (depende da forma e do peso da partícula)

v = velocidade de sedimentação (m.s^{-2})

O coeficiente de resistência é determinado em função do número de Reynolds, para as partículas que possuem um fluxo laminar, sendo:

$$C_d = \frac{24}{Re}$$

O número de Reynolds é determinado pela Equação 3:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

onde:

V = velocidade de sedimentação da partícula

d = diâmetro da partícula

ν = viscosidade cinemática do fluido

A Lei de Stokes descreve a relação de velocidade de decaimento constante ($F_s = D_f$) para partículas esféricas e partículas cercadas (aprisionadas) de acordo com a seguinte equação:

$$\omega = \frac{(\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot d^2}{18 \cdot \eta}$$

onde:

ω = velocidade de deposição da partícula

$(\rho_1 - \rho_2)$ = diferença entre a densidade da partícula (ρ_1) e o meio (ρ_2)

η = viscosidade do meio

g = aceleração da gravidade

d = diâmetro da partícula

Deve-se notar que a Lei de Stokes é aplicada somente em: a) ambientes estagnados hidrodinamicamente (situações não-turbulentas), b) para partículas isoladas (não agregadas) e para partículas não-coloidais, as quais não são afetadas pela gravidade e descrevem o chamado movimento Browniano e c) para partículas esféricas e cercadas (com as constantes dadas na equação acima).

Geralmente a Lei de Stokes aplica-se em partículas de diâmetro variando entre 0,0002 a 0,2 mm, sendo que a equação assume que a viscosidade é a única resistência ao decaimento, que as partículas são rígidas e esféricas e que sua queda não é impedida por outras partículas (LINSLEY et al., 1982).

Pode-se ainda determinar a taxa de deposição das partículas pela metodologia sugerida por BLOESCH⁵ (1974) e descrita por CALLIERI et al. (1986), onde a deposição do material (cm.dia^{-1}) será obtida pela divisão da sedimentação diária ($\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) pela concentração de partículas na coluna d'água (mg.cm^{-3}), integrada espacial e temporalmente.

⁵ BLOESCH, J. (1974) Sedimentation und phosphorhanshalt im vierwaldstattersee (Hower Bucht) und im Rotsee. *Schweiz. Z. Hydrol.*, v.36, p. 71-187.

Com a utilização dessas câmaras, pretende-se avaliar a taxa de sedimentação tanto do material em suspensão, como dos nutrientes totais e dissolvidos trazidos pelo rio Atibaia, que chegam ao Reservatório de Salto Grande em grandes quantidades, tornando esse sistema altamente eutrofizado e potencialmente suscetível a uma perda em sua capacidade de armazenamento de água e posteriormente numa diminuição no aproveitamento desse sistema para a geração de energia elétrica.

2 OBJETIVOS

O objetivo fundamental do trabalho foi o de analisar o processo de sedimentação no Reservatório de Salto Grande e seus efeitos nas características físicas, químicas e biológicas do sistema. Para a obtenção desse objetivo algumas atividades foram propostas:

a) Caracterizar o reservatório dentro de um enfoque físico, químico e biológico acoplando as medidas meteorológicas, hidrológicas e sua relação com o processo de sedimentação.

b) Avaliar as taxas de sedimentação no reservatório em escala espacial e temporal, determinando as áreas de maior aporte e sedimentação, bem como os períodos de maior contribuição de material para o sistema e os fatores a ele associados.

c) Quantificar, dentro do material sedimentado, as frações orgânica e inorgânica, avaliando a produção de matéria orgânica do reservatório em decorrência da entrada e sedimentação de material alóctone.

d) Efetuar um balanço de entrada e deposição de materiais, de forma a estimar a perda da capacidade de armazenamento do sistema.

e) Estabelecer uma relação entre o processo de sedimentação, sua influência sobre as características limnológicas do reservatório e a contribuição da bacia hidrográfica em decorrência do uso e ocupação do solo, para a situação atual do reservatório.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Reservatório de Salto Grande localiza-se no município de Americana - SP, entre as coordenadas 22° 44'S e 47° 15'W (Figura 1), numa altitude de 530 m, estando inserido na sub-bacia do rio Atibaia, pertencente à bacia hidrográfica do rio Piracicaba. O reservatório localiza-se em uma região com elevada densidade demográfica, altamente industrializada e com intensa atividade agrícola, ocasionando uma demanda de água estimada em 9,31 m³/s (11,88 m³.s⁻¹ no ano 2000) para a sub-bacia do Atibaia.

A área da bacia hidrográfica desta represa é de 2770,0 km² e o seu maior afluente é o rio Atibaia, que possui uma vazão média de 38,10 m³.s⁻¹. O reservatório apresenta uma profundidade média de 8,00 m, com seu valor máximo em torno de 19,80 m. A área inundada mínima é de 10,55 km² e a área máxima de inundação é de 13,25 km². O comprimento do reservatório é de 17,00 km, com perímetro de 64,00 km, volume máximo de 106 x 10⁶ m³ e tempo de retenção médio da água de 30 dias.

A barragem localiza-se próxima a foz do rio Atibaia, que por sua vez deságua no rio Jaguari, formando o rio Piracicaba. O desnível natural existente neste ponto é de 14,00 m, mas com a construção da barragem a queda máxima aproveitada foi elevada para 32,50 m, tendo um comprimento total de crista de 219,00 m (COELHO, 1993).

Quando a Usina Hidrelétrica de Americana entrou em funcionamento no ano de 1949, esta tinha por objetivo a geração de energia elétrica, que seria de 30 MW por dia.

FIGURA 1: Localização do município de Americana no Estado de São Paulo. (COELHO, 1993).

Com o decorrer dos anos, várias outras atividades foram incorporando-se à represa, como o abastecimento de cidades como Sumaré, irrigação de culturas e recreação, sendo que a Usina Hidrelétrica atualmente está operando também para a regulação da vazão na bacia do rio Piracicaba em épocas de cheias e períodos de estiagem.

3.1 Clima

A sub-bacia 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, apresentando, segundo a classificação climática de KÖPEN, um clima Cfb no trecho superior da bacia, delimitado pelas micro-bacias do Atibainha e Cachoeira, isto é, temperado brando, sem estação seca e com verão suave, e nos trechos médio e inferior, apresenta um clima Cwa, temperado brando com inverno seco e verão quente.

Com relação à temperatura, a média anual varia de 18 a 20 °C nos trechos superior e inferior da bacia, respectivamente. Segundo COELHO (1993), os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentam as temperaturas mais elevadas e as maiores precipitações e os meses de junho, julho e agosto são os que apresentam menores temperaturas e menores precipitações, encontrando-se os maiores valores no trecho superior (1500 mm.ano⁻¹) e os menores valores no trecho inferior (1300 mm.ano⁻¹).

3.2 Vegetação

A vegetação primitiva predominante da Depressão Periférica era constituída basicamente pelas Florestas Mesófilas Semi Decíduas e pelos Cerrados, a qual, atualmente, está restrita apenas a fragmentos de mata ou manchas isoladas em algumas áreas (GOBBO, 1991). Na região de entorno do reservatório, observa-se em ambas as margens extensas área de cultivo de cana-de-açúcar, áreas de pastagem (na entrada do reservatório), cultura de laranja e somente em uma pequena área na margem direita é verificada a presença de uma pequena área remanescente de mata secundária, sendo que praticamente toda a vegetação primitiva existente no local foi extinta.

3.3 Geologia

Inserindo-se dentro da bacia sedimentar do Paraná, o Reservatório de Salto Grande apresenta rochas sedimentares da era paleozóica, do grupo Tubarão, subgrupo Itararé (Pci), que consiste em arenitos finos e grosseiros, siltitos, lamitos, diamictitos e ritimitos, cores amarelo, vermelho e cinza, resultante de condições diversas de transporte e deposição como glaciais, canais fluviais, marinhos e lacustres (ATLAS NACIONAL DO BRASIL, 1992), sendo sua constituição quase inteiramente de sedimentos clásticos, podendo ocorrer localmente camadas de carvão e calcário na formação.

O rio Atibaia atravessa ao longo de seu percurso rochas granitizadas, granitos, gnaisses embrechíticos do grupo Amparo, predominando no médio e baixo Atibaia depósitos aluviais, areias, argilas e conglomerados na base (SÃO PAULO (ESTADO) MAPA GEOLÓGICO - UNESP, 1982)

3.4 Geomorfologia

O Reservatório de Salto Grande localiza-se na Depressão Periférica Paulista, na Zona do Médio Tietê, que corresponde à faixa de ocorrência das seqüências sedimentares infra-basálticas paleozóicas e mesozóicas do Estado de São Paulo, com o relevo dominado por colinas amplas, predominando interflúvios com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, amplitudes locais inferiores a 100,0 m, vertentes com perfis convexos a retilíneos, drenagem de média a baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes (SÃO PAULO (ESTADO) MAPA GEOMORFOLÓGICO, 1981).

Os processos erosivos podem ocorrer em áreas localizadas, principalmente devido ao escoamento concentrado, provocando o aparecimento de sulcos e ravinas, proveniente da retirada da vegetação natural (COELHO, 1993).

3.5 Tipos de solo, uso e ocupação do entorno do reservatório

Os tipos de solos do entorno do reservatório podem ser classificados diferenciadamente em cada uma de suas margens. Na margem direita, no início do reservatório, aparece o Podzólico Vermelho-Amarelo, seguido da Terra Roxa Estruturada, uma pequena faixa de solos Litólicos, uma grande área de Latossolo Vermelho-Amarelo e próximo à barragem temos novamente a Terra Roxa Estruturada. Na margem esquerda ocorre o predomínio do Podzólico Vermelho-Amarelo com pequenas faixas de Terra Roxa estruturada e Latossolo Vermelho-Escuro (SÃO PAULO (ESTADO) LEVANTAMENTO PEDOLÓGICO SEMIDETALHADO DOS SOLOS, 1977).

De maneira geral, os solos mais férteis encontram-se na margem direita, mas não em toda extensão, predominando ao longo do reservatório solos de baixa produtividade, com grau de predisposição à erosão variando de forte a muito forte, com planaltos e tabuleiros contendo solos permeáveis sujeitos à erosão em sulcos profundos, sob diversos tipos de clima (ATLAS NACIONAL DO BRASIL, 1992).

Na área de entorno do reservatório (Figura 2), principalmente na margem direita, observa-se a predominância da cultura da cana-de-açúcar, muitas vezes chegando à margem do reservatório, com algumas faixas de culturas perenes, como a laranja, e poucas áreas de remanescentes florestais com capoeiras e matas secundárias, sem a função de vegetação ciliar. Na margem esquerda, nota-se a presença de áreas urbanas, como os bairros da Praia Azul e Praia dos Namorados, além de casas de veraneio e iate-clubes, áreas de pastagem e de cana-de-açúcar.

Com relação à capacidade de uso das terras, o Reservatório de Salto Grande insere-se na Classe IV, apresentando terras com declives já acentuados (12-20%), não devendo ser utilizadas continuamente com culturas anuais. As culturas perenes e pastagens são mais apropriadas, podendo ser cultivadas ocasionalmente, adotando-se práticas intensivas de conservação (SÃO PAULO (ESTADO). CARTA DE UTILIZAÇÃO DA TERRA, 1980).

FIGURA 2 - Uso e ocupação da área de entorno do Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1996.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Estações de coleta e frequência de amostragens

Com o objetivo de avaliar o processo de sedimentação no Reservatório de Salto Grande, foram selecionadas 5 estações de amostragem, levando-se em consideração principalmente a morfometria do sistema (Figura 3). As estações de coleta com suas respectivas profundidades foram distribuídas da seguinte forma: estação 1 (rio Atibaia - 2,5m), estação 2 (primeiro compartimento – 10,0m), estação 3 (primeiro “canal”- 4,5m), estação 4 (segundo compartimento – 9,0m) e estação 5 (segundo “canal” – 13,0m). Somente no mês de fevereiro de 1997 foi possível amostrar uma sexta estação de coleta próxima à barragem, pois durante todas as outras coletas esta área permanecia inacessível devido a presença de macrófitas aquáticas, principalmente do gênero *Eichhornia crassipes*, *Pistia* sp e gramíneas.

As coletas foram realizadas mensalmente, durante um período anual, caracterizando um ciclo hidrológico completo, com início em agosto de 1996 e término em agosto de 1997.

FIGURA 3: Localização das estações de coleta no Reservatório de Salto Grande.

4.2 Procedimento de coleta

Para a realização deste trabalho, as coletas foram realizadas em duas etapas, tendo por objetivo caracterizar aspectos físicos, químicos e biológicos as estações de coleta durante o início e o término do experimento.

No início de cada experimento em cada estação de coleta foram efetuadas medidas das variáveis temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, radiação solar subaquática e transparência da água. Foram coletadas amostras de água integrando-se toda a coluna d'água com bomba de sucção, para análise da concentração de nutrientes, clorofila *a* (biomassa fitoplanctônica) e material em suspensão, considerando-se as frações orgânica e inorgânica.

Após efetuada a fase de amostragem em cada estação de coleta, foram montados os experimentos para avaliar a deposição de material particulado, utilizando-se, para essa finalidade, câmaras de sedimentação que foram incubadas em cada estação de coleta, permanecendo durante 24 horas nas profundidades previamente estabelecidas.

No término do período experimental, as câmaras foram retiradas, sendo novamente efetuadas as medidas de temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, radiação solar subaquática e transparência da água, registrando-se as alterações ocorridas no intervalo amostral (período de incubação).

4.3 Variáveis analisadas

4.3.1 Fatores climatológicos

Os valores diários de precipitação e temperatura do ar durante o período de estudo foram obtidos na estação meteorológica do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas – base de Limeira) e os dados diários de vento foram obtidos através da estação meteorológica da ESALQ (Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz – USP).

4.3.2 Fatores hidrológicos

4.3.2.1 Vazão e tempo médio de residência da água

Os dados de vazão afluente e defluente foram obtidos na estação experimental da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), e o tempo de residência foi calculado considerando a média dos volumes operacionais do mês pela vazão defluente média no período.

4.3.2.2 Transparência da água e extensão da zona eufótica

As medidas de transparência da água foram obtidas através do disco de Secchi, com 0,30 m de diâmetro, sendo a leitura obtida em função da média da

profundidade de desaparecimento e ressurgimento do disco imerso verticalmente na água, avaliando-se posteriormente, a extensão da zona eufótica (COLE, 1975).

4.3.2.3 Temperatura da água, pH, condutividade e oxigênio dissolvido

Os perfis verticais foram obtidos utilizando-se um medidor de campo do tipo HORIBA, modelo U-10. As medidas foram feitas em intervalos de 0,50 em 0,50 m de profundidade nos 6,00 primeiros metros e de 1,00 em 1,00 m desta profundidade até o fundo.

4.3.2.4 Radiação solar subaquática

A radiação solar subaquática foi determinada através da leitura direta em um Quantameter “Ly-Cor” entre 400-700 nm (faixa do visível), tomadas de 0,25 em 0,25 m de profundidade, obtendo-se um perfil completo até o limite de sensibilidade do aparelho.

4.3.2.5 Nutrientes químicos totais e dissolvidos

As amostras de água coletadas no início de cada experimento foram posteriormente congeladas para a determinação de nutrientes totais e dissolvidos, em laboratório, utilizando-se métodos espectrofotométricos.

Para a determinação da concentração de nutrientes dissolvidos, as amostras foram filtradas em membranas do tipo GF/C Whatman, imediatamente após serem coletadas, sendo posteriormente congeladas para a análise, em laboratório, das concentrações de:

Nitrito e Nitrato: de acordo o método descrito em MACKERETH et al. (1978).

Amônio: pelo método descrito em KOROLEFF (1976).

Fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico e silicato reativo:
conforme metodologia descrita em GOLTERMAN et al. (1978).

As amostras para a determinação dos nutrientes totais (nitrogênio e fósforo) não foram filtradas, sendo determinadas as concentrações de acordo com os métodos descritos em GOLTERMAN et al. (1978), para nitrogênio total e STANDARD METHODS (1995), para fósforo total.

4.3.2.6 Material em Suspensão

O material em suspensão inicial foi determinado nas amostras d'água coletadas no início de cada experimento, de acordo com o método gravimétrico descrito em TEIXEIRA et al. (1965) e TUNDISI (1969), com modificações baseadas em WETZEL & LIKENS (1991), determinando-se a concentração de material em suspensão total e suas frações orgânica e inorgânica. As amostras foram filtradas em filtros GF/C Whatman (0,45 µm de porosidade).

As concentrações de material em suspensão foram determinadas através das equações:

$$M.S.T. = \frac{P2 - P1}{V} \times 1000$$

Onde:

M.S.T. = material em suspensão total (mg.L⁻¹)

P1 = peso inicial do filtro (g)

P2 = peso do filtro com material coletado após secagem em estufa (g)

V = volume de água utilizado para a filtração (L)

1000 = conversão para miligramas

$$M.S.I = \frac{P3 - P1}{V} \times 1000$$

Onde:

M.S.I. = material em suspensão inorgânico (mg.L⁻¹)

P3 = peso do filtro após queima da matéria orgânica em mufla (g)

$$M.S.O = M.S.T. - M.S.I.$$

Onde:

M.S.O. = material em suspensão orgânico (mg.L⁻¹)

4.3.2.7 Concentração de clorofila a e feofitina

Com o objetivo de avaliar o efeito do processo de sedimentação sobre a produção orgânica do reservatório, foram quantificadas, em cada estação de coleta, a concentração de clorofila a e feofitina.

Para tanto, as amostras de água coletadas no início dos experimentos foram filtradas em filtro GF/C Whatman (0,45µm de porosidade), sendo posteriormente acondicionados em frascos âmbar, com sílica-gel e mantidos em baixa temperatura até o momento da extração. A extração foi feita com etanol 80%, aquecido a 75 °C, de acordo com a metodologia descrita em NUSCH & PALME (1975), MOED & HALLEGRAEF (1978), NUSCH (1980) e MARKER et al. (1980). As absorbâncias das amostras foram lidas em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 665 nm e 750 nm, sendo que após essa leitura, as amostras foram acidificadas com HCl 0,4N (~ 0,05 ml), atingindo um pH próximo de 2,7, realizando-se nova leitura.

Para a determinação da clorofila a e feofitina foram utilizadas as seguintes equações:

Clorofila a (µg.L⁻¹)

$$27,9 \{ (E_{665} - E_{750}) - (A_{665} - A_{750}) \} \frac{v}{V_{x1}}$$

Feofitina (µg.L⁻¹)

$$27,9 \{ [1,7 (A_{665} - A_{750})] - (E_{665} - E_{750}) \} \frac{v}{V_{x1}}$$

Onde:

E = amostra não acidificada

A = amostra acidificada

v = volume do extrato (10 ml)

V = volume da amostra filtrada (L)

l = comprimento de onda da cubeta

4.4 Taxa de sedimentação de material particulado, clorofila a, nutrientes totais e dissolvidos nas câmaras de sedimentação

Para avaliar a deposição de material particulado no reservatório, foram confeccionadas câmaras de sedimentação com tubos de PVC de 0,10 m de diâmetro por 0,30 m de comprimento e volume de 2,2 litros (Figura 4), com uma relação comprimento diâmetro 3:1, segundo a metodologia descrita em MARICATO (1994).

As câmaras de sedimentação foram dispostas verticalmente na coluna d'água, a 30% e a 70% da profundidade total de cada estação de coleta, sendo utilizadas oito câmaras de sedimentação para cada ponto amostrado: quatro na superfície e quatro no fundo.

Antes de serem incubadas, as câmaras foram preenchidas com água destilada, evitando-se assim a deposição de material antes do início do experimento. Posteriormente, as câmaras foram colocadas nas profundidades estabelecidas, sendo amarradas a um flutuador de madeira com bóias (Figura 5), sendo este ancorado em cada estação de coleta, permitindo, desta forma, avaliar a diferença espacial da sedimentação do material produzido, bem como as contribuições do principal tributário.

O tempo de exposição das câmaras foi de 24 horas (ciclo diário), apesar da metodologia descrita por EDMONDSON & WINBERG (1972) sugerir um intervalo de 15 a 30 dias e MARICATO (op cit.), utilizando a mesma metodologia, utilizar um período de 7 a 11 dias de exposição contínua no Reservatório de Jurumirim. Esse período de incubação (24 horas) foi determinado após a realização de experimento

FIGURA 4: Câmaras de sedimentação confeccionadas na proporção comprimento/diâmetro 3:1, com volume de 2,2 litros.

FIGURA 5: Flutuador de madeira com “bóias” para sustentação das câmaras de sedimentação.

piloto em julho de 1996, no Reservatório de Salto Grande, onde foram testados períodos de incubação de 6, 12, 18 e 24 horas. Os resultados obtidos, após análise estatística, demonstraram que o período de 24 horas era suficiente para a acumulação de tripton nos coletores.

Após o período de incubação de 24 horas, os experimentos foram retirados e o conteúdo das câmaras foi recolhido em galões de 10 litros, sendo levados ao laboratório para análise da quantidade de material em suspensão (total, orgânico e inorgânico), nutrientes totais e dissolvidos e clorofila a.

No laboratório, o conteúdo dos galões foi homogeneizado e um volume conhecido de água foi filtrado em filtros do tipo GF/C Whatman, previamente calcinados, sendo estes submetidos ao mesmo procedimento descrito na determinação do material em suspensão. A taxa de sedimentação do material particulado foi determinada pela quantidade de material da amostra filtrada, corrigida para o volume médio das câmaras de sedimentação, expressando os valores em unidade de área (cm²) e de tempo (período de incubação). A taxa de sedimentação foi determinada pela seguinte fórmula:

$$T.S. = \frac{V_c \times C}{A_c \times T}$$

Onde:

V_c = volume das câmaras de sedimentação (2,2 litros)

C = concentração de material em suspensão dentro das câmaras (mg.L⁻¹)

A_c = área da superfície de abertura da câmara de sedimentação (78,54 cm²)

T = tempo em dias

As metodologias utilizadas para determinar os nutrientes totais e dissolvidos, bem como clorofila a, foram as mesmas descritas anteriormente (itens 4.3.2.5 e 4.3.2.7).

4.5 Cálculo da vida útil do reservatório

Para o cálculo de vida útil do Reservatório de Salto Grande, determinou-se inicialmente a quantidade de material depositada (kg.ano^{-1}) em cada estação de coleta. Em seguida determinou-se a densidade aparente do sedimento, segundo metodologia descrita em TRINDADE (1980), obtendo-se a deposição do material em cm.ano^{-1} . Considerou-se, para esse cálculo, o assoreamento total de cada estação de coleta, com relação às respectivas profundidades.

4.6 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada através do programa estatístico STATISTICA, utilizando-se o teste de Tuckey à 5% de significância. Cada uma das variáveis dependentes como nitrogênio e fósforo total, clorofila a e taxa de sedimentação, foram tratadas separadamente, atribuindo-se como variáveis independentes os seguintes fatores:

- 1 - Estações do ano - verão (1), outono (2), inverno (3) e primavera (4)
- 2 - Ponto de coleta - estações de 1 a 5.
- 3 - Profundidade das câmaras - 30% (1) e 70% (2)

Para a análise estatística dos ensaios experimentais utilizando-se câmaras de sedimentação diferenciadas, optou-se pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, um teste não-paramétrico, com nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para compreender alguns dos processos e mecanismos de funcionamento do Reservatório de Salto Grande e, desta forma, contribuir para o manejo e recuperação do sistema, foram efetuadas durante um período anual (agosto de 1996 a julho de 1997), medidas de algumas variáveis físicas, químicas e biológicas (temperatura da água, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, radiação solar subaquática, material em suspensão, clorofila *a* e feofitina e nutrientes). Simultaneamente, procurou-se desenvolver estudos experimentais “in situ” para avaliar a deposição de material orgânico e inorgânico, estimando-se a taxa de sedimentação de material em suspensão, nitrogênio e fósforo total, e seus efeitos nas características limnológicas do sistema.

Com estes objetivos propostos, medidas das variáveis bióticas e abióticas foram efetuadas nos períodos iniciais e finais de cada experimento (após 24 horas de incubação), os quais foram colocados em duas profundidades na coluna d’água (30 e 70% da profundidade de cada estação de coleta) e distribuídas em 5 estações (6 em fevereiro de 1997), considerando-se o eixo longitudinal do reservatório e caracterizando os diferentes compartimentos do sistema.

Devido a variáveis climatológicas, marcada por períodos diferenciados de temperatura do ar, vento e precipitação, bem como dos mecanismos de funcionamento do reservatório (vazão e tempo de residência da água), procurou-se integrar essas medidas no presente estudo.

Além disso, visando detectar possíveis interferências devido a ressuspensão do material do fundo e dentro das próprias câmaras de sedimentação, realizou-se um estudo comparativo entre as câmaras de sedimentação com diferenças na relação comprimento/diâmetro. Para este estudo, foram utilizadas as câmaras com relação 3:1 e 10:1 (comprimento/ diâmetro), estimando-se a taxa de sedimentação de

material em suspensão, nitrogênio e fósforo total no período seco (agosto e setembro de 1997) e chuvoso (dezembro de 1997).

Deve-se mencionar que ocorreram problemas relativos à obtenção de algumas variáveis como turbidez (sendo os dados suprimidos devido à inconfiabilidade das medidas efetuadas) e radiação solar subaquática. Além disso, devido a presença constante de bancos de macrófitas e seus movimentos (efeito do vento) no reservatório, alguns experimentos foram perdidos, implicando na ausência de dados de sedimentação em algumas estações e períodos de coleta. Outra consideração a ser mencionada relaciona-se com os gráficos de material em suspensão e taxa de sedimentação, os quais apresentam escalas diferenciadas em virtude da amplitude de variação dos valores mínimos e máximos observados. Tal fato, no entanto, não compromete a análise e discussão dos dados obtidos, podendo-se atender aos objetivos inicialmente propostos no plano de pesquisa.

Os resultados obtidos estão sendo apresentados em Tabelas (Anexo) e Figuras (no decorrer do texto), em cinco capítulos. No primeiro procurou-se enfatizar as características físicas e químicas do reservatório, apresentando-se os resultados das medidas de disco de Secchi, radiação solar subaquática, oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH e condutividade, evidenciando-se as diferenças ocorridas em cada estação, durante um ano, nos períodos iniciais e finais de cada experimento.

No segundo capítulo avalia-se a concentração de clorofila a e nutrientes totais e dissolvidos obtidos nas câmaras de sedimentação, sendo apresentadas as concentrações iniciais e a taxa de sedimentação de nitrogênio e fósforo total.

No terceiro capítulo são apresentados os valores iniciais obtidos para material em suspensão, separando-se as frações orgânica e inorgânica, e a taxa de sedimentação desse material no reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.

No quarto capítulo efetua-se uma análise comparativa de metodologias entre as câmaras de sedimentação para observar o possível efeito da ressuspensão do material de fundo para o interior das câmaras, sendo utilizadas para essa comparação câmaras de relação comprimento/diâmetro 3:1 (utilizada no projeto) com câmaras de relação 10:1 (teoricamente menos suscetível à ressuspensão). Ambas foram dispostas

nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5, sempre à 70% de profundidade, onde a ressuspensão atuaria com maior intensidade.

No quinto capítulo, utilizando-se imagens de satélites de duas épocas do ano (agosto e novembro de 1996), analisou-se a influência da área de entorno do reservatório no processo de sedimentação, observando-se o uso e ocupação do solo e as plumas de sedimentação no sistema, com vistas à propostas de manejo para a melhoria da qualidade de água do reservatório.

5.1 Caracterização física e química do Reservatório de Salto Grande

5.1.1 Transparência da água, limite da zona eufótica e radiação solar subaquática.

Com os valores de transparência da água, foi possível calcular empiricamente o limite da zona eufótica em cada estação e período analisado, conforme COLE (1975). As medidas efetuadas desta forma, apesar de consideradas empíricas, têm demonstrado que existe uma relação entre as medidas de transparência do disco de Secchi e o aumento da dispersão devido a presença de matéria particulada em suspensão (WETZEL, 1981). De acordo com GOLDMAN & HORNE (1983) essas medidas representam um dispositivo simples e barato para se analisar a transparência da água, e os resultados obtidos por estes autores demonstram que normalmente a visibilidade do disco de Secchi em lagos eutróficos ou com águas barrentas varia de 0 a 2 metros de profundidade.

No Reservatório de Salto Grande, um sistema hipereutrófico, com entrada pontuais e difusas de material alóctone e com elevada produção autóctone, verifica-se que os valores de transparência raramente ultrapassam 1 metro, limitando a zona eufótica em profundidades inferiores a 50% da coluna d'água, excetuando-se as estações de coleta de menor profundidade.

Analizando-se a Figura 06, verifica-se que existe um aumento gradativo nas

FIGURA 06: Medidas iniciais (A) e finais (B) da visibilidade do disco de Secchi ■ e limite da zona eufótica ■ nas estações de coleta, no Reservatório de Salto Grande.

FIGURA 06: Continuação

FIGURA 06: Continuação

FIGURA 06: Continuação

medidas de transparência do disco de Secchi durante o período de estudo (estação chuvosa para a estação seca), sendo nítida a relação inversa entre as medidas do disco de Secchi e o aumento da dispersão devido à concentração de material em suspensão (Figura 34), bem como no eixo longitudinal do reservatório (em direção à barragem). Na estação 1, entrada do rio Atibaia no reservatório, o valor máximo obtido foi de 0,60 m, caracterizando-se como uma área de elevado e contínuo aporte de sólidos em suspensão de origem alóctone. Nas estações a jusante da entrada do rio Atibaia (estações 4 e 5) os valores de transparência atingem 2,00 m. de profundidade.

No entanto, os períodos de maiores e menores intensidade de chuvas também contribuem para as modificações espaciais e temporais, registrando-se valores mais reduzidos no período chuvoso (0,60 m. de transparência e 1,80 m. de limite da zona eufótica), mesmo na estação 5, localizada próxima à barragem, e valores maiores no período seco (visibilidade de 2,00 m. e o limite da zona eufótica de 6,00 m. de profundidade).

Deve-se salientar ainda a variabilidade espacial e temporal do reservatório em curtos períodos de tempo. As medidas efetuadas nos períodos iniciais e após 24 horas de incubação das câmaras de sedimentação demonstram as modificações rápidas do sistema, como observado em agosto, setembro e outubro de 1996 e em maio e julho de 1997, o que pode ser o resultado da ação do vento atuando na ressuspensão de material na coluna d'água (pelo fato de ser um sistema raso), no deslocamento de "patches" da comunidade fitoplanctônica (florações constantes) e mesmo dos bancos de macrófitas refletindo diretamente na deposição de partículas na água (decomposição), além do fluxo de material em suspensão pelo rio Atibaia (entrada não uniforme de efluentes diversos).

De forma semelhante às medidas obtidas com o disco de Secchi, porém mais precisas, os resultados obtidos com o "quanta-meter" (Figura 07) demonstram uma relação inversa entre a entrada e concentração de material em suspensão e a penetração da luz na água, verificando-se um gradiente horizontal da estação 1 em direção à estação 5.

Figura 7: Medidas iniciais e finais da radiação solar subaquática, obtida nas diferentes estações de coleta no Reservatório de Salto Grande.

(— P1 — P2 — P3 — P4 — P5 — P6).

FIGURA 07: Continuação

Os resultados iniciais de radiação solar subaquática foram sempre mais reduzidos na estação 1, com valores entre 500,0 e 1500,0 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$, registrando-se valores mais elevados na estação 5 (sempre acima de 1000,0 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{seg}^{-1}$). Deve-se considerar ainda que nas estações 3, 4, e 5 a concentração de material em suspensão foi menor em relação às estações 1 e 2, o que propicia que a intensidade luminosa atinja maiores profundidades ou aproxime-se do sedimento nos períodos de menor pluviosidade. Também deve-se observar que os horários das medições nas estações 3, 4 e 5 possuíam 1 hora a mais do que as demais estações.

Podemos comprovar a relação da penetração de luz com a produtividade primária do sistema com os dados obtidos por DEBERDT (1997), nas quais o autor verificou, para a estação 5, uma produção primária de 200,11 $\text{mgC.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ em agosto de 1995 e 44,0 $\text{mgC.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ em janeiro de 1996, notando-se a influência da quantidade de material que chega ao reservatório no período seco e chuvoso respectivamente.

É interessante ressaltar que apesar da maior penetração de luz na estação 5, implicando em maior fonte de energia para a produção da biomassa fitoplanctônica, os valores de clorofila *a* foram mais elevados nas estações 2, 3, e 4. Tal fato pode sugerir, talvez, uma redução na disponibilidade de nutrientes ou ainda a competição por recursos com as macrófitas flutuantes.

5.1.2 Temperatura da água e oxigênio dissolvido

Os perfis de temperatura e oxigênio dissolvido são apresentados pelas Figuras 08 a 19, comparando-se as medidas iniciais e finais (após 24 horas de incubação) em cada estação de coleta e período de amostragem.

Observa-se, durante o período de estudo, a variação sazonal apresentada nas concentrações de oxigênio dissolvido, principalmente comparando-se os resultados obtidos nos períodos seco, onde os valores máximos são superiores a 15,0 mg.L^{-1} (estação 5, em agosto de 1996) e chuvoso, onde as concentrações são inferiores a 10,0 mg.L^{-1} , na superfície.

FIGURA 08: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1996.

FIGURA 09: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em setembro de 1996

FIGURA 10: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em outubro de 1996

FIGURA 11: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em novembro de 1996.

FIGURA 12: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em dezembro de 1996.

FIGURA 13: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em janeiro de 1997.

FIGURA 14: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em fevereiro de 1997.

FIGURA 15: Valores finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em março de 1997.

FIGURA 16: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em abril de 1997.

FIGURA 17: Valores iniciais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em maio de 1997.

FIGURA 18: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em junho de 1997.

FIGURA 19: Valores iniciais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em julho de 1997.

Espacialmente, considerando-se as diferentes estações de amostragem, verifica-se que as concentrações mais elevadas ocorreram nas estações mais distantes da entrada do reservatório (estações 3, 4 e 5), o que pode ser atribuído a:

a) descarga de sólidos em suspensão na entrada do reservatório (pelo rio Atibaia) diminuindo a penetração de luz na água, interferindo na produtividade do sistema e conseqüentemente, na concentração de oxigênio dissolvido principalmente nas estações 1 e 2. Este material alóctone é distribuído e depositado de forma diferenciada no sistema, sendo que no verão, período com altos índices pluviométricos, o aporte é mais pronunciado;

b) maior contribuição de algas cianofíceas do gênero *Microcystis* sp., principalmente nos meses de inverno, nas estações 3, 4 e 5, onde ocorre a maior transparência da água.

Os perfis verticais de oxigênio dissolvido também demonstram camadas anóxicas principalmente nas estações de maior profundidade (estação 2, 4 e 5) e nos períodos de abril a outubro. A oxiclina formada caracteriza-se por valores elevados na superfície ou subsuperfície (entre 8,0 e 17,0 mg.L⁻¹), com um decaimento acentuado entre 1 e 3 metros de profundidade, dentro do limite da zona eufótica. Segundo WETZEL (1981), isto pode ser o resultado de processos oxidativos no hipolímnio, cuja intensidade se reflete na quantidade de matéria orgânica que chega a este ponto, proveniente das zonas produtivas do lago, resultando na diminuição da concentração de oxigênio no hipolímnio e elevada concentração na superfície.

Padrões semelhantes também foram obtidos em anos anteriores (20 anos atrás) por FROELICH et al. (1978), para este mesmo reservatório, nos quais os autores mencionam a estratificação do oxigênio com decréscimo acentuado, além de variações em curtos intervalos de tempo nas concentrações de oxigênio das camadas inferiores (resultado das amostragens em diferentes horários de coleta). Situação similar ainda é observada no Reservatório de Salto Grande, como demonstrado pelas medidas iniciais e finais de oxigênio dissolvido.

A semelhança entre os dados deste projeto com aqueles obtidos em anos anteriores, indica que o processo de eutrofização no reservatório já era acentuado, ocorrendo nos últimos anos um maior aporte de nutrientes e um incremento na

produção do sistema, o que pode ser verificado pelos bancos de macrófitas que ocupam cerca de 5% da área do reservatório e pelas florações contínuas de cianofíceas, algas comumente encontradas em sistemas eutrofizados.

Em relação aos perfis de temperatura, constata-se, como já observado por FROELICH et al. (1978), que o padrão térmico do reservatório é complexo e sem um padrão sazonal definido. Embora na maioria das coletas o reservatório esteja estratificado (agosto, outubro, novembro e dezembro de 1996 e em junho e julho de 1997), principalmente nas estações 2, 4, e 5, a estratificação parece ser instável e de curta duração, apresentando gradiente sem termoclina acentuada. A instabilidade física do reservatório pode ser avaliada, novamente, analisando-se as medidas antes e após a realização dos experimentos (como por exemplo nas estações 2 e 4, em agosto de 1996; nas estações 3 e 4, em outubro de 1996; entre outras).

Nos meses em que a estratificação térmica é mais visível, pode-se considerar duas hipóteses: uma seria a absorção de calor pelo sedimento e sua posterior transmissão de calor à água. No lago Mendotta, por exemplo, o sedimento, a uma profundidade de 8,0 m., segue o ciclo anual das temperaturas da água do epilânio (WETZEL, 1981). Considerando-se que o reservatório de Salto Grande apresenta massas d'água que circulam completamente em intervalos de tempo irregulares durante o ano (podendo ser considerado polimítico, segundo FROELICH et al., (op. cit.), a hipótese da presença de uma corrente de água com temperatura diferenciada, a uma determinada profundidade é adequada, a qual poderia estar circulando influenciada pelo funcionamento dos vertedouros da barragem que fazem sua tomada d'água alguns metros abaixo da superfície. O mês de maio de 1997 é um exemplo de como a variação de temperatura é quase inexistente, sendo este período uma época de alteração do tempo de retenção do reservatório, o que pode promover uma circulação completa no sistema. Além da homogeneização da coluna d'água, a circulação completa promove a ressuspensão de sedimentos, liberando nutrientes que serão incorporados pelos organismos e material orgânico que deverá ser processado, contribuindo para a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na coluna d'água.

Embora ocorra uma diferença de 2 horas entre as medidas de temperatura da água entre as estações 1 e 5, observa-se um gradiente de temperatura no sentido

longitudinal do reservatório demonstrando o aquecimento da água quanto mais distante do ponto de entrada do rio Atibaia, onde as temperaturas da superfície da água na estação 5 (próxima à barragem) são superiores à 3 °C em relação à estação 1 (entrada do reservatório), como observado no mês de março de 1997.

5.1.3 pH e condutividade

Os valores de pH e condutividade são demonstrados nas Figuras 20 (pH) e 21 (condutividade), as quais representam os perfis iniciais e finais nas diferentes estações de coleta.

Nota-se, em geral, que os valores de pH situam-se entre 6,0 e 9,0, sendo que, na maior parte, os valores estão próximos ao pH neutro, com exceção do mês de agosto de 1996 e janeiro de 1997, cujos valores de pH atingiram ou foram superiores a 8,0. Verifica-se, ainda, que as estações de coleta mais próximas à entrada do rio Atibaia apresentaram valores inferiores ou próximos a 6,0.

Os resultados também demonstram que não existem grandes variações entre os valores iniciais e finais (retirada do experimento), mas observa-se, como nos meses de agosto de 1996 (retirada), janeiro (incubação) e fevereiro de 1997 (retirada), um aumento de pH na superfície da água na estação 5, passando de 7,0 para 8,0 (em fevereiro) e de 7,0 para 9,0 (em agosto), e uma diminuição de 8,0 para 7,0, em janeiro. Comparando-se com os perfis de oxigênio dissolvido, as curvas de oxigênio apresentam um comportamento semelhante em relação às variações bruscas observadas nesses meses, com os valores de oxigênio dissolvido aumentando de 11,0 para 17,0 mg.L⁻¹ (em agosto), de 5,0 para 9,0 mg.L⁻¹ (em fevereiro) e uma queda de 10,0 para 7,0 mg.L⁻¹ (em janeiro), possivelmente devido às elevadas concentrações de algas cianofíceas (florações) que contribuem para o aumento das concentrações de oxigênio dissolvido, ocorrendo, assim, uma diminuição da concentração de CO₂ dissolvido (GOLDMAN & HORNE, 1983), fazendo com que o equilíbrio seja deslocado em direção ao bicarbonato (2HCO₃) elevando o pH bruscamente em decorrência da atividade fotossintética.

FIGURA 20: Valores iniciais e finais de pH no Reservatório de Salto Grande, nas diferentes estações de coleta (— P1 — P2 — P3 — P4 — P5 — P6).

FIGURA 20: Continuação

FIGURA 21: Valores iniciais e finais de condutividade no Reservatório de Salto Grande, nas diferentes estações de coleta.

(— P1 — P2 — P3 — P4 — P5 — P6).

FIGURA 21: Continuação

Nos perfis obtidos para a condutividade da água (Figura 21), observa-se que os valores mais elevados ocorreram no período do inverno (seca), com os valores predominantemente mais altos na estação 1 ($320,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$, em maio de 1997). Verifica-se que os valores são relativamente próximas entre as diferentes estações amostradas, com exceção dos meses de setembro e novembro de 1996, e em abril e julho de 1997. Em geral os valores de condutividade estiveram compreendidos entre $60,0$ e $350,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Os valores na coluna d'água também foram homogêneas, exceto na estação 5 (abril de 1997) e 2 (julho de 1997), onde verificou-se um aumento de $150,0$ (na superfície) para $200,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (a 1 metro de profundidade) e uma redução de $200,0$ para $100,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$, respectivamente.

Os valores obtidos no Reservatório de Salto Grande caracterizam o sistema como hipereutrófico, sendo que, se considerarmos a condutividade como uma medida de detecção de fontes poluidoras (como mencionado por ESTEVES, 1988), o sistema pode ser considerado como impróprio para o abastecimento público, uma vez que, principalmente na estação 1 (entrada do rio Atibaia), os valores obtidos caracterizam uma água imprópria para o tratamento convencional (como estabelecido pela CETESB⁶, 1991) apud MONTICELI & MARTINS (1993).

De forma semelhante ao pH, não foram observadas alterações nos perfis de condutividade obtidos antes e após a retirada das câmaras de sedimentação, com exceção das coletas efetuadas em novembro de 1996.

5.2 Caracterização biológica (clorofila *a* e feofitina), química (nutrientes) e taxa de sedimentação de N e P no Reservatório de Salto Grande.

A caracterização química e biológica do reservatório foi efetuada através dos resultados obtidos nas amostras coletadas nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação, sendo que apenas para nitrogênio e fósforo total foram consideradas as medidas iniciais e finais.

⁶ CETESB (1991) Bacia dos rios Piracicaba e Capivari. *Níveis de qualidade de água*.

A avaliação biológica foi realizada através da determinação da concentração de pigmentos fotossintéticos em algas, clorofilas e carotenóides, dos quais a clorofila a é o mais abundante, podendo ser utilizada para estimar a biomassa algal (WETZEL & LIKENS, 1991).

Pelos resultados obtidos (Figura 22), nota-se uma distribuição com variações ao longo do ano, com o valor máximo de $70,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ de clorofila a no mês de agosto de 1996, na estação 4, onde a concentração de oxigênio dissolvido atingiu $17,0 \text{mg.L}^{-1}$ na superfície. Nesse mesmo mês, observa-se que as concentrações de clorofila a na superfície (30%) são superiores às do fundo (70%) nas estações 2, 3, 4 e 5, verificando-se uma relação direta com os altos valores de oxigênio observados na superfície, e coincidindo com os locais mais favoráveis à ocorrência de florações de algas. Em outros meses do ano, observa-se comportamento semelhante, porém com concentrações mais reduzidas de clorofila a, como nos meses de dezembro de 1996 e em janeiro, fevereiro e julho de 1997, nos períodos seco (inverno) e chuvoso (verão).

Esse comportamento, porém, não parece ser uma regra no Reservatório de Salto Grande, como mostra os meses de outubro e novembro de 1996 e março, maio e junho de 1997, onde os valores de clorofila a do fundo (70%) são superiores aos de superfície (30%). Na estação 1, por exemplo, os valores obtidos a 70% foram mais elevados na maioria dos meses analisados, podendo estar relacionado com uma maior deposição da biomassa algal nas câmaras de sedimentação localizadas a 70% ou ainda com a saturação luminosa, uma vez que as células mais adaptadas à altas intensidades luminosas possuem uma menor quantidade de clorofila a por célula do que aquelas adaptadas às baixas intensidades de luz (JORGENSEN, 1980). Observa-se também que não existe uma relação direta entre o limite da zona eufótica com os dados discutidos acima.

Outro fator a ser considerado são as florações de algas cianofíceas, que segundo GOLDMAN & HORNE (1983), é um sinal evidente da eutrofização cultural. No caso de Salto Grande, a grande quantidade de nitrogênio e fósforo que chega ao reservatório parece ser o grande responsável por essas florações.

A diminuição nas concentrações de clorofila a nos meses de junho e julho, excetuando-se a estação 2 a 70% em junho, pode estar relacionada com as baixas

FIGURA 22: Concentrações de clorofila a ■ e feofitina ■ obtidas a 30 e 70% da profundidade local, nas estações de coleta do Reservatório de Salto Grande, durante o período de 24 horas de incubação.

FIGURA 22: Continuação

temperaturas nesse período (segundo SILVA & ESPÍNDOLA, 1996, a taxa de crescimento de *Microcystis* sp. é maior em temperaturas mais elevadas), ou a uma maior diversidade de espécies fitoplanctônicas, causando uma maior competição e conseqüente diminuição de algas cianofíceas neste período (redução das florações). Segundo DEBERDT (1997), no período de inverno ocorre a maior contribuição de outras classes de fitoplâncton, destacando-se as criptofíceas (com 37%), as cianofíceas (com 35%) e as clorofíceas (com 16%).

Deve-se mencionar ainda a elevada contribuição de feofitina (de 10,0 a 70,0 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), a qual foi mais elevada do que a clorofila *a* em vários meses, caracterizando um sistema com alta taxa de decomposição e demonstrando a importância da cadeia de detritos com fonte de transferência de energia para os níveis tróficos superiores (“microbial loop”).

A análise estatística para clorofila está presente na Tabela 01., sendo que nenhuma variável independente influenciou a deposição de clorofila *a* nas câmaras de sedimentação.

TABELA 01- Fonte de variação, para clorofila-*a* considerando-se a estação do ano (1), o ponto de coleta (2) e a profundidade (3); sendo GL o grau de liberdade, F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.

Fonte de variação	GL	F	p
1	3	1.44826746	0.23567709
2	4	1.00119734	0.41249955
3	1	0.51790708	0.47400263
12	12	0.78842103	0.66060907
13	3	0.7296254	0.53756666
23	4	0.61836547	0.6508075
123	12	0.32851836	0.98165357

Os resultados acima demonstram que não existem diferenças em relação à clorofila *a* ao longo do reservatório (do ponto de vista das variáveis independentes). Esses resultados, aparentemente, não refletem o verdadeiro gradiente na distribuição da clorofila *a* no sistema. Essa falsa interpretação pode ter sido ocasionada pela

elevada concentração de material depositado nas câmaras de sedimentação, que pode ter interferido no processo de leitura dos valores de clorofila no espectrofotômetro, dando-nos, assim, a impressão que o Reservatório de Salto Grande apresenta valores semelhantes de clorofila em todos os pontos de coleta.

A avaliação química do Reservatório de Salto Grande foi realizada através da determinação de nitrogênio e fósforo total, nitrito, nitrato, amônio, fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico e silicato reativo.

Entre os elementos essenciais para o crescimento das comunidades vegetais encontram-se o nitrogênio e fósforo, os quais variam sazonalmente em função das entradas externas e disponibilidade a partir da liberação do material incorporado à biomassa vegetal e animal, devendo-se ainda considerar o estoque armazenado no sedimento e que pode ser liberado à coluna d'água a partir de modificações ambientais (resultante das alterações climatológicas) e, tratando-se de reservatórios, dos mecanismos operacionais do sistema.

O nitrogênio, sempre presente nos ecossistemas aquáticos e mais abundantemente como um gás (embora quase inerte), é normalmente utilizado no crescimento de algumas algas cianofíceas e bactérias através do processo da fixação do nitrogênio. Existe também em formas combinadas como amônio (NH_4), nitrato (NO_3), nitrito (NO_2), uréia ($\text{CO}[\text{NO}_2]_2$) e compostos orgânicos dissolvidos, sendo o nitrato geralmente o mais importante (GOLDMAN & HORNE, 1983). A origem do nitrogênio pode ser: a) precipitação sobre a superfície do lago, b) fixação de nitrogênio tanto na água como nos sedimentos e c) aportes devido à drenagem superficial e subterrânea (WETZEL, 1981).

No Reservatório de Salto Grande observa-se que os valores iniciais de nitrogênio (Figura 23), nos meses de inverno (agosto e setembro de 1996 e em junho e julho de 1997) geralmente são maiores que os valores observados no período chuvoso, principalmente nas estações 1 e 2, sendo que nos mesmos meses a concentração de amônio (Figura 27), coletada nas câmaras de sedimentação, apresentou os maiores valores durante todo o ano, talvez pela presença de grandes quantidades de bactérias no sedimento e no hipolímnio anóxico que reduzem o nitrato

Inicial (A)

Final (B)

FIGURA 23: Valores iniciais (A) e após 24 horas de incubação (B) de nitrogênio (mg/L) e fósforo total (µg/L) obtidos nas diferentes estações e profundidades de coleta no Reservatório de Salto Grande.

Inicial (A)

Final (B)

FIGURA 23: Continuação

Inicial (A)

Final (B)

FIGURA 23: Continuação

Inicial (A)

Final (B)

FIGURA 23: Continuação

a nitrogênio (GOLDMAN & HORNE, 1983), podendo liberar amônio para a coluna d'água.

Os valores iniciais de nitrogênio na estação 1, no período de menor vazão (agosto de 1996) e de maior vazão (fevereiro de 1997) foram de 17,74 mg.L⁻¹ e 1,35 mg.L⁻¹ respectivamente. Esses valores estão próximos aos valores de nitrogênio total obtidos por MARICATO (1994) no rio Paranapanema, onde os maiores valores encontrados foram de 17,02 mg.L⁻¹ no período seco e 5,29 mg.L⁻¹ no período chuvoso. BARBOSA et al. (1998), estudando um ambiente eutrofizado (Lagoa da Pampulha), obteve valores muito menores que os verificados em Salto Grande, mas com o mesmo padrão sazonal, obtendo concentrações de 6,0 mg.L⁻¹ no período seco e 3,0 mg.L⁻¹ no período chuvoso, determinando uma contribuição de nitrogênio total pelos tributários de 454,0 kg.dia⁻¹ no período chuvoso e de 405,8 kg.dia⁻¹ no período seco. No Reservatório de Salto Grande, a contribuição de nitrogênio pelo único tributário, o rio Atibaia, considerando vazões acumuladas diárias, é de 22,61 ton.dia⁻¹ em agosto de 1996 e de 14,01 ton.dia⁻¹ em de fevereiro de 1997, sendo muito superiores aos da Lagoa da Pampulha, o que demonstra a elevada quantidade de nutrientes que é depositada no reservatório pela sua principal fonte pontual.

Nota-se também que a quantidade de nitrogênio orgânico total coletada nas câmaras de sedimentação no período chuvoso é visivelmente maior que os valores iniciais, atingindo concentrações (como no mês de dezembro de 1996, fevereiro e março de 1997) três vezes maiores que as iniciais. No período seco, a amplitude de variação é menor entre as concentrações iniciais e aquelas obtidas nas câmaras de sedimentação.

Verifica-se que a maior deposição de nitrogênio dentro do Reservatório de Salto Grande (Figura 24) está localizada na estação 1 (principalmente nos meses de novembro e dezembro de 1996, com valores próximos a 1,0 mg.cm⁻².dia⁻¹), sendo que a deposição nas outras estações de coleta permanece homogênea, porém, com valores mais elevados no período chuvoso. No período seco, observa-se um padrão mais homogêneo de deposição de nitrogênio no reservatório, com valores máximos próximos a 0,5 mg.cm⁻².dia⁻¹, alcançando a metade dos valores no período chuvoso. Na estação 1, tanto no período seco como chuvoso, as concentrações obtidas nas

FIGURA 24: Taxa de sedimentação de nitrogênio ■ e fósforo total ◆ obtidos a 30 e 70% de profundidade, nas diferentes estações de coleta, durante o período de estudo no Reservatório de Salto Grande.

FIGURA 24: Continuação

câmaras de sedimentação a 70% de profundidade, foram sempre superiores as de 30%. Como comparação, pode-se avaliar o estudo de sedimentação de nitrogênio no Lago Lawrence, realizado por WHITE & WETZEL (1975), onde foram encontrados valores máximos à 10 m de profundidade ($0,4 \text{ g N.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no mês de dezembro de 1973), sendo que no Reservatório de Salto Grande, observa-se valores de $10,0 \text{ gN.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, a 70% de profundidade, em dezembro de 1996. Em termos comparativos, verifica-se uma sedimentação quase 20 vezes maior no Reservatório de Salto Grande, implicando em uma maior disponibilidade de nitrato e amônio para a coluna d'água e contribuindo para o crescimento de algas cianofíceas e macrófitas aquáticas.

MARQUISÁ (1998), estudando a sedimentação de nitrogênio (em estações próximas à barragem) em dois reservatórios de diferentes estados tróficos obteve para o reservatório do Lobo (oligotrófico) valores máximos de $645,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em junho de 1995 e no reservatório de Barra Bonita (eutrófico) obteve valores de $1704,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ em outubro de 1995. Comparando esses valores com o Reservatório de Salto Grande, na estação de coleta 5 (próximo à barragem), o valor máximo atingido foi de $3200,0 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no mês de dezembro de 1996, demonstrando assim, que mesmo na estação mais distante da entrada do rio Atibaia, a quantidade de nitrogênio total depositada continua sendo muito elevada.

Pela análise estatística, observa-se pela Tabela 02 que a estação do ano e os pontos de coleta influenciam a deposição do nitrogênio total, sendo que a profundidade não influencia a quantidade de nitrogênio depositada nas câmaras de sedimentação.

TABELA 02 - Fonte de variação, para nitrogênio total, considerando-se a estação do ano (1), o ponto de coleta (2) e a profundidade (3), sendo GL grau de liberdade, F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.

Fonte de variação	GL	F	p
1	3	5,747	0,001*
2	4	14,390	0*
3	1	2,713	0,103
12	12	0,952	0,501
13	3	2,190	0,096
23	4	1,270	0,289
123	12	0,685	0,760

Analisando-se as estações do ano pelo teste de Tuckey (Tabela 03) observa-se que a estação do ano 1 (verão) possui comportamento semelhante à estação 4 (primavera) e difere das outras estações (outono e inverno), que por sua vez apresentam características mais similares (outono e inverno). A Tabela 04 demonstra como o ponto de coleta 1 apresenta características diferenciadas de todos os outros pontos de coleta, os quais possuem valores semelhantes com relação à deposição do nitrogênio.

TABELA 03- Teste de Tuckey para nitrogênio total, considerando-se as estações do ano: Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4), ao nível de 5% de significância.

E.A.	{1}	{2}	{3}	{4}
1				
2	0.00324488			
3	0.01089329	0.96561337		
4	0.77725291	0.04135388	0.11247224	

TABELA 04 -Teste de Tuckey para nitrogênio total, considerando-se os pontos de coleta ao nível de 5% de significância.

P.C.	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1					
2	0.00012547				
3	0.00012511	0.99999475			
4	0.00012469	0.95250988	0.96604007		
5	0.00012469	0.82803047	0.85637432	0.99681294	

Pela Figura 25, verifica-se a relação existente entre as estações do ano, verão e primavera (1 e 4) e outono e inverno (2 e 3), separando os períodos de maior e menor deposição, respectivamente, de nitrogênio total nas câmaras de sedimentação, sendo que na Figura 26, verifica-se a influência do rio Atibaia no ponto de coleta 1, colaborando com o maior desvio padrão dos valores de nitrogênio total, enquanto nos demais pontos, os valores apresentam um menor desvio em relação à média.

FIGURA 25: Média e desvio padrão do nitrogênio total nas 4 estações do ano.

FIGURA 26 : Média e desvio padrão do nitrogênio total nos 5 pontos de coleta.

Em relação a concentração e distribuição das formas nitrogenadas, como nitrito, nitrato e amônio (Figura 27), verifica-se a maior contribuição de amônio (agosto e setembro de 1996 e julho de 1997), principalmente nas estações 1 e 2, e de nitrato nas estações 3, 4 e 5 (outubro, novembro e dezembro de 1996 e entre janeiro e maio de 1997), evidenciando-se as diferenças entre 30 e 70% de profundidade (localização das câmaras), bem como entre as estações amostradas, sendo nítido o decréscimo gradual, no sentido entrada-barragem, para amônio e nitrito, enquanto o nitrato apresenta uma distribuição mais homogênea no reservatório. Porém, as concentrações de todas as formas nitrogenadas variam no tempo, com valores mais elevados em setembro e outubro de 1996 (para nitrito), agosto de 1996 e julho de 1997 (para amônio) e maio e junho de 1997 (para nitrato).

Analisando-se mais detalhadamente os resultados obtidos, verifica-se que a concentração de nitrito ao longo do ano, embora tenha apresentado pequenas variações na estação 1 (a 30 e 70% de profundidade) e nos meses de setembro e outubro de 1996 e em abril e maio de 1997, sua concentração permaneceu baixa (comparada com nitrato e amônio) e praticamente homogênea nas demais estações, em ambas profundidades, não atingindo $500,0 \mu\text{g.L}^{-1}$. Segundo GOLDMAN & HORNE (1983), o nitrito está geralmente presente em quantidades traço em águas

FIGURA 27: Variação espacial e temporal da concentração de nitrato ■, nitrito ■, e amônio ■ obtida nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação.

FIGURA 27: Continuação

que apresentam oxigênio, sendo transformado em nitrato e em águas anóxicas, o nitrito é convertido em amônio. O nitrito representa uma fase intermediária entre a amônio (forma mais reduzida) e nitrato (forma mais oxidada) e segundo McCARTHY & GOLDMAN (1979) o fitoplâncton pode assimilar nitrito em caso de escassez do íon amônio e nitrato. Neste caso, o nitrito é reduzido no interior da célula à amônio, sendo que em altas concentrações, torna-se extremamente tóxico à maioria dos organismos aquáticos.

Normalmente, o nitrito é encontrado em baixas concentrações em ambientes oxigenados, porém, em ambientes anaeróbios, como o hipolímnio de lagos eutróficos em período de estratificação, pode-se encontrar altas concentrações deste íon.

As concentrações de nitrato foram próximas a $1000,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ na maioria dos meses do ano, com concentrações mais elevadas nos meses de abril, maio e julho de 1997 e com valores mais reduzidos em agosto e setembro de 1996 e em junho de 1997, não verificando-se grandes diferenças entre as câmaras de 30 e 70%. O aumento da concentração de nitrato e diminuição da concentração de amônio simultaneamente pode ser explicado pelo processo da nitrificação, onde bactérias, fungos e organismos autótrofos, convertem a amônio em nitrato e obtém energia como resultado. De modo oposto, observa-se nos meses de agosto e setembro de 1996 e junho de 1997 um decréscimo nas concentrações de nitrato e um aumento nas concentrações de amônio, podendo ser causado pelo processo da amonificação (desnitrificação), que seria a conversão do nitrato em amônio (GOLDMAN & HORNE, 1983). Ainda segundo os autores, a concentração de nitrato pode aumentar em lagos quando a concentração de oxigênio é mais elevada e a amônio está disponível.

As concentrações mais elevadas do íon nitrato foram observadas no mês de maio na estação 2, a 30 e 70% de profundidade, com valores muito baixos de nitrito e amônio.

Deve-se considerar que o nitrato é normalmente a forma mais comum de nitrogênio inorgânico combinado em lagos e rios e a sua concentração e taxa de suprimento está intimamente ligada com as práticas de uso da terra da bacia hidrográfica. Dependendo das condições ambientais, os íons nitrato movem-se facilmente através do solo, sendo perdidos rapidamente da terra, mesmo em sistemas

de drenagem naturais. Verifica-se, porém, que as mudanças naturais na vegetação da bacia de drenagem causada por queimadas, inundações, processos de urbanização, desmatamento, etc., resultam em um aumento de nitrato nos cursos d'água (GOLDMAN & HORNE, 1983), fato este observado no Reservatório de Salto Grande.

O amônio, presente nos ecossistemas aquáticos principalmente como o íon dissociado NH_4^+ (amônio), é um composto muito mais reativo do que o nitrato devido a sua elevada energia química que permite a formação de pontes carregadas negativamente com argilas, as quais são comuns em cursos d'água. O amônio difere do nitrato em toxicidade e mobilidade, apresentando maior toxicidade e retenção pela maioria dos solos, sendo rapidamente absorvido pelo fitoplâncton e por outras plantas aquáticas (GOLDMAN & HORNE, op. cit.), além de ser o principal produto final da decomposição da matéria orgânica realizada por bactérias heterotróficas, tanto diretamente a partir das proteínas como de outros compostos orgânicos nitrogenados (WETZEL, 1981).

No Reservatório de Salto Grande nota-se que as concentrações de amônio nos meses de agosto, outubro e dezembro de 1996 e em janeiro, fevereiro, junho e julho de 1997, foram mais elevados nas câmaras a 70% de profundidade, ou seja, mais próximas ao fundo do reservatório, com valores máximos de $2000,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de julho de 1997 na estação 1 (rio Atibaia), onde as concentrações são geralmente maiores que as demais estações.

Esses altos valores de nitrato e amônio, juntamente com a temperatura, são fatores importantes para o desenvolvimento de florações de algas e de macrófitas aquáticas, comunidades que estão presentes no Reservatório de Salto Grande, comprometendo a capacidade de uso múltiplo do sistema.

Em relação ao fósforo, elemento essencial no processo metabólico dos seres vivos, tais como o armazenamento de energia (ATP) e estruturação da membrana celular através dos fosfolipídeos (ESTEVES, 1988), verifica-se a sua ocorrência nos sistemas aquáticos nas formas orgânicas e inorgânicas. A forma predominante de fosfato inorgânico é o ortofosfato (PO_4^{3-}), com menores quantidades na forma de monofosfato (HPO_4^{2-}) e dihidrogênio (H_2PO_4^-) fosfato. As altas concentrações de fósforo total na água estão relacionadas com a erosão de partículas de terrenos com

grande inclinação e solos facilmente erodíveis. Despejos industriais, domésticos e provenientes da agricultura são as principais fontes de fosfato solúvel e freqüentemente contribuem para a eutrofização do lago. Os detergentes contendo fosfato, por exemplo, geralmente contribuem com a metade do fósforo contido no esgoto doméstico (GOLDMAN & HORNE, 1983).

No Reservatório de Salto Grande verifica-se pelos valores iniciais de fósforo (Figura 23), um gradiente de concentração da estação 1 em direção à estação 5, com os valores mais altos nos meses de fevereiro e maio de 1997 (354,0 e 344,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente), decaindo bruscamente na estação 2 e chegando a valores abaixo de 100,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em alguns meses (abril e junho de 1997), nas estações 2, 3, 4, e 5. Porém, mesmo com esses valores, o Reservatório de Salto Grande, por apresentar valores superiores a 100,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, é considerado, segundo WETZEL (1983), um reservatório hipereutrófico. FALÓTICO (1993), estudando o Reservatório de Samuel, determinou no período de fevereiro e março de 1989 valores de fósforo total bem inferiores aos do Reservatório de Salto Grande, com concentração máxima de 142,07 $\mu\text{g.L}^{-1}$, sendo que os valores máximos observados por MARICATO (1994), no braço do rio Paranapanema, alcançaram valores ainda menores: 19,84 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e 23,76 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no período seco. Em reservatórios eutróficos, como o da Pampulha, BARBOSA (1998) obteve uma maior concentração de fósforo total no período chuvoso ao seco, com valores de 92,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 30,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$ respectivamente. A entrada, de fósforo no reservatório proveniente dos tributários, no período chuvoso foi de 45,0 kg.dia^{-1} e no período seco foi de 44,0 kg.dia^{-1} . No Reservatório de Salto Grande, o rio Atibaia, contribui com 3,68 ton.dia^{-1} no período chuvoso e com 0,29 ton.dia^{-1} no período seco, mostrando ser esta a principal fonte de entrada de fósforo no sistema.

Observa-se, principalmente nos meses de outubro, novembro e dezembro de 1996, as maiores amplitudes de variação entre as concentrações de fósforo inicial e das câmaras de sedimentação basicamente na estação 1, onde as concentrações nas câmaras atingiram valores acima de 1000,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto que as concentrações iniciais foram de 150,0 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Nas demais estações, durante o período amostral, as diferenças entre as concentrações iniciais e finais foram menores. Nota-se ainda que mesmo os menores valores observados de fósforo nas câmaras de sedimentação são

superiores aos valores máximos encontrados por MARICATO (1994) no Reservatório de Jurumirim, os quais atingiram concentrações de $150,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ no ponto mais profundo da estação de coleta do braço do rio Paranapanema.

Os dados ainda demonstram um padrão de deposição semelhante ao obtido para nitrogênio, com as maiores concentrações ocorrendo na entrada do reservatório e acentuado declínio na estação 2, provavelmente devido à grande quantidade de material em suspensão que é trazido pelo rio Atibaia, principalmente no período chuvoso, onde os problemas com erosão dos solos das margens do rio e do entorno do reservatório são mais visíveis. Verifica-se que os valores máximos de sedimentação de fósforo ocorreram nos meses de outubro e dezembro de 1996, com $46,26 \mu\text{g.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $36,28 \mu\text{g.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ respectivamente, nas câmaras de sedimentação a 70% de profundidade, sendo que próximo à barragem, o valor máximo encontrado foi $6,84 \mu\text{g.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($68,4\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) em fevereiro de 1997, sendo este valor próximo ao máximo de $79,7 \text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ encontrado por MARQUISÁ (1998), no Reservatório de Barra Bonita, em março de 1996, e superior ao valor máximo encontrado pelo mesmo autor no Reservatório do Lobo (de $36,6\text{mg.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em setembro de 1996).

Segundo BOSTRÖM et al. (1988), os seis principais mecanismos de deposição do fósforo seriam a sedimentação de material alóctone (1) orgânico e (2) inorgânico, (3) matéria orgânica autóctone, (4) incorporação por organismos, (5) adsorção às partículas do sedimento e (6) fixação à compostos orgânicos na água do lago. No Reservatório de Salto Grande, observa-se um processo de deposição do fósforo similar ao nitrogênio, com uma preferência à maior sedimentação na estação 1 ($45,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ no mês de Outubro de 1996), posterior declínio e uma homogeneidade ao longo do sistema (com os valores não variando muito durante o ano), dando indícios que os primeiros compartimentos do reservatório (estação 1 e 2) funcionam como uma barreira à entrada de material, onde cerca de 75% de todo o nitrogênio e fósforo ficam retidos nesse compartimento e os outros 25% são distribuídos ao longo do sistema.

Na análise estatística para fósforo total, observa-se tanto as estações do ano, ponto de coleta e profundidade influenciam a sua deposição nas câmaras de

sedimentação, bem como a interação entre as estações do ano e ponto de coleta, conforme Tabela 05:

TABELA 05 - Fonte de variação, para fósforo total, considerando-se a estação do ano (1), o ponto de coleta (2) e a profundidade (3), sendo GL grau de liberdade, F (F) e probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.

Fonte de variação	GL	F	p
1	3	38.0562286	2.8874E-19*
2	4	45.3958969	1.2013E-26*
3	1	8.85503292	0.00330686*
12	12	7.64191341	1.8303E-11*
13	3	0.67358989	0.56923401
23	4	0.75203764	0.55780047
123	12	1.314798	0.21281761

A Tabela 06 apresenta a primavera (4) como sendo a estação do ano que difere de todas as outras estações, influenciando de forma significativa deposição de fósforo total, enquanto as demais estações não apresentam variações ao nível de 5% de significância.

TABELA 06.- Teste de Tuckey para fósforo total, considerando-se as estações do ano: Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4), ao nível de 5% de significância.

E.A.	{1}	{2}	{3}	{4}
1				
2	0.67309785			
3	0.98991698	0.8324821		
4	7.689E-06	7.689E-06	7.689E-06	

Pela Tabela 07, percebe-se a diferença existente entre os pontos de coleta 1 e 2 (entrada do reservatório e primeiro compartimento respectivamente) com os demais pontos de coleta, sendo que os primeiros apresentam diferenças significativas na deposição do fósforo nas câmaras de sedimentação, e os demais pontos não demonstram essas diferenças em relação ao fósforo.

TABELA 07-Teste de Tuckey para fósforo total, considerando-se os pontos de coleta, ao nível de 5% de significância.

PC	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1					
2	1.7166E-05				
3	1.7166E-05	0.07501435			
4	1.7166E-05	0.01231807	0.97553122		
5	1.7166E-05	0.00087559	0.67455792	0.9478144	

A Tabela 08 demonstra que existem diferenças significativas na deposição de fósforo entre as diferentes profundidades de incubação das câmaras de sedimentação, mostrando ser a profundidade um fator que influencia a deposição desse nutriente no reservatório.

TABELA 08 - Teste de Tuckey para fósforo total, considerando-se as profundidades 1 (30%) e 2 (70%), ao nível de 5% de significância.

Profundidade	{1}	{2}
1	---	0.0023545
2	0.0023545	---

Pela Figura 28 verifica-se o desvio padrão que ocorreu na estação do ano 4 (primavera), provavelmente devido ao fato do início das primeiras chuvas carregarem uma grande quantidade de fósforo para o interior do reservatório, sendo que no verão e no inverno o comportamento é praticamente o mesmo. A Figura 29 mostra visualmente a influência do rio Atibaia, representado pelo maior desvio padrão da quantidade fósforo que chega ao sistema, demonstrando a elevada amplitude dos

valores de fósforo depositados no ponto de coleta 1, observando-se que os demais pontos de coleta apresentam uma amplitude menor, aparentemente com uma menor influência do rio Atibaia.

FIGURA 28: Média e desvio padrão do fósforo total nas 4 estações do ano.

FIGURA 29 : Média e desvio padrão do fósforo total nos 5 pontos de coleta.

A diferença obtida na deposição do fósforo nas duas profundidades (30 e 70%) é apresentada na Figura 30, verificando-se que o desvio padrão dos valores de deposição nas câmaras mais profundas é maior do que nas câmaras mais à superfície,

podendo ser o resultado de uma maior quantidade de fósforo nas camadas mais profundas da coluna d'água ou talvez pela ressuspensão do fósforo no sedimento.

FIGURA 30: Média e desvio padrão do fósforo total nas 2 profundidades de incubação das câmaras de sedimentação.

O fosfato total dissolvido (PO_4) e o fosfato inorgânico dissolvido (PO_4^{3-}) são as duas formas de fosfato presentes em águas continentais, sendo que o fosfato inorgânico ou ortofosfato assume maior relevância por ser a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos (ESTEVES, 1988) e a única forma inorgânica significativamente importante do fósforo (WETZEL, 1981).

As fontes de fosfato podem ser artificiais (esgotos domésticos e industriais, fertilizantes agrícolas, etc.) ou naturais (material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos). A fonte natural que mais fornece fosfato aos ecossistemas aquáticos tropicais, devido a presença de solos argilosos, é sem dúvida a sua liberação a partir do intemperismo das rochas, com posterior carreamento pelas águas de escoamento superficial, atingindo os cursos d'água adsorvido às argilas (ESTEVES, op.cit.).

A presença do ortofosfato na água é geralmente pequena, mas depende de fatores como a densidade e atividade de organismos, especialmente fitoplanctônicos e de macrófitas aquáticas, os quais, durante a fotossíntese, podem assimilar grandes quantidades desse íon. Em lagos tropicais, devido à alta temperatura, o metabolismo

dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o ortofosfato seja mais rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa (ESTEVES, op. cit.).

Observa-se no Reservatório de Salto Grande (Figura 31) que a estação 1, durante a maioria dos meses, apresentou as maiores concentrações de fosfato, com valores máximos de $200,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fosfato total dissolvido e de $150,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ de fosfato inorgânico (maio de 1997), provavelmente devido a entrada de poluentes através do rio Atibaia. Estudos realizados no Lago Constance (Alemanha - Suíça), por WAGNER⁷ (1967) apud ESTEVES (op. cit.) demonstraram que o aporte de fosfato de origem artificial foi de 0,71 toneladas diárias, sendo que a maior parte deste pertencia à detergentes lançados no lago. Outro fator que poderia contribuir para a maior concentração de fosfato na estação 1 seria a condição de déficit de oxigênio dissolvido neste ponto, pois segundo GOLDMAN & HORNE (1983), quando a interface água - sedimento torna-se anóxica, o fosfato passa rapidamente para o corpo d'água.

Verifica-se que os valores de fosfato diminuem de abril a julho de 1997 (nas estações 2, 3, 4 e 5), podendo estar relacionado com a presença de florações de algas nestas estações, principalmente durante o período do inverno, onde poderia ocorrer uma maior retirada do fosfato inorgânico. Outro fator que poderia contribuir para essa diminuição seria a menor atividade do zooplâncton nesse período, pois segundo GOLDMAN & HORNE (op. cit.), esses organismos excretam aproximadamente 10% de fósforo diariamente (em relação ao seu corpo), sendo que deste fósforo excretado, 50% está na forma de fosfato inorgânico. O oposto ocorre nos meses do verão, onde a entrada de fosfato é maior pelo seu carreamento por meio das chuvas e também por uma maior atividade do zooplâncton neste período.

⁷ WAGNER, G. (1967) Experimentale Untersuchungen zur Bedeutung der Bodenbewohnenden Makroorganismen (Tubificiden) für den Bodensse. *Gas Wasserfach.*, v. 108, p. 837-839.

FIGURA 31: Variação espacial e temporal da concentração de fosfato total dissolvido

■ e fosfato inorgânico ■ , obtida nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

FIGURA 31: Continuação

Outro nutriente quantificado no sistema foi a sílica, a qual está presente no ambiente aquático a partir da decomposição de minerais de silicato de alumínio (feldspato), que são mais frequentes em rochas sedimentares do que magmáticas (ESTEVES, 1988). Geralmente aparece com uma concentração moderada em águas doces, e, por mais que possua pouca reatividade química, é de grande importância para o ciclo das diatomáceas. A forma de sílica, quando usada como componente estrutural em algas, é hidratada para formar a sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$), sendo a sílica normalmente medida como silicato reativo, isto é, a molécula H_2SiO_4 e suas curtas cadeias de polímeros, que é provavelmente a única forma disponível para o crescimento das diatomáceas (GOLDMAN & HORNE, op. cit.).

No Reservatório de Salto Grande (Figura 32), nota-se que os maiores valores de sílica encontram-se nos meses de agosto e setembro de 1996 e em junho de 1997, com as concentrações máximas atingindo valores de 14 mg.L^{-1} na estação 4 (em agosto de 1996), sendo que nos demais meses as concentrações de sílica estão abaixo de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$, principalmente nos meses de dezembro de 1996 a abril de 1997, não observando-se diferenças significativas nas concentrações de sílica nas câmaras a 30 e 70% de profundidade e ao longo do reservatório, com exceção da estação 4, em agosto de 1996, onde as concentrações foram superiores as demais estações.

FIGURA 32: Variação espacial e temporal da concentração de silicato reativo ■, obtida nas câmaras de sedimentação após um período de 24 horas.

FIGURA 32: Continuação

5.3 Concentração e taxa de sedimentação de material em suspensão no Reservatório de Salto Grande.

Uma grande quantidade de organismos vivos e partículas de matéria não-viva, livre e flutuante na água, é a base de suporte no sistema de vida em ambientes aquáticos, representando um componente integral para a qualidade nutritiva do sistema, além da capacidade de adsorção de poluentes orgânicos e inorgânicos. Simultaneamente, estas pequenas partículas são o principal meio de transporte para a dispersão e translocação para esses contaminantes. Nos últimos tempos a pesquisa sobre a função das partículas em suspensão tem aumentado em reconhecimento da sua importância na ciclagem de nutrientes e poluentes (ROSA et al., 1991).

Segundo HUTCHINSON (1967), o seston (sedimentos em suspensão) seria toda partícula em suspensão presente na água livre do lago, incluindo o bioseston (plâncton e nécton) e o abioseston (tripton), este último, de origem autóctone ou alóctone, definidos como eutripton e pseudotripton, respectivamente.

ROSA et al. (op. cit.) menciona que a matéria particulada em lagos e oceanos pode ser originada de fontes alóctones ou autóctones, sendo que a entrada pelos rios é a principal fonte alóctone para lagos, e que a produção primária contribui significativamente para o bioseston autóctone.

No Reservatório de Salto Grande, verifica-se o padrão descrito acima, observando-se pelos valores iniciais de material em suspensão (Figura 33) que o rio Atibaia é a principal fonte de material em suspensão, principalmente inorgânico (alóctone), aumentando consideravelmente no período das chuvas em decorrência do carreamento da camada superficial dos solos das margens do rio, atingindo valores de $350,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de material em suspensão inicial total e $300,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de material inorgânico no mês de janeiro de 1997, com decaimento pronunciado nas demais estações de coleta, fato também observado nos meses de dezembro de 1996 e em janeiro, fevereiro e março de 1997. No período seco, observa-se uma menor entrada de material em suspensão inicial de origem alóctone, principalmente nos meses de

agosto de 1996 ($15,0 \text{ mg.L}^{-1}$, estação 1), e em abril, maio, junho e julho de 1997

(valores próximos a $15,0 \text{ mg.L}^{-1}$), juntamente com um aumento na contribuição da

FIGURA 33: Concentrações iniciais de material em suspensão total, inorgânico e orgânico obtidas nas estações de coleta (S=superfície, F=fundo), no Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo.

FIGURA 33: Continuação

fração orgânica devido principalmente à uma maior transparência e tempo de residência da água, permitindo uma maior penetração de luz e ocasionando o aparecimento de florações de algas, principalmente na superfície, período no qual os valores de oxigênio dissolvido atingiram $15,0 \text{ mg.L}^{-1}$ e os valores de clorofila *a* alcançaram mais de $70,0 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$, nas câmaras de sedimentação a 30% de profundidade.

Observa-se um padrão semelhante em relação às câmaras de sedimentação expostas por um período de 24 horas (Figura 34), onde os valores de material em suspensão na estação 1, principalmente a 70% de profundidade, são superiores. No mês de dezembro, por exemplo, os valores alcançaram $3500,0 \text{ mg.L}^{-1}$, uma concentração 80 vezes maior que as iniciais, e somente cerca de 5% desse material atingiu a segunda estação, demonstrando a elevada quantidade de material em suspensão trazida pelo rio Atibaia (alóctone). Pelo barramento natural desse material (zona de transição entre rio e reservatório), verifica-se que ocorre a deposição do mesmo preferencialmente entre as estações 1 e 2 (chamado de primeiro compartimento), comportamento também observado com relação aos nutrientes, como N e P total, nitrato, nitrito, amônio e fosfato total dissolvido e inorgânico. Deve-se observar que as câmaras a 70% de profundidade foram as que mais coletaram material em suspensão, tanto nos períodos seco como chuvoso, diferente dos dados de entrada que apresentaram uma maior homogeneidade entre a superfície, possivelmente devido a uma maior densidade de partículas em suspensão mais ao fundo do reservatório. Segundo ROSA et al. (1991), o mecanismo de deposição é controlado pelos diferentes tamanhos, formatos e densidade das partículas, como por exemplo, células planctônicas, detritos, cristais minerais e minerais de argila, agregados, bem como os mecanismos físicos, químicos e biológicos das partículas em dissolução e formação.

Em relação à sedimentação, pode-se considerá-la como sendo um dos processos fundamentais que governam o metabolismo do lago, influenciando a regeneração de nutrientes no epilímnio, removendo matéria particulada para o fundo e controlando o

suprimento de nutrientes para a comunidade bentônica (BLOESCH & UEHLINGER, 1986), estando os processos de sedimentação em lagos intimamente relacionados com os padrões de fluxo hidrológico e a topografia da bacia, os quais influenciam o regime hidrodinâmico (HAKANSON & JANSSON, 1983).

FIGURA 34: Concentrações de material em suspensão total ■ , inorgânico ■ e orgânico ■ obtidas a 30 e 70% da profundidade local nas estações de coleta do Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo (após 24 horas).

FIGURA 34: Continuação

FROELICH et al. (1978), constatou que ventos fortes não sopram frequentemente na região do Reservatório de Salto Grande, sendo que influência isolada do vento parece não ser grande no processo de circulação total da coluna d'água, e não apresentando, conseqüentemente, relação direta com a sedimentação (Figura 35).

Com isso, provavelmente o processo de sedimentação no Reservatório de Salto Grande parece estar intimamente ligado à vazão de seu principal tributário, o rio Atibaia, o qual, durante o período chuvoso, introduz uma enorme quantidade de material em suspensão alóctone e no período seco contribui com uma menor carga desse material. Em ambos os períodos, a concentração de material em suspensão que chega ao reservatório apresenta um gradiente de deposição longitudinal da entrada do reservatório em direção à barragem, formando o chamado delta na entrada do rio, com uma grande deposição de material nesse ponto. A Figura 36 mostra a relação existente entre a vazão diária afluente do rio Atibaia no reservatório pelo rio Atibaia obtida ao longo 24 horas e a quantidade de material em suspensão que este carrega em suas águas, a qual é posteriormente depositada no reservatório. Os valores demonstram a elevada quantidade de material que chega ao reservatório, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro de 1997, onde a vazão do rio Atibaia alcança 2.800 m^3 (19 de fevereiro) e a quantidade de material alóctone atinge valores próximos a $1.600,0 \text{ ton.dia}^{-1}$ na estação 1 (entrada do rio Atibaia), decaindo nos meses seguintes juntamente com a vazão. Estudos desenvolvidos por HENRY & MARICATO (1996), no rio Paranapanema, demonstraram que a contribuição do rio no ano de 1992 foi de 129.300 toneladas de sedimentos em suspensão para o Reservatório de Jurumirim, sendo que o rio Paranapanema, juntamente com o rio Taquari (outro afluente do reservatório), contribuem com aproximadamente 70% da entrada de material particulado no reservatório durante a estação das chuvas. No Reservatório de Salto Grande, a contribuição de material em suspensão pelo rio Atibaia atingiu $104.058 \text{ ton.ano}^{-1}$, sendo que 87% desse material foi retido dentro do reservatório, com uma saída de material de $13.887 \text{ ton.ano}^{-1}$, demonstrando a elevada carga de material proveniente do rio Atibaia que permanece no sistema.

FIGURA 35: Valores de vento máximo observados durante a incubação e retirada dos experimentos, e taxa de sedimentação no Reservatório de Salto Grande.

FIGURA 36: Vazão acumulada no período de 24 horas e quantidade de material em suspensão que entra no Reservatório de Salto Grande (estação de coleta 1).

As Figuras 37 e 38 mostram a contribuição das frações orgânica e inorgânica depositadas no reservatório nos períodos de chuva e seca, mostrando que a fração inorgânica é superior à orgânica em todas as estações no período chuvoso (dezembro de 1996), contribuindo com 83 e 81% do total depositado nas estações 1 e 2, respectivamente. No mês de agosto do mesmo ano, observa-se uma maior contribuição da fração orgânica, principalmente nas estações 3 (onde alcança 56% do total) e 4 (atingindo 46%), sendo essa maior deposição atribuída ao fato das freqüentes florações de algas que ocorrem neste período do ano, notadamente nas estações 3, 4 e 5.

FIGURA 37: Contribuição das frações orgânica e inorgânica do material em suspensão no Reservatório de Salto Grande em agosto de 1996.

FIGURA 38: Contribuição das frações orgânica e inorgânica do material em suspensão no Reservatório de Salto Grande em dezembro de 1996.

Verifica-se pelos dados de um ano (Figura 39), que a deposição do material alóctone dentro do reservatório foi sempre superior na estação 1, atingindo valores máximos em dezembro (acima de $90,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ou $900,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), a 70% de profundidade, coincidindo com os maiores valores de deposição de nitrogênio total, alcançando $1,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($10,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) e mostrando claramente a entrada de sedimentos, nutrientes e a deposição de ambos nesta estação. Comportamento semelhante foi encontrado por JAMES et al. (1987), no Lago DeGray, Arkansas, onde a maior deposição de material em suspensão ocorria na entrada do rio Caddo, atingindo valores de $15,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no mês de maio, numa armadilha de proporção comprimento/diâmetro 3:1, instalada a 5 metros de profundidade. Esses resultados mostram que a deposição na entrada do Reservatório de Salto Grande é cerca de 98 vezes superior a do Lago DeGray.

PIÃO (1995), determinando a taxa de sedimentação no ribeirão dos Carrapatos, obteve valores muito superiores ($270,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, em dezembro de 1992) aos valores obtidos da estação 1 do Reservatório de Salto Grande, enquanto MARQUISÁ (1998) obteve valores máximos de $17,3 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no Reservatório do Lobo (setembro de 1996) e $55,6 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no Reservatório de Barra Bonita, em março de 1996. MARICATO (1994) encontrou valores máximos de sedimentação de $9,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ nas câmaras mais profundas do braço Paranapanema.

FIGURA 39: Taxas de sedimentação do material em suspensão total ■, inorgânico ■ e orgânico ■ obtidas a 30 e 70% da profundidade local nas estações de coleta do Reservatório de Salto Grande, durante o período de estudo de 24 horas.

FIGURA 39: Continuação

Com o mesmo comportamento dos nutrientes totais (nitrogênio e fósforo), verifica-se que após a estação 1 a deposição do material decresce abruptamente, observando-se que no mês de dezembro (cerca de 90%) e no mês de Julho (cerca de 78%) a maior parte desse material ficou retido entre as estações 1 e 2, e somente o restante do material foi depositado nas outras estações, o que pode ser explicado pelo próprio formato do reservatório que funciona como uma pré-bacia coletora de sedimentos e também de nutrientes, evitando a passagem destes para o restante do sistema.

Verifica-se ainda que a maior quantidade de material ocorre nas câmaras a 70% de profundidade, tanto no período seco como no chuvoso, fato também observado por JAMES et. al. (1987) no Lago DeGray, onde as câmaras instaladas a 15 metros de profundidade coletaram uma quantidade maior de seston do que as câmaras instaladas a 5 metros de profundidade. Nota-se também que a deposição do material inorgânico é sempre superior ao orgânico na estação 1, preferencialmente no período das chuvas, quando a entrada de material alóctone é elevada, decaindo nas demais estações. No período de inverno, nas estações 3, 4 e 5, observa-se um aumento na concentração da fração orgânica do material sedimentado, e em alguns meses (como em agosto de 1996 e julho de 1997) é maior do que a fração inorgânica, principalmente pelo aumento na florações de algas, como observado no mês de agosto de 1996, na estação 4, a 30% de profundidade.

Como outro exemplo de utilização de câmaras de sedimentação de proporção comprimento/diâmetro 3:1, tem-se o trabalho de GALVEZ & NEIL (1993) desenvolvido em um reservatório eutrófico e estratificado na Espanha. Os resultados obtidos por estes autores demonstraram valores máximos de sedimentação a 2 metros de profundidade, chegando a $14,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no período estratificado na zona eufótica, valores muito abaixo dos observados em Salto Grande. ZYTKOWICZ (1989), também utilizando câmaras de proporção 3:1 em lagos eutróficos na Polônia, encontrou valores de taxa de sedimentação no Lago Tynwaldzkie (polimítico) de $19,56 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Observa-se, então, que os valores de sedimentação em Salto Grande são sempre muito superiores, refletindo nas características físicas, químicas e biológicas do sistema.

Através da análise estatística dos dados de sedimentação, pode-se observar que todas as variáveis independentes influenciam o processo de sedimentação no reservatório de Salto Grande, além das interações entre estas variáveis, como demonstra a Tabela 09:

TABELA 09 - Fonte de variação para a taxa de sedimentação, considerando-se as estações do ano (1), o ponto de coleta (2) e a profundidade (3), sendo GL grau de liberdade, F (F) e a probabilidade (p), com $p < 0,05\%$.

Fonte de variação	GL	F	p
1	3	58.2097778	1.1637E-26*
2	4	145.778519	0*
3	1	44.3092232	2.9885E-10*
12	12	25.4739628	0*
13	3	23.9485569	3.5895E-13*
23	4	24.578516	2.2376E-16*
123	12	11.7837439	1.4234E-17*

Analisando a Tabela 10 observa-se que a estação do ano 1 (verão) não está relacionada com nenhuma outra estação, sendo que as estações 2 e 4 (outono e primavera) apresentam um padrão de deposição semelhante. Em relação aos pontos de coleta, percebe-se que somente o ponto 1 apresenta um padrão de sedimentação diferente dos demais pontos de coleta, influenciado pelo rio Atibaia, conforme Tabela 11.

TABELA 10 - Teste de Tuckey para taxa de sedimentação, considerando-se as estações do ano: Verão (1), Outono (2), Inverno (3) e Primavera (4), ao nível de 5% de significância.

EA	{1}	{2}	{3}	{4}
1				
2	7.689E-06			
3	7.689E-06	0.10890746		
4	7.689E-06	0.16850942	8.0943E-05	

TABELA 11 -Teste de Tuckey para taxa de sedimentação, considerando-se os pontos de coleta, ao nível de 5% de significância.

PC	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
1					
2	1.7166E-05				
3	1.7166E-05	0.38223398			
4	1.7166E-05	0.44888127	0.99993765		
5	1.7166E-05	0.35685366	0.99999988	0.99986684	

Através da Tabela 12, nota-se que as diferentes profundidades das câmaras de sedimentação influenciam a deposição de material, observando análise pelo teste de Tuckey:

TABELA 12 - Teste de Tuckey para taxa de sedimentação, considerando-se as profundidades 1 (30%) e 2 (70%), ao nível de 5% de significância.

Profundidade	{1}	{2}
1	—	8.7619E-06
2	8.7619E-06	—

Observa-se pela Figura 40 que a estação do ano 1 (verão) apresenta um comportamento diferenciado das outras estações do ano, com um desvio padrão superior às outras estações, sendo que no inverno (estação do ano 3) esse desvio padrão foi o menor de todos, com valores mais próximos da média, demonstrando que neste período, devido à menor quantidade de material que chega ao reservatório, os valores de deposição mantêm-se mais constantes e restrito basicamente à produção autóctone do sistema.

FIGURA 40: Média e desvio padrão da taxa de sedimentação nas quatro estações do ano.

Nota-se pela Figura 41 que o ponto de coleta 1 apresenta um maior desvio padrão durante todo o ano (devido às grandes variações de material em suspensão no verão e no inverno), enquanto os valores de deposição das demais estações mantêm-se mais próximos às suas médias, pelo fato de apresentarem uma menor amplitude anual de deposição, causando uma sedimentação mais constante ao longo do ano e também devido ao fato de estarem mais afastadas da principal fonte pontual de entrada de material alóctone.

FIGURA 41: Média e desvio padrão da taxa de sedimentação nos 5 pontos de coleta.

A Figura 42 mostra o maior desvio padrão à 70% de profundidade (2) em relação à 30% (1), bem como a maior quantidade de material coletado, fato este que pode ser explicado por uma possível ressuspensão do material de fundo ou por uma concentração maior de sólidos em suspensão nestas profundidades devido às correntes internas ocasionadas pela operação da usina.

FIGURA 42: Média e desvio padrão da taxa de sedimentação nas 2 profundidades de incubação.

Analisando-se conjuntamente os valores obtidos para taxa de sedimentação, tempo de residência da água e precipitação (Figura 43), verifica-se o efeito da precipitação na taxa de sedimentação através do carreamento (aporte) de materiais para dentro do reservatório no período de maior precipitação. É interessante avaliar ainda que o aumento no tempo de residência da água, diminuindo o seu fluxo, não implica em um aumento na sedimentação de partículas, justamente porque ele ocorreu no período onde o aporte de materiais é reduzido em decorrência da diminuição das chuvas.

Fazendo-se uma estimativa da taxa de sedimentação anual no Reservatório de Salto Grande (Figura 44), obtém-se os valores de $72,87 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ na estação 1, com um decréscimo para $14,83 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ na estação 2, mantendo-se praticamente constante nas estações 3, 4 e 5. Com a determinação da densidade aparente do sedimento de cada estação, obtida pela metodologia do balão volumétrico descrita em TRINDADE (1980), obteve-se a deposição anual em cada estação de coleta (cm/ano) e a previsão de vida útil por estação no reservatório (anos), considerando-se apenas a deposição bruta (sem considerar a taxa de decomposição do material depositado). Os valores obtidos são apresentados na tabela abaixo:

TABELA 13: Estimativa de vida útil do Reservatório de Salto Grande em cada estação de coleta.

Estação de coleta	Sedimentação ($\text{kg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$)	Densidade (g.cm^{-3})	Deposição (cm.ano^{-1})	Profundidade (metros)	Vida útil (anos)
1	72,87	0,859	8,48	2,5	31,25
2	14,83	0,732	2,03	10,5	525
3	5,26	0,892	0,59	5,5	932,20
4	6,53	0,712	0,92	8,5	923,91
5	5,50	0,712	0,77	13,0	1688,31

FIGURA 43: Valores de taxa de sedimentação, tempo de residência médio da água e precipitação mensal.

FIGURA 44: Taxa de sedimentação anual no Reservatório de Salto Grande.

FIGURA 45: Valores de deposição anual de material em suspensão e previsão de vida útil no Reservatório de Salto Grande.

Os valores encontrados para o Reservatório de Salto Grande são superiores aos valores encontrados no Reservatório de Barra Bonita ($5,0 \text{ mm.ano}^{-1}$) e no Reservatório do Lobo ($3,0 \text{ mm.ano}^{-1}$) (MARQUISÁ, 1998), o que demonstra uma preocupação com relação à vida útil do sistema, principalmente na estação 1, onde a profundidade máxima é de 2,5 metros e a previsão para o assoreamento total deste ponto é de 31,25 anos. Em relação aos demais pontos, as previsões de vida útil ultrapassam os 500 anos, sendo praticamente desconsideradas em termos de assoreamento (Figura 45). Segundo COELHO (1993) o Reservatório de Salto Grande possui um volume morto equivalente a 65% do seu volume total, porém não se deve esperar que o reservatório permaneça operacional até que perca todo seu volume morto, inclusive porque uma parte dos sedimentos são depositados dentro da faixa de volume útil (3,00 metros), na entrada do reservatório, onde a profundidade máxima chega a 2,50 metros.

5.4 Análise comparativa efetuada entre as câmaras de sedimentação utilizadas na área de estudo.

A análise comparativa entre as câmaras de sedimentação de proporção comprimento/diâmetro 3:1 e 10:1 foram realizadas em agosto e setembro de 1997, visando obter informações sobre possíveis problemas relacionados à ressuspensão de material do fundo do reservatório para o interior das câmaras, causando uma superestimativa da taxa de sedimentação. Para fazer esta avaliação, foram colocadas as câmaras de proporção 10:1 (teoricamente menos suscetível à ressuspensão) nas estações 2, 3, 4, e 5, à 70% de profundidade total (fundo), juntamente com as câmaras que foram utilizadas desde o início do trabalho de campo. A estação 1 foi desprezada devido a pouca profundidade. O procedimento posterior de laboratório foi semelhante ao das câmaras 3:1, como descrito nos itens 4.3.2.5, 4.3.2.6, 4.3.2.7 e 4.4.

No mês de agosto de 1997, observa-se que a taxa de sedimentação (Figura 46) nas estações 2, 4 e 5, nas duas câmaras, são praticamente iguais, com valores totais de $0,6 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Na estação 3, ocorreu um aumento na taxa de

sedimentação da câmara 3:1, representando o dobro dos valores observados nas outras estações (com valor de $1,25 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Este comportamento talvez possa

FIGURA 46: Estudo comparativo entre as taxas de sedimentação do material em suspensão total ■ , inorgânico ■ e orgânico ■ nas câmaras de sedimentação 3:1 e 10:1 em dois períodos do ano (seco e chuvoso), nas diferentes estações de coleta no Reservatório de Salto Grande (após 24 horas de incubação).

ser explicado pela homogeneização da coluna d'água (Figura 47), pois em 20/08/97, na estação 3, verificou-se uma estratificação física e química e no dia 21/08/97, ocorreu uma desestratificação, com uma mistura da coluna d'água e possivelmente causando a ressuspensão do material do fundo para o interior da câmara, uma vez que esta estação apresenta reduzida profundidade (5 metros).

FIGURA 47: Valores iniciais e finais de oxigênio dissolvido (—) e temperatura da água (—) obtidos nas estações de coleta no Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1997.

Observa-se ainda uma maior quantidade de material orgânico coletado nas estações 2, 3 e 4, nas câmaras 10:1 (florações de algas), sendo que nas câmaras 3:1 este comportamento foi observado somente na estação 2 (Figura 46).

Em relação aos valores de sedimentação no mês de setembro, verifica-se semelhanças em todas as estações de coleta, sendo que apenas as câmaras 10:1 apresentaram taxas ligeiramente superiores às das câmaras 3:1, com valores totais próximos a $1,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (Figura 46).

Com isso observa-se que, em agosto, a única estação que apresentou uma variação expressiva entre as duas câmaras de sedimentação foi a estação 3, com um

coeficiente de variação de 63%, sendo que as outras estações apresentaram um coeficiente de variação menor que 10%. No mês de setembro as estações 2, 3 e 5 apresentaram um coeficiente de variação menor que 10% e a estação 4 apresentou um coeficiente de variação de 11%, que está dentro de um limite aceitável. Portanto, nesses dois meses de observações, somente em uma estação de coleta ocorreu um resultado muito acima do permitido estatisticamente, o que pode ter ocorrido por alguma falha metodológica no campo ou no laboratório, ou em último caso, como mencionado anteriormente, pela ressuspensão de material de fundo para o interior das câmaras de sedimentação 3:1.

Através de uma análise estatística não paramétrica, utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%, as duas câmaras foram comparadas apresentando os seguintes resultados:

TABELA 14 : Análise comparativa da utilização das câmaras de sedimentação, pelo método de Kolmogorov-Smirnov, sendo o grupo 1 - câmaras 3:1 e o grupo 2 - câmaras 10:1, com $p < 0,05$.

	p	Média Grupo 1	Média Grupo 2	Desvio Padrão Grupo 1	Desvio Padrão Grupo 2
Sedimentação	$p = n.s.$	1.13077378	1.22757316	0.7679168	0.96774608

Observa-se pela análise estatística apresentada na Tabela 14. que as diferenças entre as câmaras 3:1 (grupo 1) e câmaras 10:1 (grupo 2) não são significativas ao nível de 5% de significância, demonstrando que para o Reservatório de Salto Grande, nos meses de agosto, setembro e dezembro de 1997, nas estações de coleta 2, 3, 4 e 5, ambas as câmaras poderiam ser utilizadas para a determinação da taxa de sedimentação.

A Figura 48 mostra que os desvios padrões entre os dois métodos estão próximos, com o método 2 (câmaras 10:1) englobando o método 1, apresentando uma amplitude ligeiramente maior durante o período amostrado.

FIGURA 48: Média e desvio padrão nas câmaras 3:1 (método 1) e câmaras 10:1 (método 2).

5.5 Influência da área de entorno sobre o processo de sedimentação no Reservatório de Salto Grande.

As atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica produzem um aumento na concentração de nutrientes de lagos, rios, reservatórios e estuários, tendo como consequência uma mudança em suas características tróficas. Um grande número de fontes de nutrientes tem sido identificado como a causa primária desse enriquecimento, como descargas domésticas e industriais e águas residuárias urbanas e da agricultura, sendo que essas descargas ocorrem através de fontes pontuais e não-pontuais, ocasionando um aumento na fertilidade conhecido como eutrofização ou eutrofização cultural, produzindo mudanças na qualidade das águas continentais e costeiras (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1992).

Com o objetivo de se avaliar a influência dos usos e ocupação da área de entorno do reservatório com relação à entrada de material alóctone no sistema, foram utilizadas imagens de satélite em diferentes bandas e em diferentes períodos do ano, separando-se o sistema aquático do sistema terrestre. A banda 3 (vermelho) foi utilizada para demonstrar as plumas de sedimentação no sistema aquático, enquanto que para o sistema terrestre foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, com a

finalidade de se observar o uso e ocupação da área de entorno do reservatório. Para os sistemas terrestres e aquáticos foram utilizadas imagens de agosto e dezembro de 1996.

Analisando-se a entrada de material em suspensão no sistema aquático (Figura 49), verifica-se que em agosto de 1996, o material que é trazido pelo rio Atibaia entra no reservatório seguindo preferencialmente o caminho do antigo leito do rio (conforme Figura 50), o que é observado pelas tonalidades mais claras, respondendo à uma maior concentração de material em suspensão neste local, refletindo assim, mais o comprimento de onda desta banda (vermelho). Observa-se, neste mês, que o rio é a maior fonte de entrada de material em suspensão no reservatório, pois em todo o sistema, e principalmente no segundo compartimento, verifica-se a predominância de um azul mais escuro, demonstrando uma menor concentração de material em suspensão na água.

FIGURA 49: Entrada de material em suspensão no Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1996.

Figura 50: Antigo leito do Rio Atibaia (Modificado de COELHO, 1993).

Ainda nesta imagem, observa-se uma concentração diferenciada de material em suspensão no local onde ocorre um estreitamento do reservatório (ligação entre os dois compartimentos), demonstrando haver neste ponto uma “barreira” à passagem desse material para o restante do reservatório.

Na Figura 51 (novembro de 1996), verifica-se uma mudança na resposta espectral para o material em suspensão devido ao elevado aporte de material alóctone para o sistema, carreado tanto pelo rio Atibaia como pelas fontes difusas, notando-se, pela tonalidade mais clara de azul que predomina em todo o reservatório. Deve-se considerar que, mesmo com as entradas não-pontuais, a estação 1 ainda apresenta as respostas mais fortes quanto à presença de material em suspensão, com um comportamento preferencial seguindo o antigo leito do rio Atibaia, semelhante ao mês de agosto de 1996.

É interessante notar que, em ambas as imagens, ocorre um comportamento de deposição preferencial de material pelo antigo leito do rio Atibaia (Figura 50), levando à formação de um delta na entrada do reservatório. Este ponto é o mais

crítico com relação ao assoreamento, sugerindo a necessidade de medidas emergenciais para evitar problemas operacionais da usina.

FIGURA 51: Entrada de material em suspensão no Reservatório de Salto Grande, em novembro de 1996.

Com relação ao uso e ocupação do solo, observa-se pela Figura 52 (agosto de 1996), a pequena quantidade de matas (fragmentos florestais), as quais ocorrem basicamente na margem direita do reservatório. O cultivo de cana-de-açúcar aparece dominando a margem direita do segundo compartimento e em uma área no estrangulamento na margem esquerda, sendo considerável a presença de solos expostos, principalmente nas áreas de canaviais (período de queima e corte da cana). Áreas com solo exposto também aparecem na entrada do reservatório e na margem esquerda, onde possivelmente ocorrerá a rebrota da cana ou o plantio de outras culturas.

A área de pasto e culturas é predominante no entorno do reservatório, concentrando-se na margem esquerda e misturando-se com algumas áreas urbanas que estão bem próximas ao reservatório, como os bairros da Praia Azul e da Praia dos Namorados, localizadas na margem esquerda.

FIGURA 52: Uso e ocupação do solo do entorno do Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1996.

Na Figura 53, a imagem de uso e ocupação do solo do mês de novembro mostra-se bem diferente em relação à imagem de agosto, demonstrando a expansão das áreas com o solo exposto, o que pode representar o preparo da terra para o plantio de culturas anuais (no início da estação chuvosa), deixando o solo sem cobertura, facilitando o carreamento de material para o interior do reservatório, ocasionando um aumento na turbidez da água (demonstrado pela Figura 51) em todo o sistema, o que é mais pronunciado na estação 1.

FIGURA 53: Uso e ocupação do solo do entorno do Reservatório de Salto Grande, em novembro de 1996.

Verifica-se, portanto, que o Reservatório de Salto Grande é um sistema altamente impactado em relação ao uso e ocupação do solo, o que reflete diretamente na qualidade de água desse sistema, pois as áreas de solo exposto, de cultivo de cana-de-açúcar, pasto e áreas urbanas são fontes potenciais para o carreamento de defensivos agrícolas, fertilizantes e partículas desagregadas de solo para o interior do reservatório, contribuindo, este último, para o processo de assoreamento do sistema.. Analisando-se as Tabelas 15 e 16, observa-se as áreas e as porcentagens de contribuição de cada classe em termos de uso e ocupação do solo do entorno, nos meses de seca (agosto) e chuva (novembro).

TABELA 15: Classificação (área e porcentagem) do uso e ocupação da área de entorno do Reservatório de Salto Grande, em agosto de 1996.

Classes	Área (km²)	Porcentagem
Água	11,37	7,60%
Cultura/Pasto	47,33	31,65%
Cana-de-açúcar	22,30	14,91%
Mata 1	2,11	1,41%
Mata 2	8,60	5,75%
Área urbana 1	8,24	5,51%
Área antrópica	32,59	21,79%
Solo exposto 1	13,33	8,90%
Solo exposto 2	2,82	1,88%
Solo exposto 3	0,37	0,24%
Macrófitas	0,45	0,30%
Área total das classes	149,54	100%

Verifica-se pelas Tabelas 15 e 16 que aproximadamente 55% (no mês de agosto) e 56% (no mês de novembro) da área classificada está dividida entre cana-de-açúcar, pasto/culturas e solo exposto, atingindo cerca de 82,5 km² de área no entorno do reservatório, sendo áreas potencialmente sujeitas ao carreamento de material para o interior do reservatório, principalmente no período de maior pluviosidade. Existem também as áreas denominadas antrópicas, que são áreas onde ocorrem algum tipo de perturbação no ambiente. Estas áreas, em agosto, atingem 21,79% e em novembro, 22,6% da área classificada.

TABELA 16: Classificação (área e porcentagem) do uso e ocupação da área de entorno do Reservatório de Salto Grande, em novembro de 1996.

Classes	Área (km²)	Porcentagem
Água	11,45	7,59%
Cultura/Pasto	30,18	20,01%
Cana-de-açúcar	22,03	14,61%
Mata 1	2,12	1,40%
Mata 2	8,73	5,79%
Área urbana 1	8,37	5,55%
Área antrópica	34,08	22,6%
Solo exposto 1	7,85	5,20%
Solo exposto 2	5,15	3,41%
Solo exposto 3	20,41	13,53%
Macrófitas	0,36	0,23%
Área total das classes	150,77	100%

Segundo LEWIS⁸ et al. (1984) apud JORGENSEN (1990), a estimativa da entrada de nutrientes carregado pelo material particulado em lagos, por fontes não-pontuais, atinge de 20-50% em relação à nitrogênio e 30-90% em relação à fósforo. Para quantificar a entrada desse material na zona litoral, o autor propõe uma equação que relaciona a precipitação anual com o transporte anual de matéria particulada da bacia hidrográfica para a zona litoral:

$$L = a \times P^b$$

onde:

L = carregamento (mg.m⁻².ano⁻¹)

P = precipitação (mm.ano⁻¹)

a e b = constantes (variam conforme a bacia hidrográfica)

⁸ LEWIS, W. M. et al. (1984) *Eutrophication and land use*. Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo.

Para o Reservatório de Salto Grande, adotando-se valores da tabela de LEWIS (1984), e os parâmetros de terras utilizadas pela agricultura, tem-se para nitrogênio:

$$P = 1696,8 \text{ mm.ano}^{-1}$$

$$a = 0,181$$

$$b = 1,28$$

$$L = 2463,8 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1} \text{ de nitrogênio}$$

e para fósforo:

$$P = 1696,8 \text{ mm.ano}^{-1}$$

$$a = 0,00125$$

$$b = 1,682$$

$$L = 338,18 \text{ mg.m}^{-2}.\text{ano}^{-1} \text{ de fósforo}$$

Esses valores convertidos para kg.km^{-2} , uma estimativa de $2463,80 \text{ kg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para nitrogênio e $338,18 \text{ kg.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ para fósforo. Admitindo-se uma área de entorno de $82,5 \text{ km}^2$, como a área classificada pelas imagens, pode-se obter $203,26 \text{ ton.ano}^{-1}$ de nitrogênio e $27,89 \text{ ton.ano}^{-1}$ de fósforo, os quais chegariam às margens do reservatório, sendo estes os principais contribuintes para o processo de eutrofização desse sistema, além do aporte pelo rio Atibaia.

Comparando-se esses valores de carregamento de nitrogênio e fósforo com os valores encontrados no Reservatório do Lobo ($65,24 \text{ ton.ano}^{-1}$ de nitrogênio e $3,88 \text{ ton.ano}^{-1}$ de fósforo) e no Reservatório de Bariri ($1034,29 \text{ ton.ano}^{-1}$ de nitrogênio e $167,79 \text{ ton.ano}^{-1}$ de fósforo), conforme MARQUISÁ (1992), observa-se que os valores de Salto Grande podem ser considerados elevados.

Considerando-se ainda a quantidade de nitrogênio e fósforo contida em um “runoff” nas áreas urbanas, que segundo HOLY (1980), variam entre 50.000 a 500.000 kg.ano^{-1} de nitrogênio e entre 5.000 a 77.000 kg.ano^{-1} de fósforo, o aporte de nutrientes ao reservatório torna-se ainda mais elevado.

Segundo BERTOLINI & LOMBARDI NETO (1994), a erosão do solo traz problemas de poluição das águas decorrentes dos sedimentos, dos nutrientes químicos e dos defensivos transportados, sendo que as prefeituras gastam recursos financeiros razoáveis para o tratamento de água utilizada no abastecimento urbano,

visando a redução de turbidez e dos níveis de contaminantes químicos. Com a aplicação de tecnologias para a redução da erosão e para disciplinar o uso de defensivos agrícolas nas lavouras, pode-se contribuir consideravelmente para a diminuição do problema.

Como propostas de manejo da área de entorno do reservatório, com vistas à melhoria da qualidade de água do sistema, TUNDISI & STRASKRABA⁹ (1992) apud TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, (1992) apresentam medidas ecotecnológicas aplicadas à bacia hidrográfica, as quais envolvem a conservação, recuperação e manejo de ecossistemas, que poderiam ser aplicados ao Reservatório de Salto Grande.

TABELA 17: Aplicação de métodos ecotecnológicos para a melhoria da qualidade de água do Reservatório de Salto Grande (modificado de TUNDISI & STRASKRABA, 1992).

Método	Minimização do problema
<ul style="list-style-type: none"> • Controle da erosão (práticas agrícolas e revegetação) 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do assoreamento
<ul style="list-style-type: none"> • Reflorestamento com espécies nativas (sucessão das matas ciliares) 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do transporte de sedimento. • Diminuição do carregamento de N e P para o reservatório.
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo das margens do lago (Preservando as margens naturais, construindo margens artificiais e revegetando com espécies nativas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da entrada de sedimentos e dos bancos de erosão. • Redução do carregamento de contaminantes. • Substrato para invertebrados e alimento para peixes.
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo da zona litoral (Manutenção e controle do conjunto de macrófitas com a reintrodução de espécies nativas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Controle da eutrofização fornecendo peixes com o aumento do suprimento orgânico, como detritos e/ou a biomassa perifíton/macrófitas

⁹ TUNDISI, J.G. ; STRASKRABA, M. (1992) Ecological basis for the application of ecotechnologies to watershed/reservoir recovery and management. *Proceedings of a workshop: Conservation and management of inland waters in Brazil.*

	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição do carreamento de sedimentos e melhoria da qualidade de água.
<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação e conservação das áreas alagadas (construção de áreas alagadas artificiais) 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminuição da eutrofização e da contaminação. • Aumento da diversidade de espécies • Manutenção do “banco” de espécies.
<ul style="list-style-type: none"> • Manutenção de áreas preservadas como sistemas “tampão” 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da eutrofização e assoreamento. • Reintrodução de espécies nativas

Assim sendo, como propostas de manejo do sistema, a recomposição das matas ciliares tanto no entorno do reservatório como às margens do rio Atibaia, seria uma estratégia que a médio e longo prazo reduziria a entrada de nutrientes e de material particulado, contribuindo para uma melhoria de qualidade da água do sistema. O controle da erosão através de “terraços” também contribuiria com a diminuição da entrada de material alóctone, reduzindo a turbidez da água e a elevada quantidade de nutrientes adicionadas ao reservatório.

Todas essas estratégias serão válidas caso a principal fonte de material alóctone seja interrompida, no caso o rio Atibaia, com a construção de estações de tratamento de efluentes domésticos e industriais nas cidades localizadas à montante do Reservatório de Salto Grande, e com a recomposição ciliar e práticas conservacionistas de manejo de solo na sub-bacia do rio Atibaia.

6 CONCLUSÕES

a) Pelos resultados obtidos, verifica-se que os fatores que mais influenciam a entrada de material em suspensão, a sedimentação e as características limnológicas no Reservatório de Salto Grande são a vazão, a precipitação, o tempo de residência, o uso e a ocupação da bacia hidrográfica e a morfometria do sistema.

b) Verifica-se o maior aporte e deposição de nitrogênio e fósforo total que ocorre no período chuvoso, principalmente no primeiro compartimento. Esse comportamento é também seguido pela sedimentação de material em suspensão que chega ao sistema, fato este explicado pelo formato do reservatório, o qual apresenta dois compartimentos diferenciados, sendo que o primeiro funciona como um pré-reservatório, diminuindo as concentrações de material em suspensão e nutrientes no segundo compartimento.

c) A taxa de sedimentação apresenta um gradiente de deposição no sentido do rio Atibaia - barragem, em todos os períodos do ano, com valores máximos de $90 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (na estação 1) no período chuvoso (dezembro de 1996) e valores mínimos de $0,35 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ na estação 3, no período seco (julho de 1997). A que maior deposição ocorre nas câmaras de sedimentação localizadas à 70% da profundidade local.

d) A quantidade de material inorgânico depositado nas câmaras de sedimentação apresenta uma relação direta com o início do período chuvoso, demonstrando a elevada quantidade de material alóctone proveniente do rio Atibaia e

a contribuição das fontes não pontuais no entorno do reservatório, onde em média a fração inorgânica corresponde a 77%. No período seco, a fração inorgânica é maior somente nas estações 1 e 2, enquanto que nas estações 3 a fração orgânica supera a inorgânica (atingindo 56%) e nas estações 4 e 5 os valores são próximos, demonstrando a elevada produção autóctone nesse período, o que é caracterizado pelas constantes florações de algas, principalmente nas estações mais distantes da entrada do rio Atibaia.

e) Aproximadamente 87% do material em suspensão que entra através do rio Atibaia é retido no reservatório, principalmente na estação 1, onde $72,0 \text{ kg.m}^{-2}.\text{ano}$ são depositados, tornando-se, assim, o ponto mais suscetível ao assoreamento, com uma previsão de vida útil de 31 anos.

f) O processo de sedimentação influencia a deposição de fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico, amônio e nitrito nas câmaras de sedimentação, tanto espacial como temporalmente, com um aumento das concentrações desses nutrientes no período seco. O nitrato e a sílica são depositados de forma mais homogênea no reservatório, sem um gradiente de deposição aparente. As maiores concentrações de nitrato e sílica ocorreram no período seco, inversamente aos valores de sedimentação observados.

7 BIBLIOGRAFIA

- ARMENGOL, J. ; SAB, F. (1990) Annual and longitudinal changes in the enviromental conditions in three consecutive reservoirs of Guadiana River (W. Spain). *Arch. Hydrobiol. Beih.*, v.33, p. 679-687.
- BARBOSA, F. et al. (1998) Nitrogen and phosphorus balance in a eutrophic reservoir in Minas Gerais: a first approach. *Rev. Brasil. Biol.*, v. 58, n.2, p. 233-239.
- BENGTSSON, L. ; HELLSTROM, T. (1992) Wind resuspension in a small shallow lake. *Hydrobiologia*, v. 241, p. 163-172.
- BERTOLINI, D. ; LOMBARDI NETO, F. (1994) *Manual técnico de manejo e conservação de solo e água*. CATI. Campinas. 2^a impressão. p. 1-15.
- BLOESCH, J. et al. (1977) Primary production, mineralization, and sedimentation in the euphotic zone of two Swiss lakes. *Limnol. Oceanogr.*, v. 22, n. 5, p. 511-526.
- BLOESCH, J. ; UEHLINGER, U. (1986) Horizontal sedimentation in a eutrophic Swiss lake. *Limnol. Oceanogr.*, v. 31, n.5, p. 1094-1109.
- BLOESCH, J. (1994) A review of methods used to measure sediment resuspension. *Hydrobiologia*, v. 284, p.13-18.

- BLOMQVIST, S. ; HAKANSON, L. (1981) A review on sediment traps in aquatic environments. *Arch. Hydrobiol.*, v. 91 n. 1, p. 101-132.
- BONDURANT, D. C. ; LIVESEY, R. H. (1973) Reservoirs sedimentations studies. In: ACKERMANN, W. C. et al., Ed. *Man-made lakes: Their problems and Environmental Effects*. Washington D. C. American Geophysical Union. p. 364-367.
- BOSTRÖM, B. (1988) Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, v.170, p. 229-244.
- BRASIL. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. (1992) *Atlas Nacional do Brasil*. IBGE
- CALLIERI, C. et al. (1986) Settling rates of particulate matter in Lago di Mergozzo (Northern Italy). *Mem. Inst. Ital. Idrobiol.*, v. 44, p. 147-164.
- CALLIERI, C. et al. (1991) Settling flux and sinking velocity of seston in Lago di Mergozzo (Northern Italy) and influence of microbial activity on decomposition of entrapped organic material. *Hydrobiologia*, v. 213, p. 155-165.
- CARVALHO, N. O. (1994) *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro, CPRM. 372p.
- COALE, K. H. (1990) Labyrinth of doom: A device to minimize the “swimmer” component in sediment trap collections. *Limnol. Oceanogr.*, v.35, n.6, p. 1376-1381.
- COBELAS, M. A. et al. (1993) Settling seston in a hypertrophic lake. *Arch. Hydrobiol.*, v. 127, n. 3, p. 327-343.

- COELHO, M. A. (1993) *Análise do processo de assoreamento do Reservatório de Americana* - SP. Rio Claro. 69p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- COLE, G. A. (1975) *Textbook of limnology*. Saint Louis, C.V. Mosby Company.
- CORNETT, R. J. et al. (1994) Identifying resuspended particles using isotope ratios. *Hydrobiologia*, v. 284, p. 69-77.
- DEBERDT, G. L. B. (1997) *Produção primária e caracterização da comunidade fitoplanctônica no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP) em duas épocas do ano*. São Carlos. 104p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos; Universidade de São Paulo.
- DILLON, P. J. et al. (1990) Retention and resuspension of phosphorus, nitrogen and iron in a central Lake Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 47, p. 1269-1274.
- ESTEVEZ, F. A. (1988) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência, FINEP.
- EVANS, R. D. (1994) Empirical evidence of the importance of sediment resuspension in lakes. *Hydrobiologia*, v. 284, p. 5-12.
- EDMONDSON, W. T. ; WINBERG, G. G. (1972) *A manual of methods for assessment of secondary productivity in fresh waters*. Oxford, Blackweel Scientific Publications. (IBP, 17).
- FALÓTICO, M. H. B. (1993) *Características limnológicas e aspectos da composição e distribuição da comunidade zooplancônica em sua fase de enchimento (Reservatório de Samuel - Rondônia)*. São Carlos 195p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

- FROEHLICH, C. G. et al. (1978) Temperature and oxygen stratification in Americana Reservoir, State of São Paulo, Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v.20, p.1710-1719.
- FUHS, G.W. (1973) Improved device for the collection of sedimenting matter. *Limnol. Oceanogr.*, v. 18, p. 989-993.
- GALVEZ, J. A. ; NEIL, F. X. (1993) Sedimentation and mineralization of seston in a eutrophic reservoir, with a tentative sedimentation model. In: *Comparative reservoir limnology and water quality management*. Eds. STRASKRABA, M. et al. p.119-126.
- GARDNER, W. D. (1980) Field assessment of sediment traps. *J. Mar. Res.*, v. 38, p. 41-52.
- GASITH, A. (1975) Tripton sedimentation in eutrophic lakes-simple correction for resuspended matter. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v. 19, p. 116-122.
- GLOOR, M. et al. (1994) Benthic boundary mixing and resuspension induced by internal seiches. *Hydrobiologia*, v. 284, p. 59-68.
- GLYMPH, L. M. (1973) Sedimentation of Reservoirs. In: ACKERMANN, W. C. et al., ed. *Man-made lakes: Their problems and environmental effects*. Washington, D. C. American Geophysical Union. p.342-348.
- GOBBO, C. (1991) *Aspectos geográficos e geomorfológicos: municípios de Nova Odessa, Americana e Santa Bárbara D'Oeste - SP. /Monografia/*.
- GOLTERMAN, H. L. et al. (1978) *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. 2 ed. Oxford, Blackweel Scientific Publications. (IBP, 8).

- GOLDMAN, C. R. ; HORNE, A. J. (1983). *Limnology*. New York, McGraw-Hill, 464 p.
- GRAF, W. H. (1983) The hydraulics of reservoir sedimentation. *Water Power & Dam Construction*. p. 45-52.
- HAKANSON, L ; JANSSON, M. (1983) *Principles of lake sedimentology*. Spriger-Verlag.
- HICKS, R. E. et al. (1994) Deposition, resuspension, and decomposition of particulate organic matter in the sediments of Lake Itasca, Minnesota, USA. *Hydrobiologia*, v. 284, p. 79-91.
- HILTON, J. et al. (1986) The dominant processes of sediment distribution and focusing in a small, eutrophic, monomitic lake. *Limnol. Oceanogr.*, v. 31, n. 1, p. 125-133.
- HENRY, R ; MARICATO, F. E. (1996) Sedimentation rates of tripton in Jurumirim Reservoir (São Paulo, Brazil). *Limnologica*, v. 26, n. 1, p. 15-25.
- HOLY, M. (1980) *Erosion and environment. (Environmental sciences and applications*. v. 9) Oxford, Pergamon Press. 225p.
- HUTCHINSON, G.E. (1967) *A treatise on limnology*. New York, John Wiley & Sons, 1115p. (Introduction to Lake biology and the limnoplankton, v. II)
- JAMES, W. F. et al. (1987) Seasonal and longitudinal variations in apparent deposition rates within an Arkansas reservoir. *Limnol. Oceanogr.*, v. 32, n.5, p.1169-1176.
- JORGENSEN, S. E. (1980) *Lake management*. Oxford, Pergamon Press. 167p.

- JORGENSEN, S. E. (1990) Erosion e filtration In: JORGENSEN, S. E. ; LÖFFLER, H eds *Lake shore management*. (Guidelines of lake management, v.3) Otsu, ILEC. 174p.
- KIMMEL, B. L. et al. (1990) *Reservoir limnology: ecological perspectives*. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons.
- KOROLEFF, F. (1976) Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. ed. *Methods of seawater analysis*. Verlag. Chemie. Weinheim. p. 117-181.
- KOZERSKI, H. P. (1994) Possibilities and limitations of sediment traps to measure sedimentation and resuspension. *Hydrobiologia*, v. 284, p. 93-100.
- KRISTENSEN, P. et al. (1992) Resuspension in a shallow eutrophic lake. *Hydrobiologia*, v. 228, p. 101-109.
- LAROCQUE, I. et al. (1996) Sedimentation of algae: relationships with biomass and size distribution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v.53, p. 1133-1142.
- LIVINGSTONE, D. ; REYNOLDS, C. S. (1981) Algal sedimentation in relation to phytoplankton periodicity in Rostherne Mere. *British Phycological Journal*, v. 16, p. 195-206.
- LINSLEY, R. K. et al. (1982) *Hidrology for engineers*. 3 ed. London, McGraw-Hill Book. 415p.
- McCARTHY, J. J. ; GOLDMAN, J. C. (1979) Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient-depleted waters. *Science*, v.203, p. 670-672.
- MACKERETH, F. J. H. et al. (1978) *Water analysis: some revised methods for limnologists*. (Freshwater Biological Association Scientific Publication., n. 36). Kendall. Titus Wilson.

- 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)*. São Carlos. 205p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- MARKER, F. H. et al. (1980) The measurement of photosynthetic pigments in freshwater and standardization of methods: conclusion and recommendations. *Arch. fur Hydrobiolog.*, v.14, p.91-106.
- MARQUISÁ, G. C. (1992) Estimacion de la carga de nitrogeno total y fosforo total a los embalses de Lobo y Bariri (Estado de San Pablo) Brazil. *Rev. Bras. Biolog.*
- MARQUISÁ, G. C. (1998) *Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em dois reservatórios de distintos estados tróficos (reservatórios do Broa e Barra Bonita -SP)*. São Carlos. 151p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, - Universidade de São Paulo.
- MOED, J. R. ; HALLEGRAEF, G. M. (1978) Some problems in the estimation of Chlorophyll-a and phaeopigments from pre and postacidification spectrophotometric measurements. *Int. Rev. ges Hydrobiolog.*, v.63, n. 6, p. 787-800.
- MONTICELI, J. J. ; MARTINS, J. P. S. (1993) *A luta pela água: nas bacias dos rios Piracicaba e Capivari*. EME. 124p.
- NUSCH, E. A. ; PALME, G. (1975) Biologische methoden für die Praxis der gewässeruntersuchung. *Gmf. Wasser/Abwasser*, n.116, p.562-565.
- NUSCH, E.A. (1980) Comparasion of diferent methods for Chlorophyll-a and phaeopigments determination. *Arch. fur Hydrobiolol.*, v.14, p.14-36.

- OKUMURA, Y. (1995) Sedimentation of suspended matter in the mouth of the Ane River. *Coastal and Estuarine Studies*, v.48, p. 119-127.
- PIÃO, A.C. S. (1995) *Transporte de nitrogênio, fósforo e sedimentos pelo ribeirão dos Carrapatos (Município de Itaipava - SP), sua relação com usos do solo e outros impactos antropogênicos e a sua deposição no braço do Taquari (Represa de Jurumirim)*. São Carlos. 192p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- PENNINGTON, W. (1974) Seston and sediment formation in five lake district lakes. *J. Ecology*, v. 62, p. 215-251.
- PORCALOVA, P. (1989) Sedimentation in the Rimov Reservoir. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, v.33, p.349-353.
- RAO, K. S. et al. (1989) Sedimentation studies on Gandhisagar Reservoir. *Int. Revue ges. Hydrobiologia*, v.74, p. 439-444.
- REYNOLDS, C. S. et al. (1980) An annotated bibliography of aquatic sediment traps and trapping methods. *Freshwater Biol. Assoc. Occas. Publ.*, v. 11, n.1.
- ROSA, F. et al. (1991) Sampling the settling and suspended particulate matter (SPM).. In: MUDROCH, A.; MaCKNIGHT, S.D. eds *Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling*. CRC-Press.
- SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. (1980) IGC. *Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo*..
- SÃO PAULO . Secretaria de obras e do meio ambiente. (1982) *Mapa Geológico do Estado de São Paulo* -Universidade Estadual Paulista

SÃO PAULO. Divisão de Minas e Geologia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (1981).

SÃO PAULO. Secretaria da agricultura. Instituto Agrônomo de Campinas.
Levantamento pedológico semi-detalhado dos solos do Estado de São Paulo..
(1977).

SILVA, M.P. ; ESPÍNDOLA, E. L. G. (1996) Efeito da variação da temperatura na taxa de crescimento de *Microcystis aeruginosa* (Cyanophyceae) e *Monoraphidium pusillum* (Clorophyceae). In: III Simpósio do Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos. p. 110-112 . *Anais*.

STANDARD METHODS (1995) *For examination of water and wastewater* . Ed. Eaton, A. D. et al. 19th edition.

TEIXEIRA, C. et al. (1965) Plankton studies in a mangrove, II: The standing-stock and some ecological factors. *Bol. Inst. Oceanogr.*, v.24, p.23-41.

THORTON, W. K. (1990) Perspectives on Reservoir Limnology. In THORTON, K. W. et al. (Ed.) *Reservoir limnology: ecological perspectives*. Jonh Wiley & Sons, Inc.

TRINDADE, M. (1980) *Nutrientes em sedimentos da represa do Broa: Brotas-Itirapina*. São Carlos. 219p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos.

TUNDISI, J. G. (1969) *Produção primária, “standing-stock” e fracionamento de fitoplâncton na região Lagunar de Cananéia*. São Paulo. 131p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

- TUNDISI, J. G. (1988) Impactos ecológicos da construção de represas: aspectos específicos e problemas de manejo. In: TUNDISI, J.G. (Ed.) *Limnologia e manejo de represas*. São Paulo, ACIESP. 506p. (Monografias em Limnologia, v.1, t.1).
- TUNDISI, J. G. ; MATSUMURA-TUNDISI, T. (1992) Eutrophication of lakes and reservoirs: a comparative analysis, case studies, perspectives. In: MARIANO, M. C. et al. *Algae and environment: a general approach*. São Paulo, SBF. p. 1-33.
- WETZEL, R.G (1981) *Limnologia*. Barcelona, Omega. 679p.
- WETZEL, R.G. ; LIKENS, G.E. (1991) *Limnological analysis*. 2 ed. New York, Springer Verlag. 391p.
- WHITE, W. S. ; WETZEL, R.G. (1973) A modified sedimentation trap. *Limnol. Oceanogr.*, v. 18, p. 986-988.
- WHITE, W. S. ; WETZEL, R.G. (1975) Nitrogen, phosphorous, particulate and colloidal carbon content of sedimenting seston of a hard-water lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v.19, p. 330-339.
- ZYTKOWICZ, R. (1989) Characteristics of tripton sedimentation in ten small lakes. In: SALÁNKI, J. & HERODEK, S. eds. *Conservation and management of lakes*. Budapest, Akademiai Kiado. p. 547-552. (Symposia Biologica Hungarica, 38).

ANEXO

Valores de Visibilidade do Disco de Secchi e limite da zona eufótica-Incubação

21/08/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00
Zsd	1,80	3,00	3,00	3,00	3,00

18/09/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,30	0,70	0,70	1,00	1,30
Zsd	0,90	2,10	2,10	3,00	3,90

22/10/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,45	1,10	1,15	1,40	1,20
Zsd	1,35	3,30	3,45	4,20	3,60

18/12/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,20	0,35	0,55	0,70	0,80
Zsd	0,60	1,05	1,65	2,10	2,40

22/01/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,10	0,30	0,30	0,40	0,45
Zsd	0,30	0,90	0,90	1,20	1,35

19/02/97	1	2	3	4	5	6
Secchi	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50
Zsd	0,60	0,60	0,90	1,20	1,20	1,50

19/03/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	0,80	0,80	1,00	0,90
Zsd	1,80	2,40	2,40	3,00	2,70

22/04/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	0,80	0,80	1,00	0,90
Zsd	1,80	2,40	2,40	3,00	2,70

21/05/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	0,90	0,80	0,90	1,80
Zsd	1,80	2,70	2,40	2,70	5,40

24/06/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,50	1,00	1,00	1,40	1,70
Zsd	1,50	3,00	3,00	4,20	5,10

16/07/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,75	2,30	2,00	2,00	2,30
Zsd	2,25	6,90	6,00	6,00	6,90

Valores de Visibilidade do Disco de Secchi e limite da zona eufótica - Retirada

22/08/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,70	1,10	1,50	0,70	1,00
Zsd	2,10	3,30	4,50	2,10	3,00

19/09/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,40	1,00	0,70	1,00	1,20
Zsd	1,20	3,00	2,10	3,00	3,60

23/10/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	0,90	1,00	1,00	1,00
Zsd	1,80	2,70	3,00	3,00	3,00

26/11/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,40	0,78	0,75	0,90	1,10
Zsd	1,20	2,34	2,25	2,70	3,30

19/12/96	1	2	3	4	5
Secchi	0,20	0,30	0,55	0,55	0,60
Zsd	0,60	0,90	1,65	1,65	1,80

23/01/97	1	2	3	4	5
Secchi		0,20	0,30	0,40	0,50
Zsd		0,60	0,90	1,20	1,50

20/02/97	1	2	3	4	5	6
Secchi	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50
Zsd	0,60	0,60	0,90	1,20	1,20	1,50

20/03/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,35	0,90	0,65		
Zsd	1,05	2,70	1,95		

23/04/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	0,65	0,85	0,85	0,60
Zsd	1,80	1,95	2,55	2,55	1,80

22/05/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,60	0,90	0,80	0,90	1,80
Zsd	1,80	2,70	2,40	2,70	5,40

25/06/97	1	2	3	4	5
Secchi	0,50	1,00	1,35	1,65	1,70
Zsd	1,50	3,00	4,05	4,95	5,10

17/07/97	1	2	3	5
Secchi	0,65	1,95	1,50	1,40
Zsd	1,95	5,85	4,50	4,20

**Valores médios de Material em Suspensão (mg/L) obtidos
no Reservatório de Salto Grande no período de 24 horas**

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	169,50	221,50	39,98	47,63	19,93	21,40	28,42	31,83	22,20	27,37
Inorg.	126,10	161,75	22,98	34,43	8,13	9,38	9,57	17,05	12,38	16,30
Org.	43,40	59,50	14,00	14,20	11,80	12,01	18,85	14,78	9,82	10,93

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	602,20	981,55	63,80	89,80	147,50	55,15	71,98	56,38	66,30
Inorg.	494,85	839,05	49,43	73,18	122,45	40,70	52,55	42,10	48,53
Org.	107,35	142,50	14,38	16,63	20,03	14,35	19,43	14,28	17,78

19/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	370,00	445,00	44,70	79,73	29,38	41,03	31,65	85,13	24,80	64,93
Inorg.	309,95	365,90	30,20	57,35	17,45	26,20	20,13	60,90	8,93	48,23
Org.	60,05	79,10	14,50	22,43	11,93	15,00	11,53	24,23	15,88	16,70

21/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	889,15	1563,70	47,03	83,85	71,05	87,38	30,45	43,55	22,38	35,28
Inorg.	732,25	1278,90	31,98	62,10	54,68	65,90	18,95	29,80	9,63	22,93
Org.	159,90	284,80	15,05	21,75	16,38	21,48	11,50	13,75	12,75	12,35

19/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	1626,10	3325,50	66,60	160,10	29,45	45,40	46,38	88,73	31,40	79,67
Inorg.	1419,10	2758,60	46,45	129,15	15,93	32,40	32,30	68,60	13,00	58,53
Org.	207,00	568,40	20,15	31,00	13,53	13,00	14,08	20,13	18,40	21,14

23/01/97	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70
Total	206,40	505,90	54,75	78,87	44,55	126,75	47,27	114,3
Inorg.	166,45	426,30	40,72	60,92	29,22	99,20	30,77	86,50
Org.	39,95	79,60	14,02	17,95	15,32	27,55	16,50	27,80

**Valores médios de Material em Suspensão (mg/L) obtidos
no Reservatório de Salto Grande no período de 24 horas**

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
Total	109,75	356,60	644,60	53,22	40,67	34,10	185,30	38,95	104,60	65,15
Inorg.	93,30	291,70	542,20	41,07	29,00	23,92	143,90	27,85	79,20	50,22
Org.	16,45	64,30	102,40	12,15	11,67	10,17	41,40	11,10	51,50	14,93

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	1285,00	1126,60	49,63	58,23	34,80	52,63	44,36	59,56	49,06	65,95
Inorg.	1078,90	972,90	33,40	40,60	23,20	36,40	28,56	41,16	33,13	46,50
Org.	412,20	153,70	16,23	17,63	11,60	16,22	15,80	18,60	15,93	19,45

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	161,10	283,65	22,37	26,15	22,42	22,40	17,92	22,83
Inorg.	135,40	234,35	11,12	14,05	11,28	11,98	9,85	13,50
Org.	25,70	49,55	11,25	12,10	10,95	10,42	8,06	9,33

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	189,90	212,60	15,33	21,86	19,76	26,03	13,41	17,95	22,70	27,95
Inorg.	150,30	164,25	4,76	10,58	10,55	15,43	6,40	9,80	12,90	16,81
Org.	39,60	48,35	10,56	11,28	9,22	10,60	7,00	8,15	9,80	11,13

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	144,55	326,60	45,32	57,02	27,97	34,87	16,53	35,65	15,63	25,65
Inorg.	117,55	255,30	32,17	41,55	16,67	23,37	10,23	25,55	10,11	18,03
Org.	27,00	71,30	13,15	15,47	11,30	11,50	6,30	10,10	5,51	7,61

17/07/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	58,77	78,30	16,83	17,03	12,56	12,40	13,14	13,83	17,05	21,45
Inorg.	41,37	56,85	6,74	9,23	4,98	5,53	6,04	8,09	10,68	13,98
Org.	17,40	21,45	10,08	7,80	7,58	6,87	7,10	5,75	6,37	7,47

**Valores médios de Taxa de Sedimentação (mg/cm².dia) obtidos
no Reservatório de Salto Grande no período de 24 horas**

22/08/96										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	4,74	6,19	1,03	1,33	0,54	0,60	0,79	0,89	0,62	0,76
Inorg.	3,53	4,51	0,64	0,93	0,22	0,26	0,26	0,47	0,34	0,45
Org.	1,21	1,65	0,39	0,39	0,33	0,33	0,53	0,41	0,27	0,31

19/09/96										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	
Total	16,87	27,50	1,78	2,51	4,13	1,54	2,01	1,58	1,85	
Inorg.	13,86	23,50	1,38	2,05	3,43	1,14	1,47	1,18	1,36	
Org.	3,01	4,00	0,40	0,46	0,70	0,40	0,54	0,40	0,50	

22/10/96										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	10,36	12,46	1,25	2,23	0,82	1,15	0,88	2,38	0,69	1,81
Inorg.	8,68	10,25	0,84	1,61	0,48	0,73	0,56	1,71	0,25	1,35
Org.	1,68	2,21	0,41	0,63	0,33	0,41	0,32	0,68	0,44	0,46

26/11/96										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	24,90	43,80	1,31	2,35	2,00	2,44	0,85	1,22	0,62	0,98
Inorg.	20,51	35,83	0,89	1,74	1,53	1,84	0,53	0,83	0,26	0,64
Org.	4,47	7,98	0,42	0,60	0,45	0,60	0,32	0,38	0,35	0,34

18/12/96										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	45,55	93,10	1,86	4,48	0,82	1,27	1,30	2,48	0,88	2,23
Inorg.	39,75	77,28	1,30	3,61	0,44	0,90	0,90	1,92	0,36	1,64
Org.	5,80	15,82	0,56	0,86	0,38	0,36	0,39	0,56	0,51	0,60

23/01/97									
	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70	
Total	5,78	14,17	1,53	2,2	1,24	3,55	1,32	3,2	
Inorg.	2,12	11,93	1,14	1,68	0,81	2,78	0,86	2,42	
Org.	1,12	2,23	0,39	0,5	0,43	0,77	0,46	0,77	

**Valores médios de Taxa de Sedimentação (mg/cm².dia) obtidos
no Reservatório de Salto Grande no período de 24 horas**

20 / 02 / 97										
	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
Total	3,07	9,97	18,05	1,14	1,50	0,95	5,20	1,09	2,93	1,83
Inorg.	2,61	8,17	15,18	0,81	1,15	0,67	4,03	0,78	2,21	1,40
Org.	0,46	1,80	2,86	0,32	0,34	0,28	1,16	0,31	1,44	0,41

20 / 03 / 97										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	36,00	31,56	1,40	1,63	0,97	1,47	1,24	1,66	1,37	1,84
Inorg.	30,22	27,25	0,93	1,13	0,64	1,02	0,80	1,15	0,93	1,30
Org.	11,54	4,30	0,45	0,50	0,32	0,45	0,44	0,52	0,44	0,54

23 / 04 / 97								
	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	4,51	7,94	0,62	0,73	0,62	0,62	0,50	0,64
Inorg.	3,80	6,56	0,31	0,40	0,31	0,31	0,27	0,38
Org.	0,72	1,39	0,31	0,33	0,31	0,31	0,23	0,26

22 / 05 / 97										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	5,32	5,96	0,43	0,61	0,55	0,73	0,37	0,37	0,63	0,78
Inorg.	4,21	4,60	0,13	0,30	0,30	0,43	0,27	0,18	0,36	0,47
Org.	1,11	1,35	0,30	0,31	0,25	0,30	0,23	0,19	0,27	0,31

25 / 06 / 97										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	4,05	9,14	1,26	1,60	0,78	0,97	0,46	0,99	0,43	0,71
Inorg.	3,30	7,15	0,91	1,16	0,46	0,65	0,28	0,71	0,28	0,50
Org.	0,75	1,99	0,36	0,43	0,13	0,32	0,17	0,28	0,15	0,21

17/07/97										
	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Total	1,64	2,19	0,47	0,47	0,35	0,35	0,37	0,38	0,47	0,60
Inorg.	1,15	1,59	0,18	0,26	0,14	0,15	0,17	0,22	0,30	0,40
Org.	0,48	0,60	0,28	0,21	0,21	0,20	0,20	0,16	0,17	0,20

Valores médios de Clorofila-a e Feofitina (µg/L) após 24 horas de incubação

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	27,90	33,48	43,25	14,65	48,83	36,27	72,08	34,88	26,51	18,14
Feofitina	35,57	54,41	28,04	44,92	37,43	45,11	52,92	39,66	30,13	39,80

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	5,58	21,56	18,83	13,95	12,55	23,72	27,90	41,85	34,88
Feofitina	51,06	44,08	20,72	19,25	30,90	33,41	28,74	36,76	35,92

23/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	23,72	22,32	27,21	19,53	22,32	53,01	27,90	27,90	32,78	29,30
Feofitina	30,97	54,82	24,06	34,18	18,69	20,44	23,85	36,55	20,93	36,62

27/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	16,74	30,69	24,41	20,46	20,93	24,41	29,30	28,60	41,85	41,85
Feofitina	35,99	65,01	10,25	33,57	23,02	24,90	15,62	22,18	18,20	17,23

19/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	13,95	11,16	40,46	30,69	39,76	2,79	27,20	20,93	18,83	20,46
Feofitina	30,97	61,10	23,02	30,83	11,51	32,36		17,16	25,11	36,83

23/01/97	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	19,53	41,85	41,15	35,57	50,91	27,90	57,20	41,85

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
Clorofila-a	8,37	22,32	8,37	18,83	3,48	13,25	8,37	18,83	9,76	6,97

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	5,58	22,32	12,09	22,32	13,95	24,18	29,76	38,13	36,27	36,27
Feofitina	43,25	40,18	14,60	12,18	8,02	27,90	22,97	19,80	23,62	29,15

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	34,88	37,67	52,55	39,99	26,50	29,29	40,46	39,99
Feofitina	21,76	36,55	9,63	16,97	12,88	11,72	11,95	13,06

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	39,06	32,09	42,32	33,94	24,18	27,43	22,78	21,40	22,32	19,53
Feofitina	25,39	55,80	15,30	19,11	11,30	14,30	13,35	8,88	13,81	17,57

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	8,37	19,53	11,16	46,00	12,55	11,85	11,16	8,37	6,97	5,58
Feofitina	8,23	9,76	17,15	18,34	15,27	14,50	6,74	12,62	15,48	12,64

17/07/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
Clorofila-a	9,76	28,60	20,93	10,70	23,02	20,58	23,02	14,65	21,62	14,30
Feofitina	22,46	16,81	28,55	26,09	13,85	13,85	8,72	11,23	9,87	15,00

Concentração inicial de Fósforo ($\mu\text{g/L}$) e Nitrogênio (mg/L) orgânico total obtida durante o período de estudo.

S = superfície e F = fundo

Fósforo ($\mu\text{g/L}$)

	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	230,95	172,89	192,64	155,22	146,92	90,40	354,68	128,53	154,48	344,47	177,82	286,45
2 S	123,91	81,50	78,63	73,01	103,93	151,04	151,07	81,16	86,78	107,85	73,75	127,94
2 F	75,19	70,04	60,59	68,48	100,58	115,00	145,27	72,57	85,84	76,95	66,98	78,92
3			57,2	65,53	68,44	113,44	95,28	56,35	42,55	45,5	71	45,82
4 S	64,44	60,12	57,39	59,12	63,71	127,30	115,79	69,86	47,50	52,21	56,86	53,50
4 F	52,89	58,13	49,41	51,77	*	94,93	115,29	72,75	44,56	57,21	55,92	43,53
5			80,68	44,76	61,115	110,14	98,27	74,06	79,95	60,85	53,41	31,72

Nitrogênio (mg/L)

	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	17,75	7,23	12,02	2,12	3,20	3,30	1,35	4,00	3,48	2,71	9,01	15,39
2 S	13,31	2,96	3,12	2,34	2,71	2,22	1,86	2,30	2,87	2,47	1,71	11,59
2 F	12,79	3,62	7,75	1,99	1,37	3,09	1,91	2,78	2,44	1,27	1,71	6,76
3		2,50	2,68	2,11	3,21	2,44	1,50	0,99	1,39	1,68	2,05	3,46
4 S	10,50	3,56	2,13	1,80	3,03	1,94	1,50	1,61	1,23	1,21	1,82	2,19
4 F	10,52	3,43	2,27	1,61	*	2,34	1,50	1,55	1,14	*	1,67	2,17
5		3,02	2,09	2,01	2,70	3,03	1,20	1,91	2,40	1,40	1,51	1,40

Concentrações de Nitrogênio (mg/L) e Fósforo ($\mu\text{g/L}$) total, nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação.

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	17,76	14,62	13,35	0,75	15,19	13,43	16,62	14,10	7,89	12,80
P total	325,94	563,98	158,13	242,93	136,20	118,47	181,48	139,12	99,77	108,89

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	7,22	10,55	1,61	4,71		4,72	5,66	4,03	5,08	4,63
P total	819,81	736,74	466,23	475,99		529,57	430,62	417,65	397,38	377,64

23/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	12,29	14,01	3,52	11,67	9,57	8,65	8,91	10,09	5,48	8,15
P total	1305,35	1651,15	211,14	278,30	168,65	212,61	169,44	193,65	114,49	166,64

27/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	24,31	31,29	10,40	14,67	11,43	11,20	9,93	10,65	9,69	10,37
P total	495,87	846,68	259,05	408,72	326,29	402,35	190,88	245,59	143,97	185,05

18/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	21,25	33,98	10,50	13,16	10,21	8,83	11,95	10,55	9,76	11,31
P total	142,32	1295,14	487,39	256,74	141,85	161,55	173,62	267,72	131,08	214,51

23/01/97	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	1,96	9,89	5,32	7,48	5,53	5,31	5,38	5,89
P total	167,79	163,87	118,03	146,60	102,79	139,05	112,12	161,66

Concentrações de Nitrogênio (mg/L) e Fósforo (µg/L) total, nas câmaras de sedimentação após 24 horas de incubação.

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
N total	6,31	7,82	11,76	5,23	8,74	2,51	6,53	2,41	5,39	3,12
P total	130,96	107,42	222,33	156,13	249,23	133,66	187,92	126,67	244,12	117,98

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	13,92	11,814	7,83	8,73	7,04	6,63	4,77	1,44	6,42	5,74
P total	562,98	332,83	155,98	534,85	151,65	165,72	149,85	175,21	136,93	241,72

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	11,87	13,82	4,14	7,30	3,11	3,14	2,31	2,13
P total	339,91	321,34	334,19	126,85	79,78	84,60	64,23	65,13

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	14,24	16,22	3,03	3,70	2,25	1,23	2,62	2,27	2,95	2,77
P total	710,56	717,70	110,07	198,11	100,94	119,15	89,74	64,91	99,28	119,95

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	11,41	15,72	3,54	6,45	6,78	2,93	3,30	3,77	3,74	3,73
P total	257,39	390,97	304,29	295,95	152,23	164,93	189,52	147,11	104,12	92,38

17/07/97	1/30	1/70	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70
N total	1,82	1,83	0,70	1,25	0,75	0,63	0,50	0,34	0,47	0,42
P total	289,36	398,80	191,47	201,27	152,63	139,68	127,24	118,88	99,88	112,72

Taxas de sedimentação de Nitrogênio (mg/cm2.dia) e Fósforo (µg/cm2.dia) total, no período de 24 horas de incubação.

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,50	0,41	0,37	0,02	0,43	0,38	0,47	0,40	0,22	0,36
P total	9,13	15,80	4,43	6,81	3,82	3,32	5,08	3,90	2,79	3,05

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,20	0,30	0,05	0,13		0,13	0,16	0,11	0,14	0,13
P total	22,97	20,64	13,06	13,33		14,84	12,06	11,70	11,13	10,58

23/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,34	0,39	0,10	0,33	0,27	0,24	0,25	0,28	0,15	0,23
P total	36,57	46,26	5,91	7,80	4,72	5,96	4,75	5,43	3,21	4,67

27/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,68	0,88	0,29	0,41	0,32	0,31	0,28	0,30	0,27	0,29
P total	13,89	23,72	7,26	11,45	9,14	11,27	5,35	6,88	4,03	5,18

18/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,60	0,95	0,29	0,37	0,29	0,25	0,33	0,30	0,27	0,32
P total	3,99	36,28	13,65	7,19	3,97	4,53	4,86	7,50	3,67	6,01

23/01/97	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,05	0,28	0,15	0,21	0,16	0,15	0,15	0,16
P total	4,70	4,59	3,31	4,11	2,88	3,90	3,14	4,53

Taxas de sedimentação de Nitrogênio (mg/cm².dia) e Fósforo (µg/cm².dia) total, no período de 24 horas de incubação.

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
N total	0,18	0,22	0,33	0,15	0,24	0,07	0,18	0,07	0,15	0,09
P total	3,67	3,01	6,23	4,37	6,98	3,74	5,26	3,55	6,84	3,31

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,39	0,33	0,22	0,24	0,20	0,19	0,13	0,04	0,18	0,16
P total	15,77	9,32	4,37	14,98	4,25	4,64	4,20	4,91	3,84	6,77

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,33	0,39	0,12	0,20	0,09	0,09	0,06	0,06
P total	9,52	9,00	9,36	3,55	2,24	2,37	1,80	1,82

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,40	0,45	0,08	0,10	0,06	0,03	0,07	0,06	0,08	0,08
P total	19,91	20,11	3,08	5,55	2,83	3,34	2,51	1,82	2,78	3,36

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
N total	0,32	0,44	0,10	0,18	0,19	0,08	0,09	0,11	0,10	0,10
P total	7,21	10,95	8,52	8,29	4,26	4,62	5,31	4,12	2,92	2,59

17/07/97	1/30	1/70	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70
N total	0,05	0,05	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
P total	8,11	11,17	5,36	5,64	4,28	3,91	3,56	3,33	2,80	3,16

Concentrações médias de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico ($\mu\text{g/L}$) nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	113,75	138,67	49,64	53,13	41,05	34,90	34,91	42,14	31,12	28,83
PO4 inorg.	87,42	99,80	31,74	32,66	15,22	12,45	15,47	25,18	18,32	11,81

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	113,75	131,04	84,58	75,48		74,17	69,84	91,27	65,71	69,60
PO4 inorg.	59,02	66,70	29,38	25,22		24,19	23,93	21,95	20,78	23,58

23/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	127,37	134,07	77,33	74,05	65,37	70,73	59,69	62,94	54,91	55,35
PO4 inorg.	61,09	65,72	24,16	25,01	14,21	18,74	9,02	19,43	9,20	13,14

27/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	100,11	121,48	67,36	71,06	68,28	60,32	57,18	62,40	54,85	53,51
PO4 inorg.	43,58	49,67	19,07	19,78	16,48	16,09	13,93	14,98	10,79	10,75

18/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	55,02	62,65	66,80	57,81	41,93	47,48	39,45	41,82	27,65	30,11
PO4 inorg.	35,97	39,25	45,54	33,83	20,59	23,48	18,98	24,91	12,25	14,62

23/01/97	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	65,04	72,86	84	72,26	57,77	81,47	39,46	44,91
PO4 inorg.	24,02	25,27	23,24	25,05	18,6	28,88	19,82	24,25

Concentrações médias de fosfato total dissolvido e fosfato inorgânico ($\mu\text{g/L}$) nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
PO4 total	76,05	78,99	69,80	72,58	90,91	78,95	76,18	78,66	89,30	84,26
PO4 inorg.	30,00	32,20	34,00	28,70	41,00	29,97	33,64	31,14	36,95	39,28

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	73,89	92,00	45,76	42,03	39,99	33,90	38,38	35,51	32,57	38,87
PO4 inorg.	52,64	48,91	17,28	18,42	16,60	14,39	16,90	14,92	13,24	13,86

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	89,54	95,01	21,64	18,69	15,77	17,57	12,52	15,83
PO4 inorg.	65,96	70,00	16,73	11,48	9,62	12,81	9,43	8,06

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	179,09	200,08	33,62	35,10	18,97	21,43	15,36	16,40	14,71	23,12
PO4 inorg.	121,74	144,12	19,78	11,71	11,33	9,68	7,38	9,99	8,62	8,98

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
PO4 total	36,12	35,47	16,45	11,30	12,66	12,44	11,03	10,58	10,19	9,15
PO4 inorg.	34,50	37,39	13,80	11,99	13,56	11,36	9,01	10,81	6,34	6,46

17/07/97	1/30	1/70	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70
PO4 total	124,32	156,99	42,99	54,29	33,19	31,601	27,65	32,78	23,57	25,96
PO4 inorg.	91,56	116,48	22,39	31,69	12,77	11,66	9,28	17,85	7,95	10,14

Concentrações médias de nitrato, nitrito e amônio ($\mu\text{g/L}$), nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	807,52	813,61	688,44	573,37	553,25	673,14	591,88	488,24	599,15	608,48
NO2	204,54	204,97	128,76	115,20	122,25	96,81	93,81	90,64	81,74	89,53
NH4	2130,19	1950,00	1590,83	2020,13	1320,11	1410,22	1080,72	1500,83	1030,24	1210,67

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	574,52	545,05	393,26	406,38		411,35	351,86	343,80	337,21	349,69
NO2	265,40	268,00	132,87	128,72		124,53	105,68	106,24	109,20	111,17
NH4	1530,95	1534,20	1110,00	1048,80		1061,20	1004,39	961,03	1057,25	1018,35

23/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	1188,35	1151,45	1060,45	977,11	928,25	879,54	934,21	756,66	978,03	928,14
NO2	270,22	267,23	138,66	117,93	138,21	112,75	142,27	101,99	142,14	142,26
NH4	1336,55	1445,00	1097,60	1240,55	783,37	795,64	718,59	947,36	543,96	576,52

27/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	899,51	868,38	1066,90	1087,80	1120,05	1115,15	1119,60	1083,40	1097,95	1140,80
NO2	230,71	223,29	130,84	140,05	120,88	114,65	74,43	82,35	82,46	89,70
NH4	796,62	878,43	691,38	745,30	684,03	672,90	548,54	565,91	336,51	384,06

18/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	890,92	868,48	892,84	875,02	820,59	878,65	885,17	685,43	783,25	663,05
NO2	170,12	161,64	139,41	136,84	100,54	114,90	108,74	87,63	91,99	77,70
NH4	674,51	846,61	454,21	732,53	405,89	580,79	618,62	794,56	498,36	760,61

Concentrações médias de nitrato, nitrito e amônio (µg/L), nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

23/01/97	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	1057,15	956,05	1063,90	1077,50	1027,60	976,24	1023,70	957,01
NO2	130,13	115,93	117,23	111,30	88,71	92,10	58,05	66,06
NH4	502,18	667,82	410,89	341,30	202,82	453,12	157,47	320,03

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
NO3	756,08	835,64	832,36	908,75	906,80	891,11	914,67	909,48	884,82	859,93
NO2	78,28	92,27	94,48	67,84	65,23	53,92	70,48	52,11	76,75	87,96
NH4	415,20	411,96	490,65	362,42	446,59	324,55	565,45	331,68	564,80	443,96

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	1278,50	1126,30	1158,10	1175,20	1202,20	1143,90	1116,10	1149,10	962,62	1025,60
NO2	272,56	257,34	230,98	231,02	209,07	205,84	192,28	200,30	104,48	142,36
NH4	1187,40	1252,30	653,50	619,40	428,93	377,92	181,88	155,97	90,03	85,58

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	1064,40	1373,70	683,37	1265,00	1256,50	1249,30	1344,60	1224,70
NO2	246,09	315,14	79,30	175,34	151,06	163,05	40,49	34,72
NH4	1051,20	409,59	180,77	249,71	130,10	132,04	39,70	37,97

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	1171,20	1160,70	1922,20	1908,80	1336,50	1442,30	1492,20	1478,40	1483,90	1515,30
NO2	320,40	318,25	43,99	53,22	7,93	9,63	4,79	6,32	5,83	11,18
NH4	493,46	506,09	39,70	74,28	28,15	26,74	24,43	25,37	23,24	45,18

Concentrações médias de nitrato, nitrito e amônio (µg/L), nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
NO3	536,08	444,58	432,55	473,07	593,87	514,33	520,77	445,57	418,54	446,79
NO2	139,47	142,51	181,33	179,68	145,44	147,99	125,72	141,95	113,09	121,85
NH4	1137,90	1152,80	633,83	805,70	447,06	509,97	42,98	594,63	407,70	421,39

17/07/97	1/30	1/70	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70
NO3	1677,60	1750,20	1473,50	1150,50	1490,20	1432,60	1334,50	1244,80	1342,80	1183,10
NO2	263,57	275,58	158,23	107,81	125,89	122,58	49,68	74,66	48,91	39,75
NH4	1984,90	2057,70	922,81	1370,20	620,73	588,78	250,19	625,23	242,39	404,07

Concentrações médias de silicato (mg/L) nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

22/08/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	7,18	7,53	6,50	6,98	7,26	6,07	14,81	12,50	7,00	6,46

19/09/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	7,58	7,68	6,95	6,57		6,21	5,28	6,16	5,91	6,24

23/10/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	5,98	6,15	5,42	4,98	4,99	5,13	4,61	4,86	4,20	4,13

27/11/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	5,63	5,64	5,62	5,04	4,89	4,90	4,66	4,71	4,39	4,41

18/12/96	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	2,25	2,48	2,29	2,30	2,00	2,02	1,94	2,11	1,89	1,65

23/01/97	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	4,76	4,77	3,91	4,42	4,28	5,02	2,77	3,94

20/02/97	1 / 30	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70	6 / 70
SiO ₂	2,80	3,90	3,33	3,54	3,22	4,11	3,67	3,83	4,09	5,03

20/03/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	6,14	5,89	5,49	5,57	3,87	5,38	5,78	6,12	5,49	4,78

Concentrações médias de silicato (mg/L) nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de incubação.

23/04/97	1 / 30	1 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	3,75	1,87	2,02	2,05	2,84	1,96	2,23	1,84

22/05/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	4,88	4,51	4,80	5,65	4,62	4,48	3,90	5,13	5,47	5,31

25/06/97	1 / 30	1 / 70	2 / 30	2 / 70	3 / 30	3 / 70	4 / 30	4 / 70	5 / 30	5 / 70
SiO ₂	5,77	7,57	7,10	6,48	5,66	6,39	6,70	7,41	6,53	6,33

17/07/97	1/30	1/70	2/30	2/70	3/30	3/70	4/30	4/70	5/30	5/70
SiO ₂	7,79	4,18	5,16	4,70	5,48	5,61	5,22	5,51	5,08	5,46