

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM "CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL"

*QUALIDADE DA ÁGUA, DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS E
SENSORIAMENTO REMOTO : UM ESTUDO DE CASO NOS
RESERVATÓRIOS DO SUB-MÉDIO SÃO FRANCISCO*

Rosângela Sampaio Reis

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

DEDALUS - Acervo - EESC



31100043038

ORIENTADOR: Prof. Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola



São Carlos - SP

2002

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP	
EXEMPLAR REVISADO	
Data de entrada no Serviço: 17/03/03	
Ass.:	

FOLHA DE JULGAMENTO


Candidata: Engenheira ROSANGELA SAMPAÍO REIS

Tese defendida e julgada em 04-10-2002 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Assoc. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA



Prof. Tit. ODETE ROCHA
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADA



Prof. Dra. EVELYN MÁRCIA LEÃO MORAES NOVO
(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE)

Aprovada




Prof. Dra. MARIA DA GRAÇA GAMA MELÃO
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovada

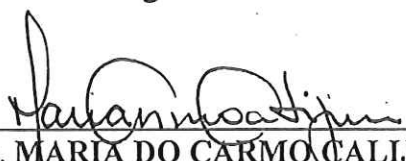


Prof. Dr. WILLIAM SEVERI
(Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE)

Aprovada



Prof. Doutor VALDIR SCHALCH
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental



Prof. Assoc. MARIA DO CARMO CALIJURI
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Dedico

Ao meu marido (pai e mãe muitas vezes), que entendeu minha ausência e sempre esteve com um sorriso e uma palavra de carinho no meu retorno.

Aos meus filhos Victor e Vanessa, minha razão para amar a vida e buscar vivê-la em plenitude.

Aos meus pais Volney Lavénère Reis (em memória) e Maria Pastôra Sampaio Reis, que me ensinaram a importância do estudo, sempre afirmando que o conhecimento é o maior patrimônio que alguém pode adquirir na vida.

Finalmente, as minhas irmãs, pelo amor e constante apoio, torcendo e sofrendo comigo nos momentos difíceis desta fase da minha formação.

A eles dedico este trabalho... e a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof^o Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espíndola pelo constante apoio, orientação e amizade, mostrando os caminhos do conhecimento, abrindo as portas da ciência, estimulando sempre a criatividade e o senso crítico.

À Prof^a Dra Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo pela orientação, estímulo e confiança;

Agradecimento especial ao Prof^o Dr. William Severi, amigo e companheiro de todas as coletas, das horas de fome e calor, estradas de barro e maravilhosos pôr do sol, pela concretização deste trabalho;

À Companhia Hidrelétrica do Vale do São Francisco (CHESF), pelo financiamento desta pesquisa e em especial ao Departamento de Meio Ambiente e ao Departamento de Operação e Recursos Hídricos da CHESF, pelas informações técnicas dos reservatórios estudados.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e ao Programa Institucional de Capacitação Docente (PICD/CAPES) pela bolsa concedida;

Aos pós-graduandos em Ciências da Engenharia Ambiental da turma 98 pela amizade, em especial àqueles que foram minha família em Sanca: Nájila, Adeildo, Sílvio e Iracema e às meninas da “casinha”: Déia, Celina, Rachel e Lu, que sempre mantiveram as portas e braços abertos;

Aos amigos Selêude, Christiano, Aline e Márcio, portos seguros em Sanca.

Aos Técnicos do Laboratório de Limnologia do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da EESC/USP, pelo apoio nas análises físico-químicas e aos funcionários pela amizade.

Aos estagiários e técnicos do Laboratório de Limnologia do Departamento de Pesca da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo companheirismo nas coletas de campo e apoio nas análises físico-químicas;

À todos os meus amigos e familiares, que direta ou indiretamente acompanharam e me estimularam a vencer mais esta etapa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii	
LISTA DE TABELAS	xvii	
RESUMO	xxv	
ABSTRACT	xxvii	
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Processos hidrológicos e hidrodinâmicos e seus efeitos nas características de reservatórios	2
1.2	Quantificação do transporte e deposição de sedimentos em reservatórios	7
1.3	Sensoriamento remoto em ambientes aquáticos	12
2	OBJETIVOS	22
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
3.1	O vale do São Francisco	23
3.2	A importância do rio São Francisco para a Região Nordeste	27
3.3	Características da região no sub-médio São Francisco	32
3.3.1	Geologia	32
3.3.1.1	Geologia Econômica	33
3.3.2	Geomorfologia	34
3.3.2.1	Morfologia e Relevô	34
3.3.2.2	Hipsometria e Declividade	38
3.3.3	Geotecnia	38
3.3.4	Solos	39
3.3.4.1	Descrição dos solos	39
3.3.4.2	Classificação das Terras para Irrigação	43
3.3.5	Climatologia	44
3.3.6	Cobertura vegetal	47

3.3.6.1	Descrição dos Ecossistemas	47
4	METODOLOGIA	49
4.1	Estações e frequência de amostragem	49
4.2	Análise das variáveis	53
4.3	Análise dos dados limnológicos	55
4.3.1	Índice de Estado Trófico (I.E.T.)	55
4.3.2	Análise estatística das variáveis limnológicas	57
4.4	Deposição de material em suspensão nos reservatórios	58
4.5	Aquisição e processamento dos dados digitais.	60
4.5.1	Uso de imagens Landsat na avaliação da distribuição de material em suspensão nos reservatórios.	60
4.5.2	Uso de imagem Landsat na determinação de usos do solo no entorno dos reservatórios.	64
5	RESULTADOS	66
5.1	Variáveis climatológicas	67
5.1.1	Precipitação	67
5.1.2	Temperatura do ar e velocidade do vento	72
5.2	Vazão e tempo de residência da água	73
5.3	Caracterização limnológica dos reservatórios do Sub-médio São Francisco	81
5.3.1	Transparência da água e limite da zona eufótica	81
5.3.2	Temperatura	83
5.3.3	pH	87
5.3.4	Oxigênio dissolvido	88
5.3.5	Condutividade elétrica	91
5.3.6	Nutrientes	92
5.3.6.1	Formas nitrogenadas	92
5.3.6.2	Ortofosfato e Fósforo total	97
5.3.7	Material em suspensão	100
5.3.8	Clorofila <u>a</u> + feofitina	102
5.4	Análise dos parâmetros limnológicos	103
5.4.1	Índice de Estado Trófico (I.E.T.)	103
5.4.2	Análise estatística	111

5.4.2.1	Nutrientes	111
5.4.2.1.1	Fósforo total e ortofosfato	111
5.4.2.1.2	Formas nitrogenadas	116
5.4.2.2	Clorofila <u>a</u> + feofitina	122
5.4.2.3	Material em suspensão	124
5.5	Taxa de sedimentação do material em suspensão e nutrientes nos reservatórios do sub-médio São Francisco	127
5.6	Uso de imagens Landsat no mapeamento da distribuição de material em suspensão nos reservatórios do sub-médio São Francisco.	136
5.6.1	Reflectâncias da imagem de 28 de janeiro de 2000	140
5.6.2	Reflectâncias das imagem de 30 de setembro de 1999 e maio de 2000	150
5.7	Uso de imagem Landsat 5 no mapeamento do uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco.	153
6	DISCUSSÃO	157
6.1	Limnologia comparada dos reservatórios do sub-médio rio São Francisco: análise dos fatores determinantes.	157
6.1.1	Estado Trófico	174
6.2	Deposição de material em suspensão nos reservatórios do Sub-médio rio São Francisco: quantificação e implicações.	177
6.3	Utilização do sensoriamento remoto nos estudos limnológicos: problemas e perspectivas.	182
7	CONCLUSÕES	188
8	BIBLIOGRAFIA	190
	ANEXO A	200
	ANEXO B	228
	ANEXO C	243

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 -	Distribuição vertical de sedimentos que podem ser encontrados em cursos d'água. (Fonte: CARVALHO, 1994)	08
FIGURA 02 -	Radiação detectada por um sensor remoto, a partir de sua interação com um corpo d'água. E_{sol} é a irradiância solar direta; $E_{c\acute{e}u}$ é a irradiância difusa; θ_o é o ângulo zenital; θ_w é o ângulo de refração; θ_s é o ângulo de espalhamento; a é a absorção; n_a é o índice de refração no ar; n_w é o índice de refração na água e s é a superfície da água (Fonte: Modificado de ASFOLDI (1982) e STURM (1980)).	14
FIGURA 03 -	Espectro eletromagnético, transmissividade e comprimentos de onda usados em sensoriamento remoto (Fonte: KRONBERG, (1984))	14
FIGURA 04 -	Influência da presença de partículas na resposta espectral da água.	19
FIGURA 05 -	Localização da bacia do rio São Francisco no território brasileiro (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 12.03.2002).	24
FIGURA 06 -	Localização dos reservatórios do rio São Francisco operados pela Companhia Hidrelétrica do Vale do São Francisco (CHESF) e da área de pesquisa (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 12.03.2002).	25
FIGURA 07 -	O Homem do Nordeste e o "Velho Chico".	28
FIGURA 08 -	Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco em relação à Região Nordeste e ao polígono das secas (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 13.03.2002).	29

FIGURA 09 -	Perímetros irrigados em operação/construção na área de estudo (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 13.03.2002).	30
FIGURA 10 -	Risco de degradação por erosão hídrica no Vale do São Francisco (Fonte: modificado de CHAVES, 1994).	31
FIGURA 11 -	Projeto de piscicultura em tanques-rede instalado no rio São Francisco, no reservatório de Xingó.	32
FIGURA 12	Geomorfologia da região de entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco (Fonte: modificado do Mapa Geomorfológico do RADAMBRASIL, 1983).	37
FIGURA 13 -	Localização do reservatório de Itaparica em relação aos Estados da Bahia e Pernambuco; localização dos pontos amostrados no reservatório e vista parcial da barragem.	50
FIGURA 14 -	Localização do reservatório de Moxotó em relação aos Estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas; localização dos pontos amostrados no reservatório e vista parcial da barragem.	51
FIGURA 15 -	Localização do reservatório de Paulo Afonso I-II-III-IV em relação aos Estados da Bahia, Sergipe e Alagoas; localização dos pontos amostrados no reservatório e vistas parciais das barragens.	52
FIGURA 16 -	Localização das armadilhas de sedimentação instaladas no reservatório de Itaparica, no experimento isolado realizado em março/01.	59
FIGURA 17 -	Câmaras de Sedimentação	59
FIGURA 18 -	Fluxograma do processamento das imagens TM-Landsat 5 e ETM-Landsat 7.	63
FIGURA 19 -	Estações pluviométricas localizadas na Bacia do São Francisco (Rios S.Francisco, Brígida, Pajeú e Curuçá) com delimitação dos postos pluviométricos analisados	69

- FIGURA 20** - Precipitação média mensal nas estações pluviométricas de Airi Rochedo, Serrinha, Belém do São Francisco, Floresta, Serra Talhada e Ibó (sub-bacia 48) e nas estações de Inajá e Delmiro Gouveia (sub-bacia 49) na Bacia do São Francisco, no período de setembro/99 a setembro/00 70
- FIGURA 21** - Valores máximos, mínimos e médios mensais de precipitação entre os valores registrados nas estações pluviométricas de Airi Rochedo, Serrinha, Belém do São Francisco, Floresta, Serra Talhada e Ibó (sub-bacia 48) e nas estações de Inajá e Delmiro Gouveia (sub-bacia 49) na Bacia do São Francisco, no período de setembro/99 a setembro/00. 71
- FIGURA 22** - Variação anual das temperaturas médias mensais do ar na Estação Climatológica de Cabrobró/PE, nos anos de 1998, 1999 e 2000. 72
- FIGURA 23** - Variação anual das velocidades médias mensais do vento na Estação Climatológica de Cabrobró/PE nos anos de 1998, 1999 e 2000. 73
- FIGURA 24** - Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de Itaparica, no período de 1998 a 2001. 74
- FIGURA 25** - Canal escavado na margem direita do reservatório de Moxotó, para que parte de sua vazão afluyente entre no reservatório de PA IV, que opera em paralelo. 75
- FIGURA 26** - Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de Moxotó+PA-IV, no período de 1998 a 2001. 76
- FIGURA 27** - Variação anual das cotas médias mensais (set/00 a ago/01) e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de PA IV, no período de 1998 a 2001. 77
- FIGURA 28** - Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de PA I-II-III, no período de 1998 a 2001. 79

FIGURA 29 -	Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de PA IV, no período de 1998 a 2001.	80
FIGURA 30 -	Visibilidade do disco de Secchi (m) obtidos nas coletas de setembro e dezembro/00, março, junho e setembro/00, no reservatório de Itaparica.	81
FIGURA 31	Visibilidade do Disco de Secchi obtidos nas coletas de setembro e dezembro/00, março, junho e setembro/00, nos reservatórios de Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV.	82
FIGURA 32 -	Variação do limite estimado da zona eufótica e profundidade média das estações de coleta nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA IV e PA I,II,III, durante o período de estudo (Obs: as escalas para a profundidade são diferenciadas).	83
FIGURA 33 -	Valores médios da temperatura na coluna d'água, em todas as estações no período estudado	84
FIGURA 34 -	Variações máximas nos gradientes de temperatura entre a superfície e o fundo, para os reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso IV e Paulo Afonso I,II,III, no período de estudo.	85
FIGURA 35	Variações diárias da amplitude térmica na coluna d'água, medidas no reservatório de Paulo Afonso IV em intervalos de 4 horas, em experimentos instalados em dezembro/00 e março/01.	85
FIGURA 36 -	Variação diária do perfil de temperatura no reservatório de PA IV, em dezembro de 2000 e março de 2001.	86
FIGURA 37 -	Valores médios de pH na coluna d'água em todas as estações, no período estudado.	87
FIGURA 38 -	Concentrações médias de oxigênio dissolvido na coluna d'água em todas as estações, no período estudado.	88

- FIGURA 39** Variações percentuais das concentrações de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água, obtidas na coleta de março/00, nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA-IV. 90
- FIGURA 40 -** Valores médios de condutividade elétrica na coluna d'água em todas as estações, no período estudado. A condutividade na estação SF12, em março e junho/00, foi de 532 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 344,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. 91
- FIGURA 41 -** Concentrações de amônia nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações, no período estudado. A concentração de amônia na estação SF12 em março/00 93
- FIGURA 42 -** Concentrações de nitrito nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações, no período estudado. Na estação SF12 a concentração de nitrito, em março/00, foi de 0,1128 $\mu\text{g}/\text{l}$. 94
- FIGURA 43 -** Concentrações de nitrato nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. 95
- FIGURA 44 -** Concentrações de nitrogênio orgânico total nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. Na estação SF12 a concentração em março/00 foi de 9,014 mg/l . 96
- FIGURA 45 -** Concentrações de ortofosfato nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. Na estação SF12, nas coletas de março e setembro/00, as concentrações foram de 35,8 e 39,85 $\mu\text{g}/\text{l}$, respectivamente. 98

- FIGURA 46 -** Concentrações de fósforo total nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. A concentração obtida em março de 2000 na estação SF12 foi de 604,57 µg/l. 99
- FIGURA 47 -** Concentrações de material em suspensão nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. 101
- FIGURA 48 -** Concentrações de clorofila_a + feofitina nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. 102
- FIGURA 49 -** Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila a (Cl); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de setembro/99. 106
- FIGURA 50 -** Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila a (Cl); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de dezembro/99. 107
- FIGURA 51 -** Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila a (Cl); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de março/00. 108
- FIGURA 52 -** Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila a (Cl); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de junho/00. 109
- FIGURA 53 -** Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila a (Cl); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de setembro/00. 110

FIGURA 54 -	Média e desvio padrão da logaritmo das concentrações de ortofosfato em relação em relação à profundidade de coleta (S-superfície, M-meio e F-fundo) nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4), para o período de seca e de chuva.	112
FIGURA 55 -	Médias e desvios padrão do logaritmo das concentrações de ortofosfato em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).	112
FIGURA 56 -	Média e desvio padrão do logaritmo das concentrações de ortofosfato em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).	113
FIGURA 57 -	Média e desvio padrão das concentrações de fósforo total em relação à profundidade de coleta (S-superfície, M-meio e F-fundo) nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4), para o período de seca e de chuva.	114
FIGURA 58 -	Médias e desvios padrão das concentrações de fósforo total em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).	115
FIGURA 59 -	Média e desvio padrão das concentrações de fósforo total em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).	116
FIGURA 60 -	Médias e desvios padrão das concentrações de nitrito em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).	117
FIGURA 61 -	Média e desvio padrão das concentrações de nitrito em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).	118
FIGURA 62 -	Média e desvio padrão das concentrações de nitrato em relação aos períodos de seca e chuva.	119

- FIGURA 63** - Média e desvio padrão das concentrações de nitrogênio total em relação à profundidade de coleta (S-superfície, M-meio e F-fundo) nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4), para o período de seca e de chuva. 120
- FIGURA 64** - Médias e desvios padrão das concentrações de nitrogênio total em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4). 121
- FIGURA 65** - Média e desvio padrão das concentrações de nitrogênio total em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4). 121
- FIGURA 66** - Média e desvio padrão das concentrações de clorofila em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4). 123
- FIGURA 67** - Comparação entre as médias (\pm erro padrão) de LN (MST) do período seco e chuvoso. A média do período seco diferiu significativamente do período chuvosos ($p < 0,05$). 125
- FIGURA 68** - Comparação entre as médias de LNSST do período seco e chuvoso para os diferentes reservatórios. As médias do período seco diferiram significativamente do período chuvosos ($p < 0,05$). 125
- FIGURA 69** - Comparação entre as médias (\pm erro padrão) de LN (MST) dos reservatórios. As médias não diferiram significativamente ($p > 0,05$). 126
- FIGURA 70** - Comparação entre as médias (\pm erro padrão) de LN (MST) de diferentes profundidades. As médias não diferiram significativamente ($p > 0,05$). 126

FIGURA 71 -	Varição temporal e espacial da fração inorgânica (MSI) e orgânica (MSO) do material em suspensão total depositado nas câmaras de sedimentação (instaladas nas estações: SF01, SF02, SF09, SF10, SF12, SF15, SF16, SF18 e SF23), nas coletas de dezembro de 1999 e junho de 2000.	128
FIGURA 72 -	Taxa de deposição de material em suspensão total nas câmaras de sedimentação na coleta de dezembro de 1999.	130
FIGURA 73 -	Taxa de deposição de material em suspensão total nas câmaras de sedimentação na campanha de junho de 2000.	131
FIGURA 74 -	Regressão linear entre as taxas de sedimentação e a soma das concentrações de MST na superfície e meio da coluna d'água.	133
FIGURA 75 -	Reta de regressão linear obtida para os valores das taxas de deposição e as distâncias entre as estações e a barragem em cada reservatório.	133
FIGURA 76 -	Deposição de nitrogênio total nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de exposição, em dezembro de 1999 e junho de 2000.	135
FIGURA 77 -	Deposição de fósforo total nas câmaras de sedimentação, após ex-posição de 24 horas, em dezembro de 1999 e junho de 2000.	135
FIGURA 78 -	Localização dos quadrantes em cenas do satélite Landsat.	136
FIGURA 79 -	Composições coloridas das bandas 3, 4 e 5 da cena 216-66, obtidas pelos satélites Landsat 5 ou Landsat 7, durante o período de estudo.	137
FIGURA 80 -	Composições coloridas das bandas 3, 4 e 5 da cena 216-66, obtidas pelos satélites Landsat 5 ou Landsat 7, durante o período de estudo.	138
FIGURA 81 -	Reta de regressão entre valores de concentrações de material em suspensão no meio da coluna d'água (MSTm) e dados espectrais na banda 4.	143
FIGURA 82 -	Reta de regressão entre valores de concentrações de material em suspensão no meio da coluna vertical (MSTm) e dados espectrais na banda 3.	143

- FIGURA 83 -** Mapa da distribuição de material em suspensão (MST) nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida com as concentrações de material em suspensão no meio da coluna d'água (MSTm), em março de 2000, e reflectâncias médias na banda 4 da imagem de janeiro de 2000 144
- FIGURA 84 -** Mapa da distribuição de material em suspensão (MST) nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida com as concentrações de material em suspensão no meio da coluna d'água (MSTm), em março de 2000, e reflectâncias médias na banda 3 da imagem de janeiro de 2000. 145
- FIGURA 85 -** Reta de regressão entre valores de concentrações de TSS na superfície e dados espectrais na banda 4. 146
- FIGURA 86 -** Reta de regressão entre valores de concentrações de TSS na superfície e dados espectrais na banda 3. 146
- FIGURA 87 -** Mapa da distribuição de TSS nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida entre TSSs e reflectâncias na banda 4. 147
- FIGURA 88 -** Mapa da distribuição de TSS nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida entre TSSs e reflectâncias na banda 3. 148
- FIGURA 89 -** Concentrações de material em suspensão obtidas a partir das médias em clusters de 7x7 nos mapas de distribuição do MST, na superfície (B3-MSTs e B4-MSTs) e meio (B3-MSTm e B4-MSTm) gerados a partir das regressões lineares entre dados das amostras de campo e reflectâncias nas bandas 3 e 4; e ainda concentrações de material em suspensão dessas amostras (MST-amostra). 149
- FIGURA 90 -** Uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco, a partir do processamento da imagem Landsat 5, cena 216-66, obtida em janeiro/00. 154

FIGURA 91 -	Percentuais de caatinga degradada nas amostras tomadas em regiões próximas às estações SF01, SF02, SF09, SF10, SF12, SF15, SF18, SF23.	156
FIGURA 92 -	Estação de amostragem no rio Moxotó (SF12), na coleta de março/00.	160
FIGURA 93 -	Níveis de susceptibilidade à desertificação e processo de desertificação no Brasil (Fonte: modificado de www.desert.org.br em 24.07.2002).	162
FIGURA 94 -	Vegetação característica da região semi-árida.	163
FIGURA 95 -	Esquema do aporte de material em suspensão ao reservatório de Itaparica.	164
FIGURA 96 -	Distribuição de material ao longo de um reservatório não estratificado, recebendo um fluxo com (a) concentração constante e (b) mesmo fluxo com concentrações variáveis (Modificado de KENNEDY & WALKER (1990)).	173
FIGURA 97 -	Efeitos combinados de mudanças de concentração e fluxo afluentes na distribuição temporal e espacial de materiais em reservatórios (Modificado de KENNEDY & WALKER (1990))	173
FIGURA 98 -	Variação das taxas de deposição ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$) ao longo do reservatório de Itaparica em dezembro/99 e junho/00.	178
FIGURA 99	Mapas das áreas de maior concentração de material em suspensão total (MST) na coluna vertical a partir da regressão entre os dados coletados na superfície (MSTs) e meio (MSTm) da coluna d'água em março/00 e dados espectrais da banda 4 (a) e da banda 3 (b), da imagem Landsat 5 de janeiro/00	186

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Resoluções espectrais dos sensores TM do satélite Landsat5 e ETM+ do Landsat 7.	17
TABELA 02 - Características dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio São Francisco (Fonte: modificado de CHESF (1999)).	26
TABELA 03 - Dias de chuva, médias mensais de precipitação e valores acumulados no período de estudo para os postos próximos às estações de coleta.	201
TABELA 04 - Temperatura do Ar (° C) e Velocidade do Vento (m/s) medidos na estação de Cabrobró-PE, no período de 1998 a 2000.	202
TABELA 05 - Vazões médias mensais turbinadas nos reservatórios de Itapa-rica; Complexo Moxotó+PA-IV; PA I-II-III e PA-IV.	203
TABELA 06 - Tempo de residência da água (em dias) nos reservatórios de Itaparica; Complexo Moxotó+PA-IV; PA I-II-III e PA-IV, determinados para as vazões médias mensais e para a vazão de projeto.	204
TABELA 07 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água da Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade e Secchi, relativos à campanha de setembro/99.	205
TABELA 08 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água da Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade e Secchi, relativos à campanha de dezembro/99.	206

TABELA 09 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água da Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade e Secchi, relativos à campanha de março/00.	207
TABELA 10 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água da Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade e Secchi, relativos à campanha de junho/00.	208
TABELA 11 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água da Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade e Secchi, relativos à campanha de setembro/00.	209
TABELA 12 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total, relativos à campanha de setembro/99.	210
TABELA 13 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total, relativos à campanha de dezembro/99.	211
TABELA 14 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total, relativos à campanha de março/00	212
TABELA 15 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total, relativos à campanha de junho/00.	213
TABELA 16 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total, relativos à campanha de setembro/00.	214
TABELA 17 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de setembro/99.	215

TABELA 18 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de dezembro/99.	216
TABELA 19 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de março/00.	217
TABELA 20 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de junho/00.	218
TABELA 21 -	Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de setembro/00.	219
TABELA 22 -	Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO ₄), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em setembro/99.	220
TABELA 23 -	Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO ₄), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em dezembro/99.	221

TABELA 24 -	Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO ₄), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em março/00.	222
TABELA 25 -	Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO ₄), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em junho/00.	223
TABELA 26 -	Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO ₄), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em setembro/00.	224
TABELA 27 -	Significância das interações entre as variáveis RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de ortofosfato.	114
TABELA 28 -	Significância das interações entre as variáveis RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrogênio amoniacal.	116
TABELA 29 -	Significância das interações entre as variáveis RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrito.	117

TABELA 30 -	Significância das interações entre as variáveis RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrato	119
TABELA 31 -	Significância das interações entre as variáveis RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrogênio total.	122
TABELA 32 -	Significância das interações entre as variáveis RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de clorofila	123
TABELA 33 -	Resultados da ANCOVA para LN(MST). As causas de variação com efeitos significativos ($p < 0,05$) foram destacados em negrito	124
TABELA 34 -	Concentrações médias de material em suspensão total nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de exposição, e percentuais das frações inorgânicas e orgânicas nos dois experimentos realizados.	127
TABELA 35 -	Taxas de deposição de material em suspensão total, nas câmaras de sedimentação, observados em dezembro de 1999 e junho de 2000.	225
TABELA 36 -	Coefficientes de correlação de Pearson obtidos entre as taxas de sedimentação e os valores de profundidade de Secchi; concentrações de material em suspensão na superfície e no meio da coluna d'água (MSTs e MSTm); soma das concentrações de MST na superfície e meio (MSTs+MSTm), bem como o coeficiente de correlação entre a taxa de sedimentação e a distância da estação amostrada até a barragem localizada à jusante desta.	132
TABELA 37 -	Taxas de deposição de nitrogênio e fósforo totais nas câmaras de sedimentação para os experimentos de dezembro de 1999 e junho de 2000.	225

TABELA 38 -	Valores percentuais da cobertura de nuvens nos quadrantes A, B, C e D das cenas TM Landsat 5 e ETM ⁺ Landsat 7, obtidas em consulta à Divisão de Geração de Imagens do INPE (http://www.dgi.inpe.br).	139
TABELA 39 -	Reflectâncias médias nos <i>clusters</i> de 7x7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, nas bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat 5, cena 216-66, de 28 de janeiro de 2000.	140
TABELA 40 -	Coefficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em <i>clusters</i> de 7x7 pixels, da imagem do Landsat 5 de janeiro de 2000 e dados de concentrações de material em suspensão total na superfície (TSSs), material em suspensão total no meio da coluna d'água (TSSm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações obtidas na campanha de dezembro de 1999. Os valores em negrito são significativos a 95%.	141
TABELA 41 -	Coefficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em <i>clusters</i> de 7x7 pixels, da imagem do Landsat 5 de janeiro de 2000, e dados de concentrações de sólidos suspensos totais na superfície (TSSs), sólidos suspensos totais no meio da coluna d'água (TSSm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações obtidas na campanha de março de 2000. Os valores em negrito são significativos a 95%.	142
TABELA 42 -	Concentrações de material em suspensão obtidas a partir das médias em clusters de 7x7 nos mapas de distribuição na superfície (B3-MSTs e B4-MSTs), gerados a partir dos dados espectrais das bandas 3 e 4; concentrações de material em suspensão das amostras coletadas em março/00 (MSTs-amostra) e erro médio entre os dois conjuntos de dados.	226

TABELA 43 -	Concentrações de material em suspensão obtidas a partir das médias em clusters de 7x7 nos mapas de distribuição no meio da coluna d'água (B3-MSTm e B4-MSTm), gerados a partir dos dados espectrais das bandas 3 e 4; concentrações de material em suspensão das amostras coletadas em março/00 (MSTm-amostra) e erro médio entre os dois conjuntos de dados.	227
TABELA 44 -	Reflectâncias médias nos clusters de 7x7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, nas bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat 7, cena 216-66, de 30 de setembro de 1999.	151
TABELA 45 -	Reflectâncias médias nos clusters de 7x7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, nas bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat 7, cena 216-66, de maio de 2000.	151
TABELA 46 -	Coefficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em clusters de 7x7 pixels, da imagem do Landsat 5 de setembro de 1999, e dados de concentrações de sólidos suspensos totais na superfície(TSSs), sólidos suspensos totais no meio da coluna d'água (TSSm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações, obtidas na campanha de setembro de 1999.	152
TABELA 47 -	Coefficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em clusters de 7x7 pixels, da imagem do Landsat 5 de setembro de 1999, e dados de concentrações de sólidos suspensos totais na superfície(TSSs), sólidos suspensos totais no meio da coluna d'água (TSSm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações, obtidas na campanha de maio de 2000.	152
TABELA 48 -	Classificação do uso e ocupação da área de entorno dos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA IV.	153

RESUMO

REIS, R.S. (2002). *Qualidade da água, deposição de sedimentos e sensoriamento remoto: um estudo de caso nos reservatórios do sub-médio São Francisco*. 247 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

No modelo energético adotado pelo Brasil a água foi considerada a principal fonte de geração de energia e a primeira intervenção direta do governo federal na produção de eletricidade aconteceu em 1945, quando foi criada a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), com a tarefa principal de construir e operar a Usina de Paulo Afonso I – inaugurada em 1955, cuja potência instalada representava quase o dobro da capacidade total de geração na região. Após este período, diversos reservatórios foram construídos no país e, dentre estes, sete foram implantados no rio São Francisco, abrangendo os estados de Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco. Em geral, a construção de reservatórios causa diversas alterações na bacia hidrográfica, uma vez que as atividades desenvolvidas antes, durante e após a construção das barragens determinam modificações sociais, econômicas e ambientais. Além disso, conforme o uso do reservatório, sua operação influencia a reciclagem e acúmulo de nutrientes, o crescimento do fitoplâncton, o desenvolvimento de macrófitas aquáticas, o depósito de materiais em suspensão e o seu estado trófico, entre outros efeitos a curto, médio e longo prazo. Para avaliar a situação atual dos reservatórios em cascata do sub-médio São Francisco (Itaparica, Moxotó, Complexo Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV), coletas foram efetuadas em 23 estações de amostragem, entre 1999 e 2000, procurando-se determinar o aporte e sedimentação de material em suspensão, as variações na qualidade da água e o reconhecimento das áreas de maior impacto para os sistemas. Para tanto, amostras de água (variáveis físicas, químicas e biológicas), material sedimentável (utilizando-se câmaras de sedimentação), imagens de satélite, dados climatológicos e de funcionamento dos reservatórios (vazão e tempo de residência) foram obtidos, procurando-se realizar uma análise espacial (longitudinal e

vertical) e temporal (ciclo anual). Os resultados obtidos demonstram uma influência sazonal (efeitos diretos e indiretos da precipitação) nas variáveis ambientais analisadas, com maior aporte e deposição de materiais em suspensão na porção superior do reservatório de Itaparica e a formação de um gradiente longitudinal no sentido rio-barragem, com posterior decréscimo nos demais sistemas, o que também foi verificado para as concentrações de material em suspensão. As diferenças entre os valores das variáveis físicas e químicas obtidas em alguns tributários caracterizam o uso diferenciado nas margens dos reservatórios (áreas de caatinga degradada, irrigação e adensamento populacional, por exemplo), destacando-se, dentro do sistema, a porção superior do rio Moxotó. Contudo, a partir das variáveis analisadas, verifica-se que os ambientes ainda estão preservados, apresentando características oligotróficas no período seco e oligo-mesotróficas no período de chuvas. A inclusão de dados espectrais permitiu a obtenção de um modelo de distribuição do material em suspensão nos reservatórios, durante o período de chuvas, onde altas correlações foram verificadas com a banda 3 e 4 do satélite Landsat 5 ($r = 0,84$ e $r = 0,88$, respectivamente), abrindo uma perspectiva de estudos para que monitoramento desta variável possa ser feito a partir da aquisição de outras imagens de satélite, principalmente, em virtude do lançamento de novas plataformas, com melhores resoluções espaciais e espectrais.

Palavras - chave: rio São Francisco; reservatórios, qualidade de água, sedimentação, sensoriamento remoto; limnologia.

ABSTRACT

REIS, R.S. (2002) . **Water quality, sedimentation rates, and remote sensing: a case study in the reservoirs of the lower mid-section of the São Francisco river.** 247 p. Thesis (PhD) – São Carlos School of Engineering, University of São Paulo.

Water has long been considered the main source of electricity generation in Brazil, and the first direct participation of the federal government in power generation occurred in 1945, when the São Francisco Hydroelectric Company (CHESF) was established. Its major task was to build and run the Paulo Afonso Power Plant I, which came into operation in 1955 with an installed capacity nearly twice the then total generating capacity of the region. Afterwards, several reservoirs were constructed throughout the country, seven of which along the São Francisco river in the states of Minas Gerais, Bahia, Sergipe, Alagoas, and Pernambuco. The construction of reservoirs generally brings about a great deal of alteration to the river basin. After all, social, economic and environmental changes result from the activities carried out before, during, and after construction of the dams. In addition to other short-, mid-, and long-term effects, reservoir purpose and operation influence the recycling and retention of nutrients, the growth of phytoplankton, the development of aquatic macrophytes, the settling of particulate matter, and the trophic state of the reservoir itself. In order to assess the current situation of the cascading reservoirs along the lower mid-section of the São Francisco (Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso system I-II-III, and Paulo Afonso IV), water was sampled in 23 stations throughout 1999 and 2000 to determine the input and the sedimentation of particulate matter, the changes in water quality, and the areas of greatest impact. To carry out a spatial (horizontal and vertical) and time-based (annual cycle) analysis, water samples (physical, chemical, and biological variables), particulate material (making use of sediment traps), satellite images, climatic data, and reservoir operational information (withdrawal and water residence time) were obtained. The results show seasonal influences (direct and indirect effects of rainfall) on the environmental variables, with greater input and settling of particulate matter on the upper portion

of the Itaparica reservoir and the formation of a longitudinal gradient from river to dam. There was a decrease in these variables and in the concentration of particulate matter further downstream. The different results between the physical and chemical variables in some tributaries stem from the contrasting use of the soil along reservoir banks (e.g., degradation of the brushwood, irrigation and urban concentration), especially in the upstream portion of the Moxotó river. However, based on the assessed variables, it can be attested that the environmental settings are well preserved, exhibiting oligotrophic and oligo-mesotrophic characteristics in the dry and rainy seasons, respectively. The use of spectral data made it possible the design of a distribution pattern of the suspended sediment in the reservoirs during the rainy season. Significant correlations were seen with bands 3 and 4 of the Landsat satellite ($r = 0.84$ and $r = 0.88$, respectively), enabling this variable to be monitored with the acquisition of others images from satellites with better spectral and espacials resolution.

Keywords: São Francisco River; reservoirs, water quality, sedimentation, remote sensing; limnology.

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento demográfico e a conseqüente demanda de energia, tem levado à construção de inúmeros reservatórios em diversas áreas do país, tanto em regiões desenvolvidas economicamente, como a região Sul e Sudeste (reservatórios em cascata do rio Tietê e Paraná, por exemplo), quanto em regiões de menor desenvolvimento sócio-econômico, notadamente a região Norte (como os reservatórios de Balbina, Samuel, Tucuruí) e Nordeste (reservatórios instalados no São Francisco, como Sobradinho, Itaparica, Complexo de Paulo Afonso e Xingó). Estima-se que as 50 maiores barragens e lagos artificiais, construídos para a geração de energia elétrica, tenham inundado no território brasileiro uma área superior a 31200 km² (SPERLING, 1999).

Os reservatórios vêm atender pressupostos de crescimento e melhoria de qualidade de vida, com maior disponibilidade de água para consumo humano, irrigação, dessedentação de animais, geração de energia e lazer. A tarefa de utilização racional e controle ambiental antes, durante e após sua construção e operação são imprescindíveis para que todas suas múltiplas funções sejam atendidas em sua plenitude.

Apesar de ser considerado como uma fonte de energia "limpa", a implantação de reservatórios propicia diversas modificações ambientais, uma vez que a barragem do canal fluvial leva à alteração permanente do ritmo natural do seu fluxo e de sua vazão, causando, por exemplo, modificações na velocidade da água. Neste processo, sistemas lóticos são transformados em lênticos e, conseqüentemente, ocorrem modificações na estrutura e no padrão de funcionamento do sistema a partir de alterações hidrológicas e geológicas (BRANCO & ROCHA, 1977). Além dos impactos naturais, a construção de reservatórios também induz importantes impactos sociais, culturais e paisagísticos, os quais, juntamente com os primeiros, extrapolam a escala temporal e espacial dimensionada previamente como área e período de influência do impacto ocasionado por sua construção. Estes problemas devem ser equacionados de maneira integrada, observando-se as causas e efeitos das intervenções humanas e interpretando-se as condições ambientais da área estudada de modo

a permitir que sejam traçadas diretrizes de desenvolvimento adequadas ao meio físico e biológico.

Segundo STRASKRABA *et al.* (1993), a visão holística pressupõe que o único meio de entendimento de um sistema é o estudo deste como um todo. Este conceito, aplicado à natureza, implica na análise do ecossistema com todos os seres vivos, suas inter-relações e interações com o ambiente que os cerca. Aplicado a reservatórios, esta abordagem deve incluir o estudo de sua estrutura biológica dinâmica, entradas, saídas e contribuições das áreas de entorno. Ainda segundo o autor, o pensamento simplista que observava apenas os efeitos macrogeográficos não pode mais ser considerado. Novos paradigmas foram incorporados aos estudos limnológicos e levam em consideração a escala temporal, a hidrologia, a hidrodinâmica, a compreensão do ambiente como sistema multivariado, diferentes morfometrias, qualidades óticas, estruturas tróficas, diversidade de espécies e níveis de produtividade.

Neste sentido, a avaliação do processo sedimentológico em reservatórios deve levar em conta desde as causas do processo erosivo relacionadas à área de entorno e suas peculiaridades, tais como: características e composição do solo, declividades, hidrologia, usos da terra; bem como a função do reservatório dentro da região, sua morfometria e operação. Neste contexto, é importante ressaltar que os processos de sedimentação em reservatórios comprometem a sua vida útil e promovem alterações nas suas características físicas, químicas e biológicas.

1.1 Processos hidrológicos e hidrodinâmicos e seus efeitos nas características de reservatórios.

Ao contrário dos lagos naturais, reservatórios e barragens são obras de engenharia projetadas e construídas para atender usos específicos. A ligação entre o porquê da construção, como e onde eles foram construídos e a maneira como são operados determinam suas características limnológicas. O entendimento destes mecanismos fornece uma melhor compreensão da limnologia dos reservatórios e oferece meios para o desenvolvimento e implementação de estratégias ecológicas de manejo, conforme mencionado por KENNEDY (1999). Este autor afirma, ainda, que a influência da localização geográfica pode ser observada a partir das inter-relações entre quantidade e distribuição da pluviosidade local, radiação solar incidente, tipo de solo, topografia, declividade e influências potenciais

naturais e antropogênicas, as quais, por sua vez, influenciam as entradas de material orgânico e inorgânico nos reservatórios, a disponibilização de nutrientes e o aumento da turbidez.

Reservatórios construídos em regiões áridas ou semi-áridas, diferentemente de reservatórios de regiões temperadas, sofrem influência das baixas precipitações (geralmente em torno de 200 a 300 mm e 300 a 500 mm anuais, respectivamente) que ocorrem com altas intensidades e curta duração. Estas chuvas podem ser consideradas como de alto potencial erosivo, pois provocam uma maior desagregação das partículas de solo e carreamento para os cursos d'água (SILVA *et al.*, 1986).

Nos casos em que a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração ou de saturação do solo, inicia-se um escoamento laminar superficial, que num primeiro momento acumula-se em micro-depressões até seu total preenchimento, seguindo seu escoamento sobre o terreno até alcançar os cursos d'água. Ainda associado a esse processo, parte da água vai compor o lençol subterrâneo, ser evaporada ou transpirada pela plantas (SILVEIRA, 1993).

Quando se avalia a distribuição espacial das chuvas, atingindo locais afastados da bacia, e o lapso de tempo transcorrido até a percepção dos processos diretamente sobre o corpo d'água, alguns fatores como declividade, profundidade da camada superficial do solo e potencial erosivo das chuvas são importantes. Estudos de BRAUD *et al.* (1999), sobre o lapso de reação entre a precipitação e o escoamento, na bacia do Divisadero Largo, na Argentina, demonstraram que o reflexo da precipitação sobre a bacia hidrográfica ocorreu rapidamente, em menos de uma hora após o início da chuva. Para isso, pode ter contribuído o fato de que a região de estudo era semi-árida com baixas precipitações (200-300 mm por ano) e topografia caracterizada por elevadas declividades. Segundo VILLELA & MATTOS, (1975) outras características físicas das bacias podem estar associadas ao lapso de tempo deste reflexo em reservatórios e lagos, como a ordem dos rios afluentes ao reservatório, o fator de forma e a densidade de drenagem da bacia na qual estão inseridos.

O tipo de solo da bacia e a atuação de fatores externos, como ventos, insolação e chuvas torrenciais ou sazonais de alta intensidade, aumentam o processo de desagregação das partículas e seu transporte até os cursos d'água, conforme observado por THORNTON & RAST (1993). Estes autores, ao analisarem 113 reservatórios de zonas semi-áridas, verificaram que, por estarem inseridos em solos pobres e muito susceptíveis à erosão, a ocorrência das chuvas sazonais, na forma de tempestades com alto potencial erosivo, resultaram no carreamento de altas concentrações de sólidos em suspensão e na entrada de nutrientes de fontes difusas no sistema. A extrema variabilidade hidrológica promoveu,

nesses ambientes, significativas variações intra-anuais de volume, área superficial, tempo de residência e profundidade.

THORTON & RAST (1993) afirmam, ainda, que foram verificadas diferenças significativas nas respostas limnológicas e nos processos de eutrofização nos reservatórios das regiões semi-áridas quando comparados àqueles de regiões temperadas. Nos primeiros foram observadas a ocorrência de alta turbidez (valor médio de profundidade de Secchi de 1,2 m), baixa razão nitrogênio:fósforo (valor médio de 4,3 ; com o nitrogênio sendo o fator limitante) e baixas concentrações de clorofila-a (valor médio de 4 µg/L).

A entrada de material erodido da bacia no reservatório ocorre de maneira difusa e o transporte e deposição desse material estão relacionados à morfometria e à operação do reservatório. A análise desses processos deve ser mais acurada em alguns sistemas construídos para atender demandas de energia ou abastecimento, formados pela associação entre reservatórios de rios diferentes ou em sistemas de reservatórios em cascatas construídos em um mesmo rio. Como exemplo desses últimos sistemas, podem ser citadas as cascatas de reservatórios construídas no rio Vltava na Tchecoslováquia e nos rios Tiête, Paraná e São Francisco no Brasil (STRASKRABA *et al.*, 1993; BARBOSA *et al.*, 1999; ROCHA *et al.*, 1999a).

Segundo STRASKRABA *et al.* (*op. cit.*), no estudo da limnologia de reservatórios em cascata, pode-se considerar o primeiro deles como um sistema isolado, pois o que faz com que a limnologia desses sistemas seja diferenciada é o efeito produzido pelo reservatório de montante no reservatório de jusante, sendo que a intensidade de influência do anterior nos demais está ligada à distância entre os reservatórios, à trofia do reservatório de montante e à ordem dos reservatórios dentro da cascata.

Estudos realizados por STRASKRABA *et al.* (*op. cit.*) em reservatórios implantados em épocas distintas no rio Vltava permitiram avaliar o efeito da construção de reservatórios em cascata sobre a limnologia dos reservatórios de jusante. O reservatório de Slapy funcionava como um sistema fechado até a construção do reservatório de Orlik à montante, quando passou a fazer parte de um sistema em cascata. O reservatório de Orlik, por estar à montante, passou a funcionar como uma câmara de retenção de nutrientes e sedimentos, provocando uma redução na concentração de algumas das variáveis limnológicas medidas previamente no lago Slapy, quando este ainda funcionava como sistema isolado.

Com a retenção de nutrientes à montante, existe a tendência de ocorrer uma menor produtividade e consideráveis diferenças nas características físicas, químicas e biológicas nos reservatórios localizados à jusante, ao longo do sistema em cascata. No entanto, dependendo dos usos da bacia, os reservatórios à jusante podem apresentar maior grau de

trofia, como observado por MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (2000), por exemplo, nos reservatórios em cascata do rio Tietê.

A operação do reservatório está obviamente associada a todas essas variáveis inerentes à escolha do local, função e projeto de construção. Nesse contexto, a operação do reservatório constitui uma série de ações visando o controle das vazões de saída com o objetivo de atender prontamente aos usos dimensionados em seu projeto. Reservatórios construídos para regularização de vazão ou controle de cheias contam em seu projeto com a previsão de um volume de espera calculado a partir de análises históricas da hidrologia local, enquanto que reservatórios conhecidos como “a fio d’água”, ou seja, sem volume de espera, trabalham teoricamente com vazões iguais de entrada e saída. Os primeiros apresentam grandes variações de volumes, alterando significativamente o tempo de residência e a profundidade média, enquanto os do segundo grupo mantêm o volume e a profundidade média constantes, com a variação do tempo de residência ocorrido em função do fluxo de saída. Segundo KENNEDY (1999), foram observadas grandes diferenças na razão volume máximo do reservatório/ tempo de retenção hidráulica em função do tipo de operação adotada para os reservatórios. Neste sentido, quando os usos predominantes são abastecimento, agricultura e recreação, utiliza-se a manutenção de um volume equivalente a 60% da capacidade máxima, enquanto que para reservatórios de hidrelétricas, adota-se um volume próximo a 100%.

Alguns autores como STRASKRABA *et al.* (1999a), TUNDISI *et al.* (1993), e AGOSTINHO *et al.* (1999) consideram o tempo de residência da água em reservatórios como fator decisivo na composição de sua biota e de suas características físicas e químicas. ROSA *et al.* (1991) destacam esta influência nas transformações (decomposição, mineralização, dissolução, adsorção, coagulação, precipitação e degradação bacteriana) que ocorrem nas partículas em suspensão presentes nos cursos d’água.

Grandes reservatórios, com elevados tempos de retenção, apresentam um gradiente horizontal e vertical de suas variáveis físicas e químicas bem desenvolvido, um crescimento considerável do plâncton e diversidade de peixes. Esta situação é favorecida pela formação de três zonas no reservatório, subdivididas de acordo com a variabilidade horizontal : a) zona de desembocadura do rio para o reservatório (zona lótica), com fluxo relativamente alto, deposição de sedimentos mais pronunciada, redução da transparência e limitação da produtividade pela luz; b) zona de transição, caracterizada por um fluxo mais reduzido, uma menor turbidez e maior produtividade e c) zona lacustre, onde o fluxo é muito baixo, a água encontra-se relativamente transparente e a produtividade é limitada pela disponibilidade de nutrientes (STRASKRABA *et al.*, *op. cit.*; ESPÍNDOLA, 2002).

LEITE (1998), por exemplo, analisando mensalmente a taxa de sedimentação no reservatório de Salto Grande, obteve uma relação inversa entre a entrada e concentração de material em suspensão e a penetração de luz na água, verificando um gradiente horizontal da estação 1 (zona lótica) em direção à estação 5 (zona lacustre). No período de agosto/96 a julho/97, o autor obteve concentrações de material em suspensão na superfície da água entre 10,94 e 311,80 mg/L na estação 1 e entre 4,87 e 21,03 mg /L na estação 5 e valores de profundidades de Secchi entre 0,10 e 0,70 m na estação 1 e entre 0,40 e 2,30 m na estação 5, verificando que as máximas concentrações de material em suspensão e mínimas profundidades de Secchi ocorreram na estação de chuvas (janeiro e fevereiro/97).

A morfometria também influencia a retenção ou o transporte de material dentro dos reservatórios. Muitos reservatórios no Brasil apresentam forma dendrítica, o que favorece uma hidrodinâmica diferenciada nos diversos compartimentos e maior tempo de retenção nos braços, quando comparados ao canal central, influenciando significativamente a dinâmica dos reservatórios. Já reservatórios relativamente rasos, localizados em áreas planas, com profundidades médias bem menores que as máximas encontradas próximas à barragem (em torno de 20 a 25 m), apresentam grandes áreas superficiais. Nestes, pode haver um regime de completa mistura da coluna d'água, desde que a energia cinética dos ventos seja suficiente, o que facilita a modelagem ou monitoramento. Em reservatórios mais complexos, diversos compartimentos devem ser analisados e as singularidades consideradas na avaliação do conjunto, o que aumenta as dificuldades de gerenciamento (TUNDISI *et al.*, 1993).

Segundo ESPÍNDOLA (2002), ocorrem reduções nas concentrações de oxigênio dissolvido e aumento nas concentrações de matéria orgânica e nutrientes nos braços dos reservatórios em função da baixa circulação da água nesta região. A entrada desta água no corpo do reservatório promove modificações nas suas características físicas, químicas e biológicas.

ROCHA *et al.*(1999b), por exemplo, ao contrário da homogeneidade observada no corpo central, encontraram estratificações térmicas e químicas nas áreas laterais (braços), com um maior enriquecimento da comunidade zooplânctônica e maior concentração de clorofila no reservatório de Xingó (Alagoas/Sergipe).

TUNDISI (1988), na sua avaliação dos impactos ecológicos das construções de represas, refere-se a outros problemas associados à morfometria de reservatórios no Brasil, destacando a variação de profundidade, o índice de desenvolvimento de margem (com maior interface sedimento-água na porção mais rasa) e flutuações dos níveis da água, as quais promovem a exposição e decomposição de macrófitas que são reincorporadas ao sistema após nova inundação.

1.2 Quantificação do transporte e deposição de sedimentos em reservatórios

Do ponto de vista ambiental, a sedimentação deve ser considerada como um quadro de transformações do meio ambiente, com várias características geomorfológicas, porque ela faz parte do conjunto de processos de modelação do relevo; edafológicas, porque a sedimentação acompanha importantes transformações dos solos, tanto nas áreas fontes de sedimentos como nas áreas de deposição; e também hidrológicas, porque o processo responde as alterações significativas do comportamento hídrico das bacias hidrográficas (OLIVEIRA, 1995).

A atuação dos processos sedimentológicos resulta em conseqüências nem sempre desejáveis, o que aponta para a importância da investigação destes processos. CARVALHO (1994) cita várias destas conseqüências:

- danos às terras agricultáveis devido ao carreamento do solo fértil descoberto pelas enxurradas e por um manejo agrícola incorreto, associado a um processo erosivo;
- danos devido ao assoreamento dos reservatórios usados para geração de energia, abastecimento d'água, irrigação, controle de cheias, recreação e de usos múltiplos ;
- danos devido ao assoreamento de obras fluviais como estruturas portuárias e tomadas d'água;
- danos ambientais causados pelo transporte de agrotóxicos que provocam mortandade de organismos aquáticos, e elevadas cargas de nutrientes que promovem a eutrofização dos cursos d'água;
- custos adicionais ao tratamento de água devido ao aumento de turbidez;
- custos adicionais de manutenção de canais de drenagem e obras de irrigação.

Por outro lado, a visão de GALVEZ & NIELL (1993) sobre a influência da sedimentação no processo global do ecossistema aquático seria do estreito relacionamento desta com alguns fatores, tais como: 1) a transferência de energia das camadas superficiais para o fundo; 2) a regeneração de nutrientes durante a sedimentação, permitindo novos e sucessivos ciclos de produção; 3) como fonte de nutrientes (especialmente fósforo solúvel do material sedimentado) que podem contribuir para a eutrofização e 4) como fator de decréscimo na capacidade de acumulação da bacia, principalmente em bacias com altas taxas de erosão, com efeitos nas características físicas, químicas e biológicas da água.

Segundo CARVALHO (*op. cit.*), quando o processo é desencadeado e os sedimentos chegam aos cursos d'água sua distribuição está sujeita à ação da velocidade da corrente e da

gravidade. Esta relação de forças provoca uma variação no perfil de concentração destes ao longo da coluna d'água, bem como ao longo da seção transversal do rio (Figura 01).

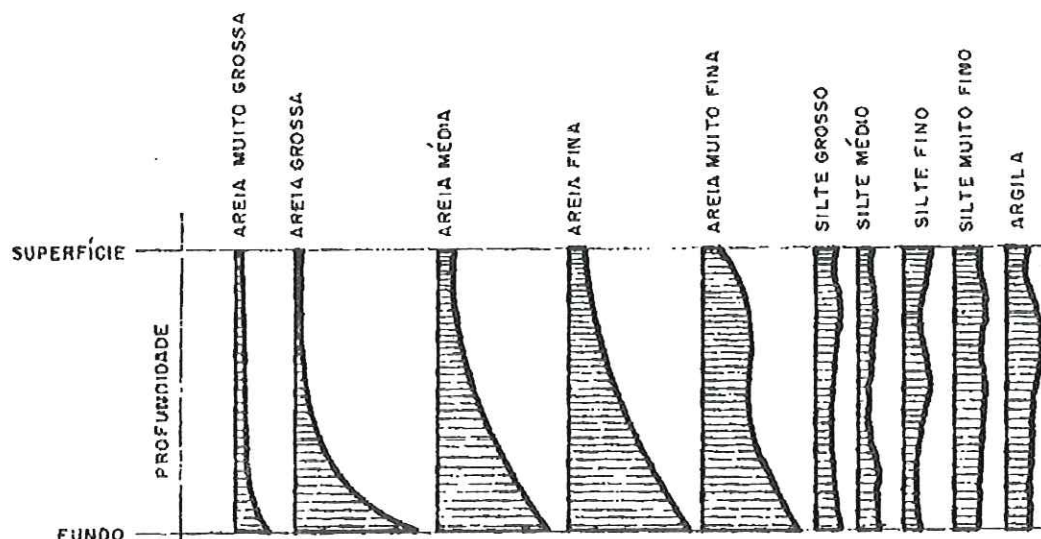


FIGURA 01 – Distribuição vertical de sedimentos que podem ser encontrados em cursos d'água. (Fonte: CARVALHO, 1994)

A identificação dos processos envolvidos na distribuição de sedimentos em cursos d'água não é fácil. HILTON *et al.* (1986) referem-se à evidências de pelo menos 10 mecanismos de distribuição de sedimentos em pequenos lagos, entre os quais: formação de delta na zona lótica; pluma de sedimentação; mistura completa contínua; mistura completa intermitente; mistura completa intermitente no epilimnio; ataque de ondas periféricas; redistribuição randômica de sedimentos; correntes de erosão e deposição e degradação orgânica. Todos esse fatores resultam em uma distribuição irregular de sedimentos no fundo, que em alguns casos tem como consequência a maior deposição de material na porção mais profunda do reservatório.

Técnicas para avaliação da sedimentação em lagos e reservatórios têm sido desenvolvidas e implementadas em diversos estudos, podendo-se destacar a utilização de *core* na avaliação de longo período por datação do carbono-14 e de câmaras de sedimentação na determinação de deposição em curtos períodos.

Contudo, ROSA *et al.* (1991) afirmam que a aquisição de dados representativos do processo sedimentológico é uma tarefa muito difícil devido à variabilidade temporal e espacial do material particulado em suspensão. Para a obtenção de dados confiáveis desse parâmetro, as pesquisas desenvolvidas apresentam duas categorias de amostradores de

material particulado em suspensão e sedimentado: 1) amostradores instantâneos - coletam uma amostra pontual num determinado momento; 2) amostradores integrados ao longo do espaço ou tempo - podendo-se coletar uma amostra sobre uma seção vertical (integradores espaciais) ou em um ponto fixo por um determinado período (integradores temporais).

Dentro do processo sedimentológico, a carga de material em suspensão transportada na zona lótica é mais intensa e pode ser calculada pela medição da vazão em massa passando através de uma seção transversal, obtida através de vários métodos, dentre os quais CARVALHO (1994) cita:

- Método de igual incremento de largura – a seção transversal é dividida em uma série de segmentos de mesma largura, para obtenção de uma série de sub-amostras. Sendo a velocidade de trânsito em cada vertical a mesma usada nas outras verticais, estas sub-amostras serão compostas de volumes diferentes. As diversas sub-amostras podem ser compostas para análise de concentração e granulometria.
- Método de amostragem por igual incremento de descarga – este método exige o conhecimento prévio da vazão e da distribuição vertical de velocidades na seção, e baseia-se na amostragem integrada em subseções de mesma vazão, sendo a velocidade de trânsito variável, mantendo-se constante o volume amostrado em cada subseção.

Para os dois métodos, são usados amostradores integrados na vertical e o cálculo da carga de sedimentos passando pela seção é dada por:

$$Q = 0,0864 q \cdot C$$

onde:

Q - carga de sedimentos em suspensão, em t/dia

q – vazão líquida na seção, em m³/s;

C – concentração de material sólido em suspensão composta na seção, em mg/L.

Para obtenção de amostras integradas de material particulado em suspensão ao longo do espaço, estão disponíveis os amostradores da série americana (DH-48, DH-49, DH-61, etc.), os quais percorrem uma certa profundidade da coluna d'água com uma velocidade constante, e as bombas de sucção.

Contudo, na maioria dos estudos limnológicos para a determinação do balanço de massa a partir da diferença da carga encontrada à montante e à jusante do reservatório,

utiliza-se o produto da vazão média na seção pelo valor da concentração de nutrientes ou material em suspensão em seu ponto médio, como adotado por HENRY *et al.* (1999), na análise do transporte de nutrientes e de material em suspensão no reservatório de Jurimirim, onde a carga foi calculada a partir da multiplicação da vazão média mensal afluyente ao reservatório pela concentração média mensal dos solutos medidos no ponto de amostragem. Neste estudo, o autor obteve cargas de material em suspensão inferiores a 20000 ton/mês no rio Paranapanema, a 5000 ton/mês no rio Taquari e a 2000 ton/mês a jusante da barragem da represa.

Por outro lado, a determinação do material que, através da ação da gravidade e da diminuição da velocidade do fluxo chega a ser depositado no fundo do reservatório, pode ser feita através de câmaras de sedimentação. Esta metodologia tem sido frequentemente utilizada para diversos propósitos, incluindo-se a determinação da taxa de sedimentação de material particulado em suspensão (CALLIERI *et al.*, 1991; LEITE, 1998), a concentração de nitrato, nitrito e amônio no material coletado nas câmaras (COBELAS, 1993; LEITE, *op.cit.*) e a determinação da ressuspensão de sedimentos (HICKS *et al.*, 1994; BLOESCH, 1994).

A análise da variabilidade espacial (horizontal e vertical) e temporal (sazonal e anual) da deposição de material em suspensão, através da utilização de câmaras de sedimentação instaladas em diferentes profundidades, estações e períodos por WEYHENMEYER & BLOSH (2001) foi usada na definição de um padrão de comportamento dos sedimentos em nove lagos suços e onze lagos succos. Os autores utilizaram procedimentos padrões, adotados por ROSA *et al.* (1991), na construção e instalação das câmaras e observaram que, dos efeitos analisados, a sazonalidade foi o mais significativo, seguido pela profundidade de instalação das câmaras. Na determinação do padrão de deposição de material em suspensão destes lagos foi verificado que 80% desta variabilidade poderia ser explicada pelas variáveis: lago, data, ano, estação e profundidade, sendo as demais variáveis analisadas responsáveis pelos outros 20%.

A variabilidade temporal da sedimentação de longo prazo em lagos também foi avaliada por ZYTROWICK (1989). Neste trabalho, o autor obteve as taxas de sedimentação no lago Zmarle (Polônia) durante o período de 1977 a 1980, utilizando câmaras de sedimentação, através das quais verificou reduções na deposição de material em suspensão no verão promovidas pelo aumento gradual da pluviosidade.

Além desses fatores externos atuantes na taxa de material depositado, deve-se considerar a grande incerteza na determinação da fração real do material depositado em relação às parcelas referentes à: a) ressuspensão de material do fundo, b) alteração do

material aprisionado por decomposição bacteriana ou c) influência do zooplâncton aprisionado e ativo nas câmaras, como apresentado por COALE (1990) e ROSA *et al.* (1991).

A eficiência de coletas com câmaras de sedimentação, como apresentado por HARGRAVE & BURNS (1979), é função de seis variáveis: 1) velocidade da corrente; 2) diâmetro da câmara; 3) altura da câmara; 4) viscosidade cinemática da água durante o período de amostragem; 5) turbulência e 6) rugosidade da superfície da câmara.

Os estudos sobre a melhor configuração das câmaras de sedimentação para estimar a taxa de deposição real em reservatórios receberam a atenção de vários pesquisadores. Segundo HAKANSON *et al.* (1989) e BLOMQUIST & KOFOED (1981), pode-se resumir a determinação desta configuração como: (a) cilindros simples são as melhores formas de câmaras de sedimentação em todos os tipos de água (estagnada, turbulenta, límnica e marinha), (b) funis geralmente subestimam o material coletado, (c) recipientes (vasilhas) com gargalo estreito superestimam a sedimentação, (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.

Outros autores (FUKUSHIMA *et al.* (1989), DILLON *et al.* (1990), CALLIERI *et al.* (1991) e LAROCQUE *et al.* (1996)) adotaram a recomendação de BLOESH & BURNS (1980) para a construção de câmaras de sedimentação com razão diâmetro:altura de 1:10, podendo-se reduzir essa proporção para no mínimo 1:5, na tentativa de minimizar a influência de ressuspensão do fundo.

LEITE & ESPÍNDOLA (2000) avaliaram a contribuição da ressuspensão de material do fundo na estimativa da taxa de sedimentação instalando câmaras de sedimentação, a 70% de profundidade e com tempo de permanência de 24 horas, adotando uma relação diâmetro:altura de 1:10 (teoricamente menos susceptível a ressuspensão, segundo BLOESH & BURNS, 1980) e de 1:3. Neste trabalho, os autores obtiveram taxas médias de 1,13 mg/cm².dia e 1,23 mg/cm².dia, respectivamente, tendo concluído que não ocorreram diferenças significativas ao nível de 5% para as duas configurações.

Quanto ao material, as câmaras de sedimentação mais modernas são feitas de PVC transparente, não-transparente ou de "plexiglass". Embora essas câmaras sejam de fácil uso, recomenda-se o uso de materiais revestidos com teflon para prevenir a contaminação quando 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).

ROSA *et al.* (1991) comentam, ainda, que o problema das mudanças aceleradas do material aprisionado deve ser analisado e, na medida do possível, controlado dentro das câmaras de sedimentação. O uso de venenos ou preservativos pode manter o material coletado 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 modo de aplicação de venenos e preservativos ainda não está totalmente padronizado, devendo ser testado inicialmente em experimentos laboratoriais.

A adição desses preservativos foi discutida por BLOESH *et al.* (1977), que analisando a produção primária, mineralização e sedimentação na zona eufótica de dois lagos Suíços, avaliaram os problemas que a adição de bactericidas pode provocar na análise, não existindo ainda consenso quanto à eficiência do uso de preservativos nas amostras. Os mesmos autores consideram que a contribuição do uso de bactericida para a preservação de amostras para a estimativa de produtividade foi irrelevante. Essas idéias foram confirmadas pelos resultados de FUKUSHIMA *et al.* (1989) e CALLIERI *et al.* (1991), cujos experimentos mostraram não haver diferenças estatisticamente significativas entre as taxas de deposição de sedimentos em câmaras com adição e sem adição de preservativo.

Deve-se considerar, também, o tempo de exposição das câmaras, pois podem ocorrer alterações na estrutura e composição do material coletado durante um longo período de exposição. BLOESCH & UEHLINGER (1986) e CALLIERI *et al.* (1991), trabalhando com câmaras de sedimentação, relatam a insignificância das variações em massa quando os experimentos permanecem pouco tempo. Nos dados obtidos por BLOESCH & BURNS (1980), as perdas verificadas estão relacionadas com alteração no peso seco, carbono particulado, concentração de nitrogênio e fósforo em câmaras de sedimentação com tempo de permanência igual ou superior a duas semanas.

1.3 Sensoriamento remoto em ambientes aquáticos

O sensoriamento remoto pode ser definido como um conjunto de técnicas que permite a aquisição de informações sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele (NOVO, 1998). A obtenção de dados por sensoriamento remoto sobre a superfície terrestre pode ser feita através de sensores instalados em plataformas espaciais, em aeronaves, em helicópteros ou em torres, os quais permitem o registro das alterações que os diferentes materiais impõem ao campo eletromagnético quando entram em interação. Um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é caracterizar as propriedades dos alvos naturais dispostos sobre a superfície

terrestre. Essa caracterização envolve: 1) a detecção e o registro do fluxo de energia radiante refletida ou emitida pelos objetos sem que haja contato entre eles e o sensor remoto e 2) a análise visual ou automática da energia eletromagnética registrada que depende das propriedades radiométricas dos objetos, atmosfera e configuração do sistema sensor utilizado.

A complexidade das técnicas de sensoriamento remoto faz com que, cada vez mais, um maior número de profissionais de diferentes áreas (física, físico-química, química, biociências, geociências e ciências da computação) participem do processo de transformação da energia registrada pelo sensor, exigindo assim um esforço multidisciplinar.

Os sensores podem ser classificados, segundo a fonte de energia eletromagnética, em sensores passivos e ativos. Os sensores passivos são aqueles que não possuem fonte própria de energia, sendo que na maioria dos casos estes sensores (e.g. LANDSAT TM e SPOT HVR) registram a energia solar refletida pelos alvos terrestres. Nos sistemas sensores passivos o sol funciona como fonte de energia, emitindo radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda. Esta radiação atravessa a atmosfera e irradia a superfície dos objetos terrestres, interagindo com os mesmos. Nesta interação, a radiação eletromagnética pode ser absorvida, transmitida ou refletida pela superfície dos objetos. A fração da radiação refletida atravessa a atmosfera sendo coletada pelo sistema sensor onde é detectada e registrada (Figura 02). Os sensores ativos operam com fonte própria de energia (sistemas RADAR - ERS-1 e RADARSAT).

Segundo KIRK (1994), a radiação eletromagnética resulta da interação do campo elétrico com o campo magnético. Os parâmetros que caracterizam a radiação eletromagnética são o comprimento de onda e a frequência. A faixa de comprimento de onda ou frequência em que se pode encontrar a radiação eletromagnética é praticamente ilimitada, sendo denominada de espectro eletromagnético (Figura 03). Geralmente, o espectro eletromagnético é dividido em faixas espectrais que recebem denominações específicas. Segundo LILLESAND & KIEFER (1987), STEFFEN *et al.* (1981) e NOVO (1992), as faixas espectrais mais utilizadas em sensoriamento remoto são: visível (comprimentos de onda entre 0,4 μm e 0,7 μm), infravermelho (0,72 μm a 1 mm) e microondas (1mm a 10 cm).

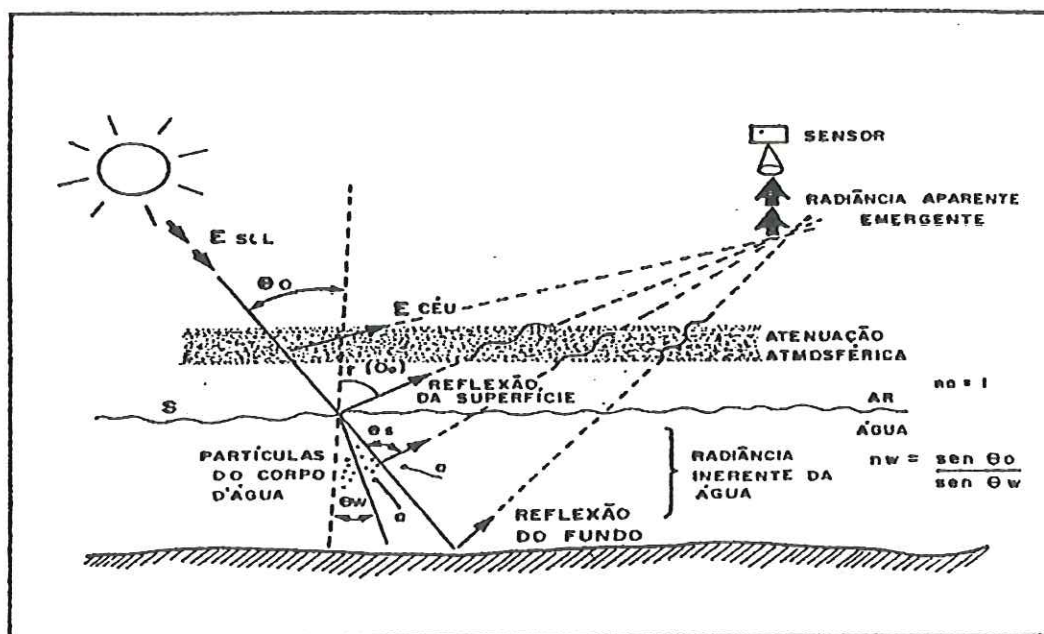


FIGURA 02 - Radiação detectada por um sensor remoto, a partir de sua interação com um corpo d'água. E_{sol} é a irradiância solar direta; $E_{céu}$ é a irradiância difusa; θ_0 é o ângulo zenital; θ_w é o ângulo de refração; θ_s é o ângulo de espalhamento; a é a absorção; n_a é o índice de refração no ar; n_w é o índice de refração na água e s é a superfície da água (Fonte: Modificado de ASFOLDI (1982) e STURM (1980)).

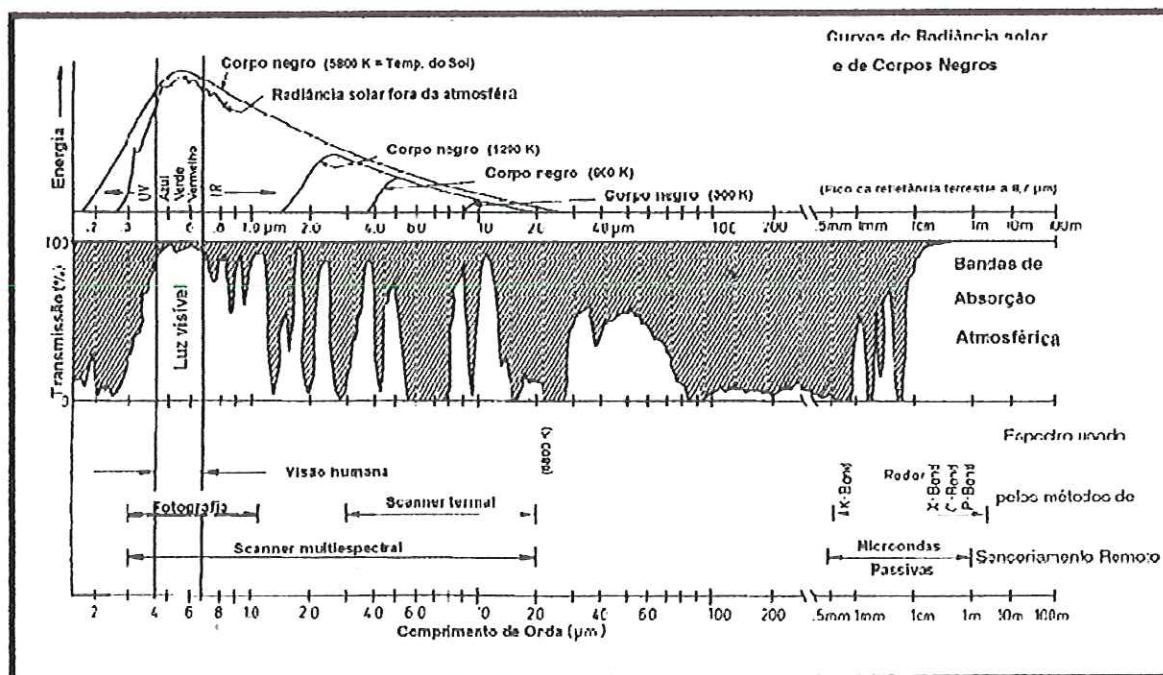


FIGURA 03 - Espectro eletromagnético, transmissividade e comprimentos de onda usados em sensoriamento remoto (Fonte: KIRK, (1994)).

Ao interagir com a superfície (alvo), a radiação eletromagnética emitida pelo Sol tem as suas características espectrais modificadas, sendo tais modificações determinadas pelas propriedades intrínsecas de cada alvo. De uma forma geral, cada tipo de cobertura da superfície (vegetação, solo, água, rocha, construções, etc.) possui um determinado comportamento espectral segundo faixas específicas do espectro eletromagnético, que é denominado de assinatura espectral. As diferentes assinaturas para alvos diferentes possibilitam a separabilidade e identificação dos mesmos (NOVO, 1992).

O comportamento espectral da água apresenta-se de formas variadas, conforme o estado em que é encontrada na natureza. A água pura em seu estado líquido apresenta baixa reflectância no visível ($0,38 - 0,70\mu\text{m}$), absorvendo toda a radiação na faixa do infravermelho. As nuvens apresentam altíssima reflectância entre $0,38\mu\text{m}$ e $2,5\mu\text{m}$ (visível e infravermelho), atuando como uma barreira ao sensoriamento remoto orbital, nesta faixa espectral (NOVO, 1992)

Contudo, a habilidade de um sensor remoto distinguir entre os alvos terrestres não depende apenas das interações entre a radiação eletromagnética e os alvos. Os parâmetros do sistema sensor, como a resolução espacial, a resolução espectral, a resolução radiométrica e a frequência de aquisição de dados, também afetam a detecção das propriedades dos objetos em estudo (KIRK, 1994).

A resolução espacial de um sensor define a menor área passível de ser distinguida pelo sensor, na forma de uma célula unitária ou *pixel*. Sensores desenvolvidos para analisar a atmosfera e o oceano têm, em geral, baixa resolução espacial. Sensores desenvolvidos para outras aplicações têm altas resoluções espaciais, que permitem a identificação da variabilidade da cobertura vegetal, tipos de rochas ou qualidade da água.

A resolução espectral define a largura da faixa de sensibilidade espectral de cada banda do sensor definida para a medição da energia refletida. Menores intervalos de faixa espectral permitem uma melhor resolução, favorecendo a detecção de pequenas variações na resposta de alvos. Outra propriedade dos sensores é a resolução radiométrica, a qual permite que estes possam distinguir pequenas diferenças na quantidade da energia refletida pela superfície (NOVO *et al.*, 1995).

Existem vários sistemas de aquisição de imagens. O sistema Landsat é formado, até o momento, por uma série de 7 satélites lançados a intervalos médios de 3 a 4 anos (o sexto satélite da série foi o único que sofreu pane de lançamento e foi perdido no oceano. Os demais satélites da série mantiveram uma vida útil real bastante superior à nominal. Este sistema foi desenvolvido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e recebeu o nome inicial de Earth Resources Technology Satellite-1 (ERST-1), passando a ser

chamado de Landsat em janeiro de 1975. A boa resolução de seus sensores, o caráter global, a periodicidade de observação e a boa comercialização fazem deste conjunto de satélites um dos projetos mais frutíferos no desenvolvimento do sensoriamento remoto (CHUVIECO, 1995).

O sistema Landsat contava com dois satélites em operação: o Landsat 5, lançado em 1984 e agora desativado, e o Landsat 7, lançado em abril de 1999. Os sensores disponíveis no Landsat 5 são o MSS (Multispectral Scanner) e TM (Thematic Mapper). Esse último sensor, com 7 faixas espectrais (Tabela 01), conceitualmente é semelhante ao MSS, pois utiliza o sistema de varredura de linhas. Entretanto, incorpora uma resolução espacial mais fina, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação ao sensor MSS. No Landsat 7 um novo sensor, o ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), composto por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas em inúmeras possibilidades de composições coloridas e opções de processamento, apresenta, entre as principais melhorias técnicas se comparado ao seu antecessor, o satélite Landsat 5, a adição de uma banda espectral (banda Pancromática) com resolução de 15 m, perfeitamente registrada com as demais bandas, e ainda melhorias nas características geométricas e radiométricas, como o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 m (120 m no Landsat 5). A operação do satélite em órbita é administrada pela NASA e sua produção e comercialização de imagens fica sob os cuidados da USGS - United States Geological Survey (http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html em 25 de maio de 2002).

Uma órbita do Landsat 7 é realizada em aproximadamente 99 minutos, permitindo ao satélite dar 14 voltas ao redor da Terra por dia, e a cobertura total do planeta sendo completada em 16 dias. A órbita é descendente, ou seja, de norte para sul, com o satélite cruzando a linha do Equador entre 10:00 h e 10:15 h (hora local) em cada passagem. O Landsat 7 possui uma órbita heliossíncrona que garante que cada local da terra seja imageado num mesmo horário e sob as mesmas condições de geometria de aquisição (<http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/> em 25 maio de 2002). Outro fato importante é que o satélite LANDSAT 7 tem o mesmo período de revisita que o Landsat 5 (16 dias), e a sua órbita resultou na mesma grade de referência do LANDSAT 5, com a mesma área imageada (185 x 185 km por cena). A conservação destes parâmetros técnicos facilita o processo de pesquisa de imagens, podendo ser feito com a mesma grade de referência e a perfeita integração no processamento das imagens do LANDSAT 7 com dados históricos do LANDSAT 5 existentes desde 1985, ou no caso de utilização dos dois tipos de dados

simultaneamente no mesmo projeto para a mesma área, como por exemplo em estudos multitemporais.

Os dados de sensoriamento remoto são incorporados ao estudo de recursos hídricos, por meio de: a) análise qualitativa de imagens e fotografias aéreas, que permitem a identificação de alterações locais na cor e no volume de água de rios, reservatórios, etc.; b) mapeamento de superfícies líquidas, identificação de sistemas de falhas, fraturas, etc.; c) análise quantitativa, que permite o estabelecimento de modelos que relacionam medidas pontuais as propriedades espectrais da água.

TABELA 01 – Resoluções espectrais (μm) dos sensores TM do satélite Landsat 5 e ETM+ do Landsat 7.

SENSOR	BANDAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8 - PAN
TM	0,45	0,52	0,63	0,76	1,55	10,4	2,08	não
	a	a	a	a	a	a	a	
ETM ⁺	0,52	0,60	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	0,52
	a	a	a	a	a	a	a	a
	0,52	0,61	0,69	0,90	1,75	12,5	2,35	0,90

Nas pesquisas tradicionais, as análises limnológicas são realizadas a partir de um número limitado de estações, em que a variação espacial é obtida partindo-se da extrapolação de medidas pontuais. Entretanto, a falta de representatividade espacial e temporal pode encobrir diferenças importantes, cujo conhecimento é fundamental para o entendimento do funcionamento de ecossistemas aquáticos. As limitações metodológicas destas pesquisas colaboram de forma significativa na decisão de incorporar os dados espectrais ao estudo de sistemas aquáticos, possibilitando ampliar a representatividade espacial das amostragens convencionais (NOVO & TUNDISI, 1988).

Contudo, MOREL & BERTHON (1989) consideram que o uso da técnica de sensoriamento remoto apresenta uma limitação importante, pois os sensores são capazes de detectar material particulado em suspensão e pigmentos apenas na camada superficial, devido à forte atenuação que a radiação eletromagnética sofre ao penetrar na coluna d'água. Porém, isto pode ser minimizado, desde que seja possível derivar estatisticamente relações significativas entre a concentração na superfície e na coluna d'água. Neste sentido, PERRY

(1986), em seu estudo sobre produtividade primária, concluiu que a profundidade da camada superficial (Z_{sup}), pode ser estimada como 1/3 da profundidade da zona eufótica ($Z_{eufótica}$), ou seja $Z_{sup} = Z_{eufótica} / 3$.

O desenvolvimento de modelos que representem a variabilidade na coluna d'água dos parâmetros estudados é muito importante, pois permitem o aproveitamento de dados coletados pontualmente, transformando-os e disponibilizando-os para obtenção de resultados mais significativos, podendo estes serem utilizados na correlação com dados espectrais. Através de um modelo que estima a concentração de clorofila na zona eufótica, CESTARI (1996) afirma que a concentração de clorofila na superfície, estimada a partir de dados orbitais, pode ser usada como variável de entrada para estimar a concentração de clorofila total na zona eufótica, parâmetro importante na avaliação da produtividade primária nos sistemas aquáticos.

MOREL & PRIEUR (1977) também consideram os problemas das análises qualitativas e quantitativas de material em suspensão através de dados remotos, referindo-se primeiro à dificuldade de aquisição de informações significativas do sinal recebido pelo sensor, pois isto envolve uma avaliação dos efeitos da reflexão na interface água-ar e da atenuação e dispersão atmosférica. A segunda é a interpretação da composição espectral do fluxo radiante em relação às propriedades ópticas da água, a qual está vinculada a concentração de material particulado e dissolvido.

Alguns métodos permitem a correção das distorções ocorridas na radiação refletida pela água durante sua passagem pela atmosfera até sua detecção pelo sistema sensor. Segundo KIRK (1994), um método simples, mas que fornece uma boa previsão desses efeitos, é o apresentado por RITCHIE (1976), no qual a redução dos efeitos atmosféricos pode ser feita pela subtração dos valores de radiância mínimos para cada banda dos obtidos nos demais "pixels" da cena.

Outra correção que geralmente é feita quando são avaliadas as variações das respostas espectrais entre bandas ou entre imagens de datas diferentes é a transformação dos valores de radiância para reflectância, onde são incorporados dados de calibração do sensor e ângulo de elevação do sol, na data de passagem do satélite (WILKINSON, 1991).

Após estas correções os dados devem ser interpretados com base na resposta espectral obtida pelo satélite e no conhecimento do comportamento espectral de cada alvo. Na água pura, a absorção é elevada na região espectral do infravermelho, decaindo rapidamente nas regiões de menor comprimento de onda. A presença de substâncias húmicas, material particulado em suspensão e fitoplâncton interferem em sua resposta espectral (Figura 04). O coeficiente de espalhamento na água pura, entretanto, é elevado na

região do azul e baixo no infra-vermelho próximo. Sendo a E_u (irradiância ascendente) diretamente proporcional ao coeficiente de espalhamento e E_d (irradiância descendente) proporcional ao coeficiente de absorção, MOREL & PRIEUR (1977) propuseram que a razão de irradiância (E_u/E_d) está relacionada aos coeficientes de espalhamento e absorção como segue:

$$R = c (b_b / a)$$

Onde,

R – razão de irradiância;

c - constante que varia com o ângulo de incidência solar;

b_b – coeficiente de espalhamento e a – coeficiente de absorção.

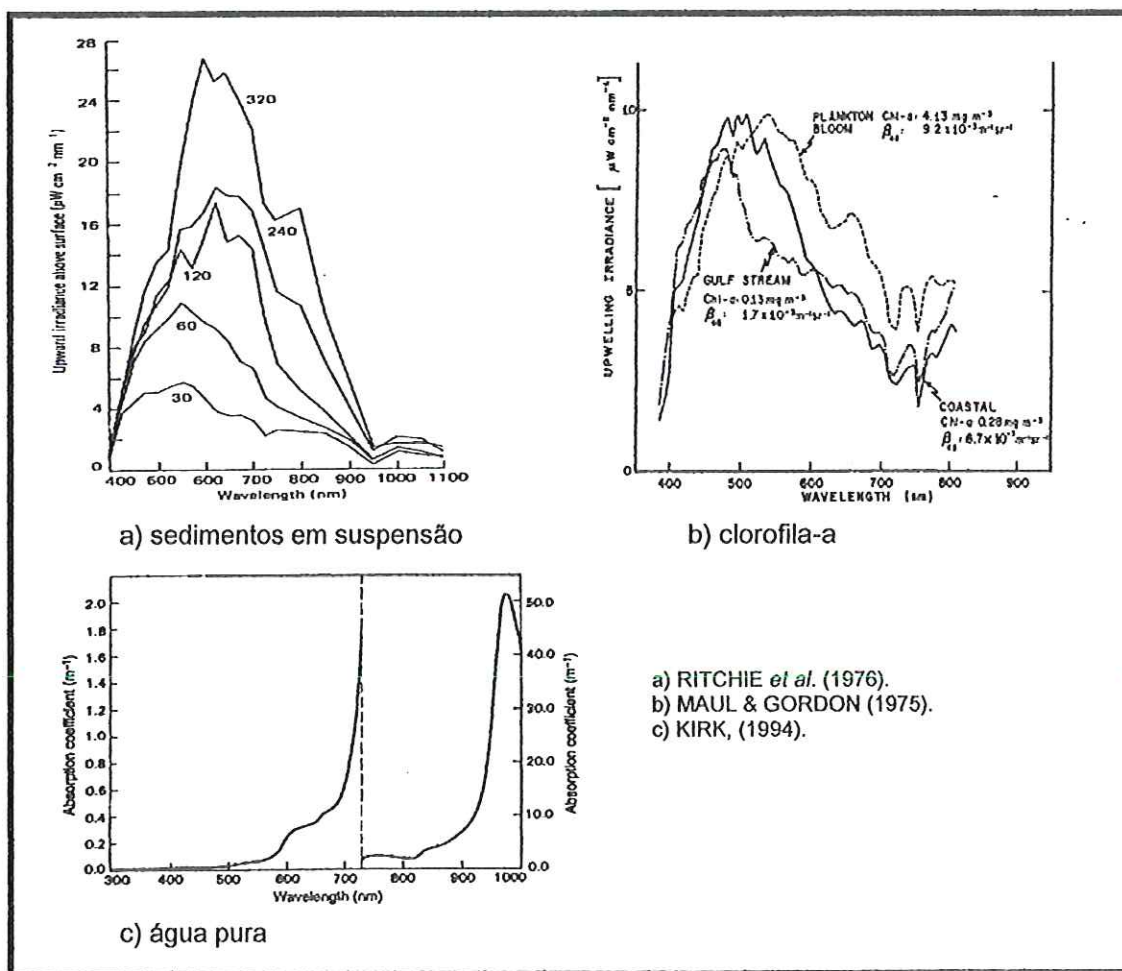


FIGURA 04 – Influência da presença de partículas na resposta espectral da água.

A presença de partículas inorgânicas nas concentrações típicas encontradas em águas naturais não absorve muita radiação uma vez que são altamente espalhadoras. No entanto, seu espectro de absorção é semelhante ao das substâncias húmicas, devido à associação destas com partículas minerais. Deste modo, a matéria orgânica apresenta absorção baixa ou ausente na região terminal do vermelho, com um aumento gradativo em direção às regiões de menor comprimento de onda (KIRK, 1994).

As células de fitoplâncton são extremamente absorvedoras da luz visível, uma vez que esta faixa de radiação é utilizada no processo fotossintético, sendo a clorofila o principal pigmento responsável por esta absorção. O comportamento espectral da clorofila caracteriza-se por uma forte absorção nas regiões espectrais do azul e vermelho, respectivamente, com picos em 430 e 665 nm, com pouca absorção na região do verde (CESTARI, 1996). Segundo KIRK (1994), a eficiência de absorção da radiação eletromagnética pelos organismos clorofilados não depende apenas de sua concentração no meio aquático, mas também da forma e tamanho das células.

Ainda hoje os estudos aplicando sensoriamento remoto em ambientes aquáticos têm seguido duas vertentes. A primeira linha de pesquisa está orientada para a determinação dos componentes da água que influenciam sua resposta espectral (YENTSCH & YENTSCH, 1979; CHOUBEY & SUBRAMANIAN, 1991). A segunda linha, por outro lado, pretende estimar os parâmetros de qualidade da água com o uso de dados de sensoriamento remoto (FROIDEFOND *et al.*, 1991; NOERNBERG *et al.* 1996, NELLIS *et al.*, 1998; GIARDINO *et al.*, 2001).

Participando da segunda linha, TASSAN & STURM (1986) estudaram a correlação entre dados do satélite NIMBUS7 (CZCS) e componentes da água, tendo obtido duas equações que correlacionam as respostas espectrais e valores de concentração de clorofila e material em suspensão. Segundo os autores as diferenças entre as equações correspondem às mudanças no *input* de material em suspensão na bacia.

LATHROP & LILLESAND (1989), avaliando a qualidade da água do Lago Michigan, verificaram uma alta correlação entre os valores de material inorgânico em suspensão, material orgânico em suspensão e clorofila-a com os valores de reflectância obtidos nas bandas 1, 2 e 3 do SPOT, através do modelo:

$$\ln(Y) = a + b X$$

Onde:

Y – parâmetro de qualidade da água;

X – reflectância da banda selecionada ou combinação de bandas;
a e b - coeficientes de regressão.

MUNDAY & ALFOLDI (1979) também encontraram altas correlações entre dados obtidos pelo Landsat e o logaritmo da concentração do material em suspensão, enquanto, em estudos limnológicos realizados no Reservatório de Barra Bonita, NOVO *et al.* (1993), utilizando dados do TM/Landsat-5 (bandas 1,2,3 e 4) encontraram uma correlação significativa entre estes e a concentração da clorofila obtida na superfície, não tendo obtido uma correlação significativa de sólidos suspensos totais e disco de Secchi.

Uma correlação significativa entre dados espectrais e dados de campo apresentam intrínseca relação com a metodologia de coleta das amostras, as quais devem ser obtidas simultaneamente à passagem do satélite. Isto foi percebido por BALCH *et al.* (1989), que avaliando a composição de fitoplâncton através de dados espectrais verificaram que não foi encontrada alta correlação entre dados coletados em horários diferenciados entre o satélite e as amostras de campo, devendo-se isto à modificação da distribuição vertical das comunidades fitoplanctônicas na coluna d'água ao longo do dia.

A determinação de modelos que forneçam valores da concentração de substâncias na camada superficial da água baseada em dados de sensoriamento remoto deve ser observada com bastante atenção, pois a generalização de situações pode induzir a erros na estimativa de parâmetros que são influenciados por características localizadas.

A associação de todos os fatores intervenientes na bacia pode promover modificações significativas nos reservatórios, os quais representam atualmente, e com vistas ao desenvolvimento sustentável, ambiente para o desenvolvimento de diversas pesquisas, instigando a comunidade científica à busca de conhecimentos que possam minimizar os impactos ambientais e propiciar avanços no estabelecimento de planos de manejo mais adequados para a região Nordeste. Visando contribuir com informações sobre o processo sedimentológico em reservatórios do sub-médio São Francisco, no semi-árido do Brasil, este trabalho pretende verificar a distribuição e deposição de material em suspensão e alguns parâmetros limnológicos nos reservatórios, bem como avaliar a representabilidade dessa distribuição de material em suspensão através de imagens de satélite, a partir da correlação de dados espectrais e dados de campo.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta pesquisa foi a avaliação do transporte e deposição de sedimentos e seus efeitos sobre as características físicas, químicas e biológicas da água ao longo do rio São Francisco, no trecho entre a Barra de Tarrachil e a montante do Reservatório de Xingó, na Bahia.

Para alcançar este objetivo fundamental, alguns objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Caracterizar física, química e biologicamente os reservatórios através da análise espacial e temporal da temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, transparência da água, material em suspensão, nutrientes totais e dissolvidos (nitrogênio orgânico total, nitrito, nitrato, amônio, ortofosfato e fósforo total) e clorofila, avaliando sua relação com o aporte de material alóctone, variações climatológicas e procedimentos de operação dos reservatórios (vazão afluente/defluente e tempo de residência);
- b) Avaliar as taxas de sedimentação e os fatores associados à variabilidade espacial e temporal, identificando a região de maior aporte (na sub-bacia) e sedimentação (no reservatório) e os períodos de maior contribuição de material para o sistema;
- c) Estabelecer uma correlação dos dados obtidos no campo com os obtidos nas imagens do satélite Landsat 5 ou Landsat 7 de modo a permitir o monitoramento posterior da área com a obtenção de imagens atualizadas, oferecendo subsídios para programas de manejo na área de estudo.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 O vale do São Francisco

Nascendo a cerca de 1000m de altitude na Serra da Canastra, em Minas Gerais, o rio São Francisco atravessa em seu rumo os Estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Pernambuco, Bahia, Alagoas e Sergipe (Figura 05), formando uma bacia hidrográfica de 640.000 km², totalmente em território brasileiro. Ela contém 15,6% da população do país e drena 7,6% de seu território.

O Rio São Francisco desenvolve, em seu curso, cinco desníveis: o primeiro, entre suas cabeceiras e Pirapora, trecho onde foi construído o reservatório de Três Marias; o segundo, entre Pirapora e Juazeiro-BA, com 1100 km de curso e 116m de desnível, formando um trecho remansoso e navegável; o terceiro, no trecho acidentado representado pelas corredeiras hoje afogadas de Pirapora, Sobradinho e Itaparica e deste até a Cachoeira de Paulo Afonso; um quarto trecho permitiu a cascata de usinas de Paulo Afonso I-II-III-IV e o quinto trecho, onde o rio corria sobre sedimentos recentes escavando seu “canyon” até o mar, foi represado pela barragem de Xingó.

No rio São Francisco foram implantadas várias usinas hidrelétricas, ao longo do fluxo do rio, a primeira delas é a Hidrelétrica de Três Marias, seguida por Sobradinho, Luiz Gonzaga (Itaparica), Apolônio Sales (Moxotó), Paulo Afonso (I-II-III e IV) e Xingó. Excetuando-se a de Três Marias, as demais são gerenciadas pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF (Figura 06) e fornecem ao Nordeste 9974 MW de energia.



FIGURA 05 – Localização da bacia do rio São Francisco no território brasileiro (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 12.03.2002).

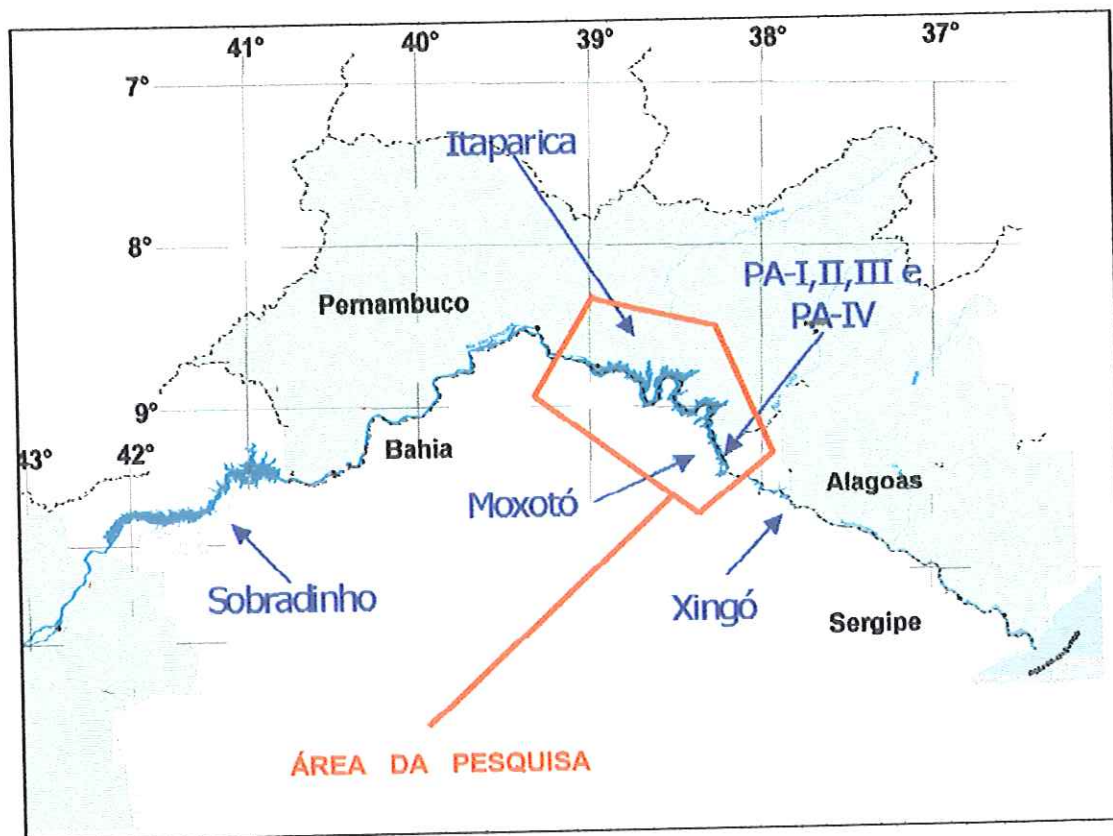


FIGURA 06 – Localização dos reservatórios do rio São Francisco operados pela Companhia Hidrelétrica do Vale do São Francisco (CHESF) e da área de pesquisa (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 12.03.2002).

As barragens de Três Marias, Paulo Afonso I-II-III, Paulo Afonso IV, Moxotó, Xingó e Itaparica foram construídas a fio d'água e os reservatórios não possuem volume de espera para controle de cheias ou regularização de vazões. Contudo, as construções de barragens para formação de reservatórios de regularização são indicadas para a obtenção de melhor aproveitamento do curso de d'água, permitindo que sejam compensadas as vazões naturais durante a estiagem com os volumes acumulados durante as cheias (GOUDIE, 1994). Neste caso, enquadra-se a construção do reservatório de Sobradinho, que permitiu a regularização das vazões afluentes aos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III, PA IV e Xingó (Tabela 2).

TABELA 02 – Características dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio São Francisco
(Fonte: modificado de CHESF (1999)).

RESERVATÓRIOS	Três Marias	Sobradinho	Itaparica	Moxotó	PA I-II-III	PA IV	Xingó
Latitude	18°10'S	09°25'S	09°08'S	09°18'S	09°22'S	09°23'S	09°37'S
Longitude	45°16'W	40°50'W	38°19'W	38°15'W	38°16'W	38°13'W	37°47'W
Altura da Barragem (m)	75	41	105	29	20	30	140
Volume do Reservatório (10 ⁶ m ³)	19790	34100	10780	1200	26	128	3800
Vazão Média Turbinada (m ³ /s)	575	2060	2060	1310	1310	750	2060
Capacidade de Geração (MW)	516.8	1050.0	1500.0	440.0	1524.0	2460.0	3000.0
Ano de Operação	1962	1979	1988	1977	1955/1974	1981	1994

A Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) que controla a geração de energia no rio São Francisco (excetuando-se a energia gerada no reservatório de Três Marias), tem como um dos parâmetros de avaliação, que norteiam a manutenção da vazão de regularização prevista para os reservatórios à jusante de Sobradinho, a análise do custo de geração. Este custo é função da disponibilidade de água no reservatório de Sobradinho e no reservatório de Tucuruí, devido à implementação dos Sistemas Interligados no Programa Energético Brasileiro que permitiu o transporte de energia entre os sistemas geradores. As avaliações energéticas antecipam medidas operativas para a otimização do armazenamento dos reservatórios do sistema interligado Norte/Nordeste, tais como: níveis de racionamento adotado; montantes de intercâmbio entre as regiões Norte e Nordeste; defluência do reservatório de Três Marias e a evolução do armazenamento do Sistema Nordeste durante os meses subsequentes. Estes estudos definem a estratégia geral otimizada para o atendimento energético do sistema (CHESF, 1997).

O vale do São Francisco está dividido em 4 regiões fisiográficas: Alto, que estende-se desde as cabeceiras no município de São Roque de Minas até a cidade de Pirapora (MG); Médio, que compreende o trecho desde Pirapora até a cidade de Remanso (BA); Submédio, que estende-se de Remanso até a cidade de Paulo Afonso (BA) e Baixo São Francisco, de Paulo Afonso à foz, no Oceano Atlântico. A área da pesquisa foi delimitada no trecho entre as cidades de Barra de Tarrachil e Paulo Afonso, na Bahia (Figura 06), no submédio São Francisco, situada em áreas dos Estados de Pernambuco e Bahia, incluindo os reservatórios

de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, recebendo neste trecho as contribuições das sub-bacias dos rios Pajeú e do rio Moxotó, ambos intermitentes.

3.2 A importância do rio São Francisco para a Região Nordeste

Mesmo após quarenta anos de estabelecimento do Banco do Nordeste e da SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), a Região Nordeste continua a apresentar regiões com pobreza generalizada, as quais não estão sendo beneficiadas, de modo perceptível, dos frutos do desenvolvimento econômico do Brasil nas últimas décadas.

Todas as estatísticas recentes indicam que o Nordeste continua sendo uma região atrasada economicamente, o que pode ser avaliado pelas informações abaixo (IBGE, 1997):

- A população do Nordeste, em 1994, representava 28,7% da nação; entretanto, era detentora de apenas 13% do Produto Interno Bruto.
- Sua renda “per capita” representou apenas 45% da média nacional, sendo este valor inferior a 1/3 na zona rural.
- Mais de 50% das famílias da região vivem abaixo da linha crítica de pobreza.
- Os pobres da área rural no Nordeste representam quase 63% da pobreza rural nacional e cerca de 32% de todos os pobres do Brasil. Eles representam 9% da população brasileira, mas recebem apenas 1% da renda nacional.
- Dos chefes de família de lares rurais, 66% não apresentam escolaridade, e menos de 4% fizeram quatro ou mais anos de escola primária.
- Apenas 3% de lares na zona rural oferecem qualquer forma de suprimento regular de água.

Os fatores acima mencionados indicam que a região Nordeste é significativamente subdesenvolvida, comparada ao resto do país e, dessa maneira, requer a urgente atenção nacional em termos de ações que minimizem a atual situação.

A instabilidade climática torna essa região semi-árida bastante vulnerável às secas, que ocorrem em média a cada 5 anos, o que evidencia a água como fator mais crítico para o desenvolvimento da região. Entretanto, o Nordeste não dispõe de uma política de manejo integrado de recursos hídricos, sendo que a maior disponibilidade hídrica da região é o Rio São Francisco (Figuras 07 e 08).

Nos últimos 50 anos promoveram-se numerosas intervenções governamentais, visando promover o desenvolvimento regional, o qual tem sido na sua maior parte de natureza

setorial, com pouco esforço no sentido de integração e no desenvolvimento sustentável e planejado. Na bacia do Sub-Médio São Francisco, os impactos ambientais adversos incluem mudanças significativas na morfologia do rio e na ecologia ripariana, modificações nos padrões de reprodução de peixes e crustáceos, degradação da qualidade da água a partir de descarga não tratada de esgotos e da erosão, degradação do solo resultante do manejo inadequado da agricultura irrigada e de sequeiro, inexistência de práticas conservacionistas do solo e super-pastoreio em áreas com solos marginais (BISWAS *et al.*, 1997).

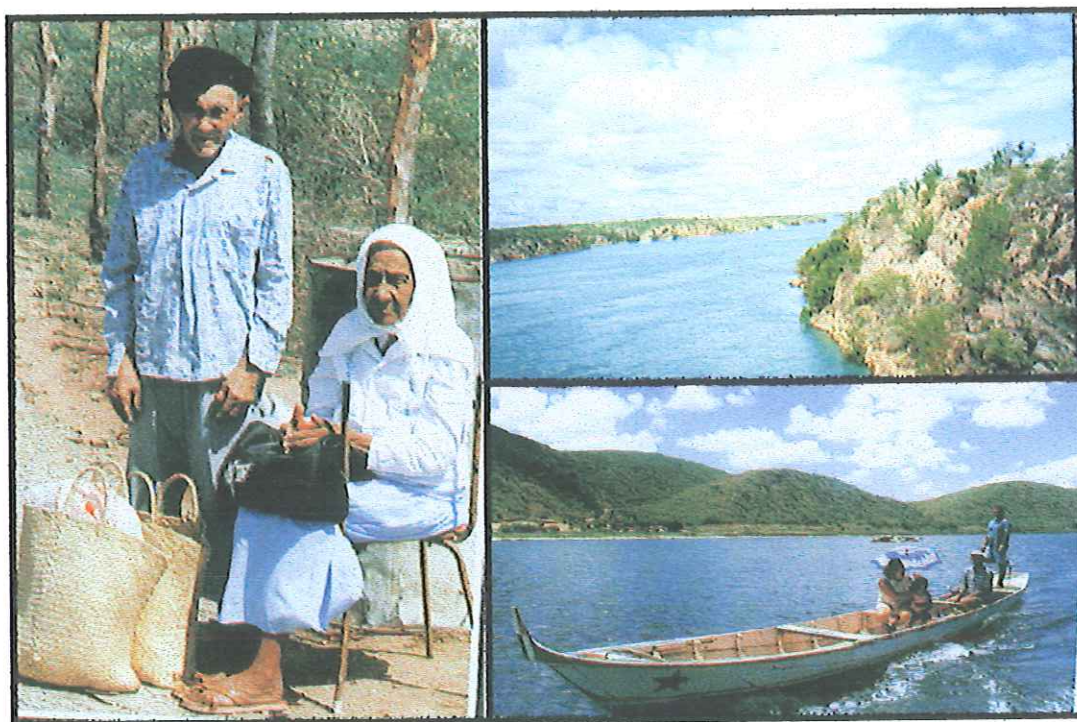


FIGURA 07 - O Homem do Nordeste e o “Velho Chico” (Fonte: modificado de BRANCO *et al.* (2000)).

A construção de reservatórios para geração de energia elétrica é um dos direcionamentos da Política Energética Brasileira, da qual não poderia ser excluído o rio São Francisco. Entretanto, a construção de reservatórios transforma ambientes lóticos em léticos, modificando a estrutura do ecossistema natural, redirecionando a ocupação da bacia e influenciando o desenvolvimento social. Dentro desta perspectiva, deve-se buscar não somente a utilização racional dos corpos d’água de forma a atender o uso múltiplo de seus recursos, mas também o conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos desses ecossistemas, permitindo uma relação mais perfeita entre uso e conservação, gerando informações, através

de estudos mais aprofundados, de sua estrutura e funcionamento, visando a posterior implantação de planos de manejo mais adequados.

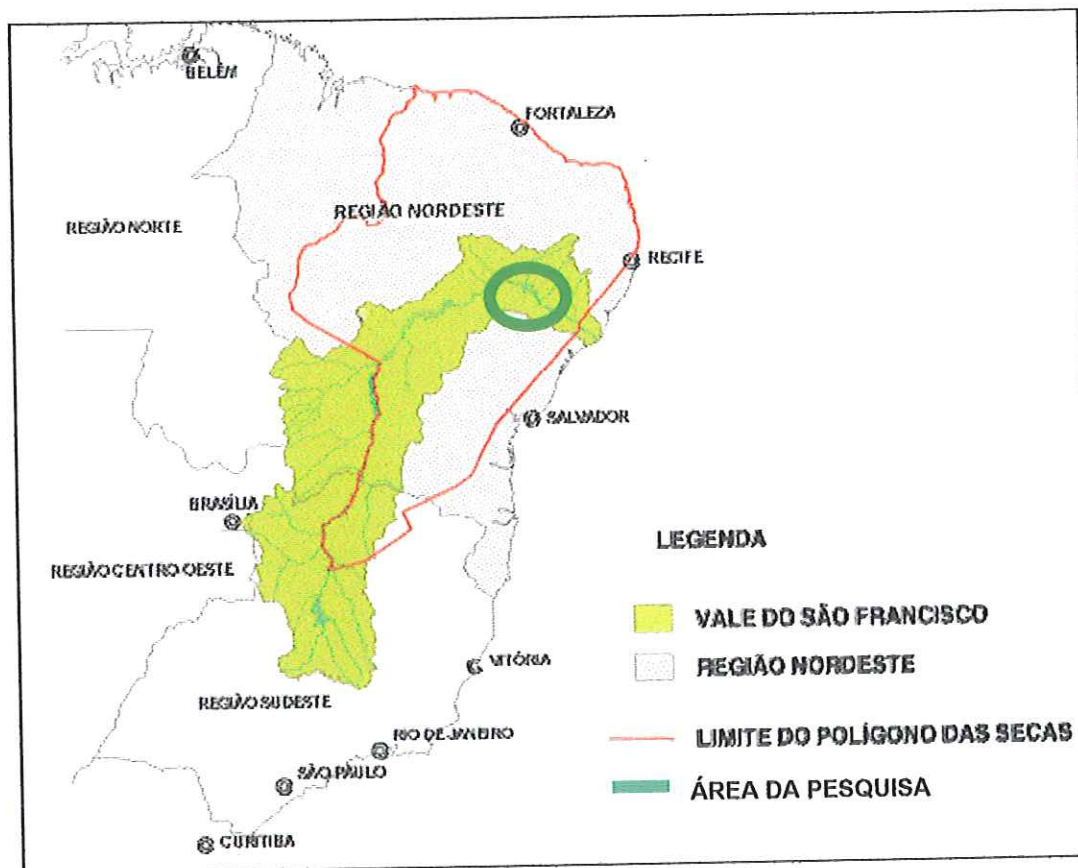


FIGURA 08 – Localização da bacia do rio São Francisco em relação à Região Nordeste e ao polígono das secas (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 13.03.2002).

A implantação das barragens promoveu um aumento no nível do rio no trecho represado e, conseqüentemente, permitiu a implantação de diversos perímetros irrigados. Esta área irrigada era de 333.000 hectares em 1999, de um total estimado de 800.000 hectares irrigáveis (Figura 09). A atividade econômica predominante é a agropastoril, com ênfase na hortifruticultura irrigada no trecho polarizado pelas usinas de Sobradinho e Itaparica (www.codevasf.gov.br em 12.03.2002).



FIGURA 09 – Perímetros irrigados em operação/construção na área de estudo (Fonte: modificado de www.codevasf.gov.br em 13.03.2002).

Porém, a implantação de projetos agropecuários e a crescente ocupação da bacia hidrográfica são fatores que podem favorecer a produção e transporte de sedimentos para o leito do rio. Segundo CHAVES (1994), a grande densidade de voçorocas no Vale do Rio das Velhas, a significativa erosão laminar nas chapadas do oeste baiano, os prenúncios de desertificação no sertão pernambucano, somados ao assoreamento de longos trechos do rio São Francisco, outrora navegáveis, são indicadores de um acelerado processo erosivo na região. Na Figura 10 são mostrados os riscos de degradação por erosão hídrica no Vale do São Francisco, podendo-se verificar o potencial de alto risco ($> 10t/ha.ano$) na área de estudo.

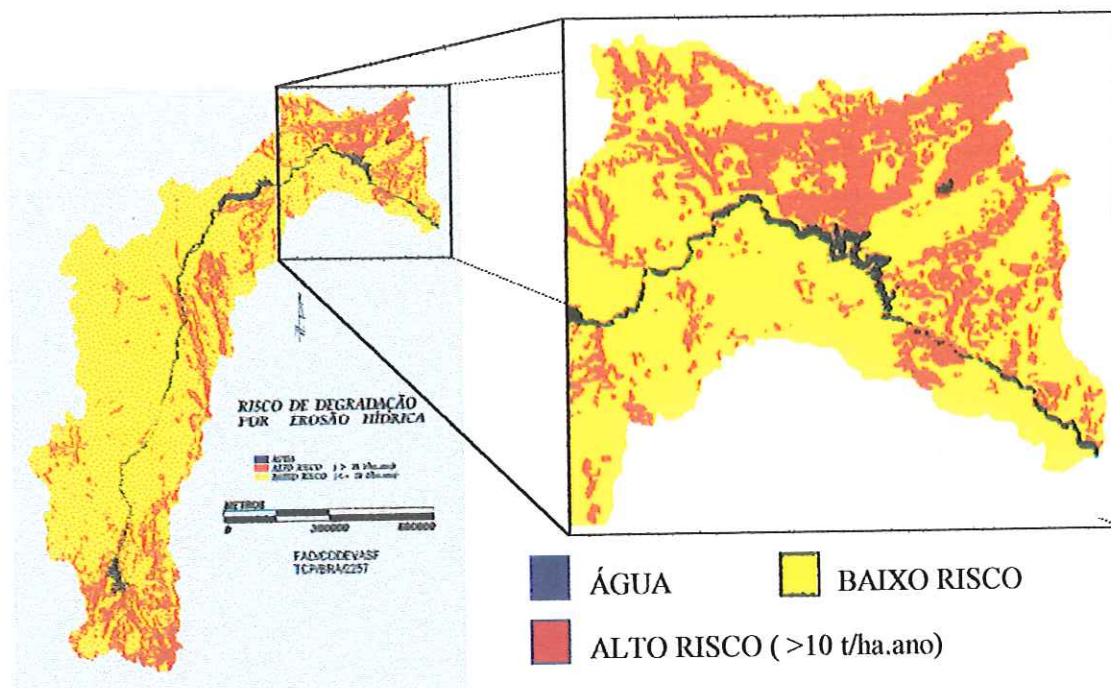


FIGURA 10 – Risco de degradação por erosão hídrica no Vale do São Francisco (Fonte: modificado de CHAVES, 1994).

Deve-se mencionar, ainda, que a utilização dos reservatórios para usos múltiplos tem permitido, além da viabilização de projetos agropecuários e abastecimento de água, a implementação de projetos de piscicultura em tanques-rede. Tendo em vista as características de exploração intensiva desta atividade, com utilização de insumos alimentares para a produção de alta biomassa de peixes em curto período de tempo e espaço de cultivo, além de lançamento de resíduos e metabólitos diretamente no ambiente sem possibilidade de controle, pode-se prever uma modificação significativa nas características físicas, químicas e biológicas no sistema, podendo representar uma fonte potencial de impacto aos reservatórios (Figura 11).



FIGURA 11 – Projeto de piscicultura em tanques-rede instalado no rio São Francisco, no reservatório de Xingó (Fonte: foto do autor).

Para uma melhor compreensão da interferência de todas essas variáveis sobre o rio se faz necessário o conhecimento, o mais detalhadamente possível, de suas características geológicas, geomorfológicas, a estrutura dos solos, o clima, a cobertura vegetal, entre outros.

Na tentativa de caracterizar a área de entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco utilizou-se o EIA da Hidrelétrica de Itaparica (HIDROSERVICE, 1986); o Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas da margem direita do Sub-médio São Francisco (SRHSH, 1996) e dados da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - Codevasf (www.codevasf.gov.br , 06/1999).

3.3 Características da região no sub-médio São Francisco

3.3.1 Geologia

A geologia da área de estudo é bastante complexa, com grande variedade de tipos litológicos e amplitude geocronológica, ocorrem na região rochas que incluem desde o Arqueano até o Quaternário, excetuando o Proterozóico Médio.

Na parte centro-ocidental da área afloram rochas gnássico-migmatíticas e granulíticas do Embasamento Cristalino, integrantes do Craton São Francisco, com intrusões máficas, ultramáficas, granodioríticas e graníticas, que se estendem de norte ao sul.

Em contato discordante e sobre as litologias do Embasamento Cristalino têm-se as coberturas plataformais representadas pelos metassedimentos da faixa de dobramentos marginal do craton do São Francisco, ocorrente na parte centro-oriental e extremo oriental, e pelos sedimentos clásticos e químicos ocorrentes no extremo ocidental.

Na parte oriental, preenchendo um “rift” que se estende na direção norte-sul, ocorrem os sedimentos Fanerozóicos, de origem predominante detrítica, que integram o sistema Recôncavo-Tucano de idade Cretácea.

Finalmente, distribuídas de forma irregular ou ocorrendo nos leitos dos rios tem-se as coberturas detríticas do Terciário e Quaternário. No limite oeste da área e a sul da cidade de Juazeiro ocorrem sedimentos de origem química (calcários) do Quaternário pertencente à unidade formalmente definida como Caatinga.

3.3.1.1 Geologia Econômica

A atividade de exploração mineral significativa na região é a extração de cobre. O Cobre extraído ocorre na forma de sulfetos nos corpos máficos e ultramáficos. Entretanto, também estão presentes e distribuídos na área outros minerais, entre os quais: Calcário e Calcita, Amianto, Ametista, Titânio, Cromo, Mica, Barita e Talco. Os principais subprodutos obtidos do minério de cobre e de aproveitamento econômico são o ouro, a prata, o níquel e os platinóides.

Ocorre também na região a extração de mármore e granitos que eram realizadas anteriormente em diversos locais e, atualmente, encontrando-se quase desativadas. Atualmente a principal lavra em atividade é a de granito, localizada na região de Paulo Afonso e sua produção destinada à exportação de blocos para a Europa e os Estados Unidos.

As rochas ornamentais exploradas são do tipo Mármore e Calcário, apesar dos ortognaisses e sienitos apresentarem potencial para extração. O Calcário Caatinga é a principal unidade de exploração, tendo a maior parte das jazidas concentradas nas proximidades da localidade de Caraíba do Sertão, ao sul da cidade de Juazeiro-BA, onde são explorados manualmente, garimpando as feições maciças de cor bege e com menor incidência de nódulos de sílica e óxido de ferro e manganês. Outras jazidas de relevância

são as de mármore “Rosa Palha” e “Rosa Patamuté” nas proximidades da cidade de Patamuté, extraída na litologia da Faixa Sergipana.

Existe uma boa diversidade de tipos de minerais presentes na área da bacia, contudo estas ocorrências carecem de estudos para dimensionar e quantificar os corpos mineralizados.

3.3.2 Geomorfologia

3.3.2.1 Morfologia e Relevo

A área do Sub Médio São Francisco encontra-se em paisagem predominantemente plana, formada a partir da ação dos processos morfoclimáticos durante os diversos ciclos de aplanamento truncando vários tipos de litologia. As influências morfogenéticas, litológicas e tectônicas imprimiram a esta paisagem algumas feições de dissecação representadas por modelados que variam de colinas a serras. Estas formas de relevo estão caracterizadas nas Unidades Geomorfológicas mostradas na Figura 12 e descritas a seguir:

Descrição das Unidades Geomorfológicas

I - Planície Fluvial

Correspondem às áreas planas, sujeitas a inundações periódicas. Ocorrem descontinuamente ao longo da margem do rio São Francisco e de alguns de seus afluentes.

II - Chapada do Tonã

Localizada na porção oriental da área, esta unidade caracteriza-se pelas feições planas conservadas pela horizontalidade das camadas de idade cretácica da Formação Marizal constituída por paraconglomerados e arenitos imaturos, folhelhos, siltitos e, ocasionalmente, lentes de calcário.

Com altitudes que variam de 300 m nos vales e 450 m nos topos, esta unidade é constituída de planos com declives variando de 0 a 3% que estão recobertos por solos muito profundos.

III - Patamar Oriental da Chapada do Tonã

Está posicionado na borda oriental da Chapada em cotas altimétricas que variam de 300 a 450 m. O contato com a unidade da Chapada do Tonã se faz por ressaltos topográficos e cuevas desenvolvidas nos sedimentos cretácicos.

De acordo com a disposição das camadas sedimentares associadas aos sistemas morfogênicos, predominam nesta unidade feições tabulares, e recobertas por solos arenosos e latossólicos de textura média; rampas convergentes para os cursos de água cujas declividades variam de 3 a 8%, lombadas e colinas com vertentes convexas e côncavo-convexas, exibindo algumas ravinas.

IV - Superfície Colinosa de Campos Novos

Esta unidade ocupa a parte central da margem direita, numa faixa SE-NW, em cotas altimétricas que variam de 350 a 550m. Sendo caracterizadas pela frequência de modelados de dissecção sobre rochas do Grupo Macururé constituída de micaxistos, metarenitos e metassiltitos, predominantemente. Estas litologias facilitam a dissecção do relevo em colinas de vertentes convexizadas de declives entre 8 e 30%, como as que ocorrem nas áreas das nascentes do rio Macururé e das Vargens, assim como ao longo da serra de Campos Novos, onde o relevo é mais dissecado.

V - Pediplano de Paulo Afonso

Posicionada na extremidade leste e limitada a oeste pelo Patamar da Chapada do riacho do Tonã, esta unidade localiza-se em cotas que variam de 200 a 400m de altitude.

A morfologia resultou da ablação de rochas pré-cambrianas representadas principalmente por biotitas, gnaisses e metatexitos, dando origem a pedimentos, representando planos com declives inferiores a 5% esboçando rampas suavizadas.

VI - Pediplano Sertanejo

Representando a maior unidade geomorfológica em extensão territorial, é também conhecida como Superfície Nordestina e Depressão Sertaneja. Está posicionada em cotas altimétricas que variam de 600m, nos topos de alguns residuais, a 350m nos pisos, decrescendo gradativamente conforme o gradiente da bacia do rio São Francisco.

Predominam formas de aplanamento ora com declives inferiores a 2%, ora com dissecação incipiente apresentando-se rampeados e com feições de lombas de inclinação inferiores a 5%. Os relevos dissecados apresentam, em geral, uma dissecação incipiente ao longo dos drenos, já as áreas com dissecação influenciada pela estrutura das rochas, apresentam vertentes de declives superiores a 30%. Dispersos em toda unidade encontram-se relevos residuais em forma de cristas, com orientação N-S e NE-SO concordando com os alinhamentos estruturais, destacando-se a serra de Itiúba.

VII - Chapada do Jatobá

Esta chapada situa-se na margem esquerda do rio São Francisco em direção SW-NE. Limita-se com os Pediplanos Sertanejos e de Paulo Afonso, bem como com as Encostas Setentrionais da Borborema. É constituído por rochas sedimentares, capeadas por areias, argilas e crostas lateríticas. As condições litoestruturais e climáticas semi-áridas interferem na drenagem, cujos tributários são predominantemente intermitentes. A chapada apresenta forma abaciada com bordos levantados, exibindo frentes voltados para SE e reversos rampeados para NW constituindo relevos tipo "cuesta".

VIII - Baixos Planaltos Sertanejos

Esta região corresponde às feições subordinadas e distribuídas entre 500 e 800 m de cota onde são observados os platôs do extremo oriental da Chapada do Araripe, que se apresentam festonados por frentes de *cuestas* resultantes de erosão gradual.

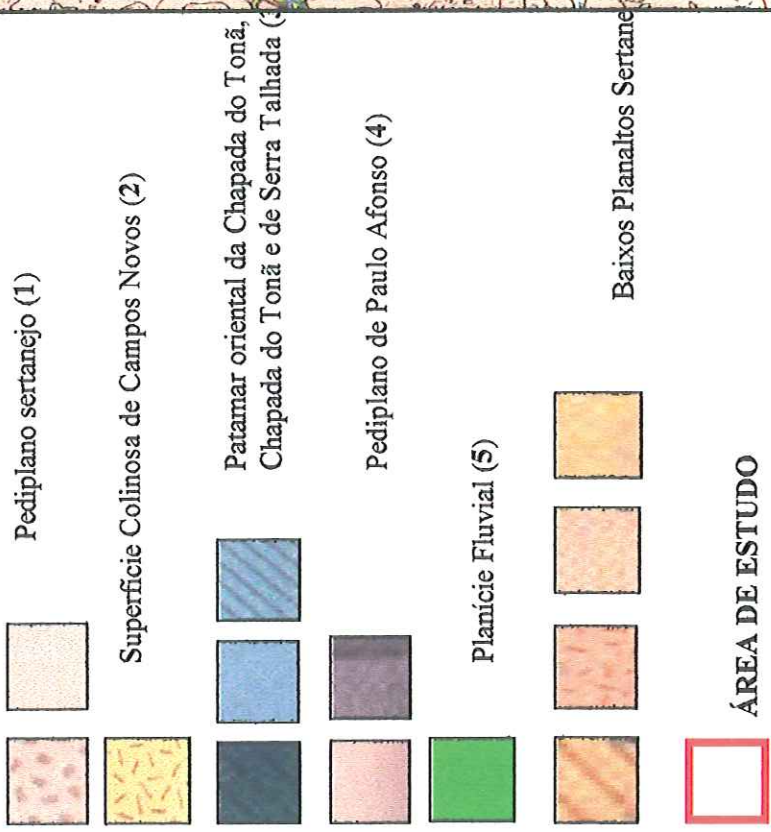
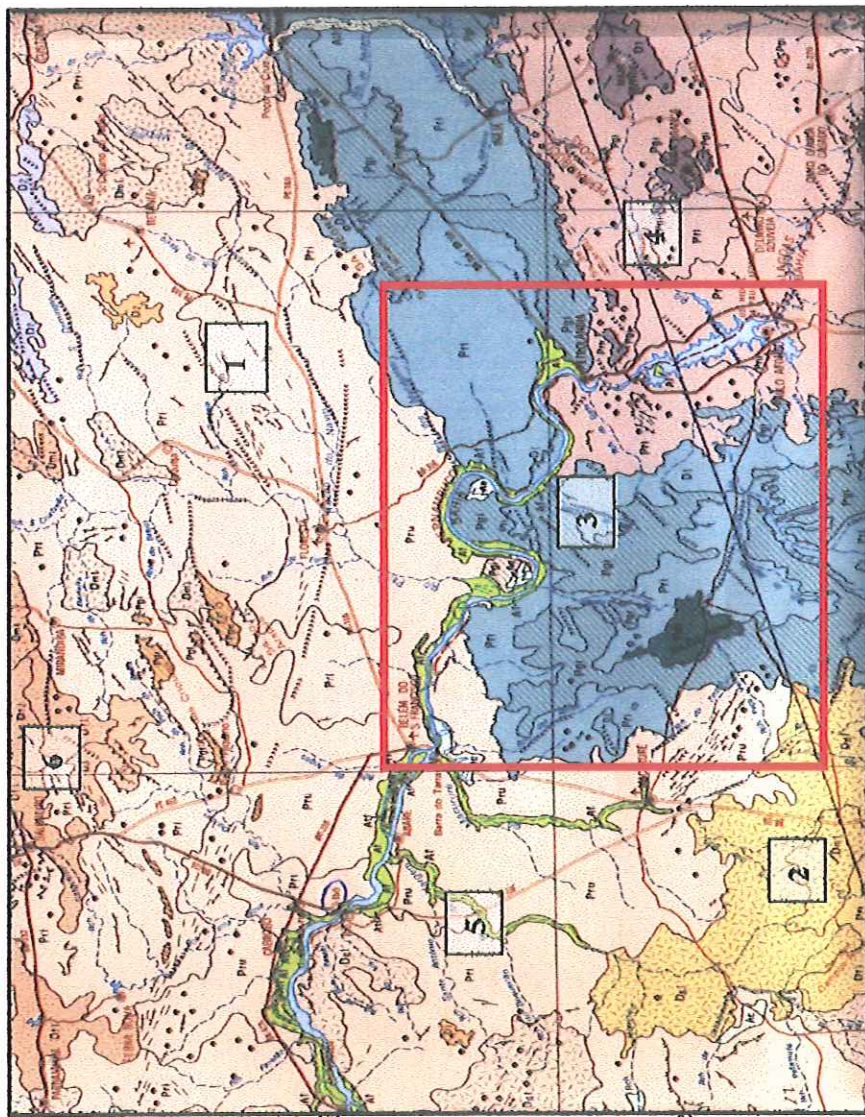


FIGURA 12 – Geomorfologia da região de entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco (Fonte:modificado do Mapa Geomorfológico do RADAMBRASIL, 1983).

3.3.2.2 Hipsometria e Declividade

A Hipsometria da área em estudo registra níveis altimétricos que variam de 250 a 1.000m, embora a quase totalidade da bacia esteja compreendida entre 300 e 600m. Neste contexto dominam os relevos planos e suavemente ondulados, com declives entre 0 e 6% em cotas altimétricas que variam de 250 a 450m. Sobressaem, nestas superfícies aplainadas, os relevos de dissecação, geralmente estrutural, com altitudes entre 500 e 600m. Trata-se de relevos residuais em forma de cristas e barras com orientação N-S e NE-SO, concordando com os alinhamentos estruturais.

Outro tipo de relevo de dissecação ocorre na faixa de 300 a 600m de altitude. Trata-se de um relevo de dissecação homogênea constituída de colinas e lombadas com declives entre 8 e 30%.

A faixa de 600 a 800m abrange apenas o trecho sudoeste da bacia na unidade do Pediplano Cárstico do rio Tourão, representando uma superfície de topo plano com declives entre 0 e 3%, constituindo as nascentes dos afluentes de primeira ordem do rio Tourão.

3.3.3 Geotecnia

Nesta área afloram genericamente rochas que foram agrupadas em quatro domínios geológicos distintos, a saber:

I - Embasamento Cristalino de idade Arqueana e Proterozóica Inferior compreendendo: ortognaisses tonalíticos e quartzo feldspáticos, alcali-feldspato sienitos, quartzo sienitos, cloritas-muscovita-xistos e leucogranitos com muscovita e biotita;

II - Coberturas Plataformais do Proterozóico Superior, compostas basicamente por metassedimentos de composição variada e que foi subdividido em dois sub-domínios: o da Faixa Sergipana composta essencialmente por filitos, ardósias quartzitos e metarenitos, micaxistos, metassiltitos metacalcários e matavulcânicas básicas e ultrabásicas; e o sub-domínio composto por metacalcários e metassedimentos glaciogênicos do Grupo Una e pelos metassedimentos do Grupo Bambuí;

III - Coberturas do Fanerozóico destacando a Bacia Sedimentar de Tucano;

IV - Depósitos detríticos de Coberturas Terciários e Quaternários, além dos sedimentos aluvionares.

3.3.4 Solos

O conhecimento dos solos ocorrentes na região e da potencialidade agrícola permite identificar as áreas agricultáveis e irrigáveis, determinando suas demandas atuais e futuras, bem como definir a estrutura hidráulica necessária para suporte das ações a serem propostas no campo da irrigação e produção agrícola.

3.3.4.1 Descrição dos solos

I - Latossolos Vermelho-Amarelo

Ocorrem com pouca representatividade, ocupando áreas aplainadas relacionadas aos depósitos areno-argiloso das coberturas Tércio-quaternárias. Estes solos são normalmente bem profundos, com boa permeabilidade, forte e acentuadamente drenados, com características físicas que favorecem um bom desenvolvimento das raízes. Possuem fertilidade natural baixa, por se desenvolverem a partir de sedimentos pobres em elementos minerais facilmente intemperizáveis.

II - Podzólicos Vermelho-Amarelo eutrófico

Esta classe de solo tem sua ocorrência disseminada por toda a região, estando relacionado a rochas do embasamento cristalino ou a sedimentos argilo-arenosos enriquecidos por elementos minerais que lhe proporcionam eutrofismo. Via de regra ocorre em áreas aplainadas com declives variando de 0 a 8%.

Suas características físicas e profundidades são variáveis, pois dependem do material do qual são originários. A drenagem também irá variar, uma vez que os solos desenvolvidos em coberturas com sedimentos argilo-arenoso possuem uma boa drenagem, enquanto que aqueles

desenvolvidos a partir de rochas do embasamento cristalino apresentam uma drenagem que normalmente estará comprometida pelas suas características físicas.

Possuem fertilidade natural alta que, quando aliadas a características favoráveis de drenagem e topografia, irão proporcionar um ótimo desenvolvimento para agricultura.

III - Bruno Não-Cálcico

Esta classe de solo desenvolve-se a partir dos diversos litotipos, com predominância de minerais máficos em sua composição, os quais compõem a geologia da área.

Estes solos são autóctones e com fertilidade natural elevada, sendo que sua pouca profundidade e características físicas lhe conferem uma drenagem deficiente, que aliada a outros fatores como pedregosidade em superfície e na massa do solo, cobertura vegetal rarefeita, entre outros, fazem com que estejam sujeitos a processos severos de erosão.

Devido a tais características a sua utilização agrícola é bastante comprometida e o manejo para culturas de sequeiro requer práticas bem acuradas.

IV - Bruno Não Cálcico Planossólico

Este tipo de solo possui características semelhantes ao Bruno Não Cálcico, acrescidas de um valor mais alto de sódio trocável em seu complexo químico, que por conseqüência afeta mais ainda negativamente sua drenabilidade.

V - Planossolos Solódicos

Sua abrangência se dá por quase toda a área, ocorrendo como solo dominante da unidade de mapeamento ou como componente das associadas dessas unidades.

Suas características de pouca profundidade, pedregosidade, cobertura vegetal rarefeita e elevada concentração de sódio, que age como agente dispersante das argilas, proporciona severos problemas de drenagem, o que faz com que a utilização agrícola desses solos seja desaconselhada. Isto é agravado ainda pela pouca tolerância das plantas a elevadas concentrações de sódio.

VI - Solonetz Solodizado

Ocorrem sobre topografia aplainada, tendo seu desenvolvimento semelhante ao do Planossolo Solódico, com o agravante de conter no seu complexo de troca, concentração mais elevada de sais de sódio.

Seu uso tem restrições semelhantes ao do Planossolo Solódico, também agravado pelas concentrações elevadas de sais de sódio, as quais são suportadas apenas por plantas com altíssima tolerância a este elemento, sendo seu uso agrícola proibitivo por tais motivos.

VII - Cambissolos

Estão relacionadas, principalmente, à ocorrência de calcários da formação Caatinga e a rochas xistosas do embasamento, com topografia do tipo aplainada com declives variando de 0 a 8%.

As características químicas, em função dos materiais originários, lhes condicionam elevada fertilidade natural. Já suas características físicas irão depender de vários fatores, que em sua maioria proporcionam solos com problemas de drenagem, geralmente associados a pouca profundidade e dominância de argilas do tipo 2:1.

Estudos mais detalhados se fazem necessários para que se possa cartografar aqueles que apresentam características que o impossibilitem ao manejo hidroagrícola, pois de maneira geral possuem boa potencialidade ao desenvolvimento das plantas.

VIII - Areias Quartzosas

Sua quase totalidade localiza-se na parte oriental da área, numa região conhecida como Raso da Catarina, formada de coberturas compostas de sedimentos predominantemente arenosos, proporcionando áreas com extensos aplainamentos.

São formados por solos normalmente muito profundos, excessivamente drenados e constituídos essencialmente por materiais quartzosos, apresentam severas limitações ao uso agrícola e hidroagrícola devido a sua textura ser composta predominantemente por grãos de areia, que lhes condicionam uma baixa capacidade de troca de cátions e, por conseqüência, baixa fertilidade natural, baixa retenção de umidade e alta taxa de infiltração.

IX - Regossolos

Têm sua ocorrência localizada nas proximidades de Massaroca, na sub-bacia de Poção, e às vezes estão associados aos Podzólicos Vermelho-Amarelos em áreas predominantemente de relevos aplainados e desenvolvidos a partir do retrabalhamento de materiais oriundos de rochas adjacentes.

X - Solos Aluviais

Têm sua área de ocorrência restrita aos terraços aluvionares do rio São Francisco, formados em sua grande maioria por sedimentos silteico-argilosos do período Quaternário, ocorrendo em áreas planas, nas várzeas e terraços de rios. Nesses ambientes de forte dinâmica as características dos sedimentos atuais estão relacionadas à intensidade e à capacidade do escoamento fluvial, apresentando uma moderada a forte instabilidade.

O uso agrícola pode ser prejudicado por inundações a que estão sujeitos, principalmente nos terraços recentes. Sua fertilidade está intimamente relacionada aos sedimentos que lhe deram origem.

XI - Vertissolos

Desenvolve-se predominantemente a partir de calcários da Formação Caatinga e de rochas xistosas, ricas em minerais ferro-magnesianos do Embasamento Cristalino, muitas vezes em condições topomórficas específicas. Quando desenvolvidos a partir de calcários apresenta topografia plana e em algumas situações é recoberto por pedras na superfície e na composição do solo, o que os torna impróprios para utilização agrícola.

XII - Solos Litólicos

Ocorrem disseminados por toda a região, principalmente associados a áreas de relevo movimentado, representados pelas serras locais. Sua ocorrência também se dá em topografia aplainada, ambiente sujeito a severos problemas erosivos, apresentando-se bastante degradado. Desenvolve-se a partir da alteração dos litotipos que compõem a geologia regional. São

normalmente rasos, erodidos, com pedregosidade na superfície e na composição do solo, cobertos por uma vegetação rarefeita.

3.3.4.2 Classificação das Terras para Irrigação

Considerando-se as deficiências de solo, topografia e drenagem, foram identificadas as seguintes subclasses:

- Os solos Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos possuem fertilidade natural elevada, que associada às características favoráveis de drenagem irão proporcionar um bom potencial hidroagrícola.
- Os Cambissolos são derivados predominantemente de rochas calcárias, o que lhes proporcionam elevada fertilidade natural, mas em contrapartida, devido a dominância de argilas do tipo 2:1 e às vezes a pouca profundidade, lhes proporcionam características que irão necessitar de manejo adequado para um bom desenvolvimento agrícola.
- Os Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam como características benéficas para o desenvolvimento das plantas, sua profundidade e friabilidade, mas, em contrapartida, possuem baixa fertilidade natural e às vezes valores elevados de alumínio tratável, que podem ser corrigidos através de calagem e adubação corretiva.
- Outro solo que também é indicado para irrigação por aspersão é o Regossolo, que possui fertilidade natural um pouco mais elevada, devido à presença de minerais de fácil decomposição na massa do solo.
- Os Brunos Não Cálculos, normalmente são enquadrados como solos marginais, mas no caso específico, por situar-se em topografia aplainada aliada à presença de um regolito espesso, proporcionam uma admissibilidade para irrigação, mediante o emprego de práticas de manejo bem específicos.
- Finalmente, as Areias Quartzosas, que foram enquadradas como provisoriamente aptas, em virtude de necessitar-se de estudos complementares em nível mais detalhado que o atual, a fim de se definir os custos de irrigação e de produção, em virtude da baixa fertilidade, alta taxa de infiltração e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, poderão ser classificados, definitivamente, como aptas para irrigação por aspersão ou por outro método especial.

3.3.5 Climatologia

O clima de uma região é resultado da circulação geral da atmosfera, que se traduz em uma complexa combinação de elementos climáticos que interagem entre si (precipitação, temperatura, ventos, etc.) e com fatores fisiográficos, como: a orografia e a continentalidade. Segundo a classificação de Koeppen, o clima da área de estudo é “semi-árido de estepes Bshw” (clima seco de estepe com temperaturas médias anuais superiores a 18°C e ocorrência de chuvas no outono e verão).

- **Pluviometria**

O índice de precipitação predominante na área da bacia corresponde a 500mm, com uma tendência a crescer nos sentidos norte-sul e oeste-leste, devido a influência de efeitos fisiográficos da porção norte da Serra de Jacobina, Serra de Itiúba e da faixa litorânea. A precipitação média anual na região é de 500mm/ano. A maior precipitação média anual é de 691mm/ano e a menor precipitação média anual corresponde a 342mm/ano.

De acordo com o observado, a origem das chuvas na região deve-se principalmente à ZCIT (zona de convergência intertropical), portanto as chuvas acham-se concentradas nos meses de verão, começando em novembro, sendo porém significativas no trimestre de fevereiro a abril. O trimestre chuvoso predominante na região compreende os meses de fevereiro, março e abril.

Os meses de menores precipitações médias estão compreendidos no trimestre julho, agosto e setembro. O período seco na região é muito rigoroso, caracterizado por valores extremamente baixos de precipitação.

- **Temperatura**

A temperatura se constitui num dos elementos fundamentais para a caracterização do clima, já que é consequência da distribuição irregular da energia solar (insolação) e está em relação direta com o balanço de energia.

As máximas das temperaturas médias anuais são observadas na porção norte da bacia, ao longo do rio São Francisco, com valores variando entre 25,5°C e 26,5°C, de acordo com o aumento geral de temperatura em direção ao norte.

As temperaturas na área em estudo variam entre 24°C e 26,5°C, mostrando uma amplitude de variação de cerca de 2,5°C, com uma distribuição equitativa e uniforme, não sendo registrada, em termos de área, uma temperatura predominante.

- **Umidade**

A média da umidade relativa do ar foi estimada em 62,95%, ocorrendo menor umidade em toda a região nos meses de setembro, outubro e novembro, podendo-se estender até dezembro. O quadrimestre mais úmido apresenta-se nos meses de março a junho.

- **Pressão atmosférica**

Os índices médios anuais das pressões atmosféricas, registrados nas estações meteorológicas, variam entre 895 e 984 hPa, apresentando uma amplitude de 89hPa.

- **Nebulosidade**

A sazonalidade da nebulosidade média mensal está relacionada com a da precipitação, com os maiores valores no período chuvoso e os menores no seco. Quanto à sua variação espacial, os índices se apresentam quase constantes para toda a região, com uma média de 5,5.

- **Insolação**

As estações de Senhor do Bonfim e Monte Santo, com altitudes de 558,24 e 464,81m acima do nível do mar, apresentam uma insolação média anual de 2111,7 e 2291,6 horas, respectivamente, enquanto que Petrolina, a 370,46m de altitude, tem 2844,8 horas de insolação.

Na região norte e nordeste da área de estudo o período de maior insolação ocorre entre julho e novembro, incluídos estes, sendo que no restante da região é no período de outubro a março.

A média mensal da região é de 214,5 horas de sol. A maior insolação média mensal apresenta-se no mês de outubro, correspondendo à estação de Floresta, com 284,2 horas de sol.

- **Velocidade e Direção dos Ventos**

Em toda a região, os ventos predominantes são do setor sudeste durante os doze meses do ano.

A velocidade média anual na região norte e noroeste é de 3,7m/s, diminuindo para 2,3m/s na região sudoeste. Os maiores ventos na região acontecem nos meses de julho, agosto e setembro, podendo-se estender até dezembro, na região norte e noroeste.

Os meses de mínima são março e abril, para a região próxima ao vale do São Francisco; entretanto para o restante da área os mínimos ocorrem nos meses de dezembro a fevereiro.

- **Evaporação**

O período de maior evaporação ocorre entre os meses de agosto a dezembro, para a região norte e noroeste, e no restante, de outubro a março.

Os máximos valores de evapotranspiração potencial são registrados na porção norte da área de estudo, diminuindo na medida que se avança para o sul. Observa-se que as áreas que apresentam os maiores valores de evapotranspiração correspondem às regiões de altitude mais elevada e de relevo serrano, enquanto que os menores valores são registrados nas proximidades do vale do São Francisco, consequência da baixa altitude condicionada pelo vale, verificando-se que novembro e dezembro são os meses de maior evapotranspiração potencial média, enquanto que as mínimas são registradas em junho ou julho.

O valor predominante da Evapotranspiração Real em grande parte da área da bacia está em torno de 600mm/ano, com exceção do setor sudoeste, onde, por influência da Serra de Jacobina, este índice chega a 900mm/ano, registrado na estação de Senhor do Bonfim.

3.3.6 Cobertura vegetal

O clima semi-árido a que está submetida a vegetação, constitui-se em elemento determinante para a existência de uma caatinga hiperxerófita, com a presença marcante de plantas extremamente aclimatadas a esta condição de déficit hídrico, pois a cobertura vegetal original reflete, de algum modo, a expressão do clima em relação a altitude, latitude, relevo e tipo de solo. A vegetação, por sua vez, serve de abrigo, refúgio, área de reprodução e fonte de alimento para os animais silvestres adaptados as condições adversas do clima semi-árido.

3.3.6.1 Descrição dos Ecossistemas

- **Caatinga**

A caatinga é constituída por formações vegetais naturais xerófitas que apresentam uma fisionomia extremamente peculiar na época seca, quando apresenta uma massa arbustiva e/ou arbustiva-arbórea com coloração acinzentada, completamente ressecada, geralmente aberta, decídua, onde somente algumas espécies espinhosas, como as cactáceas, conservam seu aspecto verde natural. A vegetação da caatinga encontra-se em estreita relação com as estações climáticas distintas, sendo uma seca, e outra com chuvas torrenciais, sendo que a época da estiagem se prolonga muitas vezes por mais de 8 meses, configurando um índice hídrico negativo, revelando uma forte deficiência de água disponível para as plantas no solo, caracterizando o estado de semi-aridez ou aridez climática.

A caatinga é a cobertura vegetal que predomina ao longo de toda a região da bacia hidrográfica do Sub-Médio São Francisco. Esta formação vegetacional é fortemente caracterizada pelo fato de somente apresentar folhas durante curto período de chuvas, ficando a maior parte do ano inteiramente sem folhas, tornando-se clara devido a penetração da luz, o que confere um tom branco acinzentado aos troncos e galhos. Na sua composição florística pode ou não apresentar cactáceas, palmeiras, bromeliáceas e outras plantas xerófitas, principalmente da família das leguminosas.

- **Caatinga Arbustiva-Arbórea.**

A fitofisionomia desta subformação é marcada pela deciduidade foliar, com característica xeromórfica (seca), podendo ser aberta ou fechada, conforme a densidade e distribuição das espécies, sendo basicamente constituída por dois estratos (arbustivo-arbóreo) significativos e distintos.

- **Caatinga Arbustiva**

Esta subformação vegetal é sem dúvida a mais comum ao longo de toda área de influência da bacia. Bastante marcada pela deciduidade na época seca, apresenta-se densa ou aberta com espécies de porte inferior a 3 metros de altura, com ou sem a presença de palmeiras, bromélias ou cactáceas.

Na região do Raso da Catarina, a predominância do estrato arbustivo, decorre basicamente da condição pedológica, que dificulta o desenvolvimento das espécies de porte arbóreo devido à pouca camada de solo e à impossibilidade de reter água, daí a denominação de “raso”.

- **Caatinga-Parque**

A caatinga-parque possui características fisiômicas típicas, incluindo arbustos raquíticos com copas arredondadas, distribuídos espaçadamente como se fossem plantados sobre denso tapete graminóide.

- **Caatinga de Aluvião**

Esta subformação vegetal apresenta-se de forma marcante para uma região de clima semi-árido, onde a deficiência de água no solo é quase uma constante. Os terrenos de aluvião conseguem reter a umidade por mais tempo e por isso, a vegetação nessa área é mais exuberante, notadamente quando comparada com a vegetação de tabuleiros ou terras altas. Este tipo de vegetação ocorre como matas ciliares ou matas de galerias e nas planícies de inundações das mesmas.

A mata ciliar das margens do rio São Francisco atualmente está praticamente devastada, restando poucos trechos sem expressão fitofisionômica, já que a intervenção do homem foi significativa sobre estas áreas.

4. METODOLOGIA

A área delimitada para o estudo compreende o trecho do rio São Francisco localizado a montante do Reservatório de Itaparica ($08^{\circ}47'56,2''S$ e $38^{\circ}57'54,5''W$) até montante do Reservatório de Xingó ($09^{\circ}26'20,4''S$ e $38^{\circ}07'55,2''W$). Neste trecho encontram-se em operação a Hidrelétrica Luiz Gonzaga (no Reservatório de Itaparica), a Hidrelétrica Apolônio Sales (no Reservatório de Moxotó) e as Hidrelétricas PA I-II-II e IV (no Complexo Paulo Afonso).

Nesta área foi avaliada a variação da concentração de material em suspensão em função da profundidade; a variabilidade espacial desse material ao longo dos reservatórios na superfície e no meio da coluna d'água (através da correlação entre as medidas de campo e as medidas de reflectância da água derivadas das imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 e ETM⁺ do Landsat 7) e sua deposição em várias estações nos quatro reservatórios (através de câmaras de sedimentação), avaliando-se, ainda, as características físicas, químicas e biológicas da água. Na tentativa de compreender melhor as origens do material em suspensão na área de entorno dos reservatórios, avaliou-se os usos e ocupações da bacia, nessa região, através do processamento de uma imagem do satélite Landsat 5.

4.1. Estações e frequência de amostragem

Foram coletadas amostras em 23 estações de coleta, as quais foram distribuídas no corpo central, braços e afluentes dos reservatórios. A distribuição das estações está representada nas Figuras 13, 14 e 15. As estações SF01 à SF09 foram localizadas no reservatório de Itaparica, as estações SF10 à SF16 no reservatório de Moxotó, as estações SF17 à SF21 no reservatório de Paulo Afonso IV e as estações SF22 à SF23 no reservatório de Paulo Afonso I-II-III.

Cinco coletas, em intervalos trimestrais, foram realizadas, compreendendo os meses de setembro e dezembro de 1999 e março, junho e setembro de 2000, caracterizando um ciclo hidrológico completo. A primeira coleta foi realizada no período de 27 de setembro a 01 de outubro de 1999; a segunda coleta no período de 15 a 19 de dezembro de 1999; a terceira de 15 a 20 de março de 2000; a quarta coleta no período de 18 a 24 de junho de 2000

e a última foi realizada no período de 25 a 30 de setembro de 2000. Para a obtenção de modelos empíricos de estimativa de distribuição de material em suspensão na água utilizaram-se imagens de satélite obtidas em setembro de 1999, janeiro e maio de 2000, devido à impossibilidade de obtenção de imagens com baixas coberturas de nuvens coincidentes com as coletas de campo.

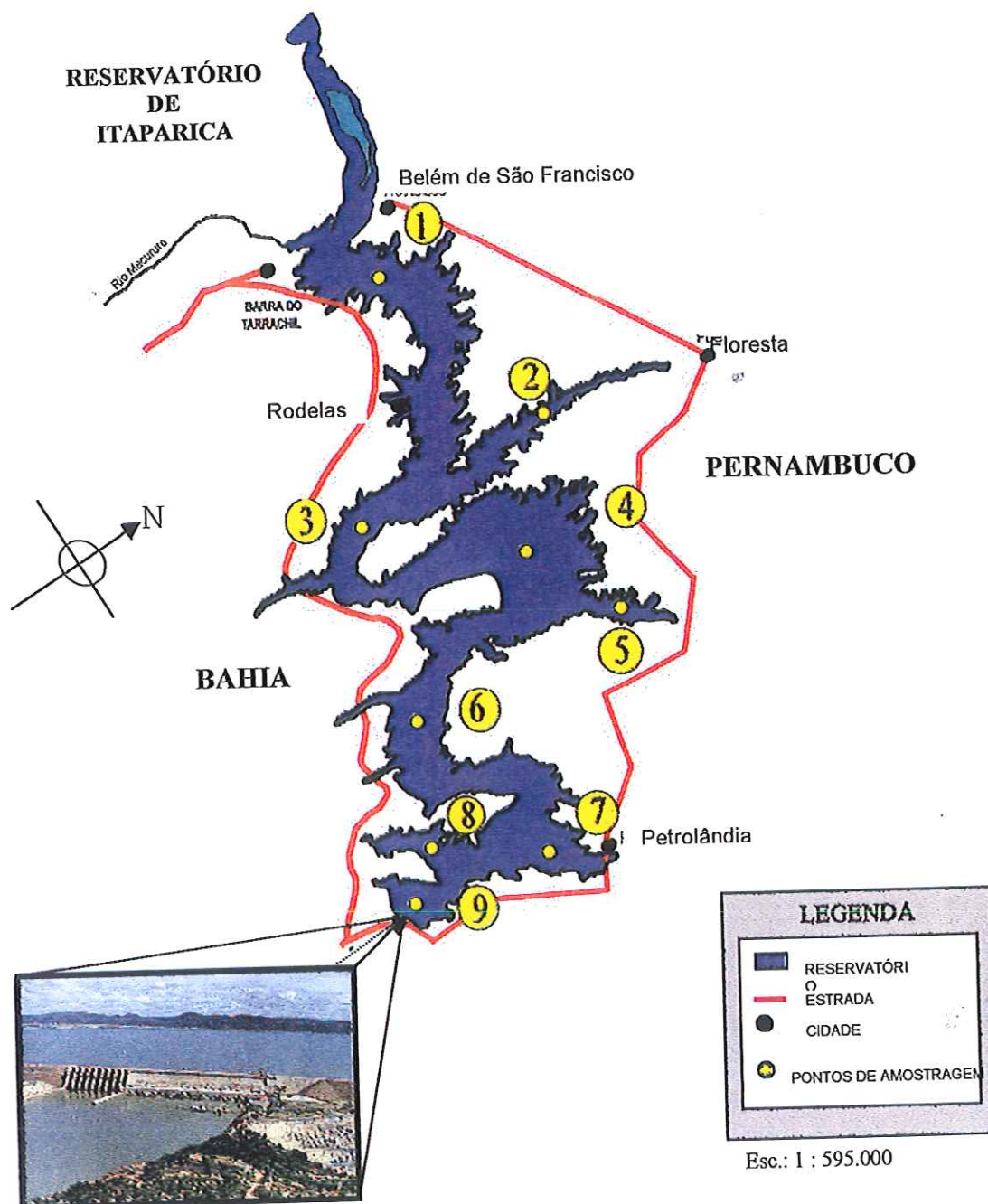


FIGURA 13 – Localização do reservatório de Itaparica em relação aos Estados da Bahia e Pernambuco; localização dos pontos amostrados no reservatório e vista parcial da barragem.

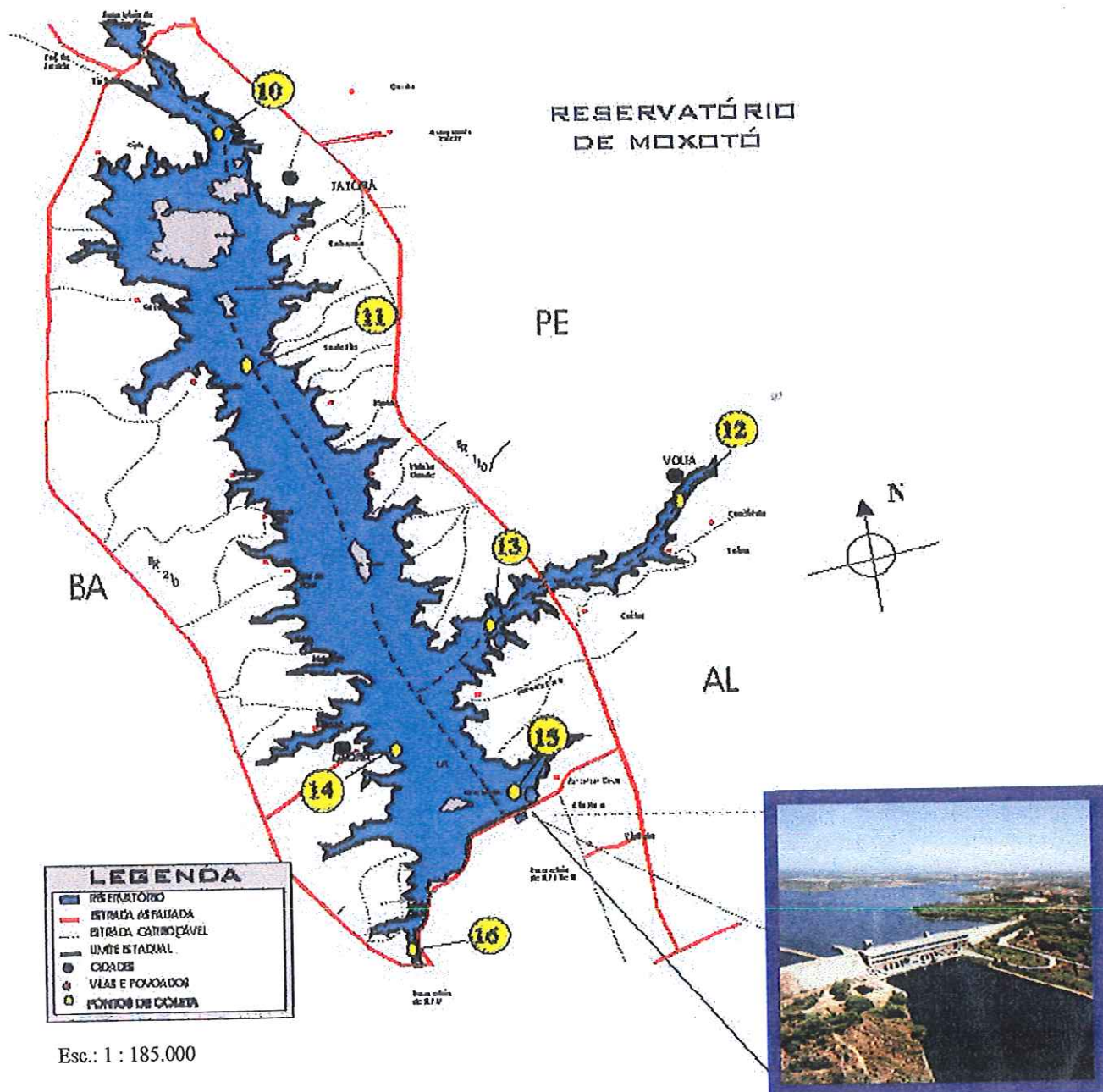


FIGURA 14 – Localização do reservatório de Moxotó em relação aos Estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas; localização dos pontos amostrados no reservatório e vista parcial da barragem.

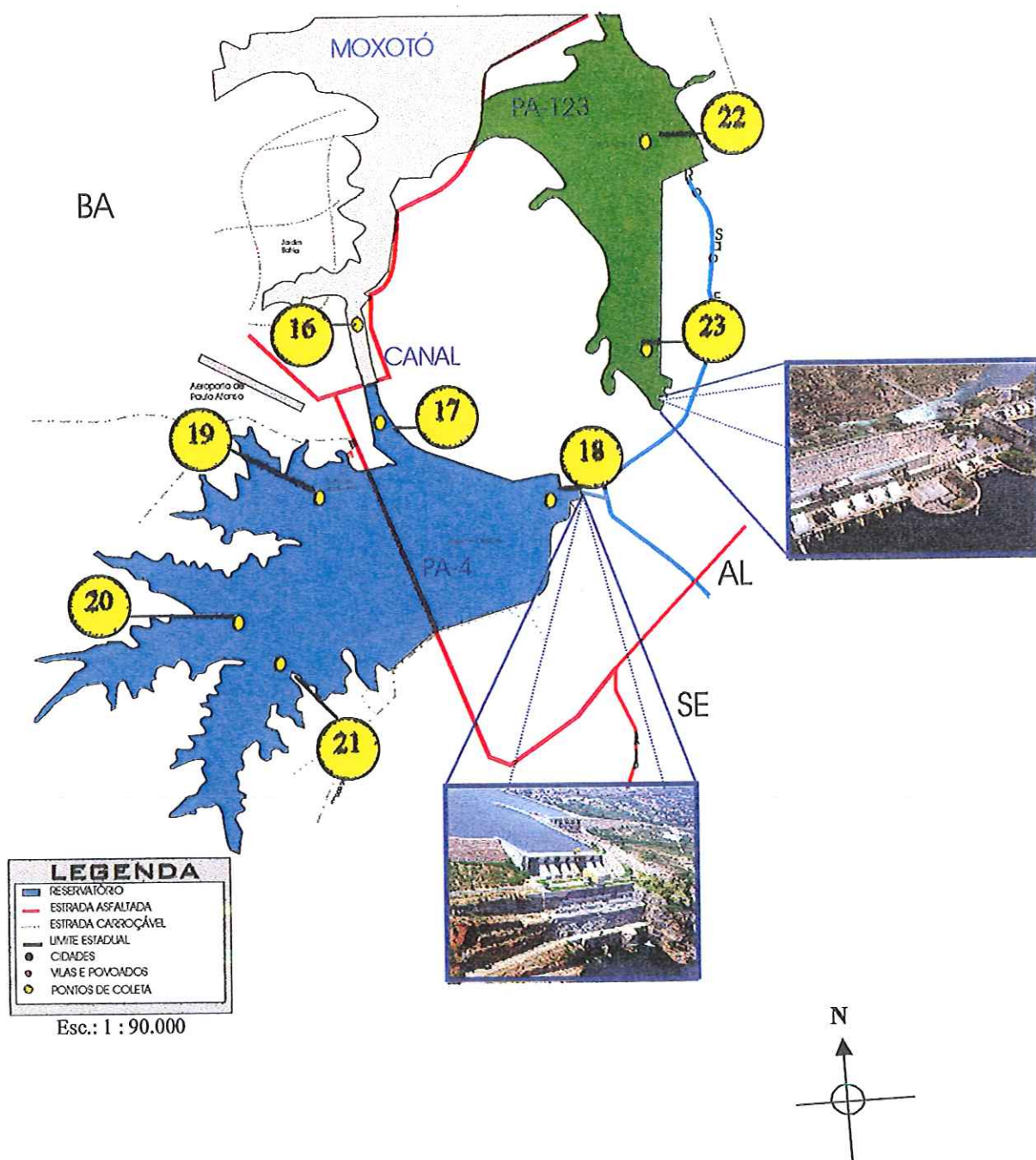


FIGURA 15 – Localização do reservatório de Paulo Afonso I-I-III-IV em relação aos Estados da Bahia, Sergipe e Alagoas; localização dos pontos amostrados nos reservatórios e vistas parciais das barragens.

4.2. Análise das variáveis ambientais

- **Variáveis climatológicas**

Os dados da precipitação, medidos entre setembro de 1999 e setembro de 2000, foram obtidos de postos pluviométricos próximos à área de estudo, junto a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). O INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) forneceu as médias mensais de vento e temperatura do ar medidos na estação meteorológica de Cabrobró, referentes aos anos de 1999, 2000 e 2001, possibilitando a caracterização da climatologia regional.

- **Vazão e tempo médio de residência.**

Os dados das vazões da água e variação de cotas nos reservatórios foram cedidos pela CHESF (Companhia Hidrelétrica do Vale do São Francisco). Deve-se salientar que não existe vazão vertida nos reservatórios, mas somente vazão turbinada.

A partir dos dados de vazões e volumes dos reservatórios foram calculados os tempos de residência da água (dias), utilizando-se a fórmula

$$Tr = V / 86400 \times Q$$

onde:

Tr – tempo de residência (dias)

V – Volume do reservatório (m³)

Q – vazão média mensal turbinada (m³/s)

86400 – fator de conversão do dia em segundos.

- **Transparência da água e coeficiente de atenuação de contraste vertical.**

Para estimar o coeficiente de atenuação vertical da luz na água, utilizou-se o disco de Secchi, com 0,30m de diâmetro (PRESEINDORFER, 1986; KIRK, 1994). A leitura foi feita em função do valor médio das medidas da profundidade de desaparecimento e ressurgimento do disco imerso verticalmente na água, sendo este valor utilizado para avaliação da extensão da zona eufótica (COLE, 1975).

- **Temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido.**

As medidas destas variáveis foram feitas utilizando-se o medidor de qualidade de água *Water Checker Quality*, marca HORIBA, sendo as medidas obtidas de metro em metro da superfície até próximo ao sedimento em cada estação.

- **Material em suspensão e clorofila.**

As coletas de água para determinação da clorofila e material em suspensão foram feitas utilizando-se uma garrafa de Van Dorn, coletando-se amostras de água na superfície, meio e próximo ao sedimento (fundo).

Para determinação de clorofila-a foram filtrados 200 ml das amostras em filtro tipo GF/C Whatman, com porosidade de 45 μm e condicionados em frascos âmbar, com sílica-gel, sendo mantidos à baixa temperatura até o momento da extração. A extração foi feita com etanol 80%, aquecido a 75°C (NUSCH, 1980). Após extração e permanência das amostras no escuro por pelo menos 14 horas, foi feita a leitura das absorvâncias em espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 665 e 750 nm.

Para determinação da concentração de sólidos totais e frações orgânica e inorgânica, utilizou-se o método gravimétrico (TEIXEIRA *et al.*, 1965 e TUNDISI, 1969), considerando-se as seguintes equações:

$$1) \text{ M.S.T.} = \frac{\text{P2} - \text{P1}}{\text{V}} \times 1000$$

Onde:

M.S.T. = material em suspensão total (mg.L^{-1})

P1 = peso inicial do filtro (g)

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

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

1000 = conversão para miligramas

$$2) \text{ M.S.I} = \frac{\text{P3} - \text{P1}}{\text{V}} \times 1000$$

Onde:

M.S.I. = material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1})

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

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

Onde:

M.S.O. = material em suspensão orgânico ($mg.L^{-1}$)

- **Nitrogênio e fósforo total**

Das amostras de superfície, meio e fundo da coluna d'água (coletadas com garrafa de Van Dorn) foram determinadas as concentrações de nitrogênio total, segundo metodologia descrita em GOLTERMAN *et al.* (1978) e fósforo total, conforme descrito no APHA (1995). As análises foram feitas no Laboratório de Limnologia, do Núcleo de Estudos de Ecossistemas Aquáticos (NEEA) do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), da Universidade de São Paulo.

- **Nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e ortofosfato**

Amostras de água também foram coletadas (superfície, meio e fundo) com garrafa de Van Dorn para determinação da concentração de nutrientes dissolvidos, as quais foram previamente filtradas em filtro tipo GF/C Whatman, com porosidade de 45 μm . As análises foram realizadas no Laboratório de Limnologia do Departamento de Pesca da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). As concentrações de nitrito, nitrato, íon amônio e ortofosfato foram determinadas segundo os métodos descritos em GOLTERMAN *et al.* (1978), MACKERET *et al.* (1978), KOROLEFF (1976) e STRICKLAND & PARSONS (1960), respectivamente.

4.3. Análise dos dados limnológicos

4.3.1. Índice de Estado Trófico (I.E.T.)

Em função da concentração de nutrientes no corpo hídrico e das implicações ecológicas associadas a essa disponibilidade, são realizadas classificações de estado trófico em lagos e reservatórios. CARLSON (1974) desenvolveu de maneira simplificada, através da transformação linear da profundidade do disco de Secchi e das concentrações de clorofila *a* e fósforo total, o Índice de Estado Trófico (IET), conforme as relações:

$$\text{IET (S)} = 10 \times [6 - (\ln S / \ln 2)]$$

$$\text{IET (P)} = 10 \times \{6 - [\ln (65 / P) / \ln 2]\}$$

$$\text{IET (Cl)} = 10 \times \{6 - [(2,04 - 0,68 \ln \text{Cl}) / \ln 2]\}$$

onde:

IET – índice de estado trófico

S – profundidade do disco de Secchi (m)

P – concentração de fósforo total (mg/m^3)

Cl – concentração de clorofila a na superfície (mg/m^3)

Este índice foi ampliado por KRATZER & BREZONIK (1981) com a introdução do nitrogênio total, através da equação:

$$\text{IET (N)} = 10 \times [(\ln 1,47 / N) / \ln 2]$$

onde:

N – concentração de nitrogênio total

A partir dos estudos de KRATZER & BREZONIK (*op. cit.*), TOLEDO *et al.* (1983) apresentaram modificações para permitir a adaptação destes índices às condições encontradas em reservatórios e lagos de regiões tropicais. Além de recalculer o índice proposto anteriormente, os autores acrescentaram uma expressão para o fosfato inorgânico. As relações propostas por TOLEDO *et al.* (*op. cit.*) são expressas pelas equações:

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

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

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

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

onde:

IET – índice de estado trófico

S – profundidade do disco de Secchi (m)

P – concentração de fósforo total na superfície ($\mu\text{g/L}$)

PO_4 – concentração de fosfato inorgânico na superfície ($\mu\text{g/L}$)

Cl – concentração de clorofila *a* na superfície ($\mu\text{g/L}$)

O critério de classificação proposto seria:

Oligotrófico se : $\text{IET} \leq 44$

Mesotrófico se : $44 < \text{IET} < 54$

Eutrófico se: $\text{IET} \geq 54$

Segundo TOLEDO *et al.* (1983), a profundidade do disco de Secchi é muito afetada pela alta turbidez dos reservatórios, em grande parte do ano. Dessa forma, esse parâmetro não é suficientemente representativo na indicação do seu estado trófico. Assim, os autores sugerem a ponderação dos índices na determinação do IET médio com menor peso para aquele calculado a partir das profundidades de Secchi, propondo a seguinte equação:

$$\text{IET (médio)} = \{ \text{IET (S)} + 2 [\text{IET (P)} + \text{IET (PO}_4) + \text{IET (Cl)}] \} / 7$$

Esta equação será utilizada na determinação do estado trófico dos reservatórios do sub-médio São Francisco.

4.3.2 Análise estatística das variáveis limnológicas

No sentido de avaliar o comportamento dos reservatórios em função da sua construção em cascata foram suprimidos os valores obtidos nas estações localizadas nos afluentes (rios Pajeú-SF02 e Moxotó-SF12) e braços dos reservatórios (SF07, SF08, SF13, SF14, SF19, SF20 e SF21) quando da análise estatística. Portanto, foram incluídas apenas as estações nos eixos dos reservatórios: SF01, SF03, SF04, SF05, SF06, SF09, SF10, SF11, SF15, SF16, SF17, SF18, SF22 e SF23.

As análises estatísticas dos resultados foram usadas para avaliar se os dados diferem significativamente em relação aos reservatórios (1-Itaparica, 2-Moxotó, 3-Paulo Afonso I-II-III e 4-Paulo Afonso IV), períodos (seca e chuva) e profundidades (superfície, meio e fundo), sendo a metodologia de análise determinada em função da normalidade e homogeneidade dos dados.

As concentrações de material em suspensão foram comparadas através de uma análise de covariância. O reservatório, período e profundidade foram as variáveis

independentes (fatores), a concentração de material em suspensão (MST) foi a variável dependente e a distância do ponto de coleta em relação a barragem mais próxima à jusante foi a covariável. As pressuposições de homocedasticidade (homogeneidade de variância), normalidade dos resíduos e paralelismo dos tratamentos foram testadas. Verificou-se que as duas primeiras foram violadas. Uma transformação LN (MST+0,5) foi empregada para que os dados satisfizessem todas as pressuposições (ZAR, 1999).

A avaliação da variação espacial (vertical e horizontal) e temporal dos valores de nitrogênio e fósforo totais, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, ortofosfato e clorofila foi feita através de uma análise de variância. O reservatório, o período e a profundidade foram as variáveis independentes (fatores) e os parâmetros limnológicos foram as variáveis dependentes em cada ANOVA. As pressuposições de homocedasticidade (homogeneidade de variância) e normalidade dos resíduos foram analisadas. Quando uma delas ou ambas as pressuposições foram violadas, adotou-se uma transformação LN (variável+0,5) para tentar homogeneizar as variâncias e/ou normalizar os resíduos. Se um fator fosse significativo e possuisse mais que dois tratamentos (reservatório ou profundidade), um teste de Tukey foi utilizado para detectar diferenças nos tratamentos. O nível de significância considerado na ANOVA e no teste de Tukey foi de 5% e para o teste de homocedasticidade foi de 1%. Utilizou-se o nível de significância de 1% para detectar variâncias que fossem bastante heterogêneas, pois a ANOVA é robusta a pequenas e médias heterocedasticidades (ZAR, 1999).

4.4. Deposição de material em suspensão nos reservatórios

A determinação da taxa de sedimentação de material em suspensão nos reservatórios foi feita através da instalação de câmaras de sedimentação, incubadas nas estações próximas às barragens e nos principais afluentes aos reservatórios (estações SF01, SF02, SF09, SF10, SF12, SF15, SF18 e SF23), em dezembro/99 (início da estação chuvosa) e junho/00 (estação seca). Contudo, a análise dos dados de deposição do material particulado nos experimentos realizadas (dezembro/99 e junho/00) mostrou que ocorreu maior sedimentação no reservatório de Itaparica, o que induziu a instalação de um experimento isolado em março de 2001. Neste experimento foram instaladas 11 câmaras de sedimentação ao longo do eixo do reservatório de Itaparica (Figura 16), que apresentou as maiores concentrações de material em suspensão, seguindo-se o mesmo procedimento adotado nos dois experimentos anteriores.

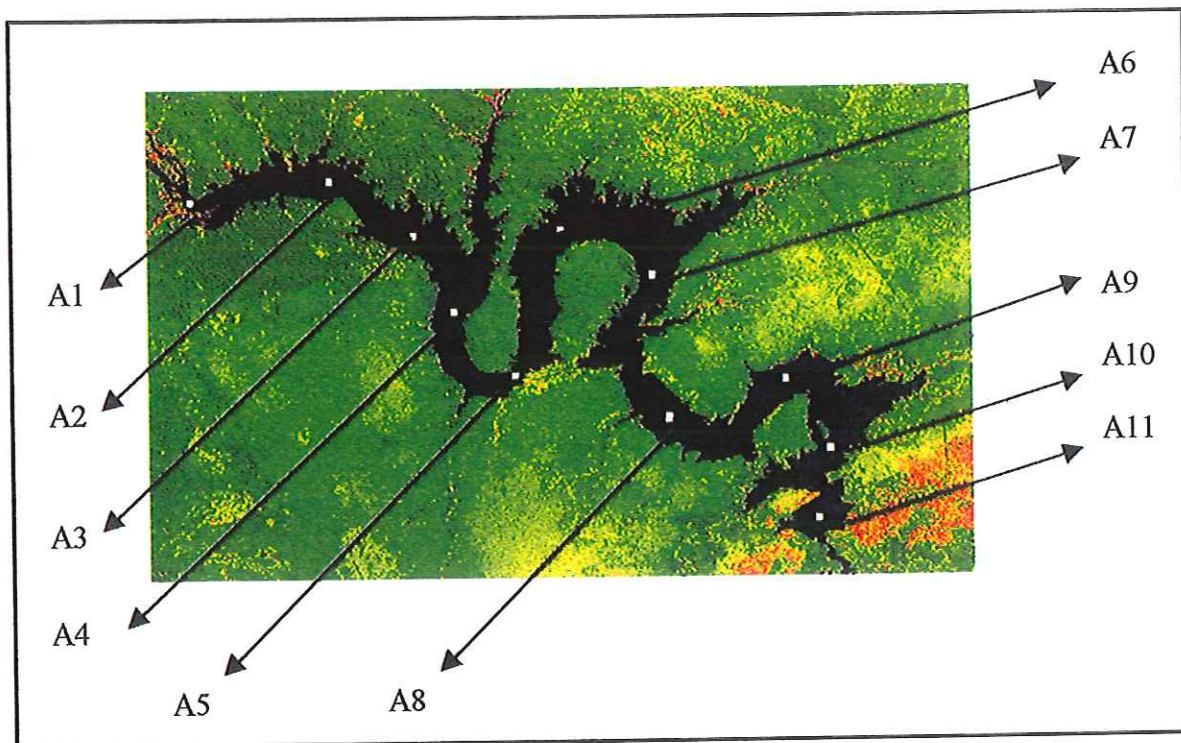


FIGURA 16 – Localização das armadilhas de sedimentação instaladas no reservatório de Itaparica, no experimento isolado realizado em março/01.

As câmaras constituiram-se de tubos de PVC, com uma proporção de 1:3 (diâmetro:comprimento), sendo instaladas a 70% da profundidade do reservatório e montadas com quatro réplicas (Figura 17), seguindo as recomendações de MARICATO (1994) e LEITE (1998).

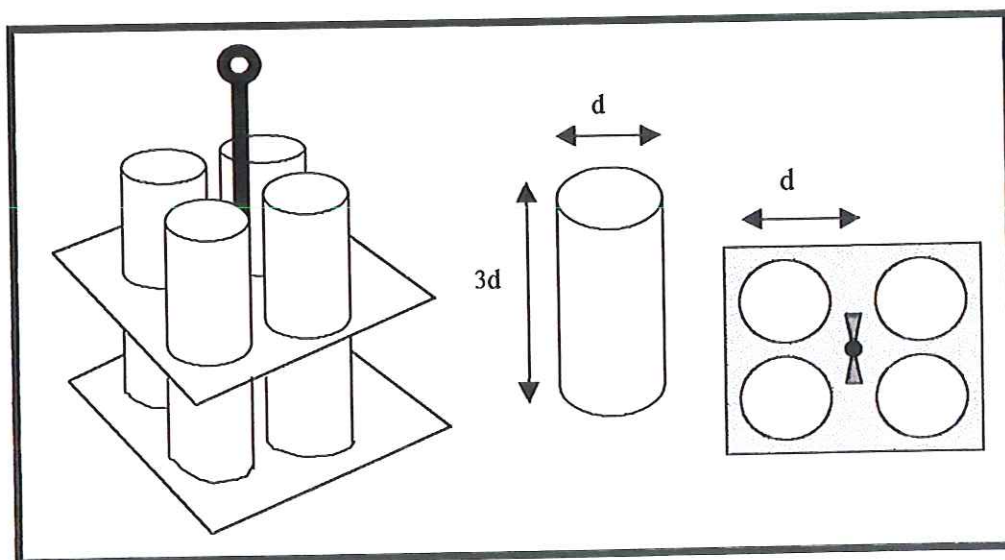


FIGURA 17 – Câmaras de Sedimentação

Após período de incubação (no mínimo 24 horas), as amostras das quatro câmaras foram homogeneizadas e compostas para determinação da concentração de material em suspensão, sendo a taxa de deposição calculada pela quantidade de material da amostra filtrada, corrigida para o volume médio das câmaras de sedimentação. Os valores foram expressos em unidade de área (cm²) e de tempo (período de incubação). A taxa de sedimentação (TS) foi calculada pela seguinte equação:

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

Onde:

TS – taxa de sedimentação do material particulado, em mg/cm².dia;

V_c = volume das câmaras de sedimentação, em L;

M.S.T. = concentração de material em suspensão total dentro das câmaras, em mg.L⁻¹;

A_c = área da superfície de abertura da câmara de sedimentação, em cm² ;

T = tempo em dias

4.5. Aquisição e processamento dos dados digitais.

4.5.1 Uso de imagens Landsat na avaliação da distribuição de material em suspensão nos reservatórios.

Duas imagens do satélite Landsat 7 e uma imagem do satélite Landsat 5, todas da órbita 216 e ponto 66, respectivamente de 30 de setembro de 1999, 11 de maio de 2000 e 28 de janeiro de 2000, foram adquiridas para determinação de correlação entre valores de material em suspensão (determinados nas coletas de campo) e os dados espectrais. Estas imagens foram adquiridas das empresas Intersat e Engesat, com correção geométrica nível GPC e georreferenciadas (na projeção UTM – Fuso 24, elipsóide WGS 84, datum WGS-84).

As imagens dos satélites Landsat foram processadas com o auxílio do programa *ENVI (The Environment for Visualizing Images) for Windows*, versão 3.2, desenvolvido pela *Better Solutions Consulting Limited Liability Company* – EUA e pelo programa S6 (VERMOTE *et*

al., 1997), utilizando-se um computador Pentium III-850 , 64Mb de memória, com HD 20 Gb.

Inicialmente foram feitas correções na imagem para redução dos erros radiométricos e instrumentais, resultantes dos efeitos de dispersão atmosférica ou possíveis problemas no sistema sensor. A correção da imagem, para eliminação da influência atmosférica na radiação detectada, foi obtida através da subtração do valor do nível digital mínimo da cena em cada banda (*dark subtraction*) a partir do Método do Histograma RITCHIE *et al.* (1976). Não foram observadas nas imagens ocorrências de um padrão de linhas horizontais ou linhas não imageadas.

O programa ENVI-3.2 permite a identificação das bandas existentes na imagem e disponibiliza-as sequencialmente para processamento. Uma vez que as bandas do TM/ETM que podem representar os componentes da água são TM1/ETM1 (0,45-0,52 μm), TM2/ETM2 (0,52-0,60 μm), TM3/ETM3 (0,63-0,69 μm) e TM4/ETM4 (0,76-0,90 μm), foi obtido um único arquivo de imagem reunindo todas as bandas de uma mesma data, o qual foi posteriormente recortado para se delimitar apenas a área em estudo (módulo *resize images* do ENVI-3.2) e desta forma reduzir o espaço de armazenamento dos dados e o tempo necessário para processá-los.

A absorção da radiação eletromagnética na região do infravermelho próximo permitiu que a banda 4 (TM ou ETM) fosse utilizada para a delimitação do corpo d'água em estudo. Essa delimitação foi feita através da construção de uma máscara a partir de uma operação booleana na banda 4, fazendo-se com que a todos os *pixels* referentes a água fosse atribuído o valor 1 e aos demais o valor 0 (construção de máscara, módulo *masking* do ENVI-3.2). Esta máscara foi construída e aplicada à imagem recortada com a região de estudo (bandas 1, 2, 3 e 4), obtendo-se a variação de níveis digitais apenas no corpo d'água.

Os valores de radiância já corrigidos foram a seguir transformados para valores de reflectância aparente, utilizando-se o programa S6 para as imagens Landsat 7 e o programa ENVI-3.2 (módulo *calibration utilities*) para a imagem Landsat 5. A transposição dos valores procurou normalizar os níveis de resposta de um mesmo alvo referentes a registros efetuados em períodos distintos de imageamento, através da entrada do ângulo solar do dia da passagem do satélite. Valores de reflectância aparente tendem a reduzir as diferenças entre os valores radiométricos obtidos a partir de diferentes ângulos de incidência de iluminação e ajustes nos sensores, pois incorporam informações relativas aos ângulos de elevação e azimute solar.

Para aquisição dos valores de reflectância nas estações de coleta, as coordenadas de latitude e longitude (registradas após detecção de ao menos 6 satélites com GPS Garmin no

campo) foram localizadas nas imagens e o valor médio (janela de 7x7 pixels, módulo *region of interest* –ENVI-3.2) de nível digital das bandas TM1/ETM1, TM2/ETM2, TM3/ETM3 e TM4/ETM4 determinados.

A partir dos valores médios de reflectância em cada estação de amostragem e dos valores de concentração de material em suspensão (determinados na superfície e meio da coluna d'água), foram feitas análises estatísticas com o programa STATISTICA-5.0 para determinação das matrizes de correlação de Pearson. Estas correlações foram obtidas para as datas isoladas e para o conjunto de datas.

Ainda na tentativa de obtenção de um melhor modelo empírico que representasse a distribuição de material em suspensão nos reservatórios em qualquer época, foi feito um procedimento de normalização, a fim de minimizar grandes variações na radiometria das cenas adquiridas em diferentes épocas. Originalmente desenvolvida por SCHOTT *et al.* (1988) e modificada, *a posteriori*, por GALO & NOVO (2000), a técnica de normalização utilizada aplica uma série de transformações lineares, realizadas banda a banda, a partir da média e desvio padrão dos valores de brilho de uma das imagens multiespectrais utilizadas, chamada aqui de imagem de referência. Neste estudo a imagem com maior contraste foi adquirida em 28 de janeiro de 2000 e usada, portanto, como referência. A normalização foi realizada a partir da implementação do algoritmo de normalização em IDL.4 (Research Systems, 1995).

Finalmente, com os dados que apresentaram melhores correlações, foram determinadas equações lineares de regressão, através do método de mínimos quadrados, para determinação do modelo de distribuição de sólidos em suspensão totais nos reservatórios. Os modelos obtidos foram implementados no programa ENVI, através do módulo *band math*, gerando uma imagem cujos valores em cada *pixel* representavam, agora, as concentrações de sólidos em suspensão conforme o modelo aplicado. Para esta nova imagem, foi aplicado um mapeamento de cores, através do fatiamento de densidades (*color mapping / density slice*), gerando mapas das classes de concentração, determinadas a cada incremento de 2 mg/L de sólidos em suspensão total.

A aplicação de regressão múltipla na determinação de modelos que relacionassem mais de uma banda com os dados de material em suspensão também foi analisada, mas devido à alta colinearidade entre as bandas, concluiu-se que os modelos baseados em apenas uma banda eram mais adequados. Uma síntese do processamento das imagens é apresentada na Figura 18.

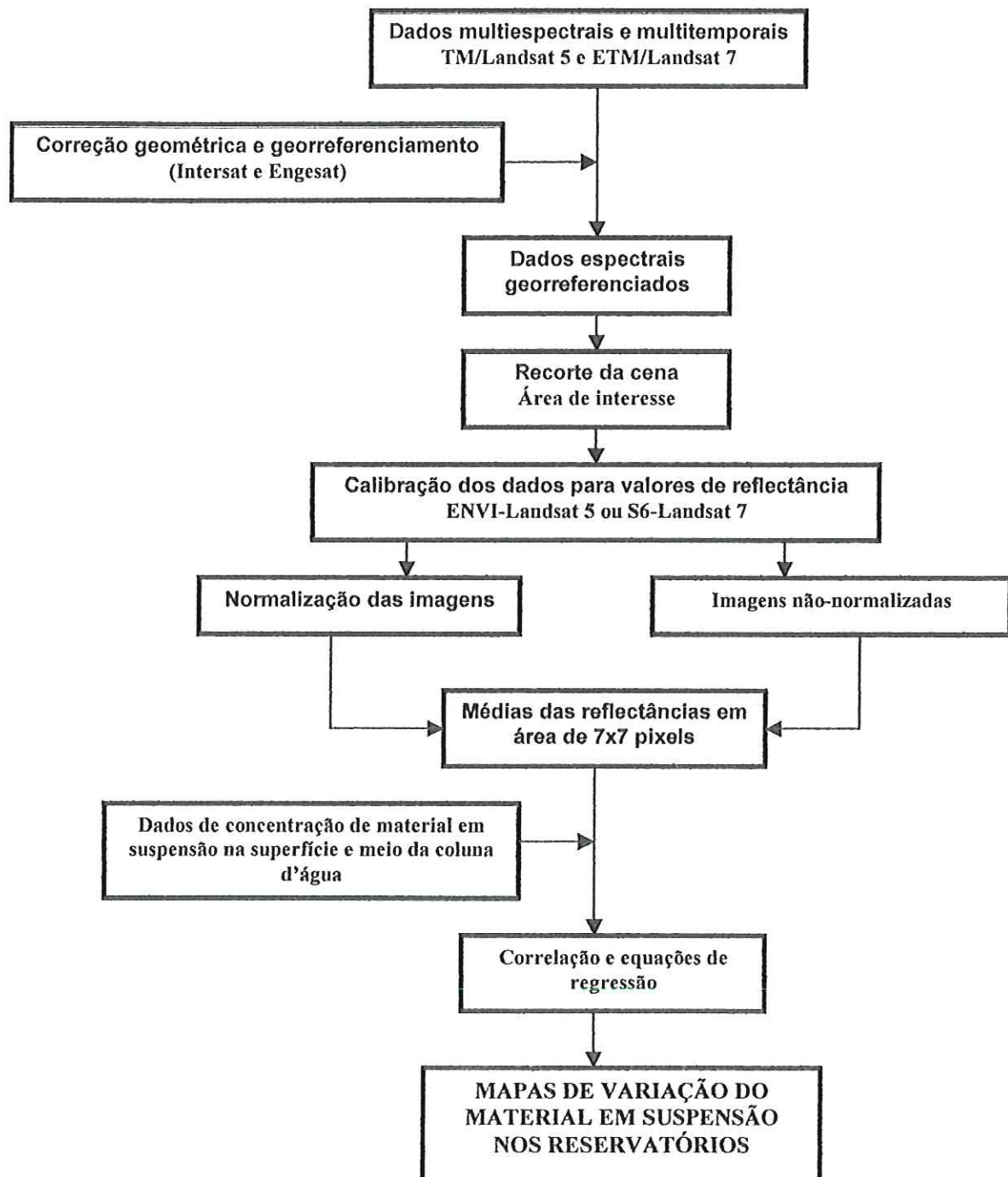


FIGURA 18 – Fluxograma do processamento das imagens TM-Landsat 5 e ETM-Landsat 7.

4.5.2 Uso de imagem Landsat na determinação de usos do solo no entorno dos reservatórios.

A imagem Landsat 5 obtida em janeiro/00 foi usada na determinação dos usos e ocupação da área de entorno dos reservatórios. Nesse sentido, foram adotadas classes temáticas no norteamento da classificação dos dados espectrais, onde o interesse maior foi o mapeamento das áreas ocupadas com Caatinga Preservada, Caatinga Degradada, Mata Ciliar e Culturas Irrigadas. Entretanto, outros tipos de dados foram mapeados, tais como Áreas Alagadas, Áreas Urbanas, Água, Ilhas e Nuvens.

O tratamento da imagem foi feito pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a partir da criação de um banco de dados georreferenciado, contendo vários planos de informações, tais como: dados originais do Landsat 5 (bandas TM3, TM4 e TM5), composições coloridas (imagens sintéticas resultantes da combinação dessas três bandas) e resultados obtidos nos procedimentos de classificação, ou seja: segmentação e mapas temáticos contendo a distribuição espacial dos diferentes alvos de ocupação do solo. Todo o processamento da imagem foi feito utilizando-se o software SPRING 3.4 (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Utilizou-se uma classificação não-supervisionada por regiões, que resulta no emprego de um algoritmo de classificação considerando as informações espectrais contidas no “pixel” e informações espaciais do “pixel” e de seus vizinhos. Na verdade, esta abordagem de classificação tenta simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas dentro de uma imagem. Esse tipo de classificação é um procedimento que envolve a aplicação de vários passos metodológicos tais como: segmentação dos dados orbitais; extração de regiões; classificação e mapeamento.

A segmentação foi feita considerando as informações espectrais contidas nas bandas TM3, TM4 e TM5 do Landsat 5, visando separar a área de estudo em polígonos com “pixels” espectralmente semelhantes (segmentos). Para realizar a segmentação, o algoritmo requer informações de dois parâmetros iniciais: similaridade e área. A similaridade é um parâmetro pelo qual o segmentador define a agregação ou não de um determinado pixel à uma determinada classe temática, baseando-se na Distância Euclidiana estimada para a média dos níveis de cinza da classe e do pixel em questão. Nos casos em que esta distância foi menor ou igual ao valor da similaridade pré-estabelecido (25 neste trabalho), o pixel foi rotulado como pertencente à classe, caso contrário, o pixel não foi associado à classe. O

parâmetro área refere-se ao valor mínimo da área para que uma região seja individualizada e considerada como sendo uma classe temática. Para a área de entorno dos reservatórios do rio São Francisco considerou-se um limiar de 50, que correspondeu a uma área mínima de 4,5 hectares no terreno, considerando que o “pixel” do Landsat-TM é de 30m x 30m.

Após a segmentação e a extração das regiões foi feita a classificação das áreas, segundo a similaridade dos “pixels” (INPE, 1997), utilizando-se um classificador por regiões (ISOSEG – SPRING). Sobre os resultados da classificação foi realizado um mapeamento que consiste em associar às diferentes classes temáticas, contidas no mapa de classificação, os diferentes tipos de ocupação do solo devidamente identificados pelo analista. Os resultados do mapeamento foram expressos no formato “raster” e, posteriormente, transformados em formato vetorial.

Para corrigir eventuais erros de classificação, utilizou-se a edição matricial através de um algoritmo implementado no SPRING, que permite eliminar erros de classificação através da edição de áreas que não foram classificadas; correção dos limites dos polígonos temáticos e a troca de uma classe temática por outra indevidamente classificada. No caso da edição matricial, os polígonos mapeados são aceitos ou reclassificados em outras categorias de uso da terra, baseado na experiência do fotointérprete. A verificação dos polígonos foi feita usando como superfície de fundo uma imagem colorida (sintética) sob o mapa temático. Após a edição matricial, os resultados da classificação, devidamente corrigidos, foram utilizados para o cálculo da área dos diferentes tipos de ocupação do solo através do SPRING.

5. RESULTADOS

Para avaliação da sedimentação e das características limnológicas nas represas do sub-médio São Francisco, foram efetuadas durante um período de 13 meses (de setembro de 1999 a setembro de 2000), medidas de variáveis físicas, químicas e biológicas (temperatura da água, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, material em suspensão, clorofila-a e nutrientes) e, simultaneamente, procurou-se realizar experimentos “in situ” com o objetivo de avaliar a deposição de material orgânico e inorgânico, estimando-se a taxa de sedimentação de material em suspensão. Os dados de material em suspensão obtidos foram correlacionados aos valores das variáveis espectrais de imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 7. Em busca de um melhor entendimento dos processos e fatores intervenientes, as variáveis climatológicas; os mecanismos de funcionamento do reservatório (vazão e tempo de residência da água) e os usos e ocupação do solo no entorno dos reservatórios foram integrados ao presente estudo.

As medidas das variáveis bióticas e abióticas foram efetuadas trimestralmente em 23 estações distribuídas nos reservatórios e principais afluentes. Foram instaladas, ainda, câmaras de sedimentação nos períodos que representaram seca e chuva na região. Medidas iniciais das diversas variáveis foram determinadas no início de cada experimento (com duração mínima de 24 horas), que foram colocados a 70% da profundidade de cada estação de coleta e distribuídos em 8 estações, considerando-se a entrada do Rio São Francisco no sistema dos reservatórios e caracterizando os diferentes reservatórios do sistema.

Imagens de satélite foram obtidas em três datas, conforme as datas de passagem dos satélites e as datas de coletas de campo, observando-se ainda o nível de cobertura de nuvens na área dos reservatórios.

Os resultados obtidos estão apresentados em tabelas (anexos) e figuras no decorrer do texto, em cinco itens. No item 5.1 procurou-se avaliar as variáveis climatológicas que podem influenciar os processos de transporte de sedimentos nos reservatórios e no item 5.2 os mecanismos de operação dos reservatórios, com ênfase nas variações horárias das vazões e no tempo de residência em função das demandas energéticas.

No item 5.3 deu-se ênfase às características físicas e químicas da água nos quatro reservatórios, considerando-se a média dos valores de superfície, meio e fundo das medidas de oxigênio dissolvido, temperatura da água, pH, condutividade, material em suspensão, clorofila a, nutrientes totais e dissolvidos e as medidas de Disco de Secchi, evidenciando-se as variações espaciais e temporais em cada reservatório. Os valores obtidos na superfície, meio e fundo são apresentados nas tabelas no Anexo A. Com esses dados foi avaliado, no item 5.4, o estado trófico dos reservatórios e procedeu-se a análise estatística.

No item 5.5 avaliou-se a taxa de sedimentação de material em suspensão e as concentrações de nutrientes dissolvidos obtidos nas câmaras de sedimentação.

No item 5.6, utilizando-se as três imagens de satélites, analisou-se a correlação dos dados obtidos nas campanhas de campo e os dados espectrais das imagens, visando oferecer uma ferramenta de monitoramento que permita agilidade em ações de manejo e recuperação dos sistemas. Além disso, no item 5.7, a partir da imagem Landsat 5 de janeiro/00, avaliou-se o uso e ocupação do solo no entorno dos quatro reservatórios.

5.1 Variáveis climatológicas

5.1.1 Precipitação

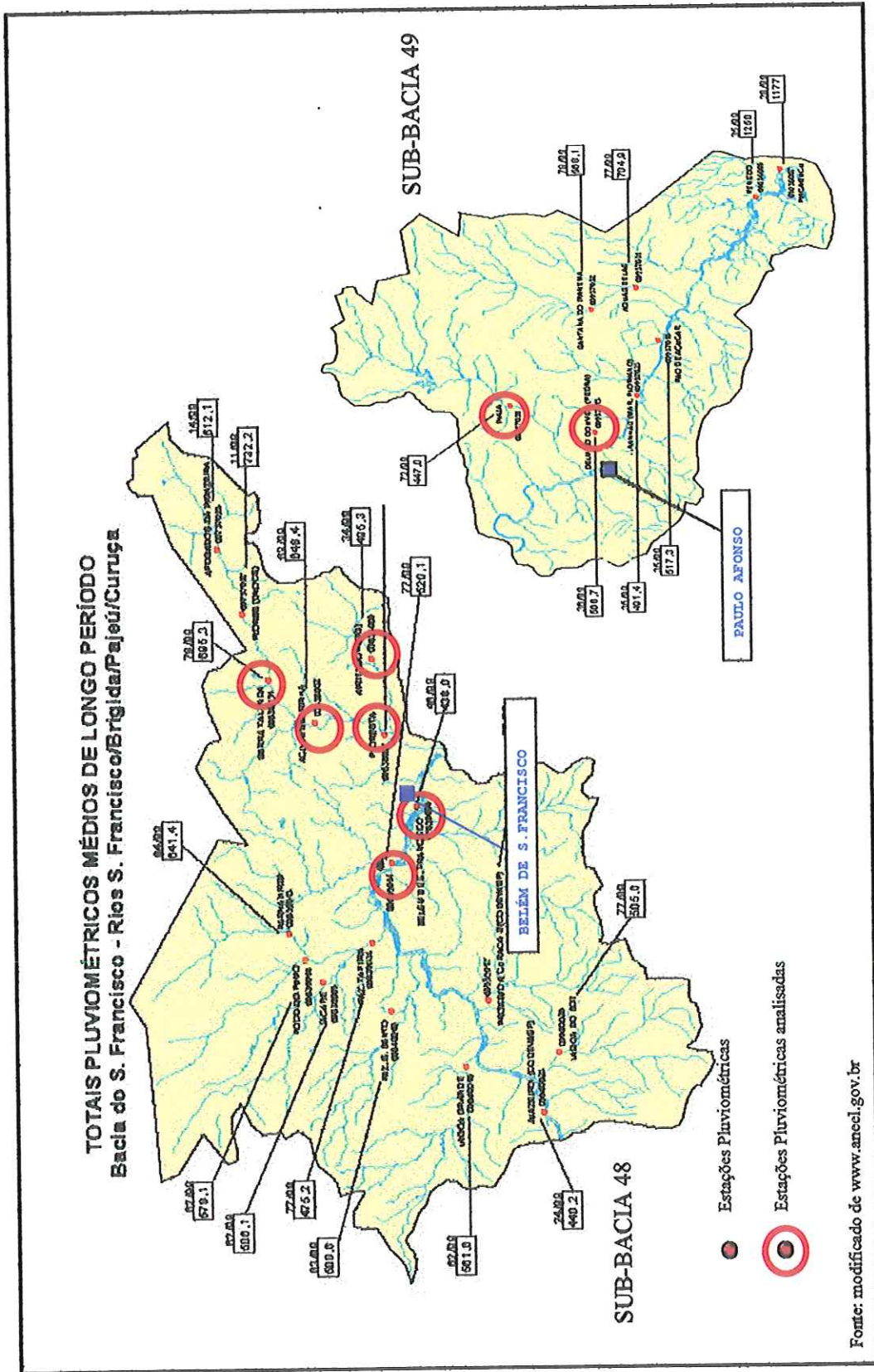
Os reservatórios estudados encontram-se inseridos nas sub-bacias 48 e 49, segundo classificação da ANEEL. Foram escolhidas as estações pluviométricas existentes em Airi Rochedo, Serrinha, Belém do São Francisco, Floresta, Serra Talhada e Ibó (sub-bacia 48) e as estações de Inajá e Delmiro Gouveia (sub-bacia 49), pela proximidade aos pontos de coleta (Figura 19), para avaliar a estação seca e chuvosa na região.

A precipitação média anual em 1999 foi de 488,2 mm/ano e, em 2000, foi de 595,5 mm/ano. Considerando os 13 meses relativos ao período de estudo, a precipitação média acumulada foi de 691,5 mm/ano, distribuídos em 72 dias. Os valores encontrados estiveram dentro dos padrões normais, quando comparados às médias anuais de longo prazo determinadas pela ANEEL, que se encontram entre 438,0 mm/ano (Belém de São Francisco) e 695,3 mm/ano (Serra Talhada) nas estações analisadas (Figura 19).

Na Tabela 03 (Anexo A) e Figura 20 estão apresentadas as médias mensais de precipitação em cada posto, referente ao período de setembro/99 a setembro/00, tendo sido verificado que, neste período, a precipitação média anual esteve entre 573,6 mm/ano (Floresta) e 769,2 mm/ano (Serrinha), nos postos considerados, com média geral para as estações consideradas de 671,1 mm/ano. No caso de uma distribuição uniforme desta precipitação ao longo do ano seriam verificadas precipitações mensais de 55,9 mm. Este valor foi considerado neste trabalho como critério para classificação dos meses de chuva e seca na região, onde os meses de chuva correspondem àqueles cuja precipitação média mensal de todos os postos analisados foi maior ou igual a 55,9 mm e os meses de seca àqueles com precipitação média mensal inferior a este valor (Figura 21).

As médias da precipitação nas estações analisadas estiveram entre 8,2 e 32,9 mm no período seco, referente às coletas de setembro/99, junho e setembro/00, enquanto que no período de chuvas, situou-se entre 58,4 e 134,1 mm, referentes às campanhas realizadas nos meses de dezembro/99 e março/00.

Na Tabela 03 (no Anexo A) são apresentadas as precipitações médias mensais e dias de chuva, bem como os valores acumulados para o período de estudo e as médias das precipitações de todos os postos pluviométricos analisados.



Fonte: modificado de www.aneel.gov.br

FIGURA 19 - Estações pluviométricas localizadas na Bacia do São Francisco (Rios S.Francisco, Brigida, Pajeú e Curuçá) com delimitação dos postos pluviométricos analisados.

PLUVIOMETRIA -Sub-bacias 48 e 49

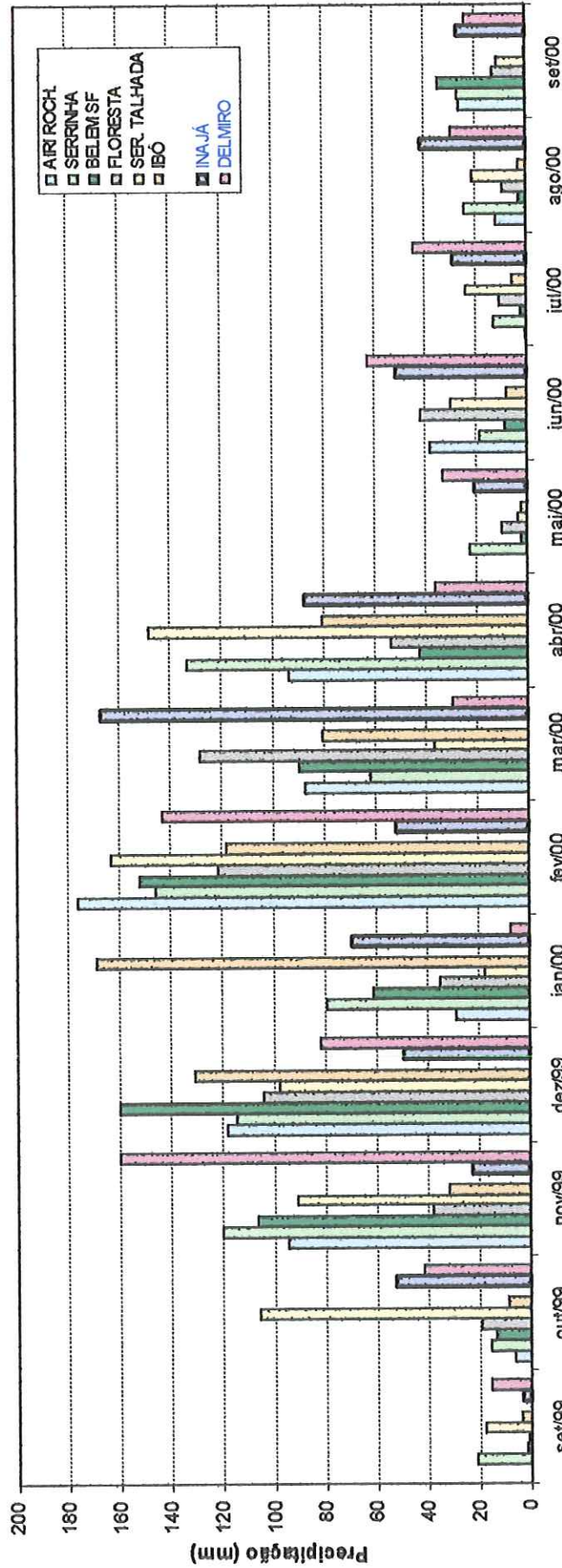


FIGURA 20 - Precipitação média mensal nas estações pluviométricas de Airi Rochado, Serrinha, Belém do São Francisco, Floresta, Serra Talhada e Ibo (sub-bacia 48) e nas estações de Inajá e Delmiro Gouveia (sub-bacia 49) na Bacia do São Francisco, no período de setembro/99 a setembro/00.

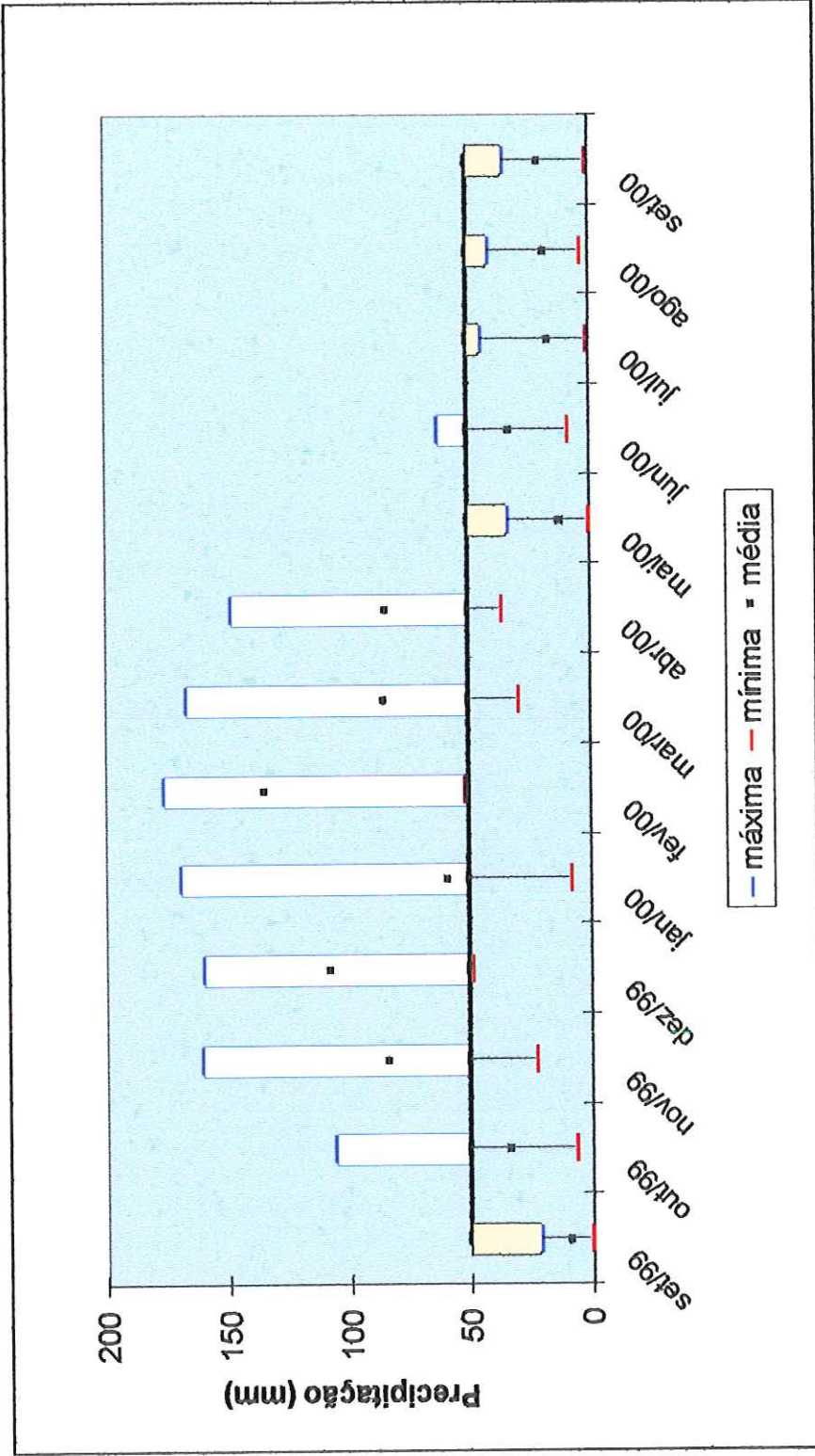


FIGURA 21 - Valores máximos, mínimos e médios mensais de precipitação entre os valores medidos nas estações pluviométricas de Airi Rochedo, Serrinha, Belém do São Francisco, Floresta, Serra Talhada e Ibó (sub-bacia 48) e nas estações de Inajá e Delmiro Gouveia (sub-bacia 49) na Bacia do São Francisco, no período de setembro/99 a setembro/00.

5.1.2 Temperatura do ar e velocidade do vento.

Na Figura 22 e Tabela 04 (no Anexo A), estão representadas as variações de temperatura do ar medidas na estação climatológica de Cabrobró em Pernambuco, obtidas junto ao INMET. As temperaturas foram elevadas na região, variando entre 23 e 30°C. Os meses com menores temperaturas foram julho e agosto (de 24,2 a 25,6°C). As variações anuais das temperaturas chegaram a 5,3°C em 1998; 4,9°C em 1999 e 3,9°C em 2000, sendo que as temperaturas mais elevadas ocorreram no período de chuvas, referentes às coletas realizadas em março e dezembro, havendo diminuição gradativa até agosto, quando se verifica o aumento da temperatura.

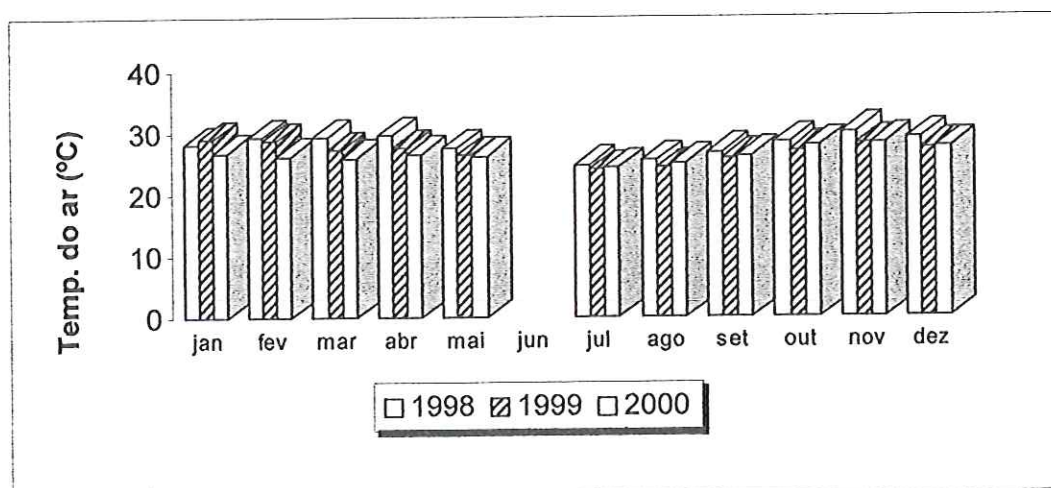


FIGURA 22 – Variação anual das temperaturas médias mensais do ar na Estação Climatológica de Cabrobró/PE, nos anos de 1998, 1999 e 2000.

A velocidade do vento na região esteve entre 3 e 5,8 m/s, sendo maior no segundo semestre do ano (Figura 23), com médias anuais de 4,4; 4,5 e 4,1 m/s referentes aos anos de 1998, 1999 e 2000, respectivamente (Tabela 04, no Anexo A).

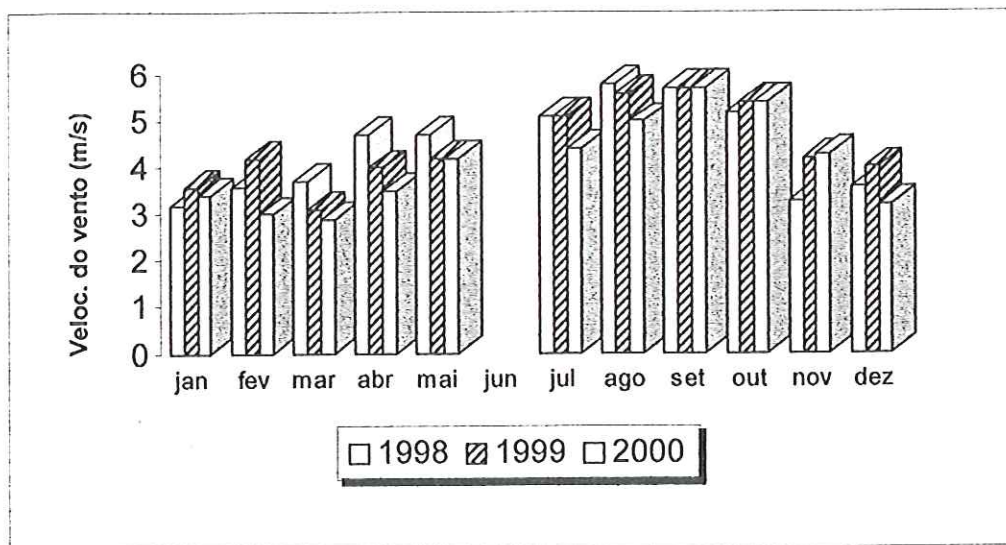


FIGURA 23 – Variação anual das velocidades médias mensais do vento na Estação Climatológica de Cabrobó/PE nos anos de 1998, 1999 e 2000.

5.2 Vazão e tempo de residência da água

Na Tabela 05 (no Anexo A) e Figuras 24, 26 e 27 encontram-se os valores das cotas e vazões médias mensais turbinadas nas usinas hidrelétricas em cada reservatório, referentes aos anos de 1998, 1999, 2000 e oito meses de 2001. Além destes, são mostradas na Figura 28, as vazões e cotas do reservatório de Sobradinho, que fica a montante do reservatório de Itaparica e é o responsável pela manutenção da vazão regularizada no sistema em cascata composto pelos quatro reservatórios analisados nesta pesquisa.

No reservatório de Itaparica (Figura 24) observaram-se vazões entre 1824 e 2141 m^3/s (média anual de 1971 m^3/s) em 1998, entre 1664 e 2050 m^3/s (média anual de 1787 m^3/s) em 1999, entre 1821 e 2192 m^3/s (média de 1696 m^3/s) em 2000 e em 2001 os valores estiveram entre 1102 e 1995 m^3/s (média de 1577 m^3/s até agosto de 2001). Em geral, no período de maio a junho ocorreram as menores vazões e as máximas foram observadas entre outubro e dezembro, verificando-se ainda que em 1999 e 2001, as vazões estiveram abaixo daquelas turbinadas em 1998 e 2000.

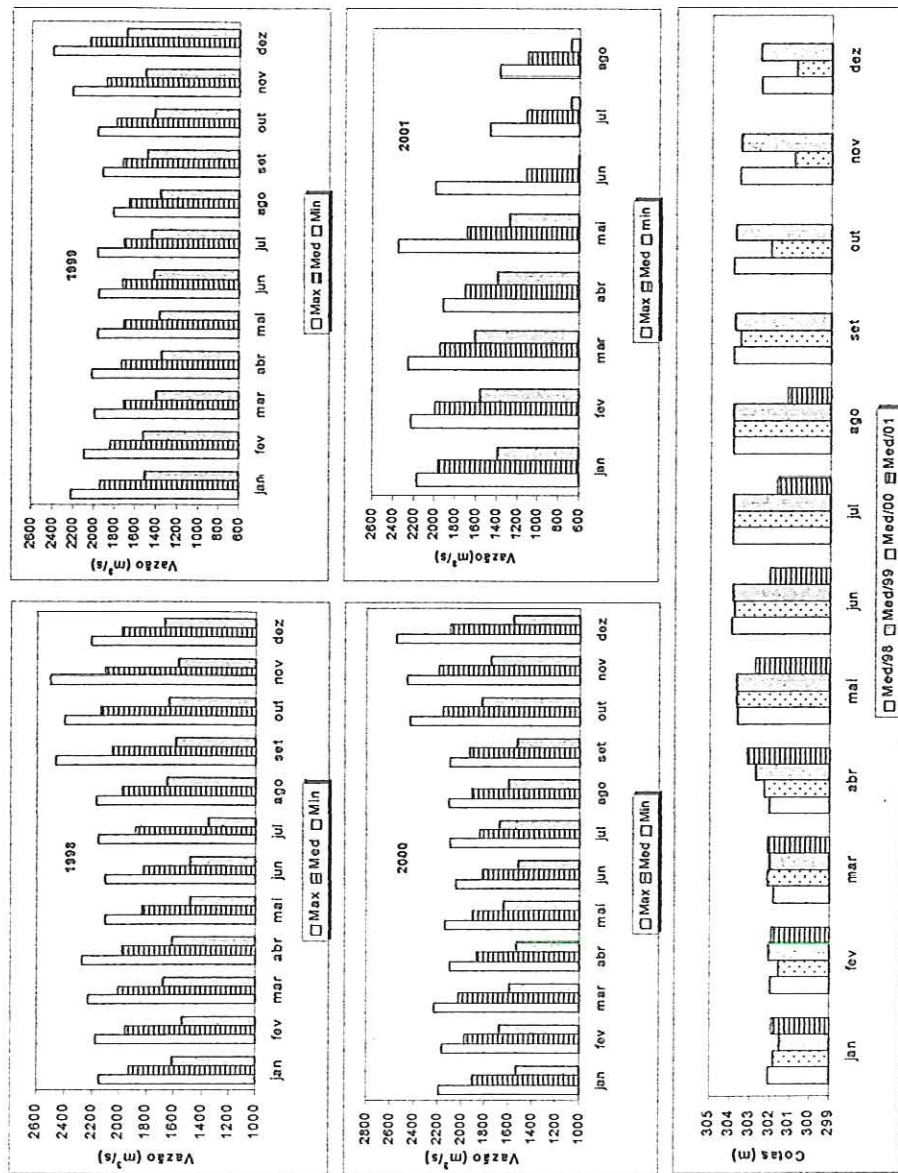


FIGURA 24 – Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de Itaparica, no período de 1998 a 2001.

Para a CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco) os reservatórios de Moxotó e Paulo Afonso IV formam um único reservatório (em termos de operação), onde as vazões e cotas são avaliadas em conjunto (Figura 25). Sendo assim, foram disponibilizadas as vazões turbinadas no Complexo Moxotó+PA IV, no período de 1998 a 2001 (Figura 26). Os valores de vazão para o complexo estiveram entre 1793 e 2113 m³/s (1998); 1673 e 2076 m³/s (1999); 1888 e 2233 m³/s(2000) e 1057 e 1974 m³/s (2001). Observou-se que ocorreram variações nas vazões médias mensais no complexo Moxotó+PA IV de até 15,1% em 1998, 19,3% em 1999, 15,4% em 2000 e 47,2% em 2001.

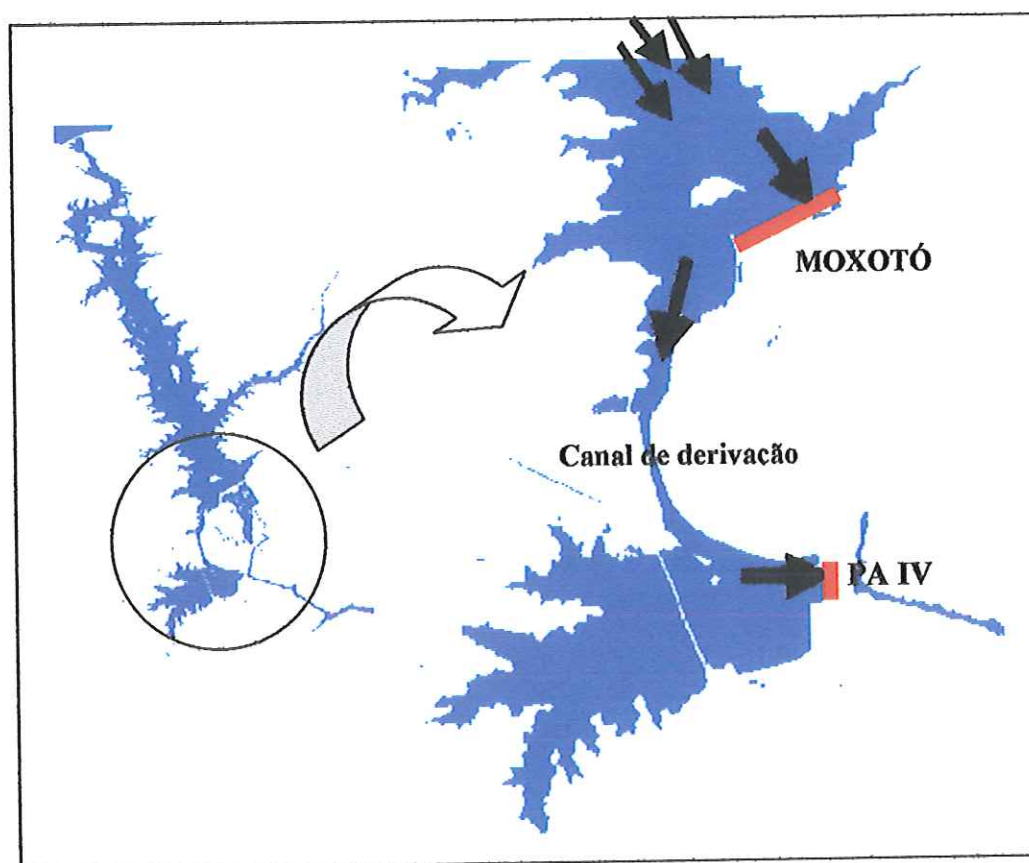


FIGURA 25 – Canal escavado na margem direita do reservatório de Moxotó, para que parte de sua vazão afluyente entre no reservatório de PA IV, que opera em paralelo.

No reservatório de PA-IV, que possui a usina de maior produtividade média, verificaram-se as maiores vazões turbinadas a partir de junho de 2000 e em 2001, com valores entre 920 e 1473 m³/s (Figura 27). Em 1998, as vazões estiveram entre 647 e 832 m³/s (média anual de 742 m³/s), em 1999 entre 625 e 1020 m³/s (média anual de 768 m³/s), em 2000 entre 862 e 1193 m³/s (média anual de 998 m³/s) e em 2001 variaram entre 920 e 1473 m³/s (com média calculada até agosto de 1140 m³/s).

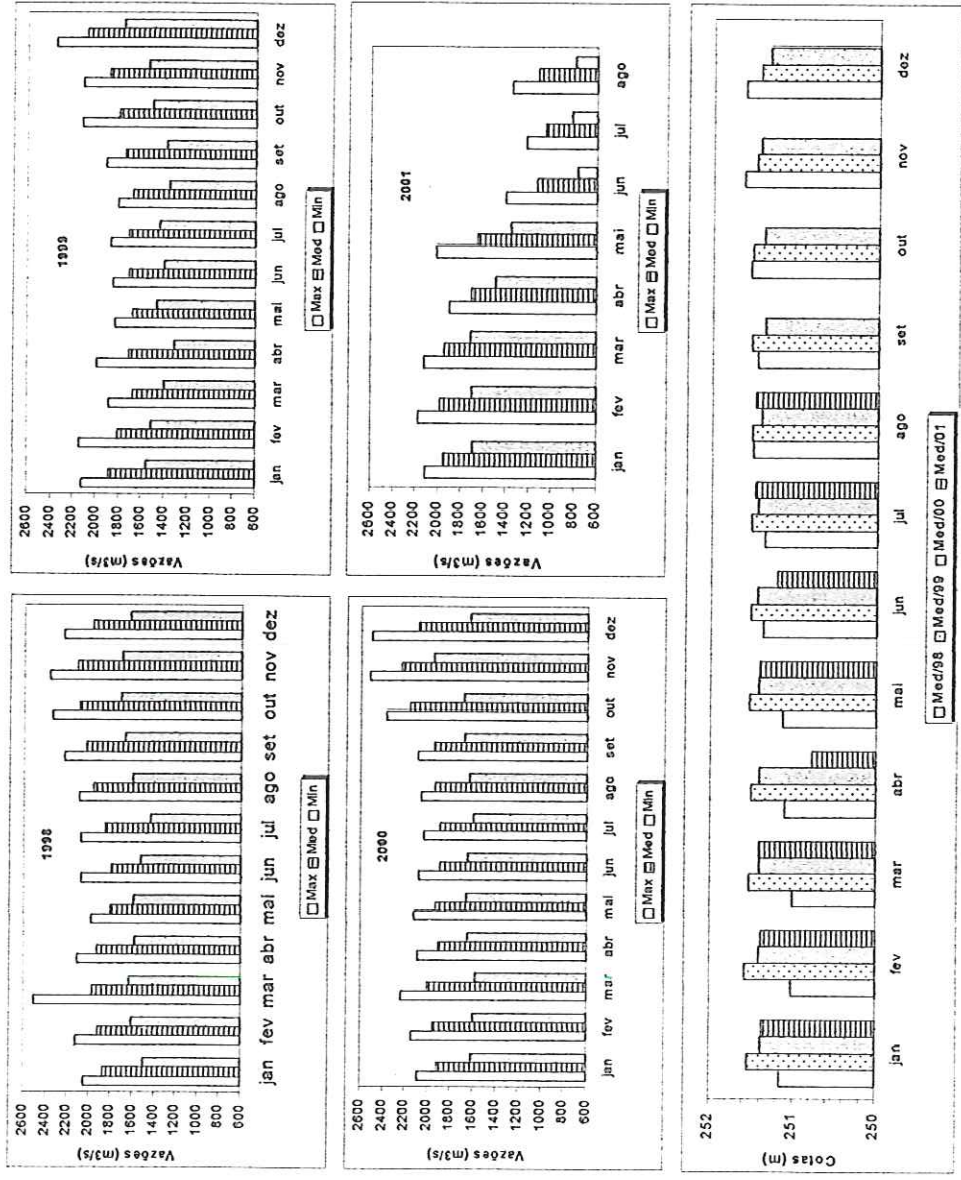


FIGURA 26 – Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de Moxotó+PA-IV, no período de 1998 a 2001.

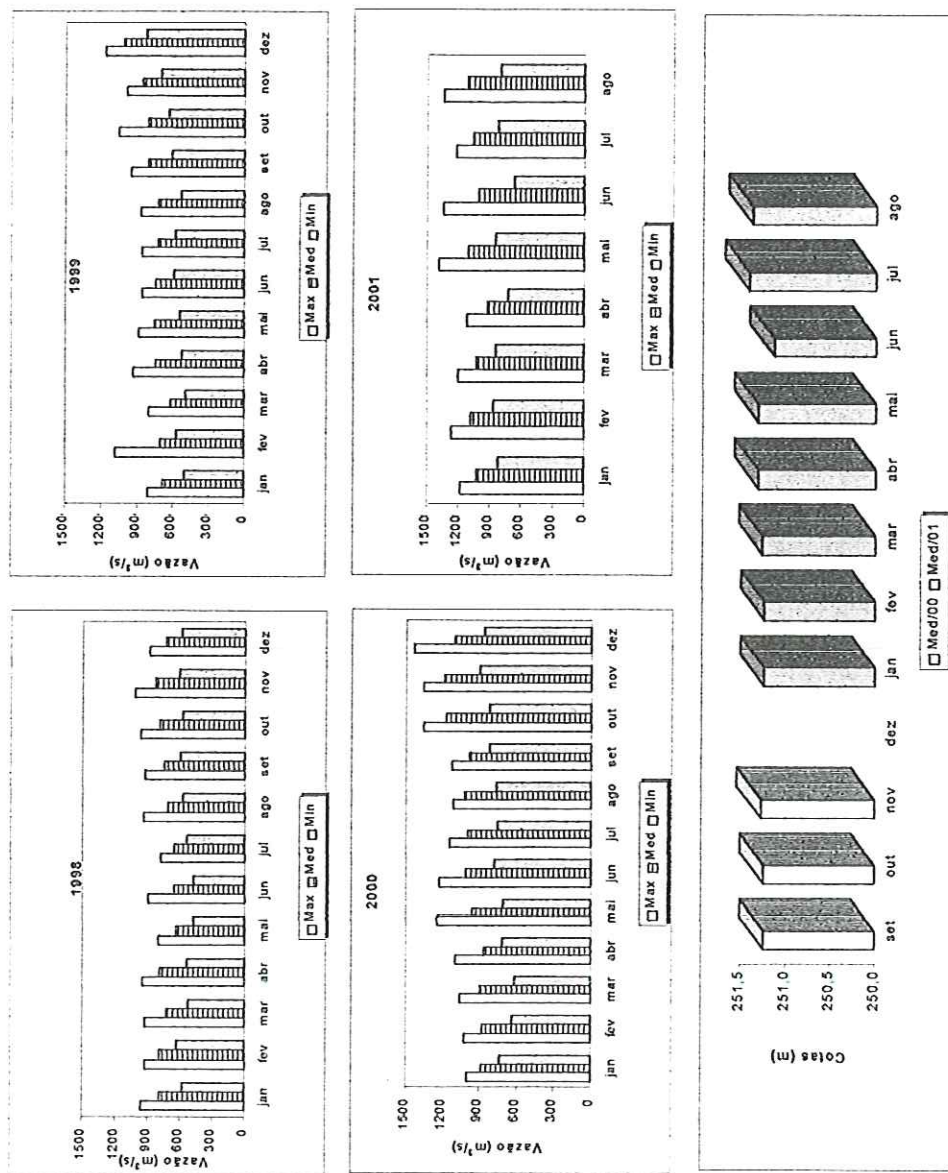


FIGURA 27 – Variação anual das cotas médias mensais (set/00 a ago/01) e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de PA IV, no período de 1998 a 2001.

As maiores vazões turbinadas no reservatório de Paulo Afonso I-II-III (Figura 28) em 1998, ocorreram em outubro (1279 m³/s) e novembro (1239 m³/s) e a menor vazão foi observada em junho (1100 m³/s). Em 1999 e 2000 as vazões foram, em geral, inferiores à 1998, variando entre 837 e 1160 m³/s; enquanto que em 2001, devido à redução dos volumes em Sobradinho (Figura 29), as vazões turbinadas nas hidrelétricas deste reservatórios estiveram entre 902 m³/s (janeiro) e 235 m³/s (junho), ocorrendo, inclusive, o desligamento das turbinas em julho e agosto.

Na Tabela 06 estão apresentados os tempos de residência estimados dos reservatórios, que foram calculados com os volumes médios de longo período e a vazão de regularização, prevista após a construção de Sobradinho, conforme a equação:

$$TR_{est} = \text{Volume médio de longo período} / \text{Vazão regularizada}$$

Foram considerados, nessa determinação, os valores de vazão de 2060 m³/s (vazão regularizada de projeto) para os reservatórios de Itaparica e Complexo Moxotó+PA IV; enquanto que para os reservatórios de PA I-II-III e PA IV, as vazões adotadas foram de 1310m³/s e 750 m³/s, respectivamente.

Na mesma tabela são apresentados os tempos de residência médios mensais, calculados a partir do volume médio de longo período e das vazões médias mensais referentes aos anos de 1998, 1999, 2000 e 2001, conforme:

$$TR_{médio} (\text{mês } X) = \text{Volume médio de longo período} / \text{Vazão média do mês } X$$

Para o reservatório de Itaparica, o tempo de residência médio de longo prazo foi de 60,57 dias, enquanto os valores calculados mensalmente estiveram entre 58,28 e 68,40 dias em 1998 (63,43 dias em média); entre 60,86 e 74,98 dias em 1999 (70,05 dias em média); entre 56,92 e 68,52 dias em 2000 (63,58 dias em média); e entre 62,54 e 113,22 dias de janeiro a agosto/01 (84,41 dias em média). Verificou-se durante o período de estudo que as menores vazões turbinadas, observadas em 1999, resultaram numa maior permanência da água no reservatório nesse ano. Os tempos de residência médios de longo prazo dos demais reservatórios foram baixos, com valores de 7,46 dias no Complexo Moxotó+PA IV; 0,23 dia em PA I-II-III e 1,98 dia em PA IV. Em relação ao reservatório de PA IV, o cálculo foi feito a partir do volume total, contudo, devido à existência de uma ponte que separa a porção leste e oeste deste reservatório, não ocorre a mesma renovação de água nos dois setores.

No reservatório de PA IV, as médias mensais do tempo de residência estiveram abaixo da média de longo prazo durante todo o período de estudo, chegando a representar 73% desta em agosto/00, enquanto para o reservatório de PA I-II-III e para o Complexo Moxotó+PA IV, os valores obtidos mensalmente foram superiores à média de longo prazo, com o tempo de residência variando entre 0,28 a 0,36 dia e entre 7,67 e 8,81 dias, respectivamente

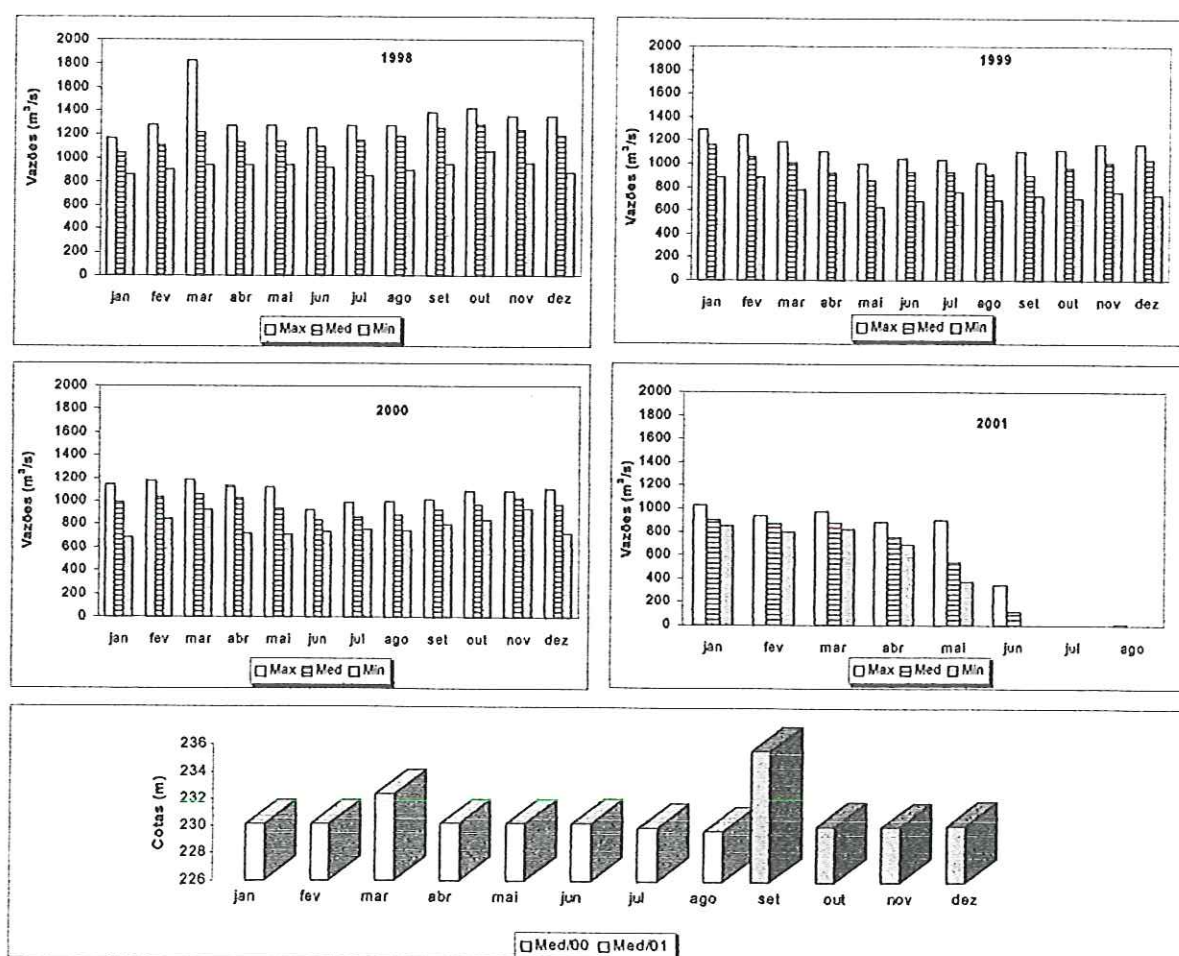


FIGURA 28 – Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de PA I-II-III, no período de 1998 a 2001.

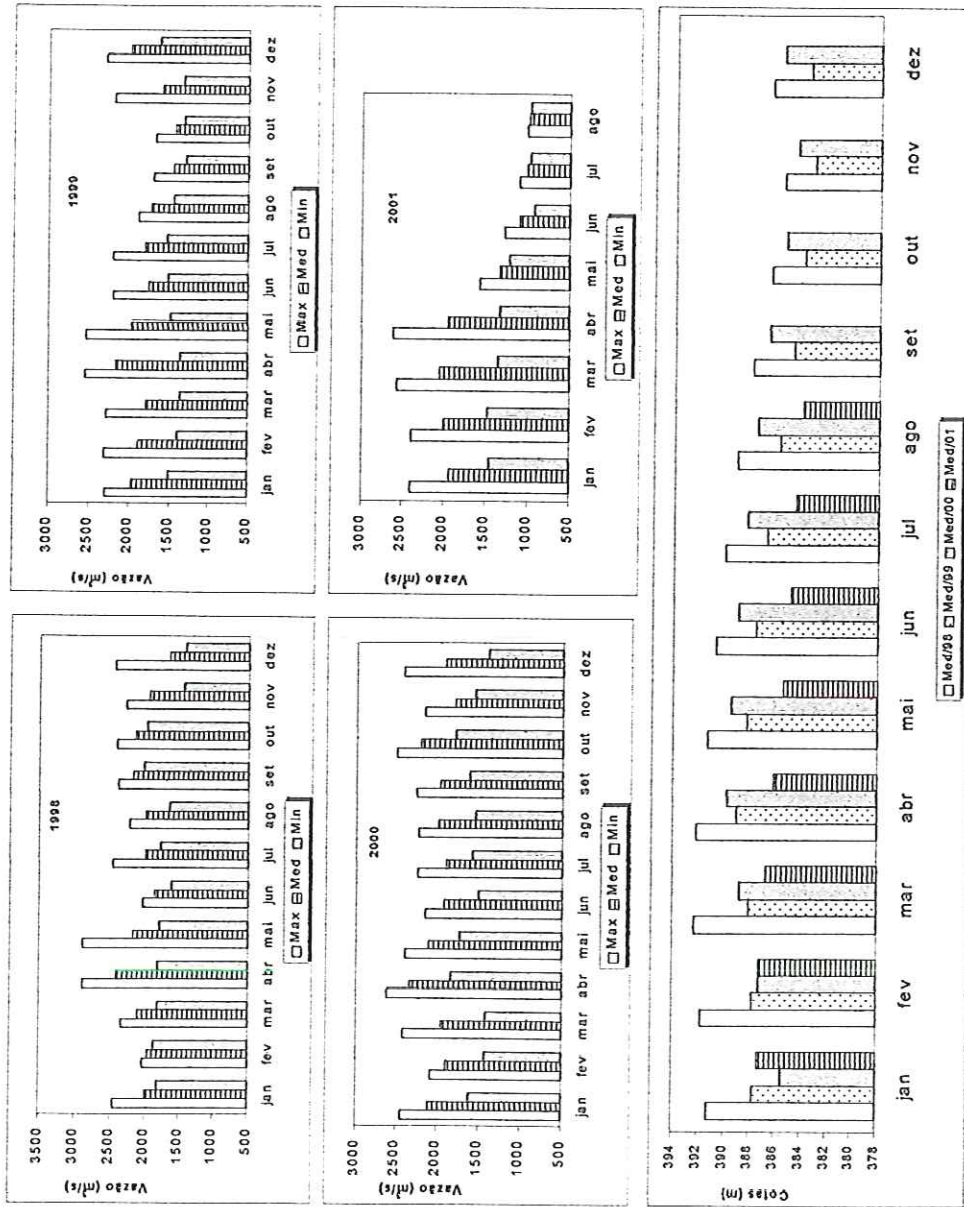


FIGURA 29 – Variação anual das cotas médias mensais e das vazões máximas, médias e mínimas turbinadas no reservatório de Sobradinho, no período de 1998 a 2001.

5.3 Caracterização limnológica dos reservatórios do Sub-médio São Francisco

5.3.1 Transparência da água e limite da zona eufótica

Os valores de profundidade de desaparecimento e ressurgimento do disco de Secchi foram utilizados na determinação do limite da zona eufótica e estão representados nas Figuras 30 e 31 e nas Tabelas 07 a 11 (no Anexo A), referentes aos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, verificando-se um padrão sazonal, com máximos nos meses de set /99, dez/99 e set/00, nos quais a amplitude de variação da profundidade de Secchi foi de 2,4 a 6,2 m, excetuando-se a estação SF01 na qual obteve-se a profundidade de 0,85 m em dezembro de 1999 e a estação SF12, cujos valores não ultrapassaram 1,0 m em nenhum período. Deve-se observar que os valores mais baixos estão associados às estações localizadas na entrada do reservatório de Itaparica.

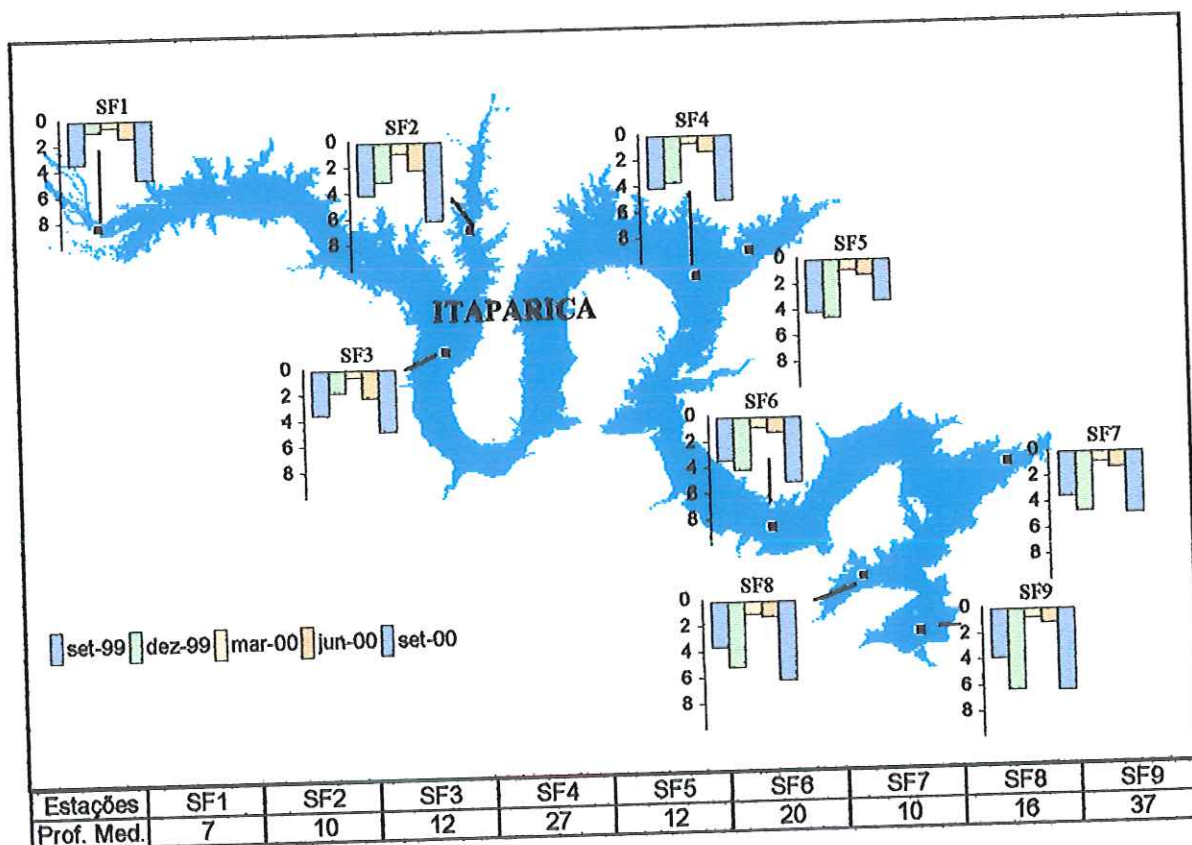


FIGURA 30 – Visibilidade do disco de Secchi (m), obtidos nas coletas de setembro e dezembro/99, março, junho e setembro/00; e profundidades médias das estações de coleta no reservatório de Itaparica.

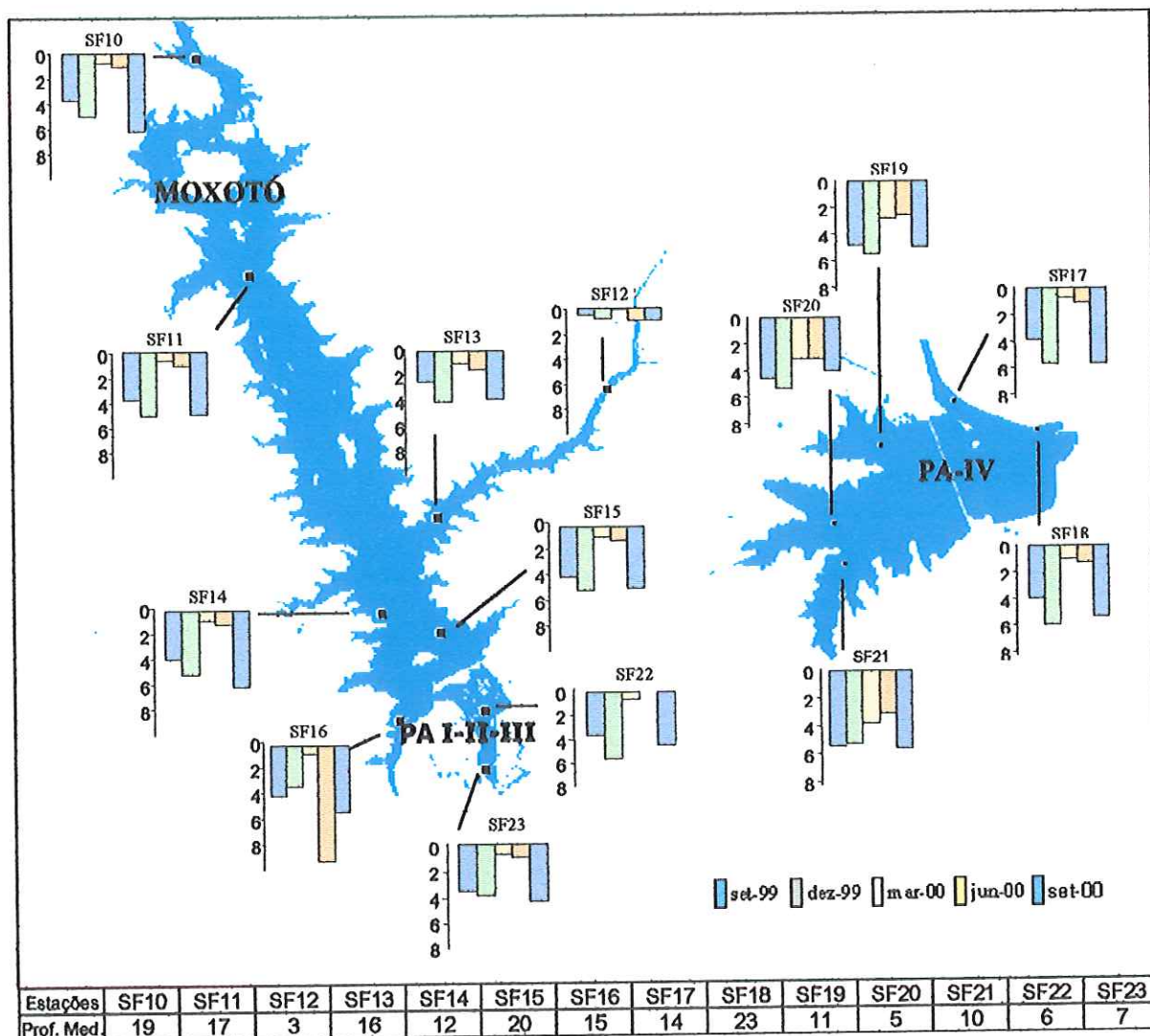


FIGURA 31 – Visibilidade do disco de Secchi obtidos nas coletas de setembro e dezembro/99, março, junho e setembro/00; e profundidades médias das estações de coleta nos reservatórios de Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV.

Os menores valores de transparência da água ocorreram nos meses de março/00 e jun/00, com variação de 0,5 a 2,1 m em todos os reservatórios, excetuando-se as estações na porção oeste do reservatório de PA IV, nas quais as profundidades do disco de Secchi alcançaram 3,8m e a estação SF16 que, em função da alta velocidade da água no canal e conseqüente arrasto da corda do disco de Secchi, apresentou uma profundidade de 9,0 m (em jun/00).

Os resultados referentes à profundidade da zona eufótica, calculada considerando-se o fator 3,0 (COLE, 1975), podem ser observados na Figura 32. As estações SF20 e SF21,

situadas na porção oeste do reservatório de PA IV, receberam luz em toda a coluna d'água durante o período de estudo, enquanto que na estação SF12 (Rio Moxotó) e nas estações mais profundas no reservatório de Itaparica a luz não chegou a atingir o fundo em nenhum período.

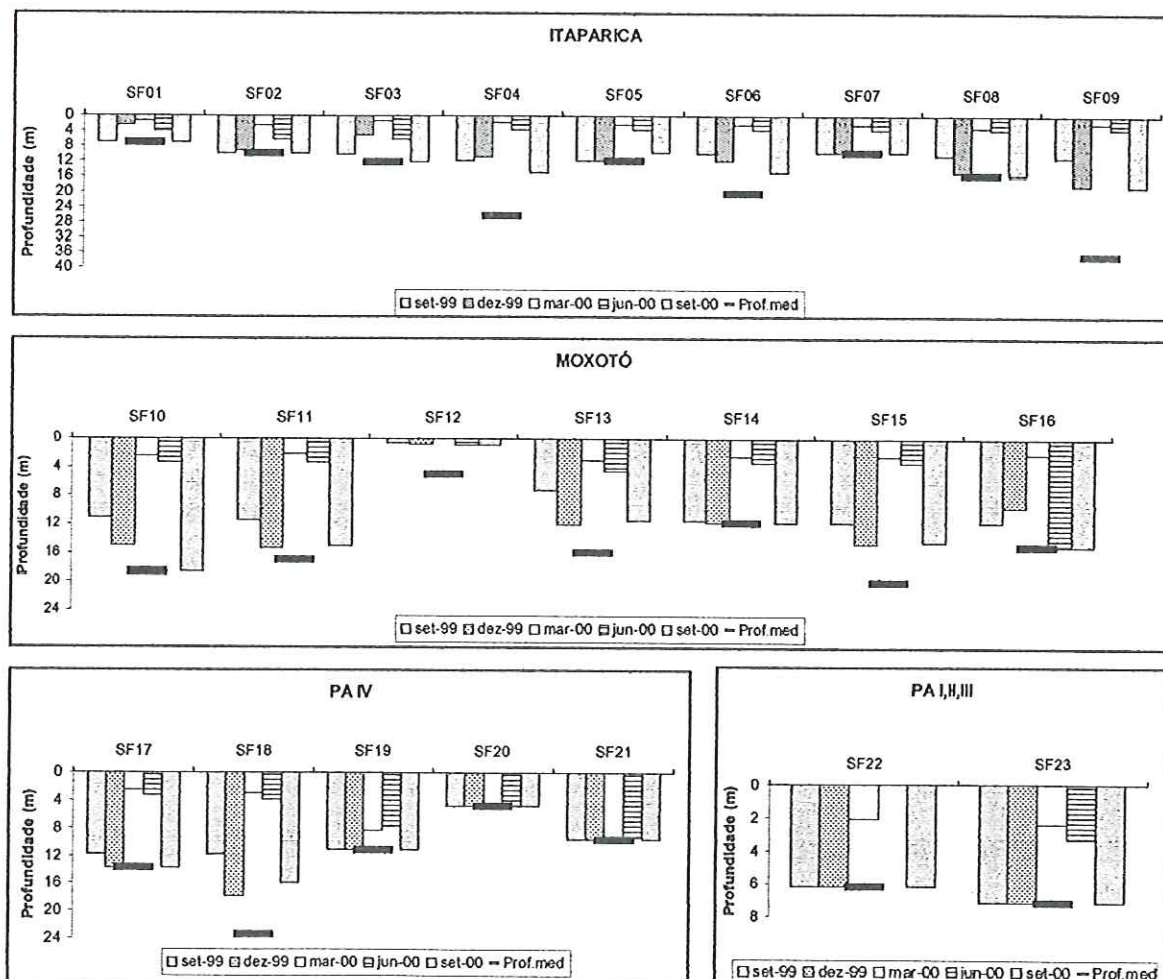


FIGURA 32 – Variação do limite estimado da zona eufótica e profundidade média das estações de coleta nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA IV e PA I,II,III, durante o período de estudo (Obs: as escalas para a profundidade são diferenciadas).

5.3.2 Temperatura da água

A amplitude de variação da temperatura média da água na coluna d'água entre as estações de coleta esteve entre 23,8 e 25,2 °C (setembro de 1999), entre 27,0 e 28,7 °C (dezembro de 1999), entre 27,0 e 29,1 °C (março de 2000), entre 24,6 e 26,3 °C (junho de 2000) e entre 24,5 e 26,0 °C (setembro de 2000), como demonstrado na Figura 33.

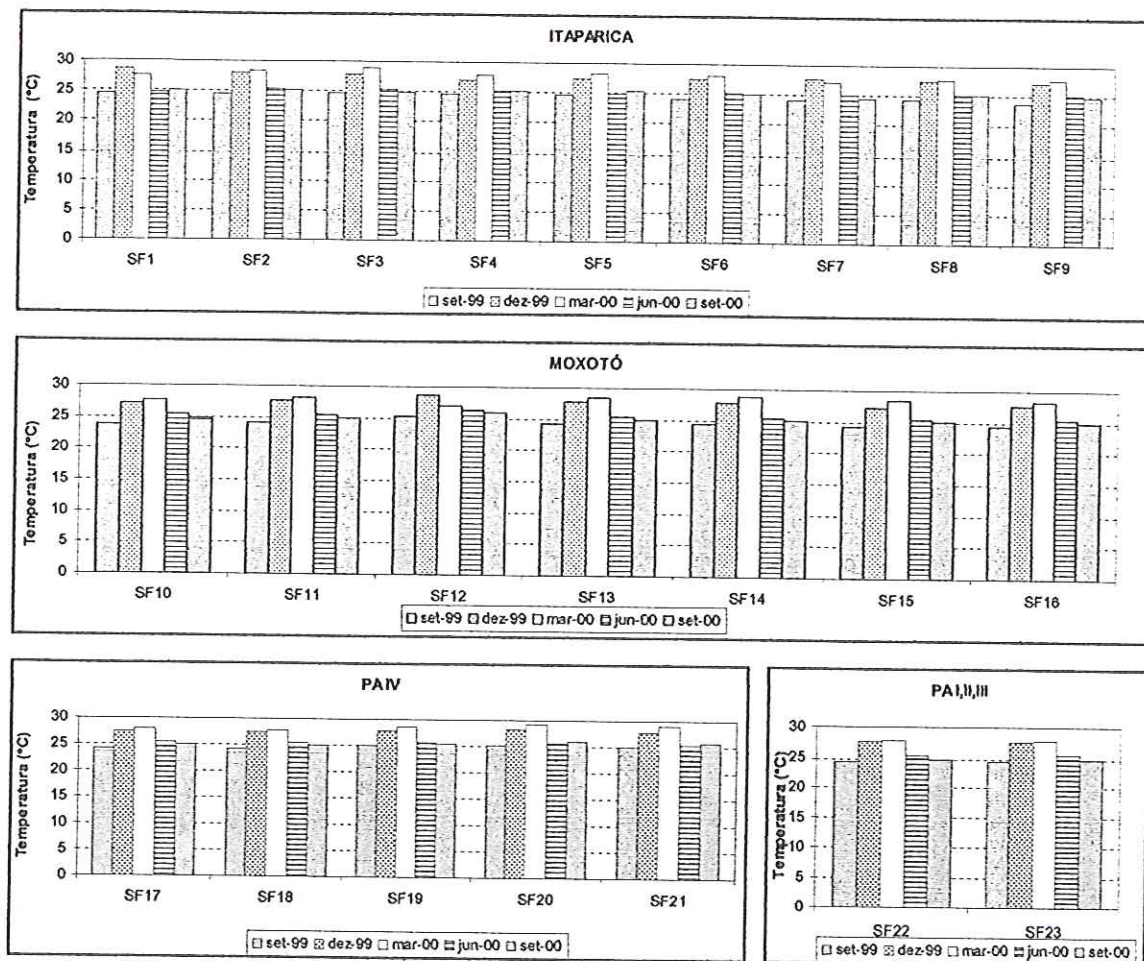


FIGURA 33 - Valores médios da temperatura na coluna d'água, em todas as estações no período estudado

As menores temperaturas foram obtidas nos períodos de seca, cujos valores máximos corresponderam aproximadamente aos mínimos dos períodos chuvosos. A amplitude de variação da temperatura, no período estudado, alcançou 3,2°C entre superfície e fundo no reservatório de Itaparica, conforme a Figura 34 e Tabelas 07 a 11 (no Anexo A).

Nas estações SF01, SF10, SF22 e SF23, verificou-se isotermia na coluna d'água durante todo o período de estudo devido à completa mistura da massa d'água obtida pela alta turbulência e velocidade da água observadas nessas estações. Nas demais estações, verificou-se uma redução da temperatura nos primeiros 5 m de profundidade nos meses de chuva, os quais coincidiram com os de maior temperatura.

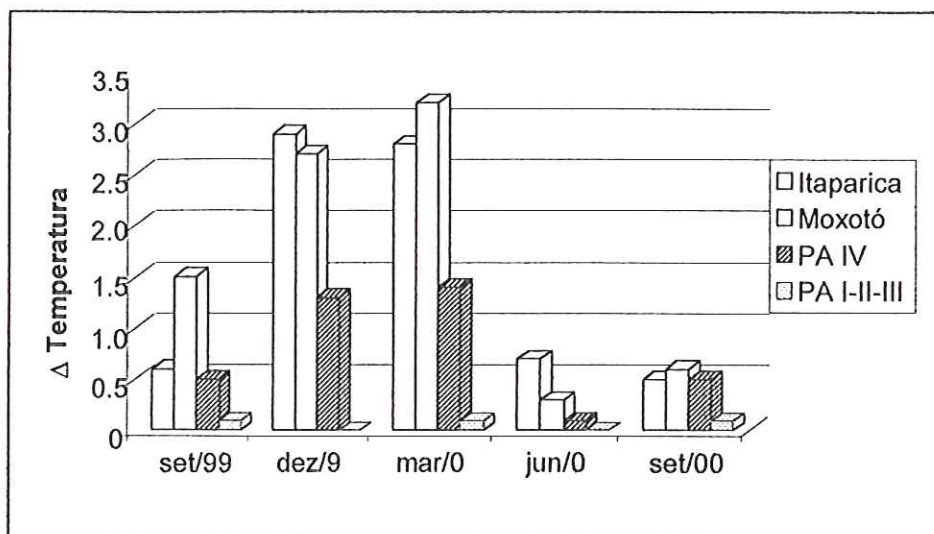


FIGURA 34 – Variações máximas nos gradientes de temperatura entre a superfície e o fundo, para os reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso IV e Paulo Afonso I,II,III, no período de estudo.

Durante o experimento instalado em março/01 no reservatório de PA IV, verificou-se isoterмия no período noturno através das medições feitas a cada 4 horas, durante um ciclo de 24 horas. Observou-se que as diferenças de temperatura na coluna d'água aumentam com o aumento da irradiância solar, ao longo do dia, em decorrência da absorção e espalhamento da luz na coluna d'água (Figuras 35 e 36).

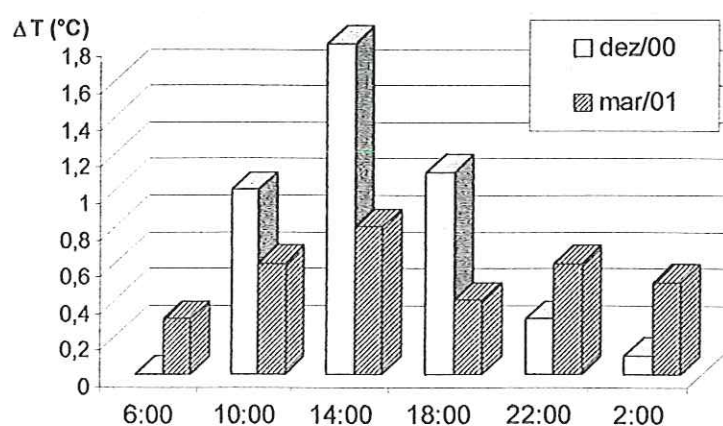


FIGURA 35 – Variações diárias da amplitude térmica na coluna d'água, medidas no reservatório de Paulo Afonso IV em intervalos de 4 horas, em experimentos instalados em dezembro/00 e março/01.

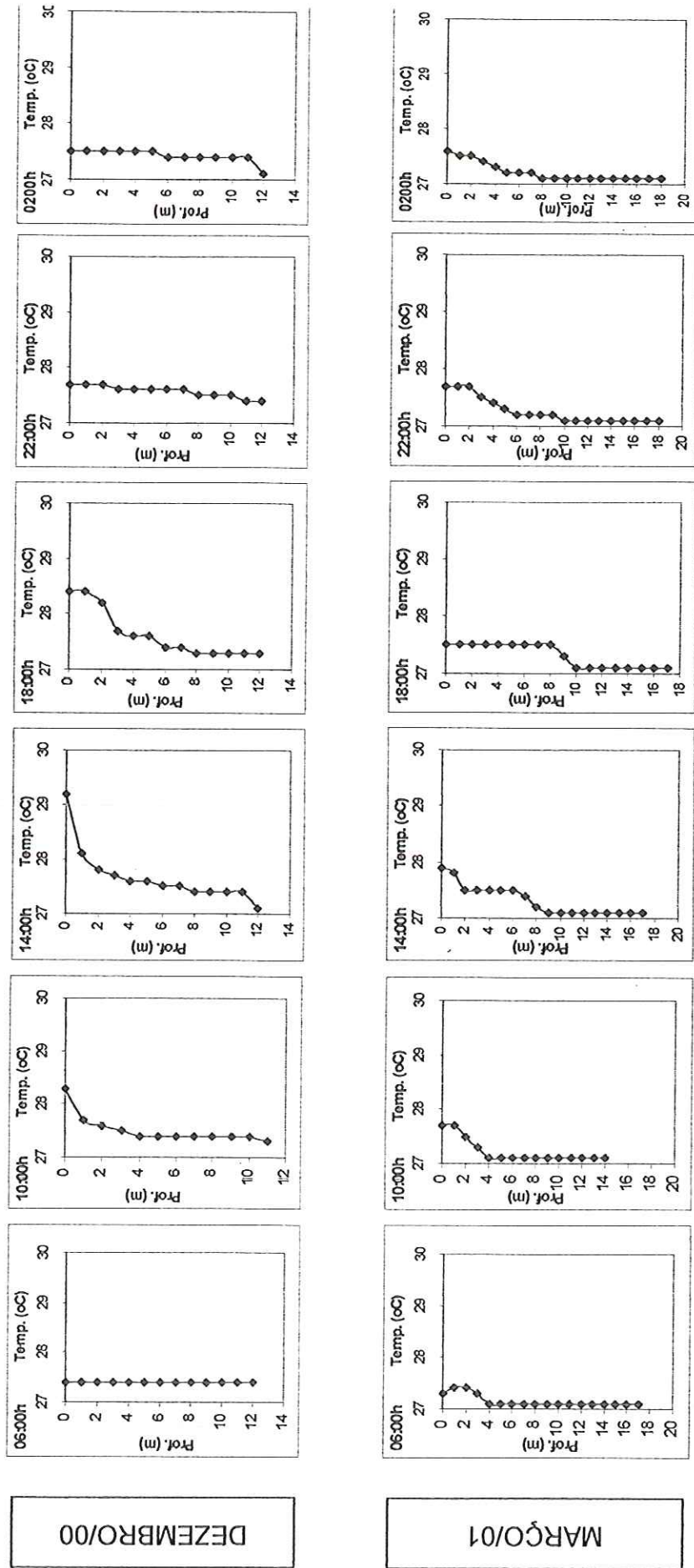


FIGURA 36 - Variação diária do perfil de temperatura no reservatório de PA IV, em dezembro de 2000 e março de 2001.

5.3.3 pH

Na Figura 37, são mostrados os valores médios de pH na coluna d'água, os quais estiveram entre 6,39 e 7,33 em set/99; 6,51 e 7,47 em dez/99; 7,73 e 8,58 em mar/00; 6,5 e 8,44 em jun/00; 7,32 e 8,59 em set/00 (Tabelas 07 a 11, no Anexo A).

Os valores observados de pH mantiveram-se neutros durante os dois primeiros períodos observados, ocorrendo posteriormente um aumento, tornando os valores ligeiramente alcalinos ao longo das diferentes estações e profundidades de amostragem, nos demais períodos.

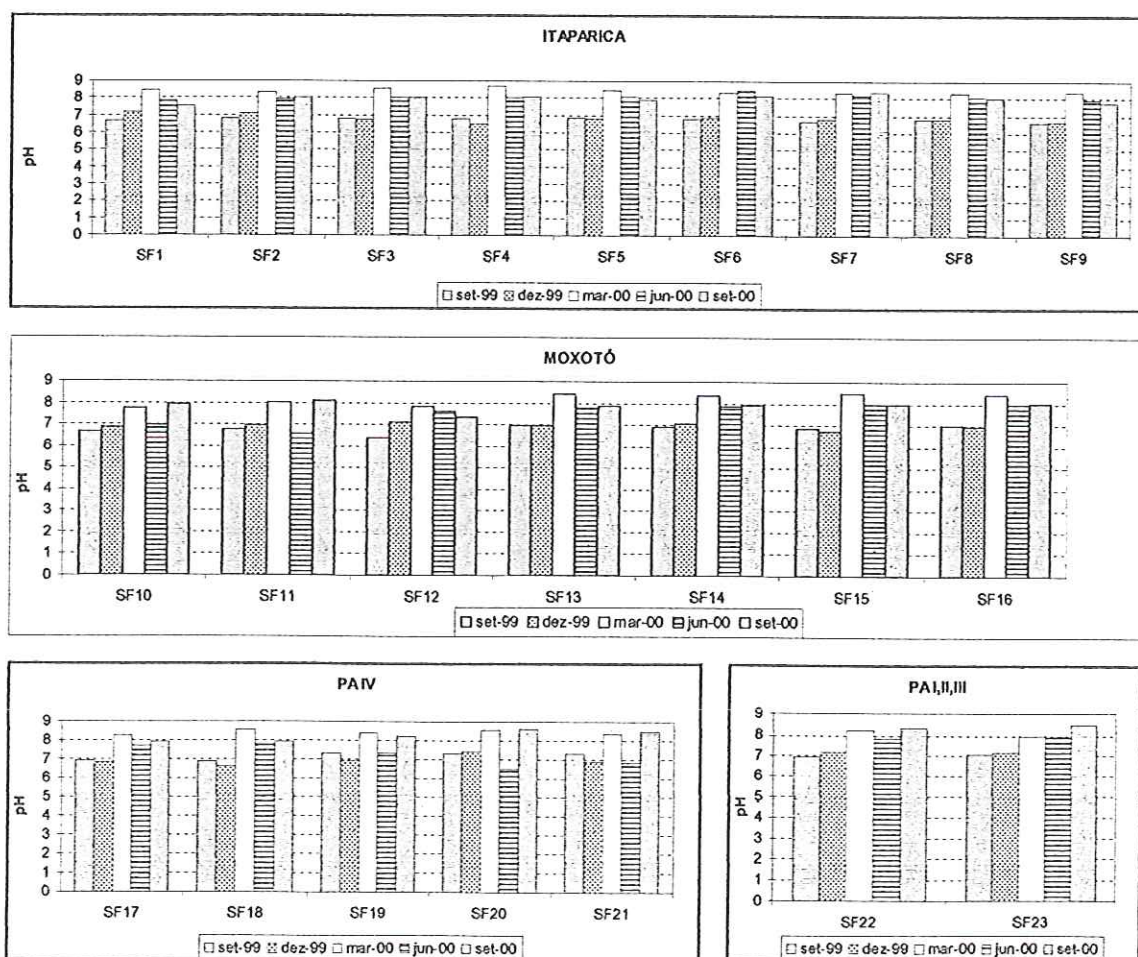


FIGURA 37 - Valores médios de pH na coluna d'água em todas as estações, no período estudado.

5.3.4 Oxigênio Dissolvido

O padrão de sazonalidade foi novamente observado para oxigênio dissolvido em todas as estações no período de estudo, com uma maior redução na concentração em função do início das chuvas, voltando a aumentar nos meses referentes ao período seco (Figura 38).

As concentrações médias de oxigênio dissolvido na água mantiveram-se elevadas em todas as estações nos meses de set e dez/99, com valores médios acima de 7,0 mg/l. Neste período, observou-se um aumento na concentração ao longo da coluna d'água de até 16% (Tabelas 07 a 11, no Anexo A).

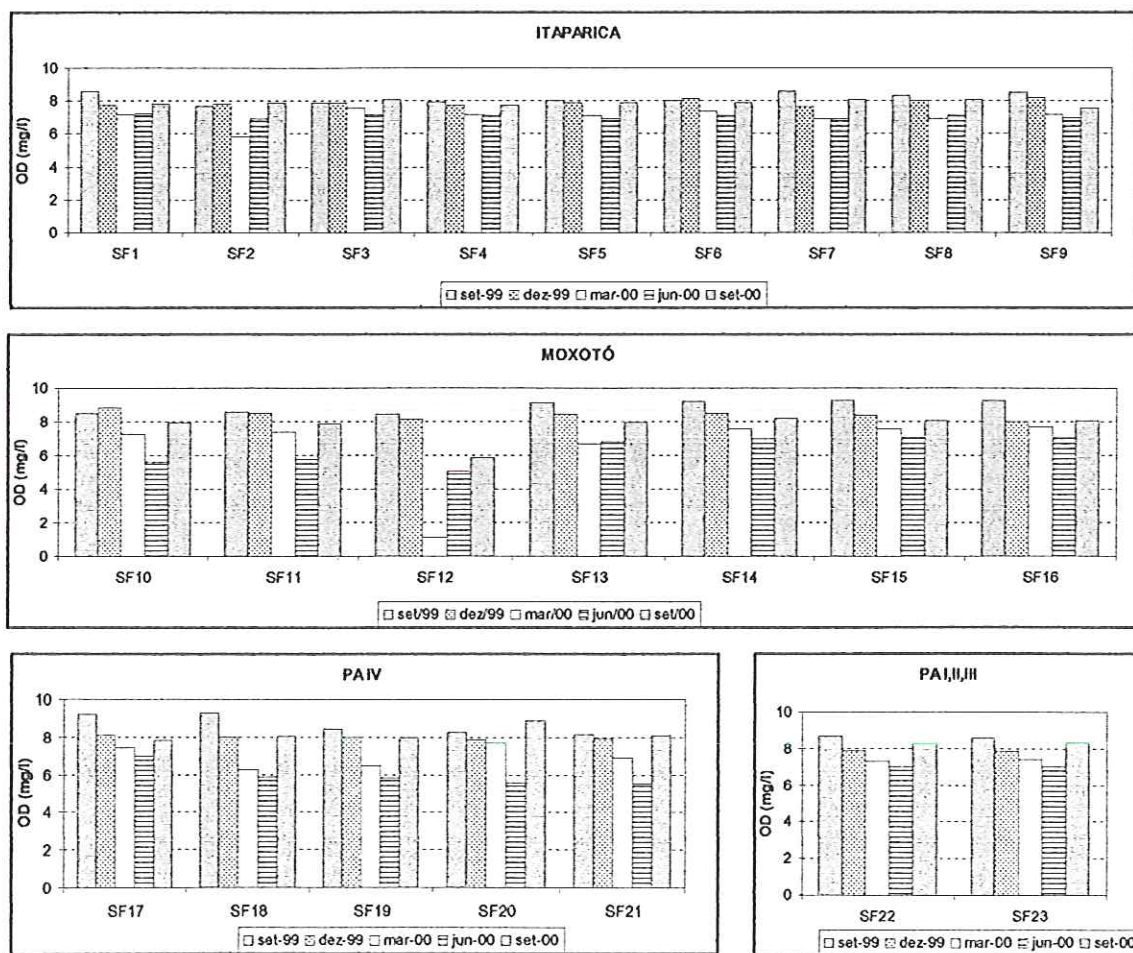


FIGURA 38 – Concentrações médias de oxigênio dissolvido na coluna d'água em todas as estações, no período estudado.

Em março/00, foram verificadas reduções superiores a 20% nas concentrações de oxigênio dissolvido, entre a superfície e o fundo, em algumas estações (Figura 39). Nestas, os valores médios de oxigênio dissolvido na coluna d'água foram inferiores a 7 mg/l. Observou-se uma variação de 60% entre a concentração de oxigênio na superfície (7,9 mg/l) e fundo (3,1 mg/l) na estação SF02; de 36% na estação SF12 (1,4 mg/l na superfície e 0,9 mg/l no fundo); de 44% em SF13 (8,4 mg/l e 4,7 mg/l, concentrações na superfície e fundo, respectivamente); de 22 % em SF18 (7,4 mg/l na superfície e 5,7 mg/l no fundo); de 47 % em SF19 (8,1 mg/l na superfície e 4,4 mg/l no fundo) e de 35% em SF21(8,1 mg/l na superfície e 5,3 mg/l no fundo).

Na campanha de junho, a redução da concentração de oxigênio na coluna d'água esteve acima de 20% apenas na estação SF12, tendo sido encontrada uma concentração de 5,6 mg/l na superfície e de 3,82 mg/l no fundo. Contudo, neste mês foi observado que, em geral, as concentrações estiveram abaixo daquelas obtidas nas demais coletas.

Em set/00 observou-se um aumento nas concentrações de oxigênio dissolvido, com valores semelhantes aos obtidos no mesmo período do ano anterior, estando entre 7,8 e 8,9 mg/l, com exceção da estação SF12, com 5,9 mg/l de oxigênio na coluna d'água.

Apesar das variações encontradas, as concentrações médias de oxigênio dissolvido estiveram acima de 5,0 mg/l em todas as campanhas, exceto na estação SF12 (1,2 mg/l em mar/00), no rio Moxotó. As reduções nas concentrações médias ocorridas no período de chuvas podem ser resultantes da associação entre o aumento de temperatura da água, a qual promove a redução da solubilidade do oxigênio, e a entrada de material em suspensão no sistema, diminuindo a profundidade da zona eufótica, interferindo na produtividade primária.

Não foi verificada anoxia nas camadas mais profundas (exceto na estação SF12) e as altas concentrações de oxigênio dissolvido em toda a coluna d'água, nas diversas estações, deve-se, em parte, à presença de luz até o fundo.

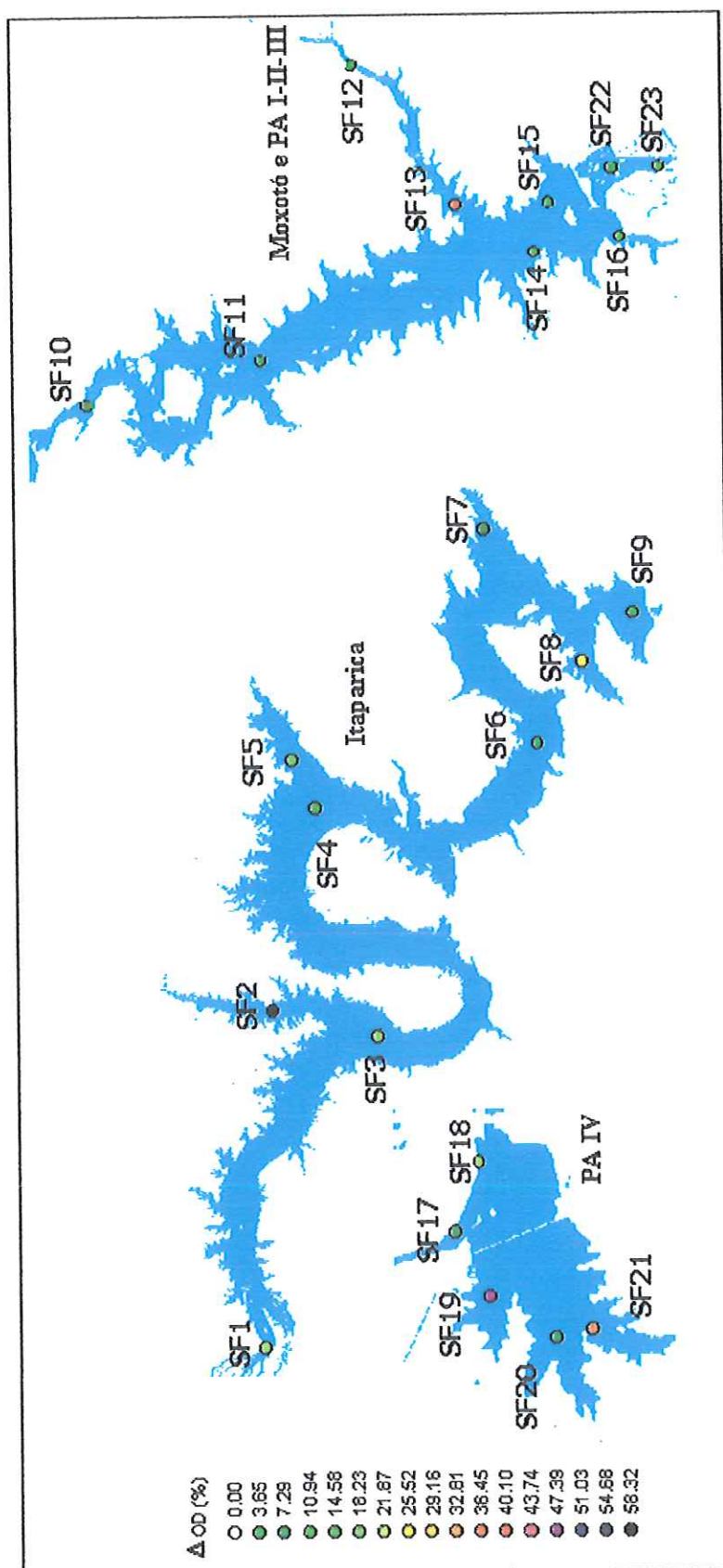


FIGURA 39 – Variações percentuais das concentrações de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água, obtidas na coleta de março/00, nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA IV.

5.3.5 Condutividade elétrica

Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 07 a 11 (no Anexo A) e na Figura 40.

Os valores de condutividade elétrica da água, nos reservatórios estudados, variaram entre 44,7 e 52,7 $\mu\text{S/cm}$ em set/99, entre 44,0 e 56,3 $\mu\text{S/cm}$ em dez/99, entre 66 e 75 $\mu\text{S/cm}$ em março e junho/00 e entre 70 e 75 $\mu\text{S/cm}$ em set/00, excetuando-se as estações localizadas nos principais tributários (SF02, SF12 e SF13) e na porção oeste do reservatório de Paulo Afonso (SF19, SF20 e SF21), nas quais os valores foram mais elevados em relação às outras estações.

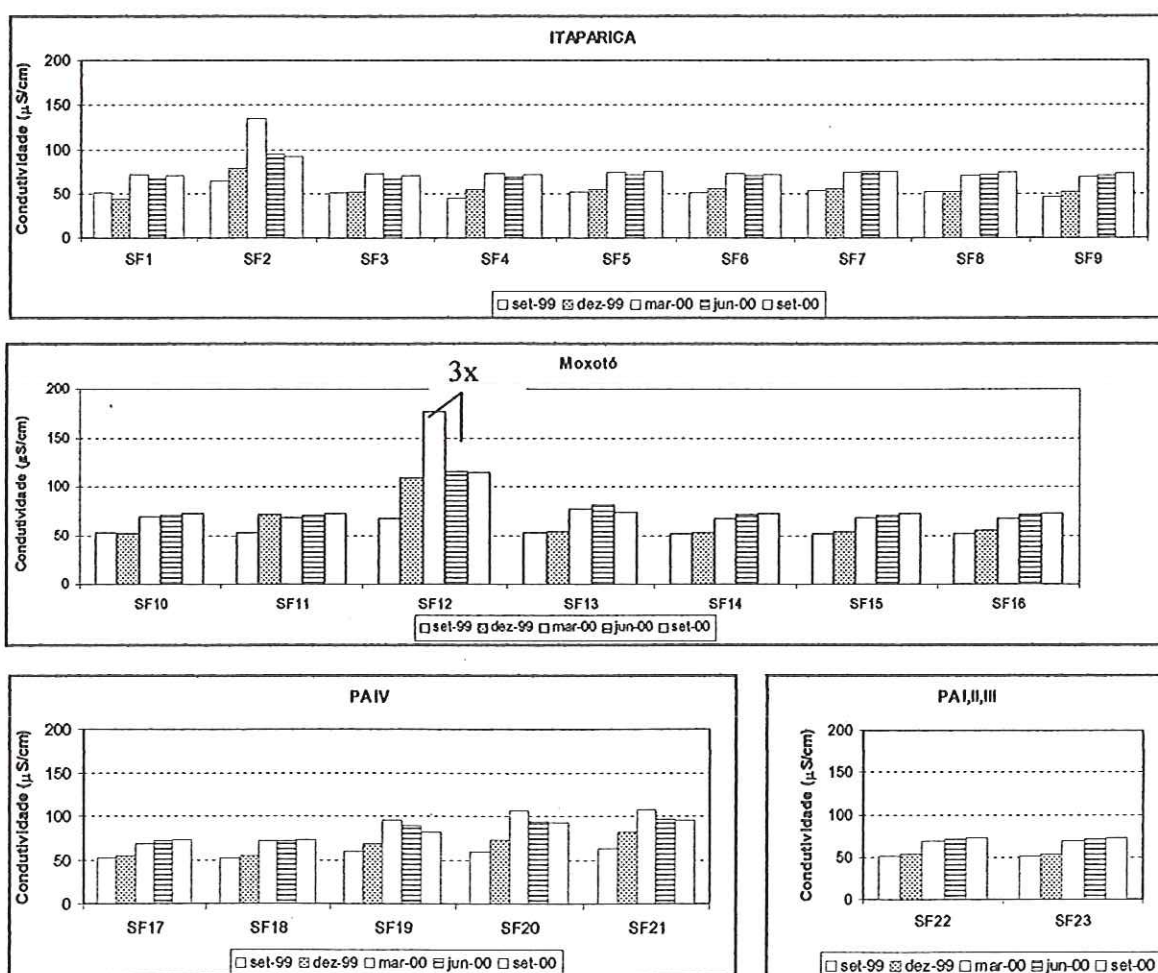


FIGURA 40 - Valores médios de condutividade elétrica na coluna d'água em todas as estações, no período estudado. A condutividade na estação SF12, em março e junho/00, foi de 532 $\mu\text{S/cm}$ e 344,7 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente

Nestas estações, foram observadas variações de até 22% em set/99 (máximo de 66,7 $\mu\text{S/cm}$ em SF12); valores 50% superiores em dez/99 (máxima de 108,3 $\mu\text{S/cm}$ em SF12); aumentos médios de 45% em mar/00 e 31,3% em junho/00, exceto para a estação SF12, com condutividade de 532,0 $\mu\text{S/cm}$ (650% em mar/00) e 344,7 $\mu\text{S/cm}$ (380% em junho/00) e variações de 26% em média na coleta de set/00 (máximo de 114,3 $\mu\text{S/cm}$ em SF12).

Conforme foi observado anteriormente, estes valores parecem estar associados à influência antrópica, sobretudo de origem agrícola nos rios Pajeú e Moxotó, e à contribuição urbana próximo à cidade de Paulo Afonso. Na estação SF12, no rio Moxotó, verificaram-se os valores mais discrepantes, com condutividade chegando a 570 $\mu\text{S/cm}$.

5.3.6 Nutrientes

A avaliação de nutrientes nos reservatórios do Sub-médio São Francisco foi realizada através da determinação de nitrogênio e fósforo total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e ortofosfato.

As concentrações de nitrogênio medidas no sub-médio São Francisco, em suas várias formas, estão apresentadas nas Tabelas 12 a 16 (no Anexo A) e as médias na coluna vertical em cada estação estão apresentadas nas Figuras 41 a 44.

5.3.6.1 Formas nitrogenadas

Nas Figuras 41 a 44 estão apresentadas, respectivamente, as variações espaciais e temporais das concentrações de amônia, nitrito, nitrato e nitrogênio orgânico total, obtidas nos reservatórios do sub-médio São Francisco, sendo que os valores das concentrações obtidos na superfície, meio e fundo da coluna d'água, estão apresentadas nas Tabelas 12 a 16 (no Anexo A).

As concentrações de nitrogênio amoniacal no sistema foram reduzidas para as diferentes profundidades e estações de amostragem, sem evidenciar um padrão definido entre estas (Figura 41). As concentrações médias na coluna d'água estiveram entre 0,0 e 11,0 $\mu\text{g/l}$ durante todo o período da pesquisa, com exceção da estação SF12, com concentração de 45,1 $\mu\text{g/l}$ na coleta de março de 2000.

No reservatório de Itaparica, ocorreu um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal em junho de 2000 (entre 2,07 e 7,34 $\mu\text{g/l}$), enquanto nos demais reservatórios as maiores concentrações ocorreram em março de 2000, variando entre 2,5 e 45,1 $\mu\text{g/l}$.

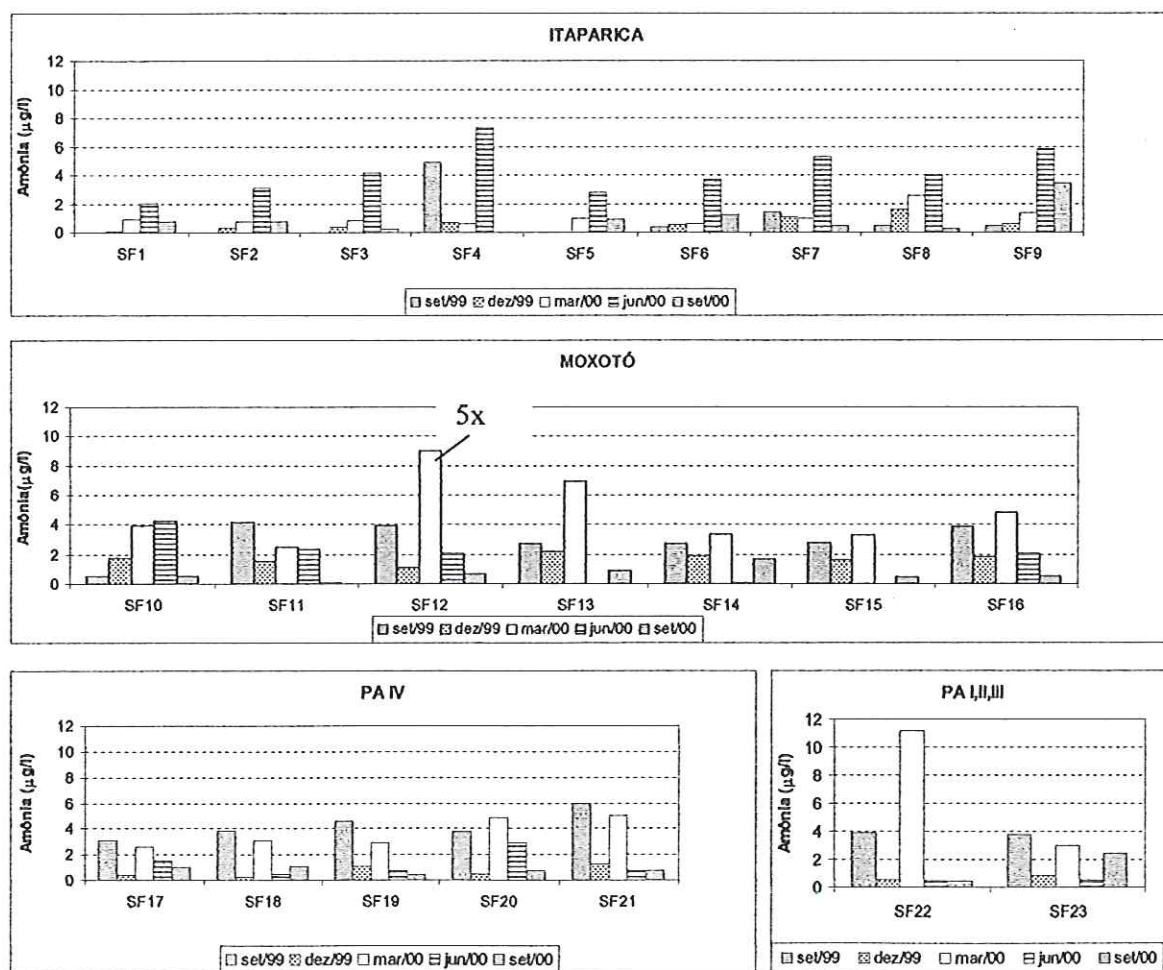


FIGURA 41 - Concentrações de amônia nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações, no período estudado. A concentração de amônia na estação SF12, em março/00, foi de 45,14 $\mu\text{g/l}$.

Dentre as formas de nitrogênio analisadas, as menores concentrações foram obtidas para o nitrito. As maiores concentrações de nitrito foram observadas em março e junho de 2000, variando entre 0,007 e 0,02 $\mu\text{g/l}$, exceto nas estações SF12 e SF13, com concentrações de 0,117 $\mu\text{g/l}$ e 0,039 $\mu\text{g/l}$, em março de 2000, respectivamente.

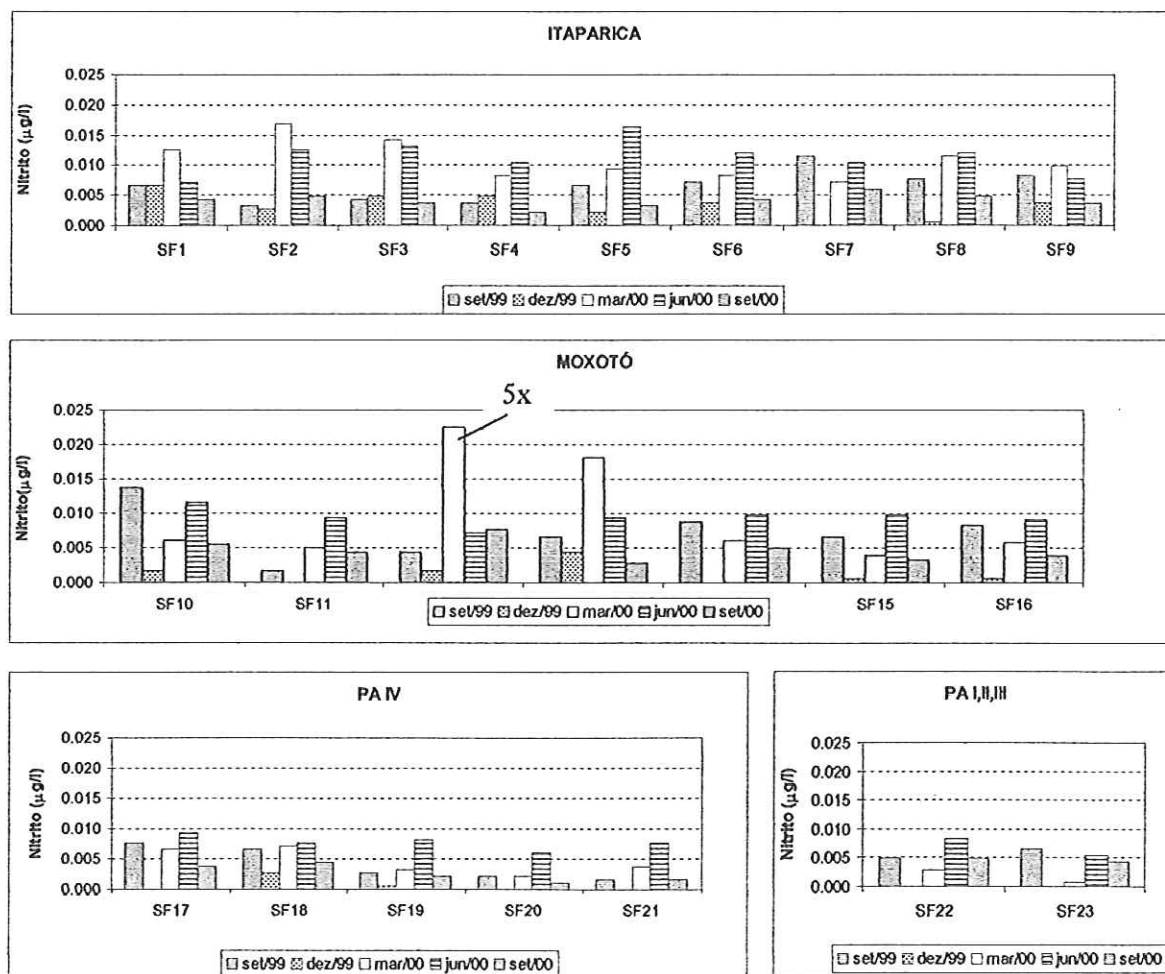


FIGURA 42 - Concentrações de nitrito nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações, no período estudado. Na estação SF12 a concentração de nitrito, em março/00, foi de 0,1128 $\mu\text{g/l}$.

Para o nitrato, os meses em que se obtiveram menores concentrações foram em dezembro de 1999 e setembro de 2000, variando entre 0,0 e 72,0 $\mu\text{g/l}$. Em março de 2000 foi registrada a concentração máxima de 445,0 $\mu\text{g/l}$ (estação SF12, no rio Moxotó). Em geral, observou-se um aumento na concentração de nitrato em março de 2000 em todos os reservatórios, registrando-se concentrações menores na campanha de junho de 2000 e retornando às concentrações anteriores em setembro de 2000.

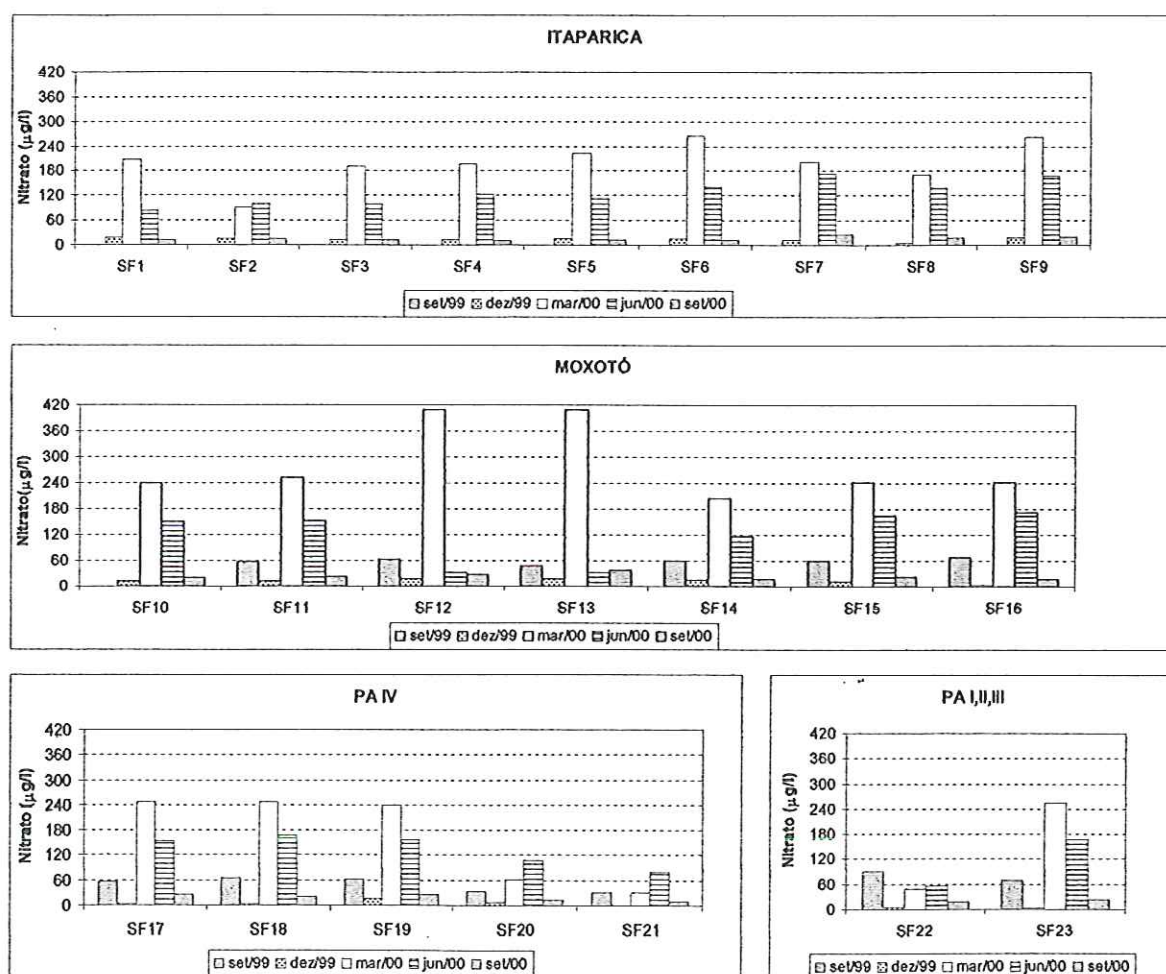


FIGURA 43- Concentrações de nitrato nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado.

Em relação ao nitrogênio orgânico total, obteve-se no rio Moxotó (estação SF12) a maior concentração durante todo o período de estudo (9835,0 $\mu\text{g/l}$, em março de 2000). As estações amostradas apresentaram, também para nitrogênio orgânico total, maiores concentrações no mês de março de 2000, as quais estiveram, geralmente, entre 37,0 e 1830,0 $\mu\text{g/l}$, exceto o máximo citado anteriormente na estação SF12.

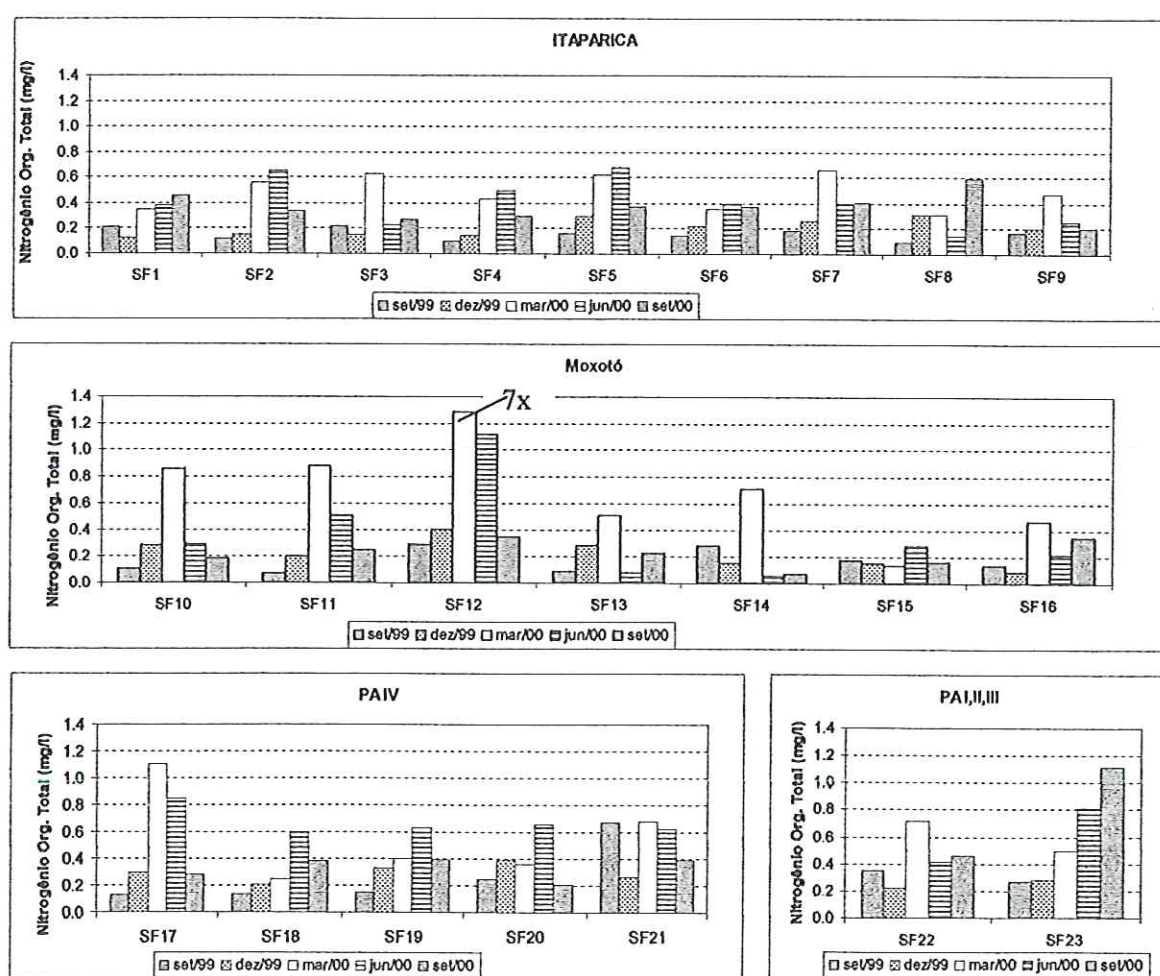


FIGURA 44 - Concentrações de nitrogênio orgânico total nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. Na estação SF12 a concentração, em março/00, foi de 9,014 mg/l.

5.3.6.2 Ortofosfato e Fósforo Total

Nas Tabelas 17 a 21 (no Anexo A) estão apresentadas as concentrações de ortofosfato e fósforo total determinadas para amostras na superfície, meio e fundo, nas diversas estações ao longo dos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV e nas Figuras 45 e 46 estão apresentadas as variações espaciais e temporais das concentrações médias da coluna d'água.

Em relação ao ortofosfato (Figura 45), não foi observada relação entre a variação da concentração média na coluna d'água e a estação de chuva ou seca. As concentrações foram baixas, com valores entre 0,0 µg/l e 20,1 µg/l, destacando-se novamente a estação SF12, no rio Moxotó, com concentrações médias na coluna d'água de 35,8 e 39,8 µg/l, referentes às campanhas de março e setembro de 2000. Em geral, as maiores concentrações de ortofosfato foram observadas em junho de 2000.

Em geral, as maiores concentrações de fósforo total (Figura 46) foram registradas nas estações localizadas na porção inferior do reservatório de Itaparica e em todas as estações do reservatório de Moxotó. Os valores estiveram entre 0,0 e 112,7 µg/l nessas estações, excetuando-se as concentrações máximas observadas em março de 2000 na estação SF12 (no rio Moxotó), com uma concentração de fósforo total de 531,3 µg/l, 568,4 µg/l e 713,8 µg/l, respectivamente nas amostras de superfície, meio e fundo, e em junho na estação SF14 no reservatório de Moxotó, próximo à cidade de Glória, com concentração de 516,3 µg/l, na amostra de fundo.

Nos reservatórios de Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, as concentrações médias de fósforo total na coluna d'água estiveram abaixo de 50 µg/l, exceto nas estações SF20 e SF21, localizadas na porção oeste do reservatório de Paulo Afonso IV, devido às maiores concentrações nas amostras de fundo obtidas em junho de 2000.

Como observado para as formas nitrogenadas, as maiores concentrações de fósforo total e ortofosfato foram observadas em março e junho de 2000.

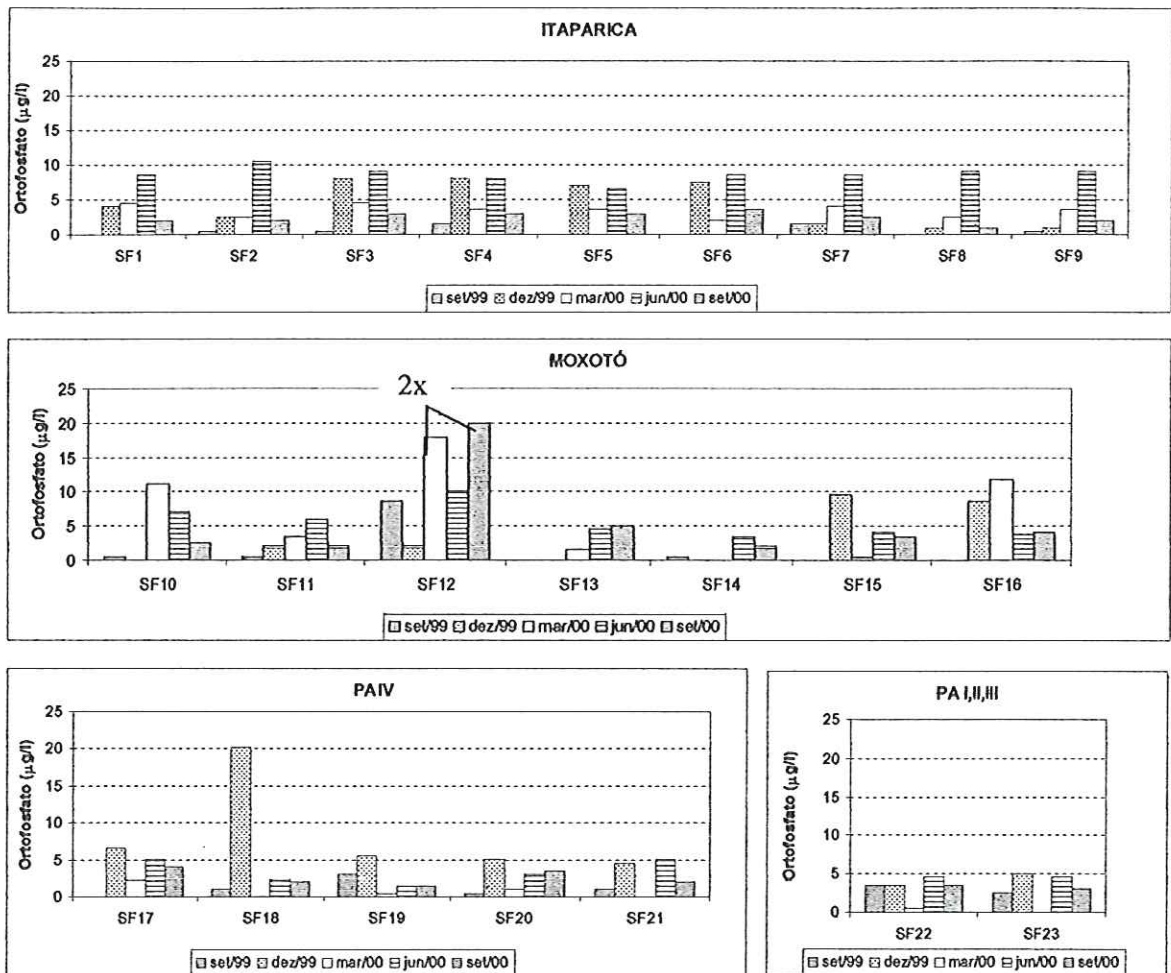


FIGURA 45 - Concentrações de ortofosfato nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. Na estação SF12, nas coletas de março e setembro/00, as concentrações foram de 35,8 e 39,85 $\mu\text{g/l}$, respectivamente.

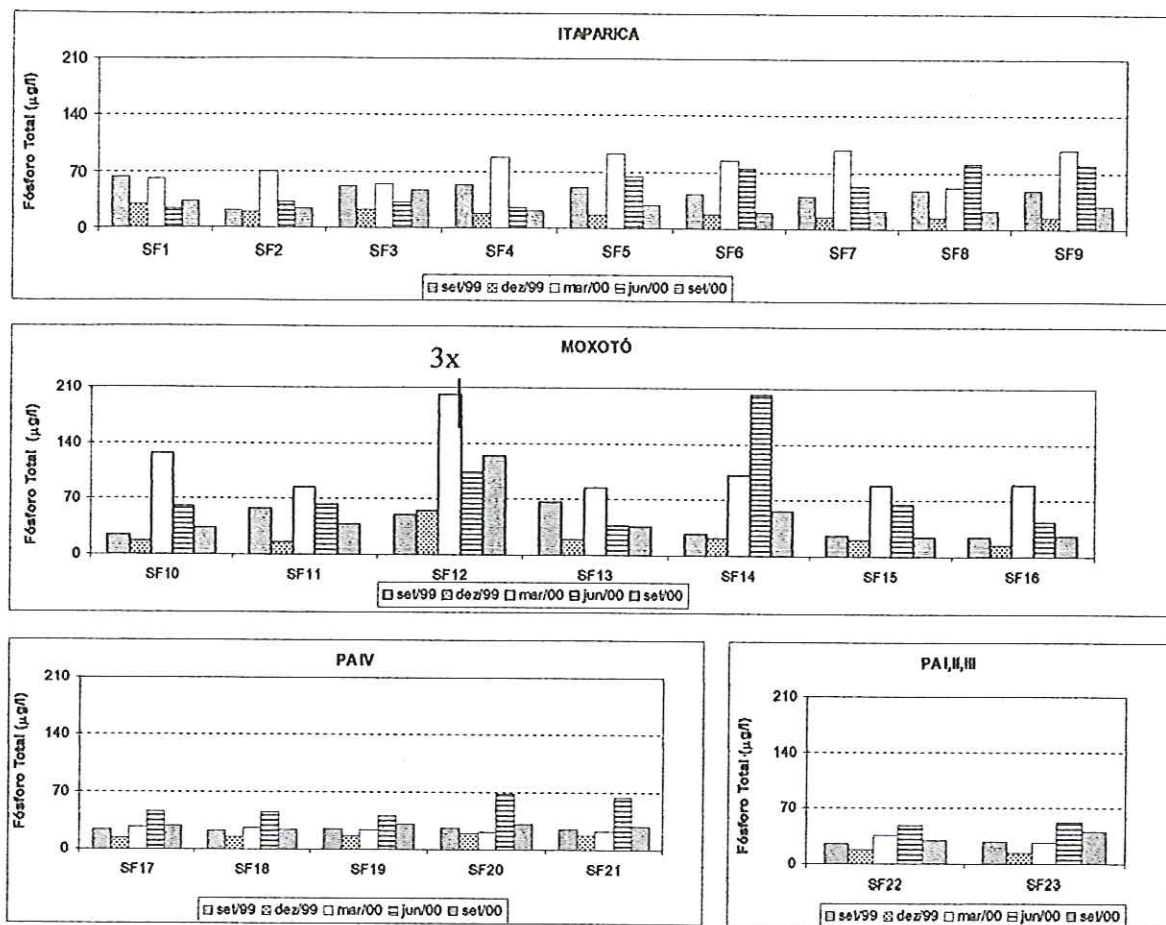


FIGURA 46 - Concentrações de fósforo total nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado. A concentração obtida em março de 2000, na estação SF12, foi de 604,57 µg/l.

5.3.7 Material em suspensão

As concentrações de material em suspensão obtidas nas estações distribuídas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, em amostras coletadas na superfície, meio e fundo da coluna d'água, estão apresentadas nas Tabelas 17 a 21 (no Anexo A). As variações espaciais e temporais dos valores médios na coluna d'água podem ser observadas na Figura 47, verificando-se baixas concentrações de material em suspensão nos reservatórios do sub-médio São Francisco, com médias na coluna d'água variando entre 0,4 e 11,0 mg/l.

Além disso, observou-se a influência do período chuvoso na variação da carga de sedimentos entrando no reservatório de Itaparica, com maior concentração de material em suspensão nas estações localizadas na porção superior do reservatório (SF01 e SF03), no período de dezembro de 1999 à junho de 2000. Os valores médios na coluna d'água, obtidos nos meses de setembro de 1999 e setembro de 2000 foram, em geral, inferiores a 2 mg/l, com exceção daqueles observados na amostra de meio da estação SF05 (em setembro de 1999) e na amostra de fundo da estação SF03 (em setembro de 2000), de 15,8 mg/l e 24,8 mg/l, respectivamente. Nos meses de dezembro de 1999 e março de 2000 as concentrações de material em suspensão na coluna d'água estiveram entre 0,8 mg/l e 10,8 mg/l, enquanto em junho/00 foram encontrados valores entre 3,8 e 5,0 mg/l.

Nos demais reservatórios não houve influência aparente das chuvas na variação temporal do material em suspensão e as maiores concentrações foram observadas em junho de 2000, no intervalo de 1,4 mg/l a 6,7 mg/l, destacando-se sempre a estação SF12, com concentrações superiores às demais no reservatório de Moxotó. Nesta estação, foram observados valores entre 8,4 e 13,7 mg/l, nos meses de setembro e dezembro de 1999, junho e setembro de 2000 e concentração de 310,2 mg/l em março de 2000 (Tabela 19, no Anexo A).



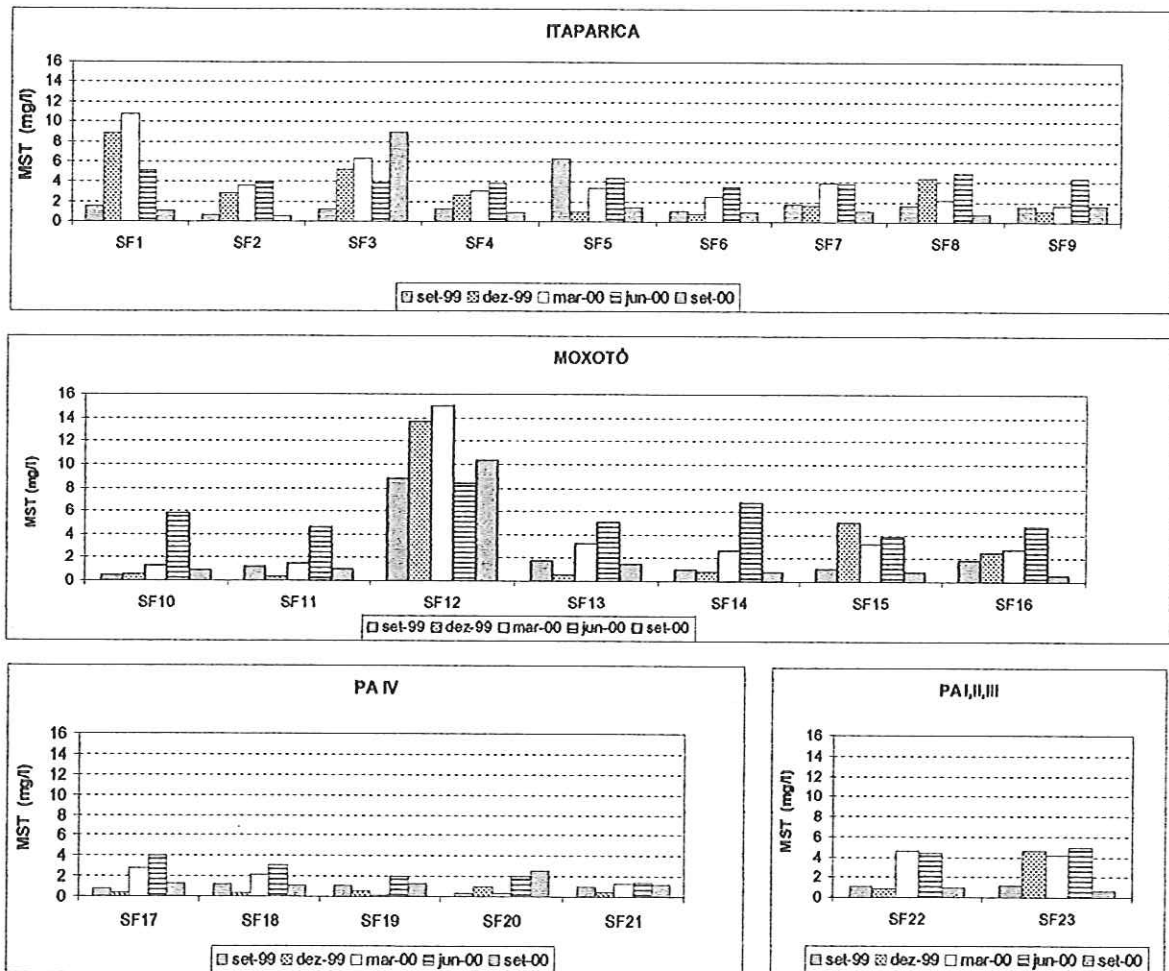


FIGURA 47 - Concentrações de material em suspensão nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado.

5.3.8 Clorofila *a* + feofitina

Para as concentrações de clorofila, verificou-se um aumento na concentração em setembro de 2000, em todos os reservatórios, com os valores médios na coluna d'água entre 16,2 e 45,7 $\mu\text{g/l}$ (Figura 48). Nas campanhas realizadas em setembro e dezembro de 1999 e março e junho de 2000 não verificou-se, em geral, variação espacial e temporal significativa nos reservatórios, com concentrações médias inferiores a 11 $\mu\text{g/l}$, com exceção da estação SF11, onde foi observado 38,8 mg/l de clorofila na coluna d'água em dezembro de 1999. A estação SF12 novamente diferiu das demais, com concentrações de clorofila variando entre 21,0 $\mu\text{g/l}$ e 35,0 $\mu\text{g/l}$, durante o período de estudo. Os valores de clorofila obtidos na superfície, meio e fundo da coluna d'água estão mostrados nas Tabelas 17 a 21 (no Anexo A).

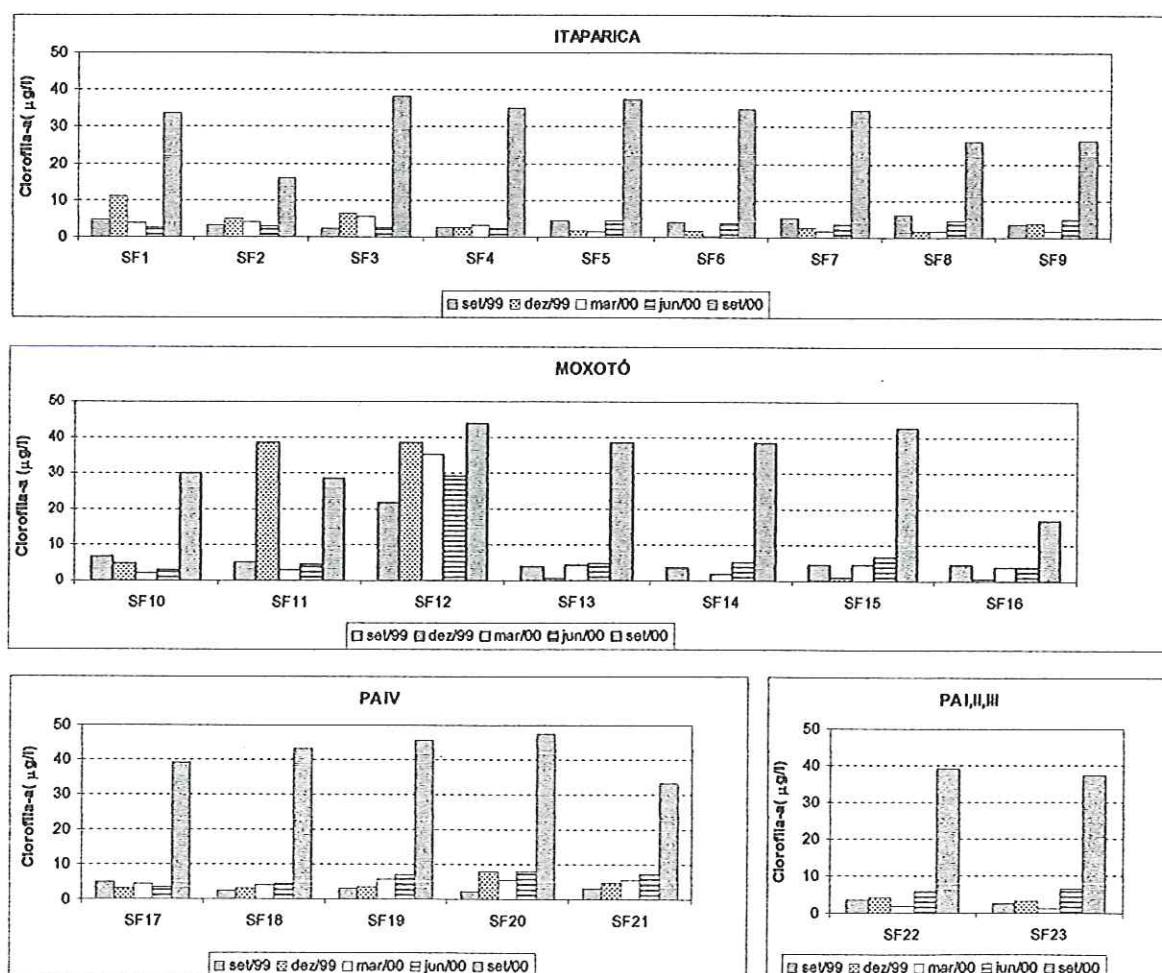


FIGURA 48 - Concentrações de clorofila *a* + feofitina nas amostras de água nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I,II,III e Paulo Afonso IV, em todas as estações no período estudado.

5.4 Análise dos parâmetros limnológicos

5.4.1 Índice de Estado Trófico (I.E.T.)

Nas tabelas 22 a 26 (no Anexo A) são apresentados os resultados obtidos na análise do estado trófico (IET), conforme TOLEDO *et al.* (1983). Nos cálculos, foram utilizadas as concentrações de fósforo total, ortofosfato e clorofila, determinados a partir das amostras da água de superfície em cada estação, bem como os valores da profundidade de Secchi. Os valores dos IET médios calculados para os reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA IV estão apresentados nas Figuras 49 a 53.

Na coleta de setembro/99, em relação às concentrações de fósforo total, foram classificadas como eutróficas as estações SF04, SF05 e SF09 no reservatório de Itaparica e as estações SF11, SF12 e SF13 no reservatório de Moxotó. Neste período as estações SF01, SF07 e SF08 em Itaparica, SF15 em Moxotó e SF23 em PA I-II-III foram enquadradas como mesotróficas e as demais estações de coleta como oligotróficas. Os resultados obtidos para ortofosfato e profundidade de Secchi classificaram todos os reservatórios como oligotróficos. Com base nos valores de clorofila, apenas a estação SF12 foi classificada como eutrófica, enquanto 12 estações foram classificadas como mesotróficas (SF01; SF06 a SF11; SF14 a SF17; SF22) e as outras 10 estações como oligotróficas. Verificou-se nesta coleta que as estações localizadas no reservatório de Paulo Afonso IV foram classificadas como oligotróficas, com exceção da SF17 que foi considerada mesotrófica para clorofila; o que permite inferir que neste período o reservatório era oligotrófico.

O cálculo do IET a partir das concentrações de clorofila obtidos em dezembro/99 permitiu classificar as estações SF01 (início de Itaparica), SF11 (Moxotó, após a cidade de Jatobá), SF12 (rio Moxotó) e SF18 (barragem de PA IV) como eutróficas; as estações SF02, SF03, SF18, SF21, SF22, SF23 como mesotróficas e as estações SF04 a SF09 e SF13 a SF17 como oligotróficas. Neste mesmo período, com base nos valores de profundidade de Secchi e fósforo total, as estações SF02 a SF11; SF13 e SF15 a SF23 foram classificadas como oligotróficas, as estações SF01 e SF12 como mesotróficas; e a estação SF14 foi classificada como mesotrófica para fósforo e oligotrófica para Secchi. Utilizando as concentrações de ortofosfato no cálculo do IET, quatro estações foram classificadas como mesotróficas (SF04, SF05, SF15 e SF20), uma como eutrófica (SF18) e as demais como oligotróficas.

Na coleta de março/00, as maiores concentrações de fósforo total nos reservatórios, quando comparadas às coletas anteriores, provocaram um aumento no IET, classificando as estações SF01 a SF12 e SF14 a SF16 como eutróficas, as estações SF13, SF18, SF22 e SF23 como mesotróficas e as estações SF19, SF20 e SF21 como oligotróficas. Contudo, quando utilizadas as concentrações de ortofosfato, apenas as estações SF12 e SF16 foram classificadas como eutróficas; com a estação SF10 sendo classificada como mesotrófica e as demais como oligotróficas. Com base nas concentrações de clorofila, foram classificadas 11 estações como oligotróficas (SF01, SF05 a SF10, SF14, SF17, SF22 e SF23); 9 como mesotróficas (SF02, SF04, SF11, SF13, SF16, SF18 a SF21) e 3 como eutróficas (SF03, SF12 e SF15). Os resultados obtidos para profundidade de Secchi permitiram a classificação de 8 estações como eutróficas (SF01, SF03, SF04, SF09, SF11, SF12, SF16 e SF22); 12 como mesotróficas (SF02, SF05 a SF08, SF10, SF13 a SF15, SF17, SF18 e SF23) e 3 como oligotróficas (SF19, SF20 e SF21).

Pela análise do IET com base nos dados obtidos em junho/00, a classificação do estado trófico das estações, a partir das concentrações de fósforo total, foi: eutrófica para 10 estações (SF05 a SF12, SF15 e SF22); mesotrófica para 12 estações (SF02, SF03, SF13, SF14, SF16 a SF21, SF23) e oligotrófica para SF01. Com base nas concentrações de clorofila as estações foram classificadas como: oligotróficas (SF01, SF02, SF04, SF06, SF14, SF17, SF18); mesotróficas (SF03, SF05, SF07 a SF11, SF19 a SF23) e eutrófica (SF12). A partir das concentrações de ortofosfato foram classificadas 8 estações como mesotróficas (SF01 a SF04; SF06 a SF09) e as demais estações como oligotróficas. A análise feita a partir dos dados de profundidade de Secchi permitiu a classificação de 6 estações como oligotróficas (SF02, SF06, SF16, SF19, SF20 e SF21) e as demais como mesotróficas, com exceção da estação SF22 onde esta informação não estava disponível.

Para os dados de setembro/00 a análise do IET, com base na concentração de fósforo total classificou 10 estações como oligotróficas (SF02, SF03, SF04, SF06, SF07, SF08, SF09, SF10, SF15 e SF20); 01 como eutrófica (SF12) e as demais como mesotróficas. Com base nas concentrações de ortofosfato, apenas as estações SF12 e SF13 não foram classificadas como oligotróficas, obtendo-se para estas a classificação de eutrófica e mesotrófica, respectivamente. Os dados de profundidade de Secchi permitiram classificar as estações como oligotróficas, com exceção da estação SF12 que foi classificada como mesotrófica. Para o IET calculado a partir das concentrações de clorofila, neste período, apenas a estação SF16 foi classificada como oligotrófica, enquanto as demais foram classificadas como eutróficas.

Com a utilização do cálculo do IET médio para determinar o grau de trofia dos reservatórios do sub-médio São Francisco, verificou-se que todas as estações foram classificadas como oligotróficas em setembro/99 e para dezembro/99 apenas a estação SF01 foi classificada como mesotrófica e as demais como oligotróficas. Em março/00 aumentou o grau de trofia em algumas estações no reservatório de Itaparica (55% das estações classificadas como mesotróficas) e no reservatório de Moxotó (28% das estações classificadas como eutróficas e 28% como mesotróficas), enquanto para todas as demais foram mantidos os graus de trofia observados anteriormente. Em junho/00 os valores do IET médios obtidos classificaram os reservatórios de Itaparica e Moxotó como mesotróficos e os reservatórios de PA I-II-III e PA IV como oligotróficos, enquanto em setembro/00 os reservatórios voltaram a ser classificados como oligotróficos.

Set/99

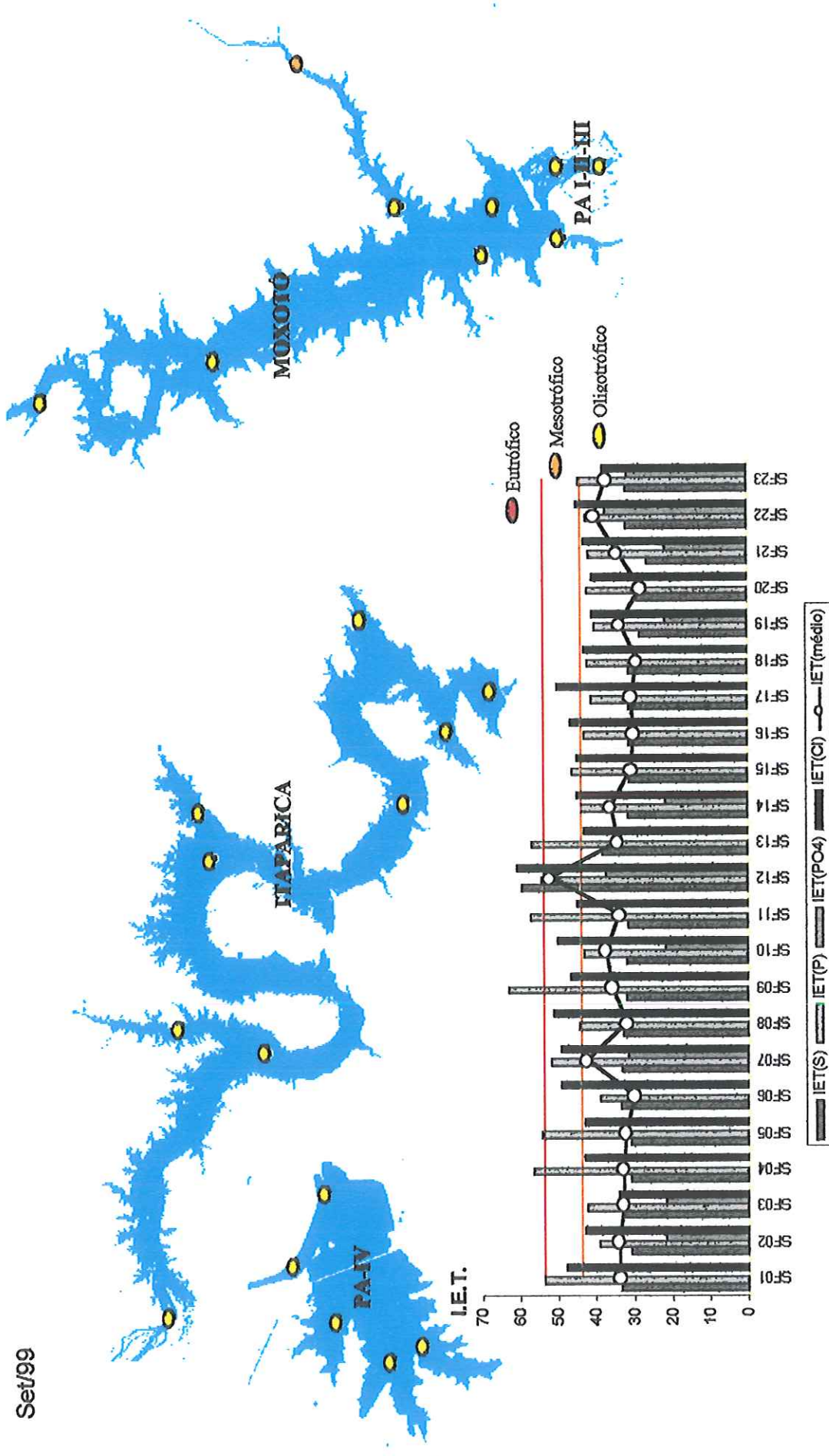


FIGURA 49 – Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila α (C); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de setembro/99.

Dez/99

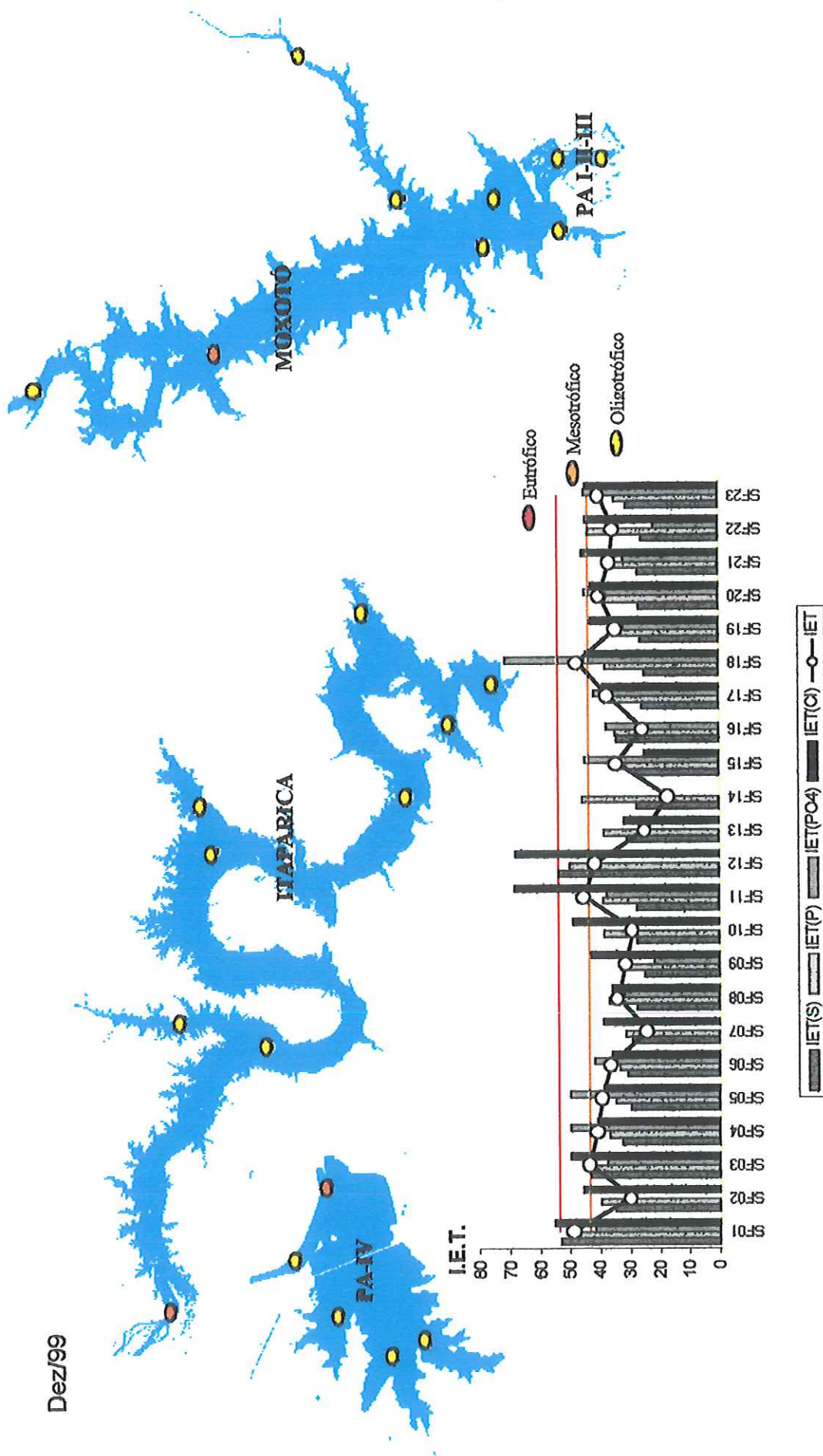


FIGURA 50 - Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila *a* (C); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de dezembro/99.

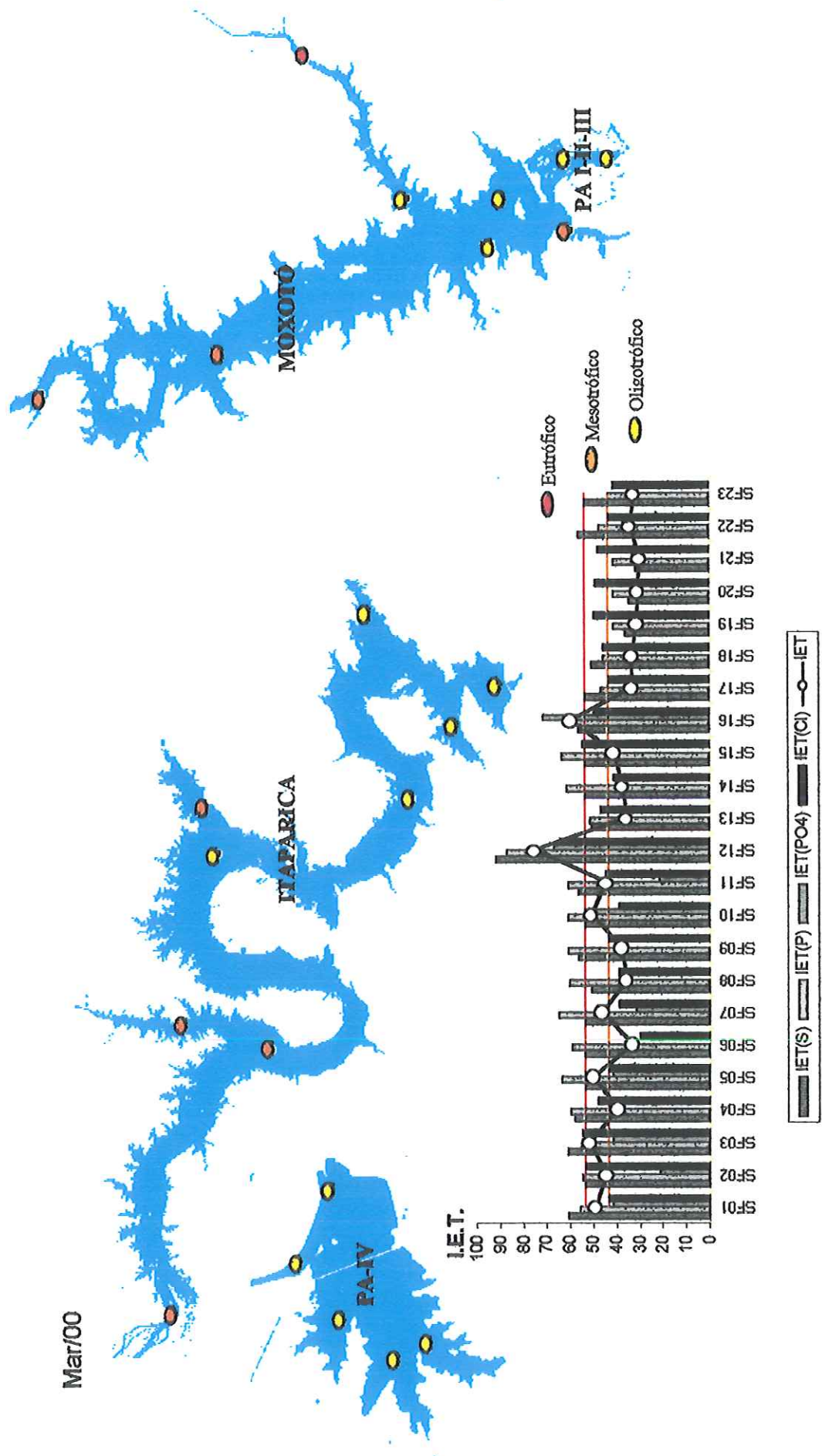
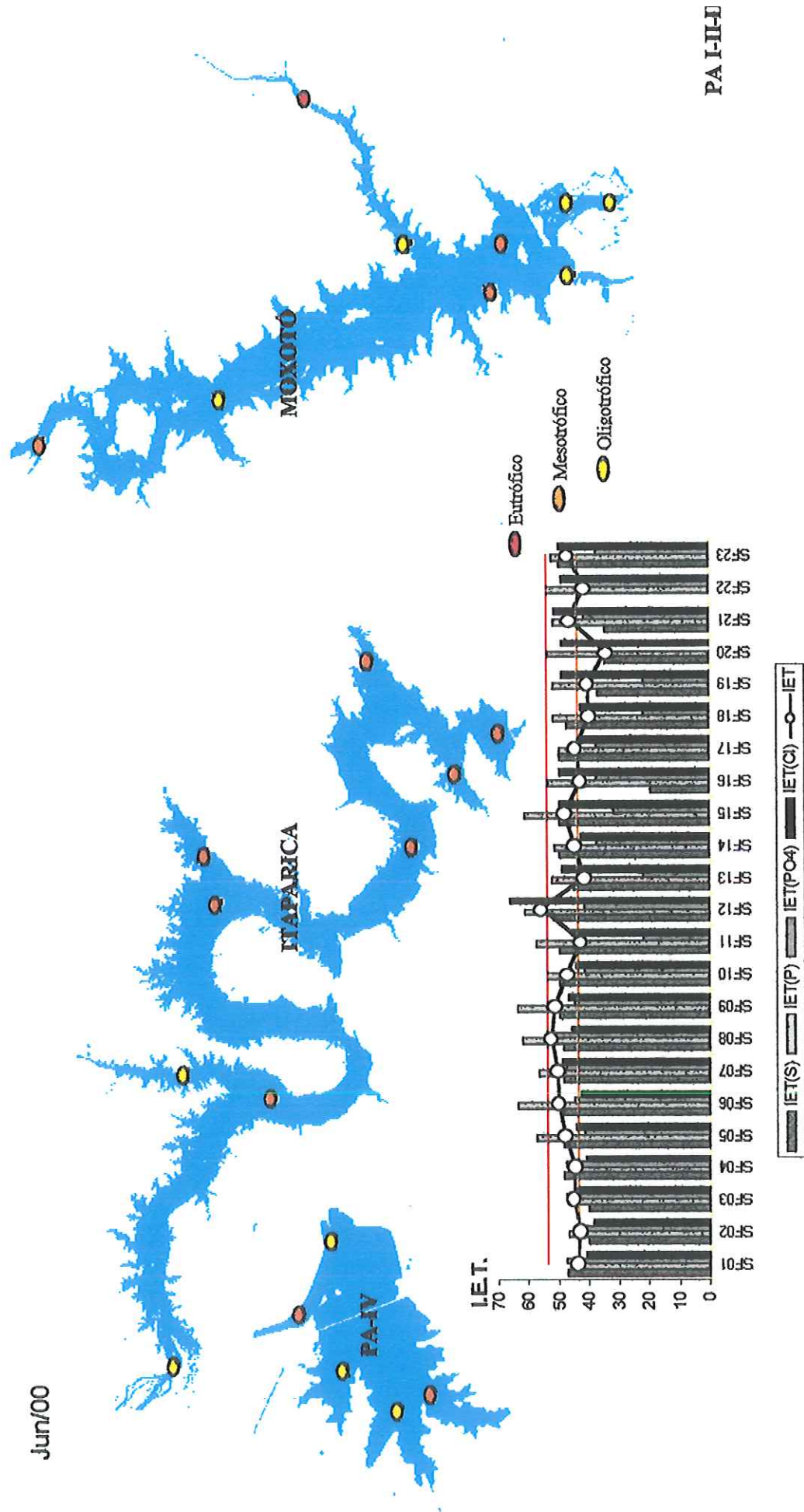


FIGURA 51 – Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila *a* (Cl); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de março/00.

Jun/00



PA I-II-J

FIGURA 52 – Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila a (C); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de junho/00.

Set/00

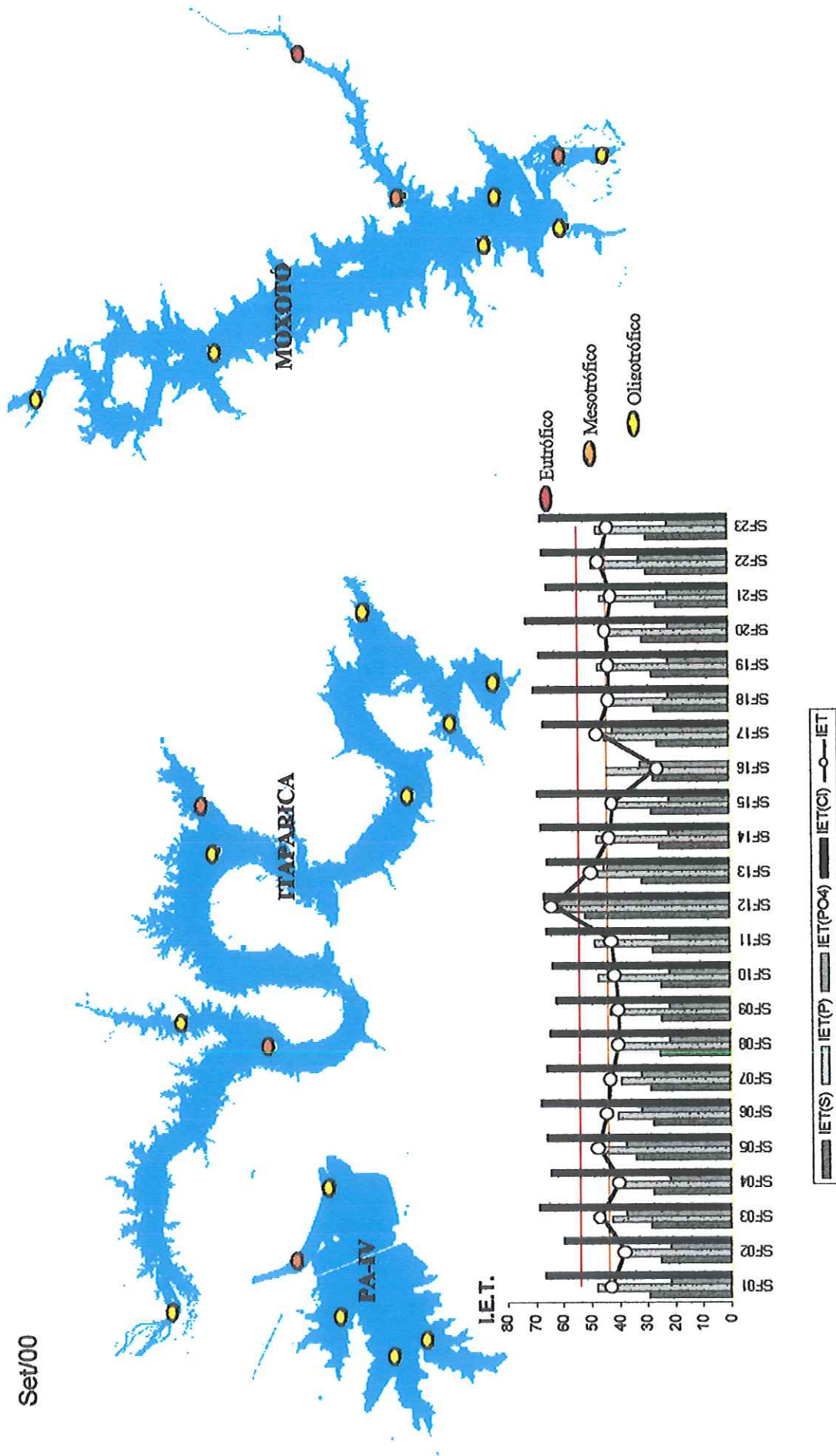


FIGURA 53 – Índices de Estado Trófico (IET) a partir dos valores de profundidade de Secchi (S) e concentrações na superfície de fósforo total (P), ortofosfato (PO₄) e clorofila *a* (C); IET médio e Estado Trófico, para a coleta de setembro/00.

5.4.2 Análise estatística

Utilizou-se a análise de variância para verificar as diferenças estatísticas de algumas variáveis estudadas (nutrientes e clorofila *a*) entre os diferentes reservatórios (1, 2, 3 e 4), períodos (seca e chuva) e profundidades (superfície, meio e fundo).

Para realizar a ANOVA de forma adequada, procurou-se testar algumas das pressuposições do modelo matemático subjacente: homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) e normalidade dos resíduos. Se estas pressuposições não puderem ser garantidas, o resultado da análise não será exato. Pequenos desvios da normalidade e da homogeneidade não afetam consideravelmente os resultados, no entanto, grandes desvios devem ser considerados. Caso a ANOVA não possa ser aplicada, deve-se fazer uma análise gráfica dos dados, tentar transformações dos dados ou utilizar análises não-paramétricas equivalentes. Segundo ZAR (1999) a desvantagem dos testes não-paramétricos é que existem apenas para delineamentos simples (inteiramente casualizado e blocos casualizados).

5.4.2.1 Nutrientes

5.4.2.1.1 Fósforo total e ortofosfato

Para as concentrações de ortofosfato, não foi observado homogeneidade das variâncias (dados heterocedásticos) e os resíduos não foram normais (Anexo B1.a). A transformação logarítmica normalizou os resíduos, mas não homogeneizou as variâncias (Anexo B1.b). Portanto, procedeu-se a análise gráfica.

Verificou-se que não houve diferença na distribuição de ortofosfato quanto a profundidade (Figura 54). Analisando essa distribuição quanto aos reservatórios (Figura 55), os dados obtidos mostraram que no reservatório de PA IV foram obtidos maiores valores de ortofosfato no período de seca e no reservatório de Itaparica no período de chuva. Isto mostra que houve interação na resposta das concentrações de ortofosfato nos diferentes reservatórios, que dependeram do período considerado (seca ou chuva).

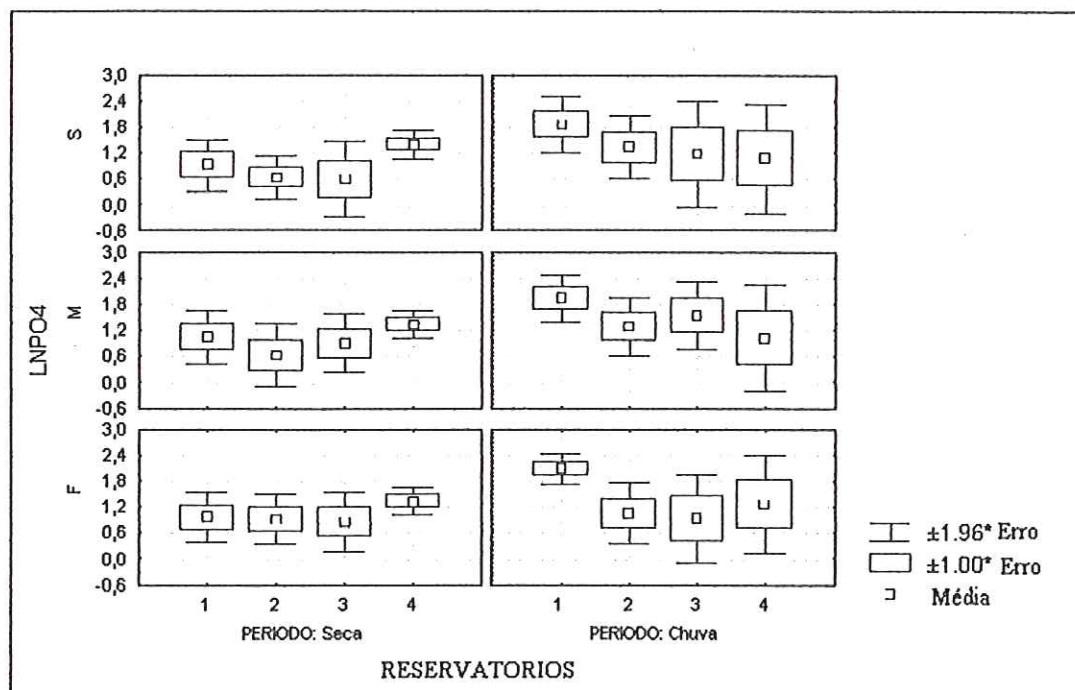


FIGURA 54 – Média e erro padrão do logaritmo das concentrações de ortofosfato em relação à profundidade de coleta (S-superfície, M-meio e F-fundo) nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4), para o período de seca e de chuva.

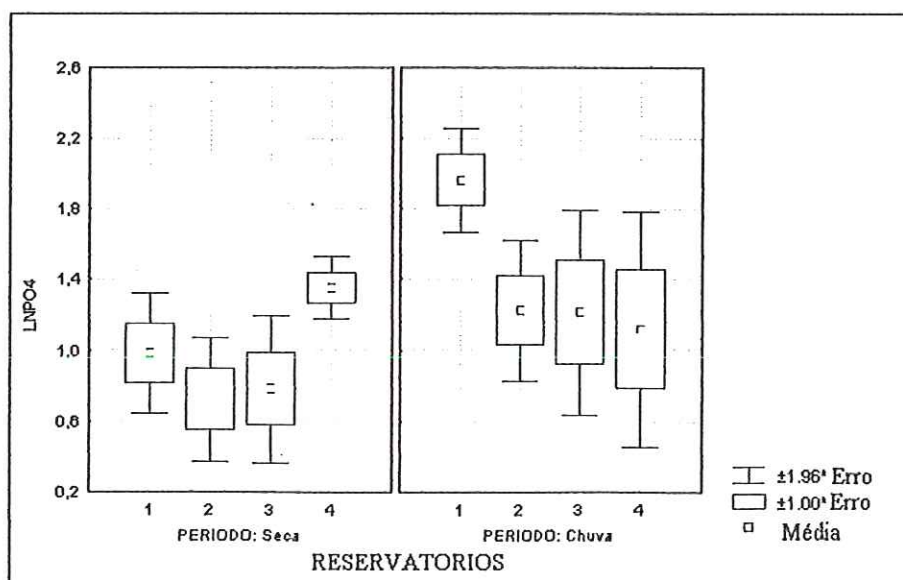


FIGURA 55 – Médias e erro padrão do logaritmo das concentrações de ortofosfato em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

Ainda na Figura 55 verifica-se que, na estação chuvosa, houve uma redução na concentração de ortofosfato ao longo da cascata de reservatórios, a qual mostrou-se mais acentuada no primeiro reservatório (Itaparica). Na análise da influência da estação seca e chuvosa nos valores obtidos de LN (concentração de ortofosfato), verificou-se que esta foi maior no período chuvoso que no seco para os reservatórios 1, 2 e 3, enquanto que no reservatório 4 os valores foram ligeiramente maiores no período seco que no chuvoso. Isto mostra que houve interação entre RESERVATÓRIO e PERÍODO (Figura 56).

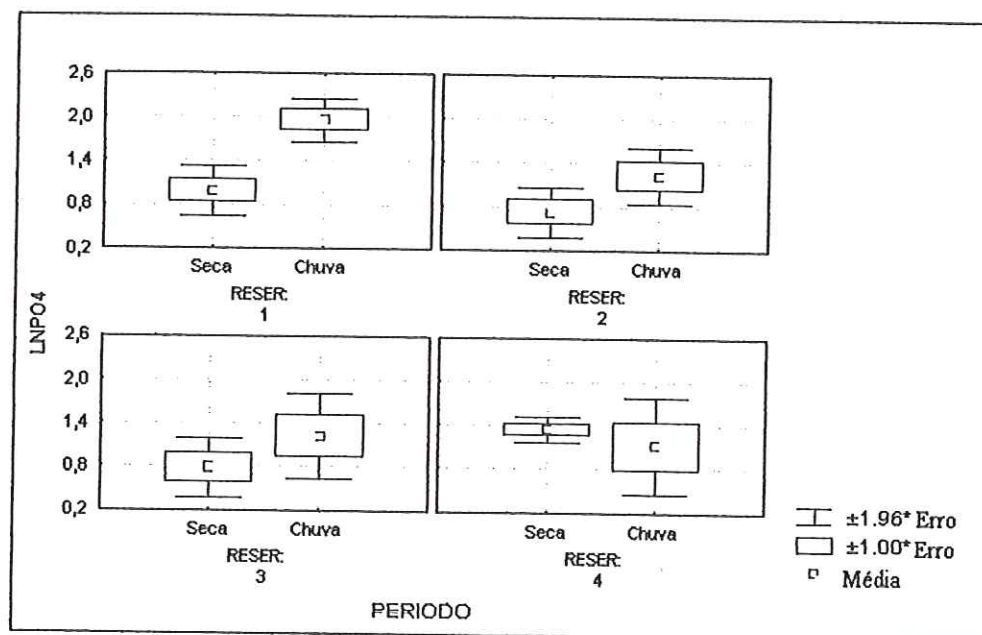


FIGURA 56 – Média e erro padrão do logaritmo das concentrações de ortofosfato em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

Pela análise da Tabela 27, onde são mostrados os resultados da ANOVA, verificou-se que as diferenças de LN (ortofosfato) foram significativas ($p < 0,05$) em relação ao RESERVATÓRIO e PERÍODO, mas não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre RESERVATÓRIO e PERÍODO, apesar de se verificar esta interação graficamente. Esta incapacidade da ANOVA de detectar a interação pode ser devida ao não cumprimento da pressuposição de homocedasticidade do modelo estatístico.

TABELA 27 – Resultado da análise de variância para as concentrações de ortofosfato entre os RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de ortofosfato.

ESTAT. GERAL MANOVA Sumário de todos os efeitos (dados4.sta) 1-RESER, 2-PERÍODO, 3-SMF						
EFEITO	GL Efeito	MS Efeito	GL Erro	MS Erro	F	p-nível
1	3*	4,46275*	249*	1,584326*	2,816815*	,039719*
2	1*	10,04854*	249*	1,584326*	6,342469*	,012416*
3	2	,15692	249	1,584326	,099047	,905736
12	3	3,71926	249	1,584326	2,347536	,073224
13	6	,19959	249	1,584326	,125981	,993084
23	2	,16193	249	1,584326	,102206	,902882
123	6	,37079	249	1,584326	,234039	,965155

Para o fósforo total verificou-se também que as variâncias foram heterocedásticas (Anexo B2.a) e a transformação logarítmica não foi eficiente para homogênisá-las (Anexo B2.b). Portanto, procedeu-se a análise gráfica.

As concentrações de fósforo total na superfície, meio e fundo seguiram um mesmo padrão de distribuição, como pode ser observado na Figura 57.

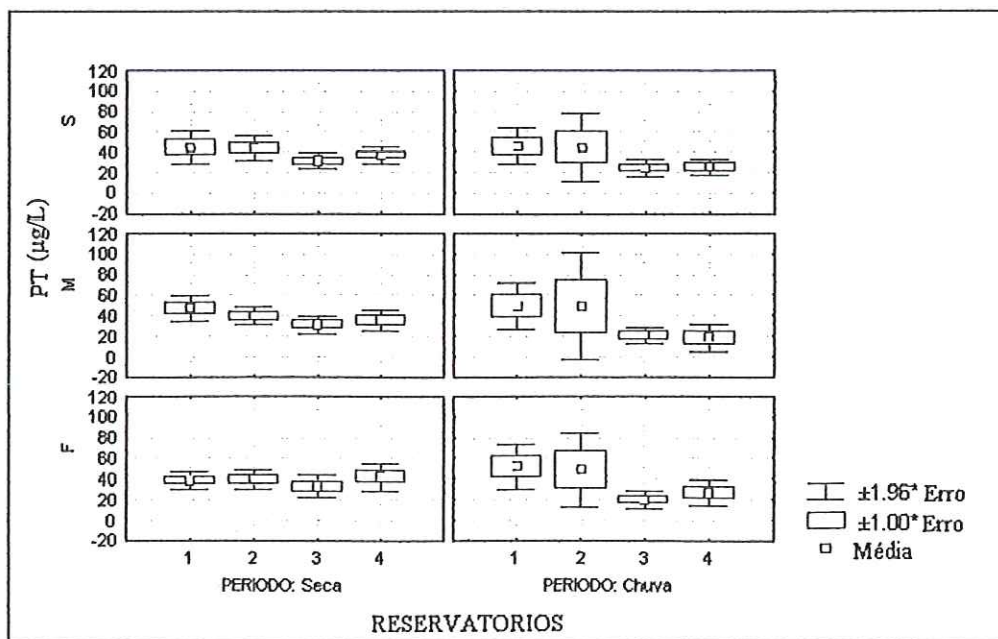


FIGURA 57 – Média e erro padrão das concentrações de fósforo total em relação à profundidade de coleta (S-superfície, M-meio e F-fundo) nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4), para o período de seca e de chuva.

Em relação aos reservatórios, verificou-se no reservatório de PA I-II-III, no período seco, uma concentração de fósforo total menor que os demais, enquanto no período chuvoso os reservatórios de Paulo Afonso I-II-III e IV apresentaram concentrações menores que Itaparica e Moxotó (Figura 58).

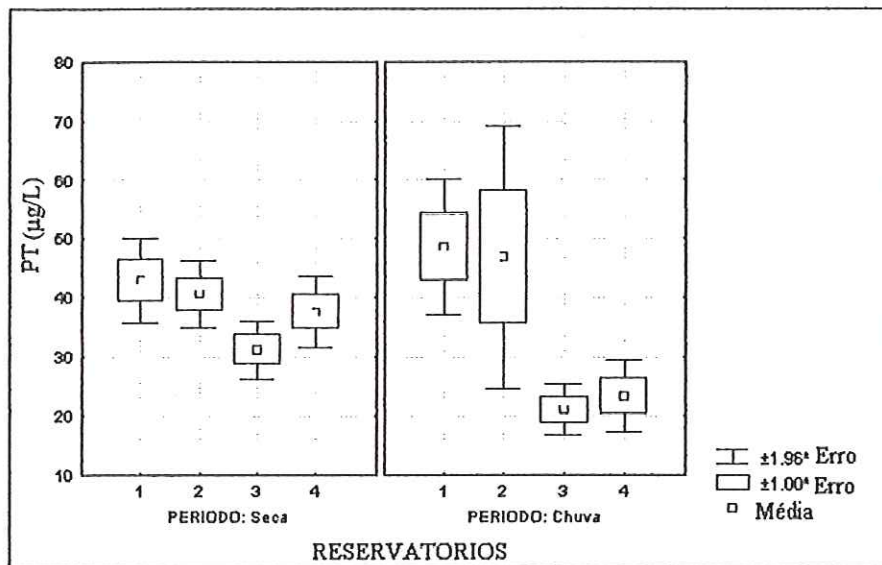


FIGURA 58 – Médias e erro padrão das concentrações de fósforo total em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

As concentrações de fósforo total foram maiores no período de seca nos reservatórios 3 (PA I-II-III) e 4 (PA IV); enquanto nos reservatórios 1 (Itaparica) e 2 (Moxotó), as concentrações diferiram pouco entre os períodos, sendo que no período das chuvas a variância foi maior que na seca (Figura 59).

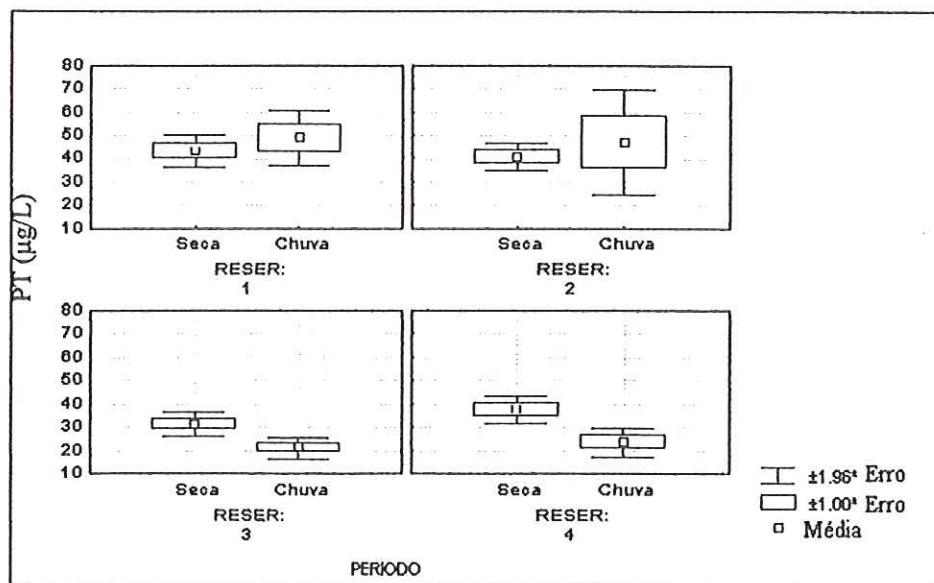


FIGURA 59 – Média e erro padrão das concentrações de fósforo total em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

5.4.2.1.2 Formas nitrogenadas

Analisando os dados de nitrogênio amoniacal (NA), verificou-se que os dados originais não possuíam variância homogênea e os resíduos também não eram normais (Anexo B3.a). Uma transformação logarítmica dos dados foi aplicada, homogeneizando as variâncias e normalizando os resíduos (Anexo B3.b). Analisando as interações apresentadas na Tabela 28, observa-se que não ocorreram diferenças significativas de LN NA para os diferentes fatores testados ($p > 0,05$).

TABELA 28 – Resultado da análise de variância para as concentrações de ortofosfato entre os RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrogênio amoniacal.

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							
| ESTAT..		| Sumário de todos os efeitos: (dados4.sta)					
| GERAL		| 1-RESER, 2-PERÍODO, 3-SMF					
| MANOVA		|					
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							
| EFEITO	| GL	| MS	| GL	| MS	| F	| p -nível	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							
| 1	| 3	| 1,288252	| 249	| ,779274	| 1,653144	| ,177711	
| 2	| 1	| 2,618133	| 249	| ,779274	| 3,359707	| ,068004	
| 3	| 2	| ,863975	| 249	| ,779274	| 1,108692	| ,331614	
| 12	| 3	| ,891893	| 249	| ,779274	| 1,144518	| ,331698	
| 13	| 6	| ,349551	| 249	| ,779274	| ,448560	| ,845643	
| 23	| 2	| ,713065	| 249	| ,779274	| ,915037	| ,401844	
| 123	| 6	| ,429033	| 249	| ,779274	| ,550555	| ,769331	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+							

Analisando os dados de nitrato verificou-se que as variâncias foram homogêneas e os resíduos aproximadamente normais (Anexo B4.a). Os resultados da ANOVA são apresentados na Tabela 29 e nas Figuras 60 e 61. Foram verificadas diferenças significativas entre RESERVATÓRIO e PERÍODO, bem como a interação entre estes fatores ($p < 0,05$).

TABELA 29 – Resultado da análise de variância para as concentrações de ortofosfato entre os RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrito.

ESTAT> Sumário de todos os efeitos (dados4.sta)						
GERAL | 1-RESER, 2-PERÍODO, 3-SMF						
MANOVA |						
EFEITO	GL Efeito	MS Efeito	GL Erro	MS Erro	F	p-nível
1	3*	,000124*	246*	,000015*	8,49800*	,0 00022*
2	1*	,000274*	246*	,000015*	18,68567*	,000022*
3	2	,000026	246	,000015	1,75170	,175636
12	3*	,000109*	246*	,000015*	7,45311*	,000085*
13	6	,000003	246	,000015	,21552	,971646
23	2	,000013	246	,000015	,89176	,411253
123	6	,000005	246	,000015	,37313	,895666

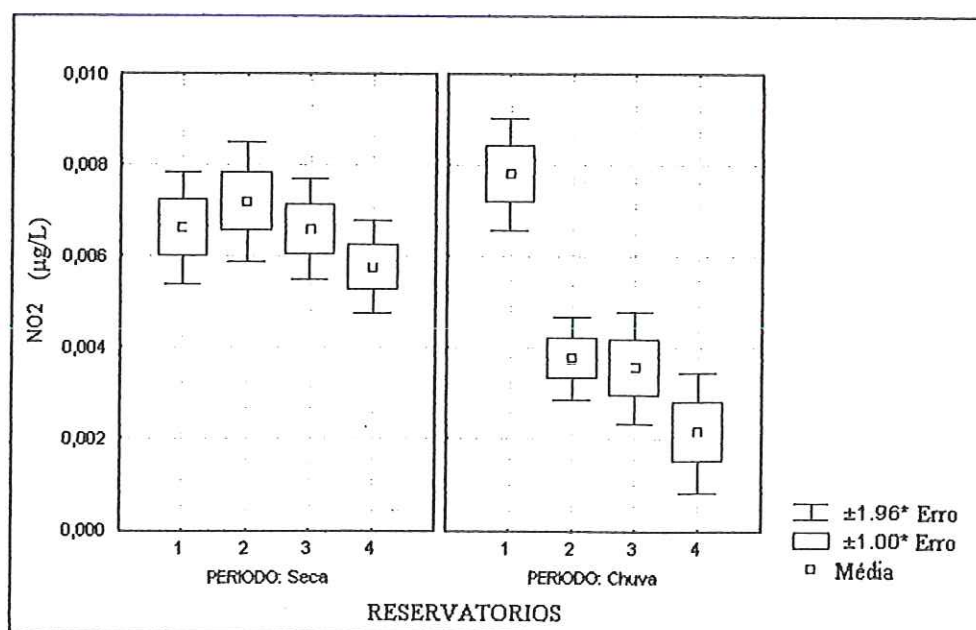


FIGURA 60 – Médias e erro padrão das concentrações de nitrito em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

Analisando conjuntamente a Figura 60, os resultados da ANOVA e do teste de Tukey (Anexo B4.b), verifica-se que não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre as concentrações de NO_2 dos reservatórios no período de seca. Entretanto, no período chuvoso, a concentração de NO_2 foi significativamente ($p<0,05$) maior no reservatório de Itaparica que nos demais.

Em relação aos períodos de chuva e seca, na análise da Figura 61, dos resultados da ANOVA e do teste de Tukey (Anexo B4.c), verificou-se que não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre as concentrações de NO_2 do período seco e chuvoso no reservatório 1. Entretanto, para os outros reservatórios, o NO_2 do período seco foi significativamente maior ($p<0,05$) que do chuvoso.

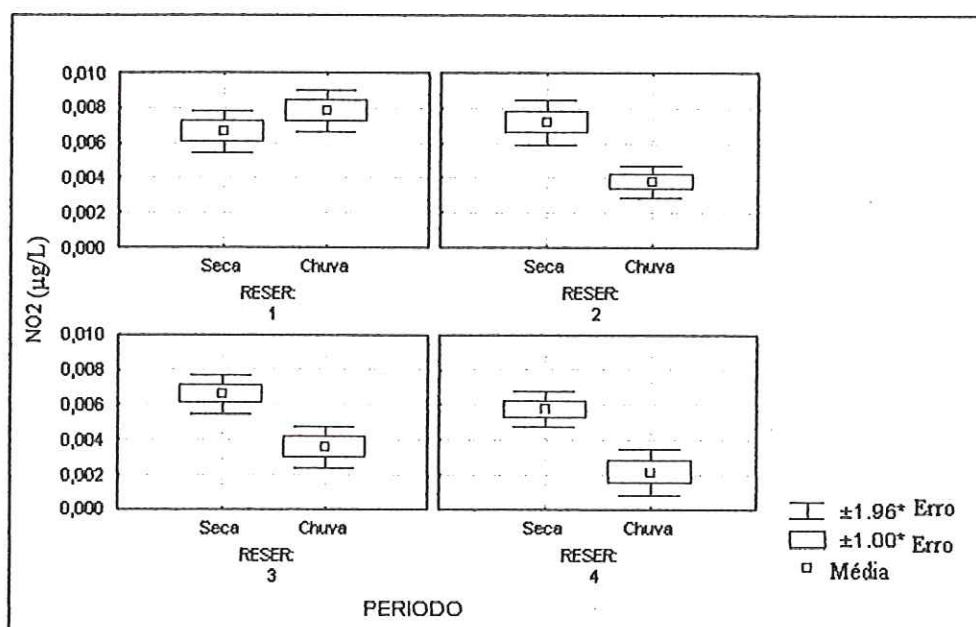


FIGURA 61 – Média e erro padrão das concentrações de nitrito em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

Para o nitrato, as variâncias foram homocedásticas e os resíduos foram aproximadamente normais (Anexo B5.a). Na Tabela 30 foi apresentado o resultado da ANOVA, verificando-se que houve diferença significativa ($p<0,05$) entre as concentrações de nitrato entre o período seco e chuvoso (Figura 62).

TABELA 30 – Resultado da análise de variância entre os RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrato.

ESTAT. | Sumário de todos os efeitos (dados4.sta)						
GERAL | 1-RESER, 2-PERÍODO, 3-SMF						
MANOVA						
EFEITO	GL Efeito	MS Efeito	GL Erro	MS Erro	F	p-nível
1	3	,002985	246	,007507	,397636	,754818
2	1*	,056062*	246*	,007507*	7,467481*	,006738*
3	2	,000365	246	,007507	,048639	,952534
12	3	,009593	246	,007507	1,277785	,282551
13	6	,000814	246	,007507	,108401	,995415
23	2	,000611	246	,007507	,081377	,921871
123	6	,000446	246	,007507	,059428	,999156

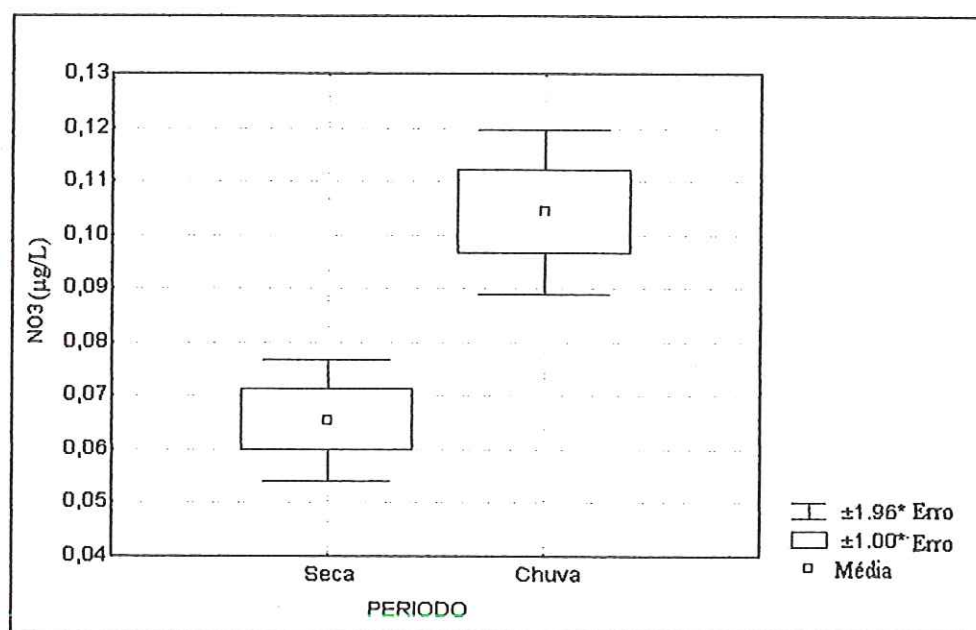


FIGURA 62 – Média e erro padrão das concentrações de nitrato em relação aos períodos de seca e chuva.

A análise estatística das concentrações de nitrogênio total nos reservatórios do sub-médio São Francisco mostrou que as variâncias foram heterocedásticas (Anexo B6.a) e a transformação logarítmica não foi eficiente para homogeneizá-las (Anexo B6.b), portanto, procedeu-se uma análise gráfica.

Verifica-se na Figura 63 que as distribuições de nitrogênio total não diferiram entre as profundidades estudadas. Contudo, em relação aos períodos, verificou-se que no período seco (Figura 64) os reservatórios 1 (Itaparica) e 2 (Moxotó) apresentaram concentrações de nitrogênio total (NT) menores e com menor variância que os reservatórios 3 e 4 (PA I-II-III e PA IV), enquanto que, no período chuvoso, foram obtidas menores concentrações no reservatório de Itaparica e maiores concentrações no reservatório de PA I-II-III.

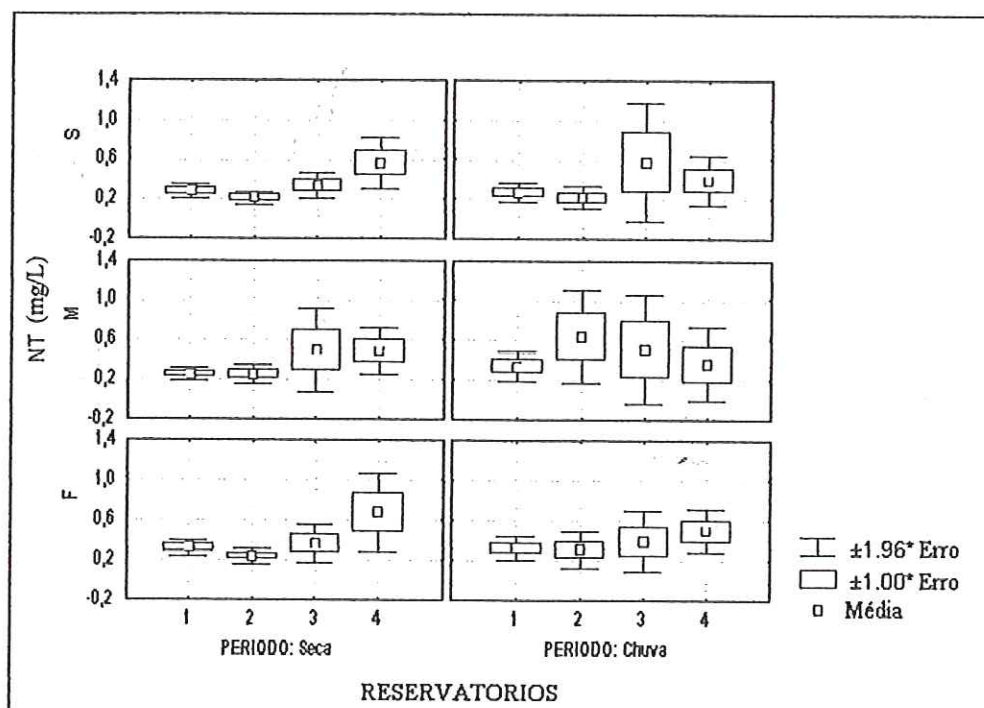


FIGURA 63 – Média e erro padrão das concentrações de nitrogênio total em relação à profundidade de coleta (S-superfície, M-meio e F-fundo) nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4), para o período de seca e de chuva.

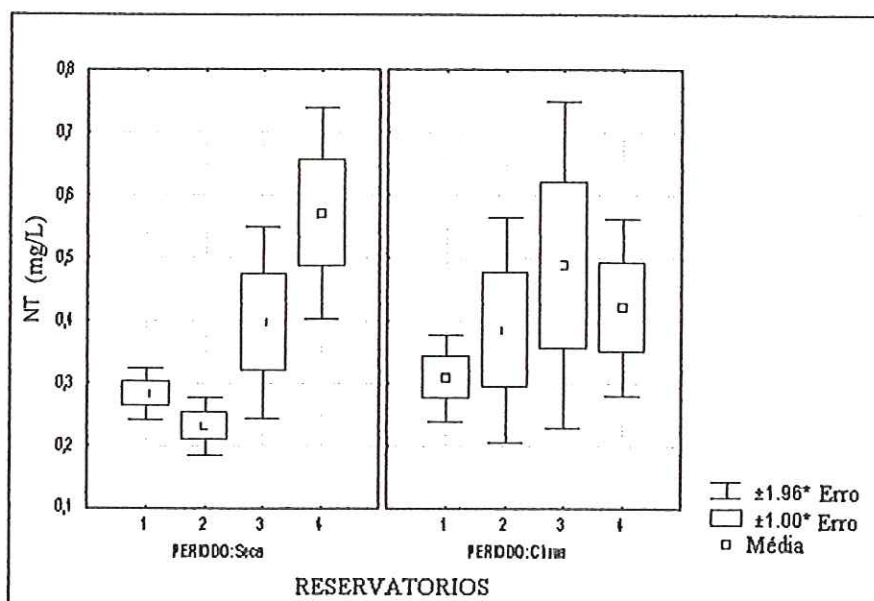


FIGURA 64 – Médias e erro padrão das concentrações de nitrogênio total em relação aos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

Para as variações de nitrogênio total entre o período de chuva e de seca (Figura 65), observa-se que as concentrações não diferiram entre os dois períodos no reservatório de Itaparica (1); foram maiores na chuva nos reservatórios de Moxotó (2) e PA I-II-III (3) e foram maiores na seca no reservatório de PA IV (4).

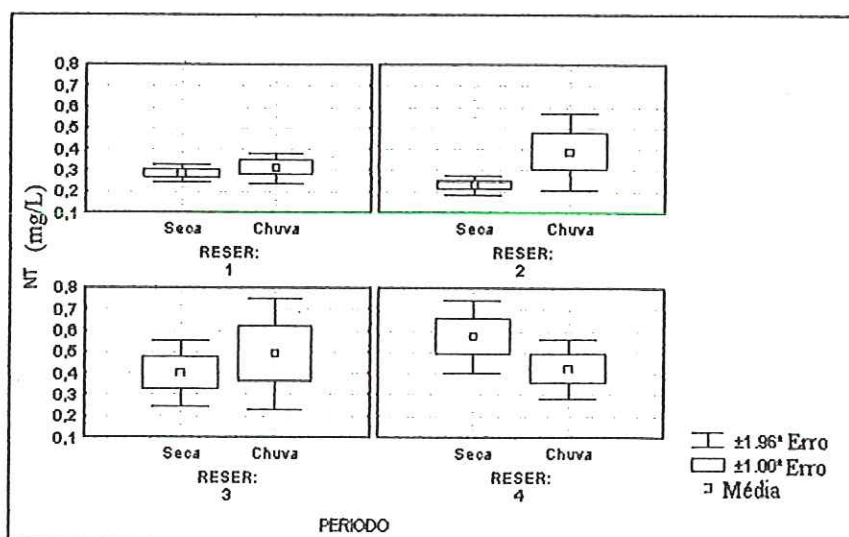


FIGURA 65 – Média e erro padrão das concentrações de nitrogênio total em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

As interações verificadas nas Figuras 63 a 65 foram confirmadas na análise da Tabela 31, na qual foram observadas diferenças nas concentrações de nitrogênio total entre os quatro reservatórios e também em relação ao período de seca e de chuva.

TABELA 31 – Resultado da análise de variância para as concentrações de ortofosfato entre os RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de nitrogênio total.

| ESTAT.		| Sumário de todos os efeitos (dados4.sta)				
| GERAL		| 1-RESER, 2-PERÍODO, 3-SMF				
| MANOVA		|				

| EFEITO	| GL	| MS	| GL	| MS	| F	| p-nível
| Efeito		| Efeito	| Erro		|	

| 1	| 3*	| ,399253*	| 249*	| ,090264*	| 4,42318*	| ,004737*
| 2	| 1*	| 3,692275*	| 249*	| ,090264*	| 40,90538*	| ,000000*
| 3	| 2	| ,021292	| 249	| ,090264	| ,23588	| ,790048
| 12	| 3*	| ,272964*	| 249*	| ,090264*	| 3,02406*	| ,030255*
| 13	| 6	| ,043409	| 249	| ,090264	| ,48091	| ,822296
| 23	| 2	| ,004966	| 249	| ,090264	| ,05501	| ,946485
| 123	| 6	| ,028853	| 249	| ,090264	| ,31966	| ,926387

5.4.2.2 Clorofila a + feofitina

Para a clorofila, as variâncias foram heterocedásticas (Anexo B7.a), tendo-se procedido a uma transformação logarítmica, a qual diminuiu a heterogeneidade mas não conseguiu homogeneizá-la (Anexo B7.b). Portanto, uma análise gráfica dos dados foi realizada (Figura 66).

Verificou-se que não houveram diferenças relevantes entre as concentrações de clorofila nas diferentes profundidades e reservatórios (Tabela 32). Contudo, observou-se uma interação significativa para a variável PERÍODO (seco e chuvoso), sendo evidenciado que a concentração de clorofila e a variância foram maiores no período de seca que no período de chuva.

TABELA 32 – Resultado da análise de variância para as concentrações de ortofosfato entre os RESERVATÓRIOS (1), PERÍODO (2) e PROFUNDIDADE DE COLETA (3) para as concentrações de clorofila.

ESTAT. GERAL MANOVA						
Sumário de todos os efeitos (dados4.sta)						
1-RESER, 2-PERÍODO, 3-SMF						
EFEITO	GL Efeito	MS Efeito	GL Erro	MS Erro	F	p-nivel
1	3	,30126	249	,887275	,33954	,796757
2	1*	46,57174*	249*	,887275*	52,48849*	,000000*
3	2	,20846	249	,887275	,23495	,790788
12	3	,74803	249	,887275	,84306	,471425
13	6	,27351	249	,887275	,30826	,932328
23	2	,08169	249	,887275	,09207	,912072
123	6	,18506	249	,887275	,20857	,973907

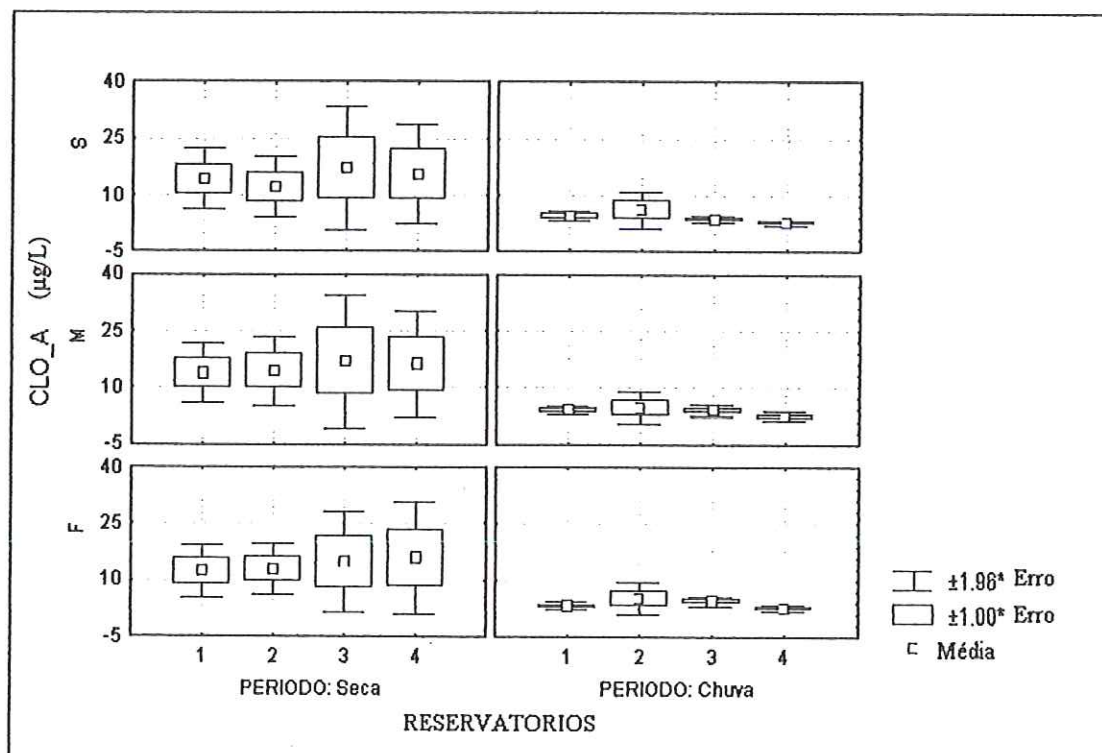


FIGURA 66 – Média e erro padrão das concentrações de clorofila em relação aos períodos de seca e chuva nos reservatórios de Itaparica (1), Moxotó (2), Paulo Afonso I-II-III (3) e Paulo Afonso IV (4).

5.4.2.3 Material em suspensão

Na análise estatística da distribuição das concentrações de material em suspensão nos reservatórios do sub-médio São Francisco, utilizou-se uma análise de covariância. A análise de covariância foi utilizada, tendo em vista a introdução de uma nova variável: a distância entre a estação e a barragem a jusante desta (Anexo C1.a).

O reservatório, período e profundidade foram as variáveis independentes (fatores), o material em suspensão foi a variável dependente e a distância do ponto de coleta em relação a barragem mais próxima à jusante foi a covariável. As pressuposições de homocedasticidade (homogeneidade de variância), normalidade dos resíduos e paralelismo dos tratamentos foram testadas. Verificou-se que as duas primeiras foram violadas. Uma transformação LN (MST+0,5) foi empregada para que os dados satisfizessem todas as pressuposições (ZAR, 1999).

A ANCOVA com os dados originais de concentração de material em suspensão resultou em resíduos não normais e variâncias heterogêneas, entretanto a pressuposição de paralelismo foi satisfeita (Anexo C1.a). Então, decidiu-se utilizar uma transformação logarítmica dos dados (LN (MST)=LN (MST+0,5)), que foi eficiente na homogeneização das variâncias e normalização dos resíduos (Anexo C1.b).

O resultado da ANCOVA está apresentado na Tabela 33.

TABELA 33 - Resultados da ANCOVA para LN(MST). As causas de variação com efeitos significativos ($p < 0,05$) foram destacados em negrito.

Análise de Covariância					
Fonte	Soma de quadrados	df	quadrado-médio	F	P
RESER	1.226	3	0.409	0.645	0.587
PERÍODO	26.653	1	26.653	42.037	0
SMF	0.519	2	0.259	0.409	0.665
RESER*PERÍODO	1.119	3	0.373	0.588	0.623
RESER*SMF	1.707	6	0.285	0.449	0.845
PERÍODO*SMF	0.134	2	0.067	0.106	0.9
RESER*PERÍODO*SMF	0.316	6	0.053	0.083	0.998
DIST	3.638	1	3.638	5.737	0.017

Verifica-se que o logaritmo da concentração do material em suspensão diferiu significativamente ($p < 0,05$) entre os períodos de seca e chuva, sendo maior no período chuvoso (Figura 67). Não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre RESERVATÓRIO e PERÍODO, indicando que as diferenças entre as médias de LN (MST) do período chuvoso e seco foram estatisticamente constantes para os diferentes sistemas, ou seja, a magnitude da

diferença manteve-se constante. Nesta situação, pode-se calcular uma média geral para o período chuvoso e outra para o período seco (Figura 68).

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de LN (MST) entre as represas e entre as profundidades (Figura 69 e 70).

As médias calculadas para cada tratamento são apresentadas no Anexo C2.

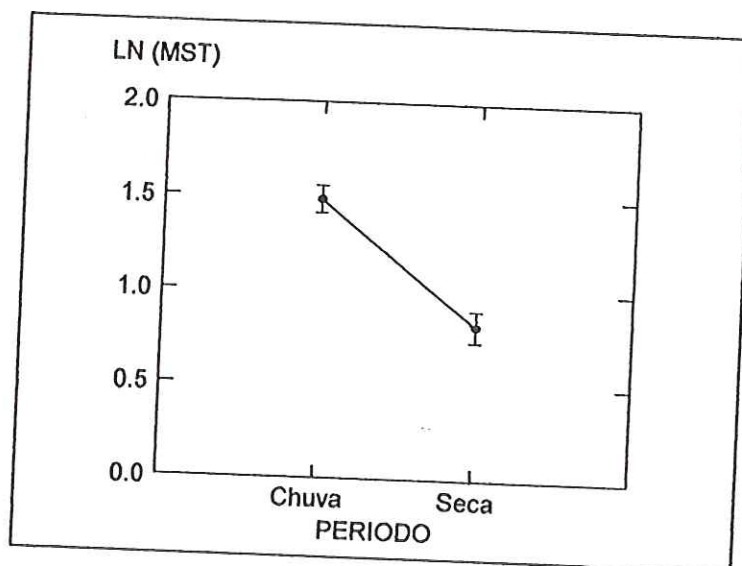


Figura 67 - Comparação entre as médias (\pm erro padrão) de LN (MST) do período seco e chuvoso. A média do período seco diferiu significativamente do período chuvosos ($p < 0,05$).

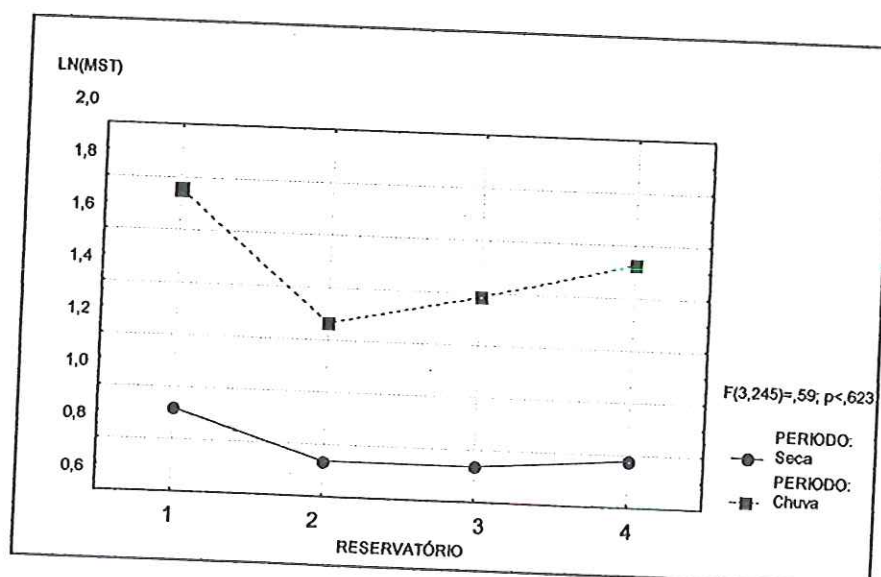


FIGURA 68 - Comparação entre as médias de LNSST do período seco e chuvoso para os diferentes reservatórios. As médias do período seco diferiram significativamente do período chuvosos ($p < 0,05$).

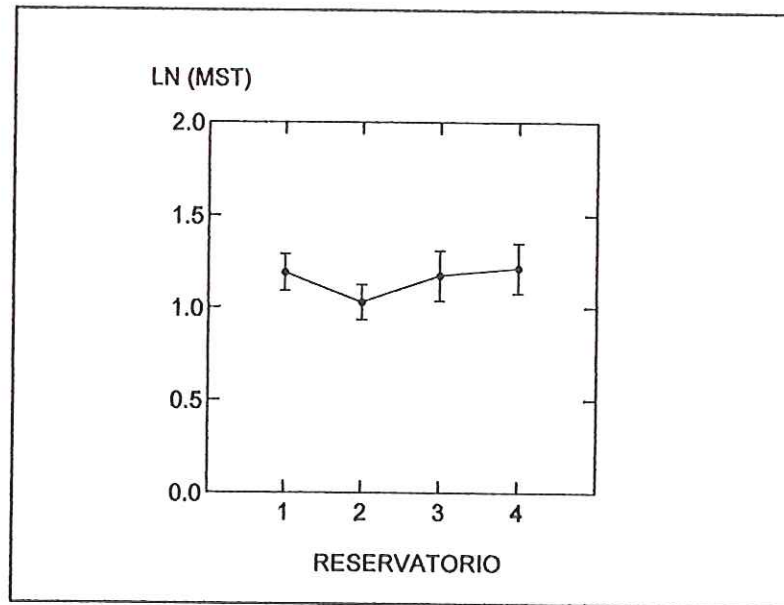


FIGURA 69 - Comparação entre as médias (\pm erro padrão) de LN (MST) dos reservatórios. As médias não diferiram significativamente ($p > 0,05$).

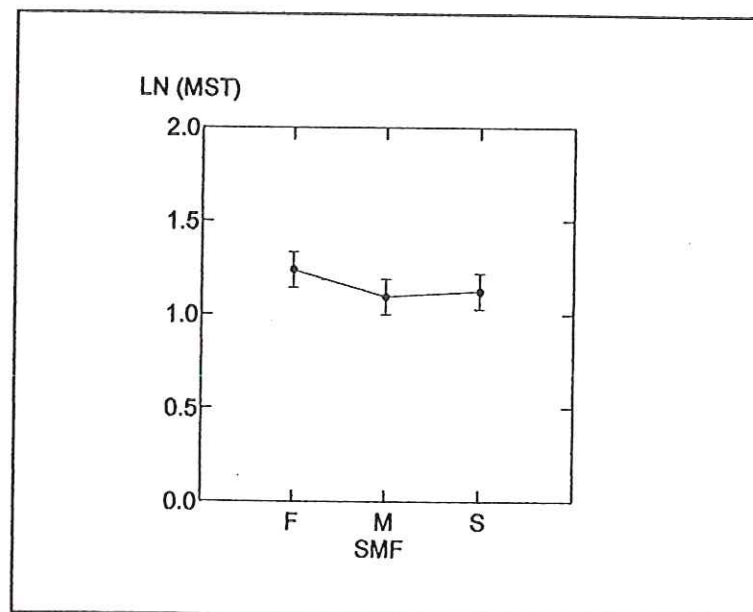


FIGURA 70 - Comparação entre as médias (\pm erro padrão) de LN (MST) de diferentes profundidades. As médias não diferiram significativamente ($p > 0,05$).

5.5 Taxa de sedimentação do material em suspensão e nutrientes nos reservatórios do sub-médio São Francisco

As concentrações de material em suspensão total e suas frações orgânicas e inorgânicas, obtidas em amostras retiradas de câmaras de sedimentação, instaladas nas estações SF01, SF02, SF09, SF10, SF12, SF15, SF16, SF18 e SF23, nos reservatórios do sub-médio São Francisco (nas campanhas de dezembro de 1999 e junho de 2000) estão apresentadas na Tabela 34.

TABELA 34 – Concentrações médias de material em suspensão total nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de exposição, e percentuais das frações inorgânicas e orgânicas nos dois experimentos realizados.

Estações	dezembro de 1999			junho de 2000		
	MST(mg/l)	MSI (%)	MSO (%)	MST(mg/l)	MSI (%)	MSO (%)
SF01	360,24	90,37	9,63	41,99	83,36	16,64
SF02	11,93	62,26	37,74	85,64	80,76	19,24
SF09	4,96	26,09	73,91	16,22	74,97	25,03
SF10	14,31	81,36	18,64	7,36	82,44	17,56
SF12	58,16	85,12	14,88	57,46	83,61	16,39
SF15	8,07	72,44	27,56	8,55	84,56	15,44
SF16	1,79	64,29	35,71	4,31	77,41	22,59
SF18	16,00	79,33	20,67	9,54	84,29	15,71
SF23	16,57	78,71	21,29	-	-	-

A maior concentração de material em suspensão total (360,24 mg/l), observada após permanência de 24 horas das câmaras de sedimentação, ocorreu em dezembro de 1999, na estação SF01, sendo esta 8,5 vezes maior que o encontrado nesta estação em junho de 2000 e 4 vezes maior que o valor máximo observado em junho de 2000 (85,64 mg/l em SF02). As concentrações na estação SF12 não apresentaram variações significativas nos dois experimentos realizados, com valores de 58,16 e 57,46 mg/l (em dezembro de 1999 e junho

de 2000, respectivamente), enquanto as concentrações em SF09, SF10, SF15, SF16, SF18 e SF23 estiveram entre 1,79 e 16,2 mg/l. Em junho de 2000 a maior concentração de material em suspensão total (85,64 mg/l) ocorreu em SF02, no rio Pajeú.

Em geral, os percentuais da fração inorgânica nas amostras retiradas das câmaras de sedimentação, foram maiores que os relativos à fração orgânica nos dois experimentos realizados, com exceção da estação SF09 (próxima à barragem de Itaparica), onde foi obtido, em dezembro de 1999, o maior percentual de material em suspensão orgânico (73,9%). Nos demais períodos e estações o percentual de material inorgânico foi superior, representando de 62 a 90% do material em suspensão total (Figura 71).

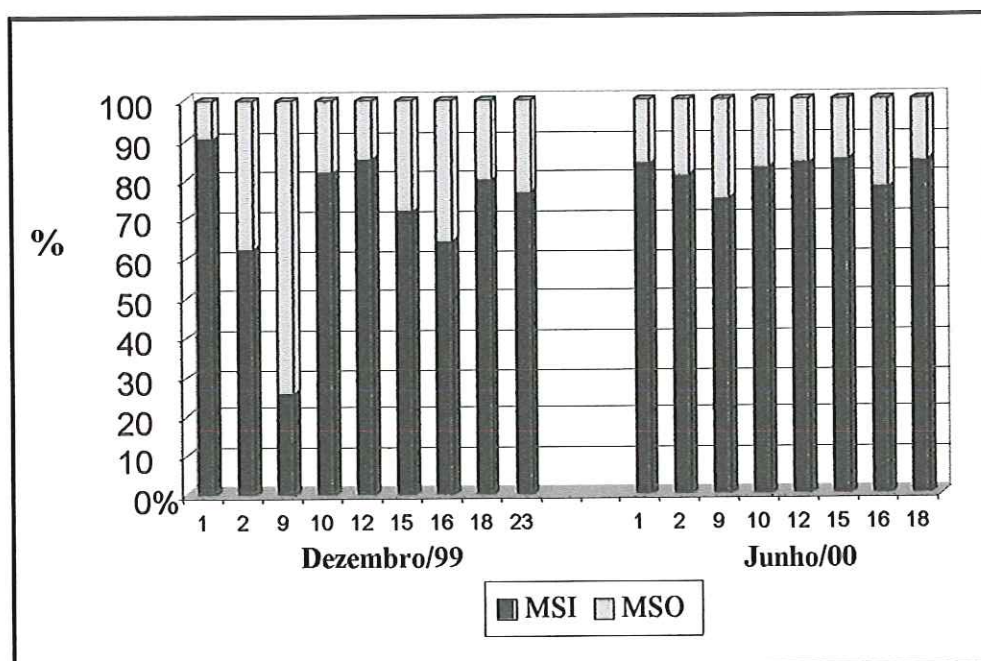


FIGURA 71 – Variação temporal e espacial da fração inorgânica (MSI) e orgânica (MSO) do material em suspensão total depositado nas câmaras de sedimentação (instaladas nas estações: SF01, SF02, SF09, SF10, SF12, SF15, SF16, SF18 e SF23), nas coletas de dezembro de 1999 e junho de 2000.

Pela análise conjunta das taxas de sedimentação determinadas para os dois experimentos, apresentadas nas Figuras 72 e 73, verificou-se que em dezembro de 1999 as maiores taxas de sedimentação ocorreram nas estações SF01 e SF12, com valores de 10,56 mg/cm².dia e 1,65 mg/cm².dia, respectivamente. Em junho de 2000 as taxas de sedimentação mais elevadas ocorreram em SF01, SF02 (rio Pajeú) e SF12 (rio Moxotó), correspondendo respectivamente a 1,12 mg/cm².dia, 2,5 mg/cm².dia e 1,63 mg/cm².dia (Tabela 35 no Anexo A).

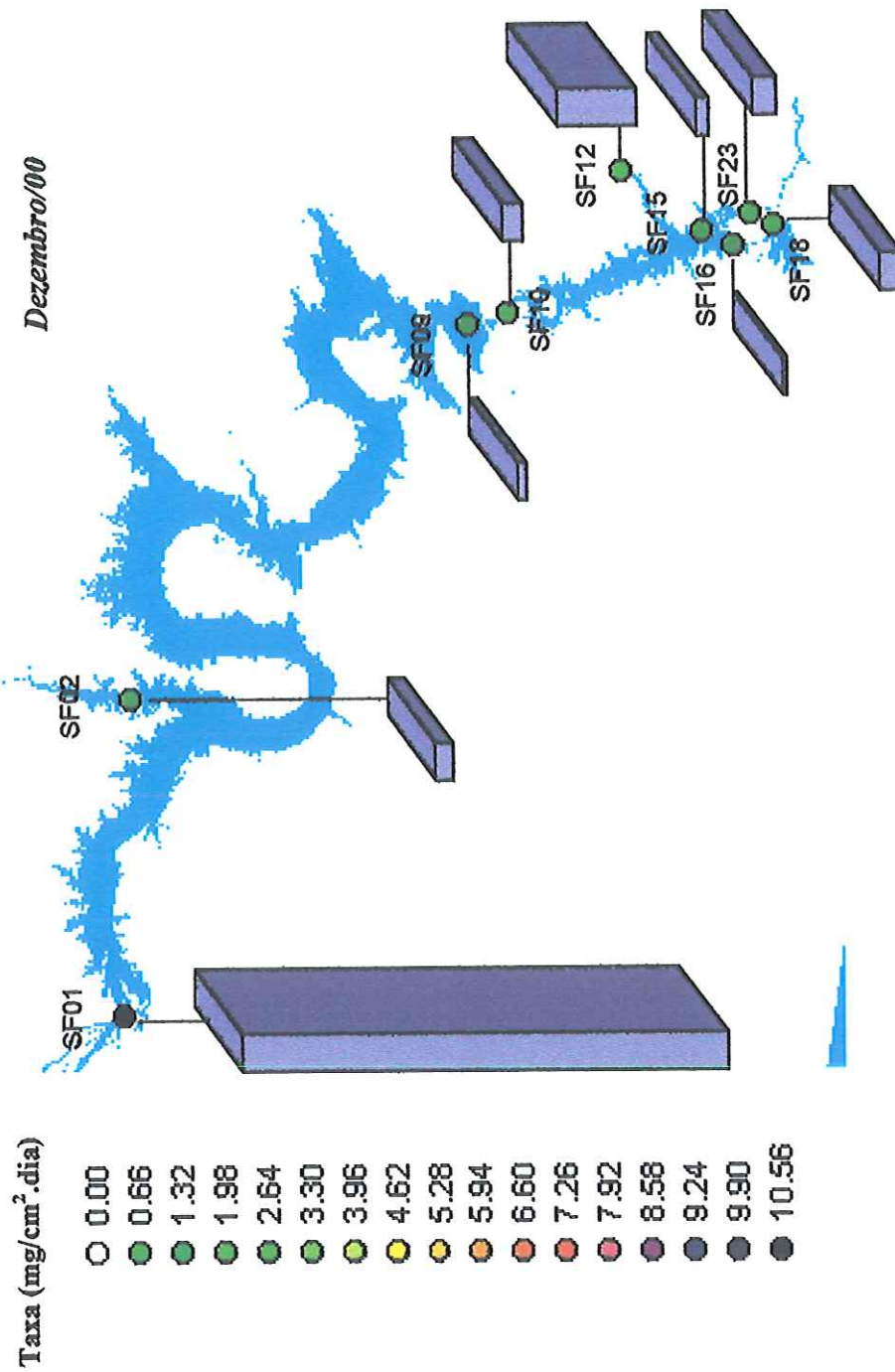


FIGURA 72 – Taxa de deposição de material em suspensão total nas câmaras de sedimentação na campanha de sedimentação em dezembro/99.

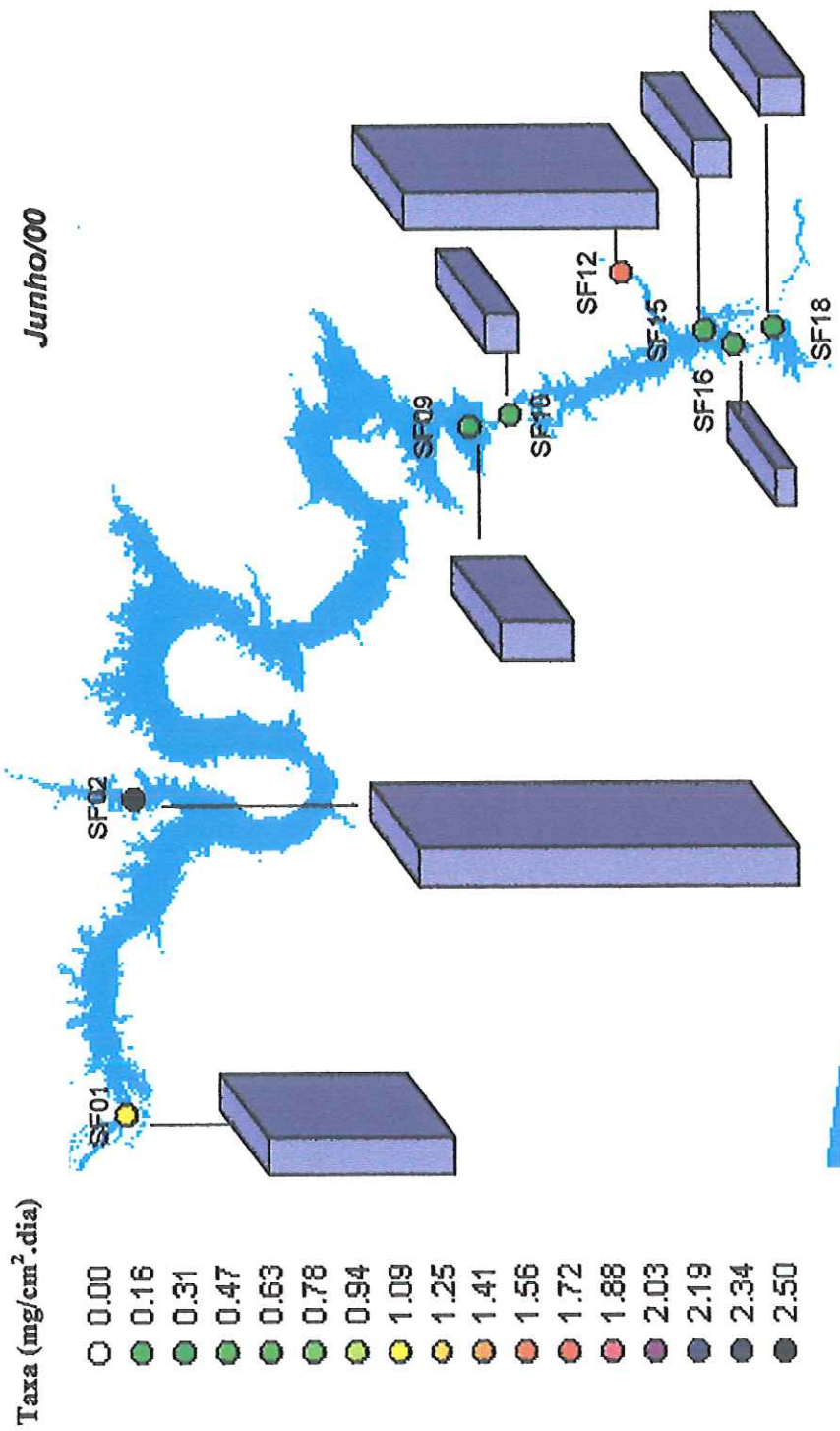


FIGURA 73 – Taxa de deposição de material em suspensão total nas câmaras de sedimentação na campanha de junho/00.

As taxas de sedimentação obtidas nas várias estações, para as duas coletas realizadas, não apresentaram correlação significativa com os valores de profundidade de Secchi e com as concentrações de sólidos suspensos totais (SST) na superfície e meio da coluna d'água, contudo, obteve-se uma correlação significativa entre a taxa de deposição e a soma das concentrações de SST na superfície e meio da coluna d'água, com um valor de $r=0,498$ a 95% de significância (Tabela 36 e Figura 74). Analisando a reta de regressão obtidas com esse conjunto de dados verificou-se que o coeficiente angular da reta de regressão é positivo, significando uma relação direta entre as variáveis, podendo-se inferir que ocorre uma maior deposição de sedimentos nas áreas com maior concentração de material em suspensão na coluna d'água.

TABELA 36 – Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre as taxas de sedimentação e os valores de profundidades de Secchi; concentrações de material em suspensão na superfície e no meio da coluna d'água (MSTs e MSTm); soma das concentrações de MST na superfície e meio (MSTs+MSTm), bem como o coeficiente de correlação entre a taxa de sedimentação e a distância da estação amostrada até a barragem localizada à jusante desta.

	Média	Desvio padrão	r(X,Y)	r ²	p
SECCHI	2.671875	1.93777955			
TAXA	1.285343	2.569392411	-0.33942	0.115203	0.198399
MSTs	3.8775	3.721260539			
TAXA	1.285343	2.569392411	0.442468	0.195778	0.086125
MSTm	3.94375	3.25341436			
TAXA	1.285343	2.569392411	0.495019	0.245044	0.051232
MSTs+MSTm	7.82125	6.527952078			
TAXA	1.285343	2.569392411	0.498937	0.248939	0.049137
TAXA	1.119982	2.849460823			
DIST	28.36865	53.93287925	0.72444	0.524813	0.005099

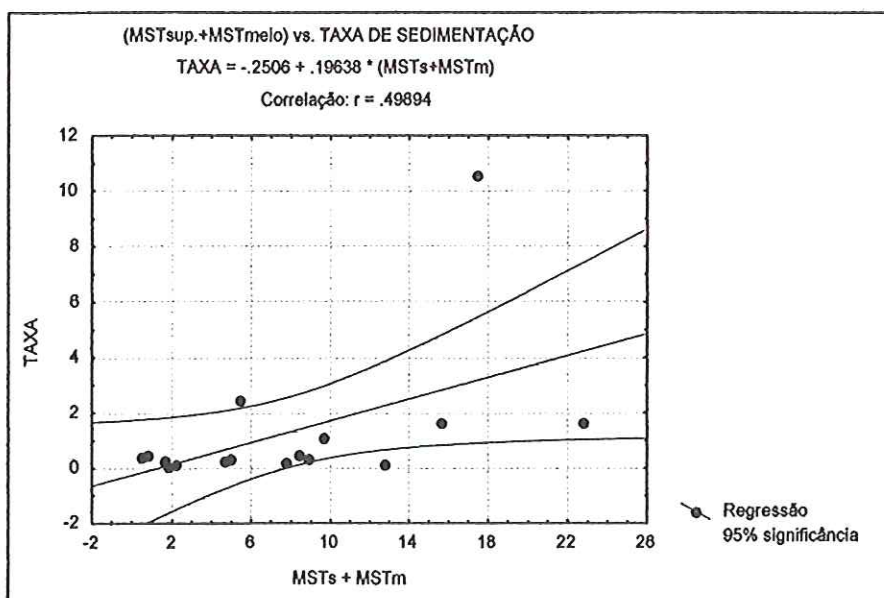


FIGURA 74 – Regressão linear entre as taxas de sedimentação e a soma das concentrações de SST na superfície e meio da coluna d' água.

Considerando-se a reta de regressão obtida a partir das taxas de deposição e das distâncias entre as estações amostradas em cada reservatório e a barragem, verificou-se que as taxas de deposição são diretamente proporcionais as distâncias, ou seja, nas estações mais à montante dos reservatórios (maiores distâncias) foram verificadas maiores taxas de sedimentação (Figura 75).

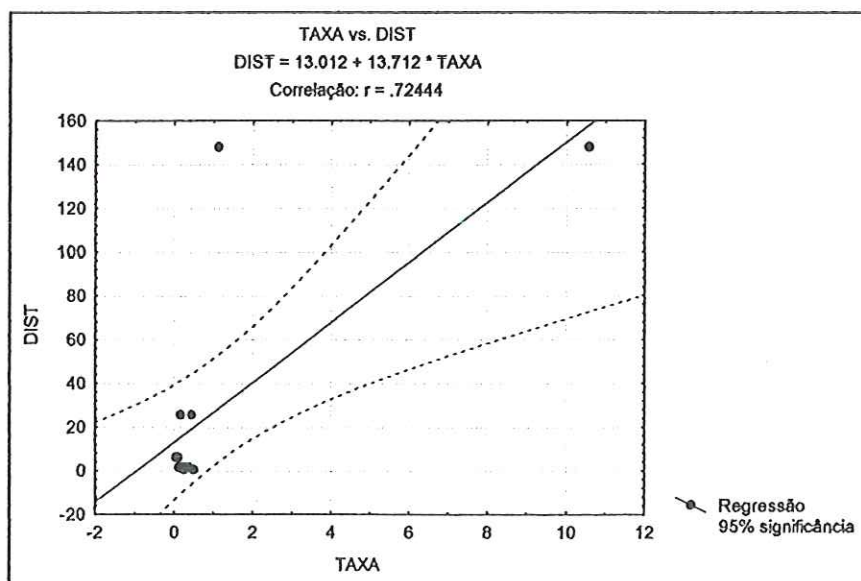


FIGURA 75 – Retas de regressão obtidas para os valores das taxas de deposição e as distâncias entre as estações e a barragem em cada reservatório.

Na Tabela 37 (no Anexo A) e Figuras 76 e 77 são apresentadas as concentrações médias e taxas de deposição de nitrogênio e fósforo totais nas câmaras de sedimentação, após exposição de 24 horas, nos dois experimentos realizados.

Avaliando os dados obtidos de nitrogênio total em dezembro de 1999, foram verificadas maiores concentrações nas estações localizadas no reservatório de Itaparica (entre 297,19 e 404,55 $\mu\text{g/l}$), estação mais à montante no reservatório de Moxotó (96,42 $\mu\text{g/l}$), no rio Moxotó (SF12 com 231,66 $\mu\text{g/l}$) e próximo à barragem do reservatório de Paulo Afonso I-II-III (com 103,19 $\mu\text{g/l}$). As demais estações em que foram instaladas armadilhas apresentaram concentrações inferiores a 60 $\mu\text{g/l}$.

No experimento realizado em junho de 2000, os valores de nitrogênio total foram superiores aos observados em dezembro de 1999, chegando a 1114,81 $\mu\text{g/l}$ na estação SF02 (rio Pajeú) e 844,94 $\mu\text{g/l}$ na estação SF12 (rio Moxotó).

Para o fósforo total a maior concentração (169,98 $\mu\text{g/l}$), ocorreu em dezembro de 1999 na estação SF01, entrada do reservatório de Itaparica. Nas demais estações foram obtidas concentrações entre 5,51 e 36,57 $\mu\text{g/l}$. Em junho de 2000, os valores de fósforo total foram superiores àqueles observados em dezembro de 1999, exceto para a estação SF01 (com 83,91 $\mu\text{g/l}$).

As taxas de deposição de nitrogênio total estiveram entre 0,83 e 12,14 $\mu\text{g/cm}^2\cdot\text{dia}$ na coleta de dezembro de 1999 e entre 4,06 e 33,44 $\mu\text{g/cm}^2\cdot\text{dia}$ em junho de 2000. Na Figura 77 estão mostrados os valores observados para deposição de fósforo total, com máximos de 5,10 $\mu\text{g/cm}^2\cdot\text{dia}$ na estação SF01 (dezembro de 1999) e 3,47 $\mu\text{g/cm}^2\cdot\text{dia}$ e 2,52 $\mu\text{g/cm}^2\cdot\text{dia}$, respectivamente, nas estações SF02 e SF01 (junho de 2000). As demais estações apresentaram valores abaixo de 1,80 $\mu\text{g/cm}^2\cdot\text{dia}$ nas duas coletas.

As taxas de sedimentação obtidas nas armadilhas instaladas em março de 2001, no reservatório de Itaparica, estão apresentadas na Tabela 35.

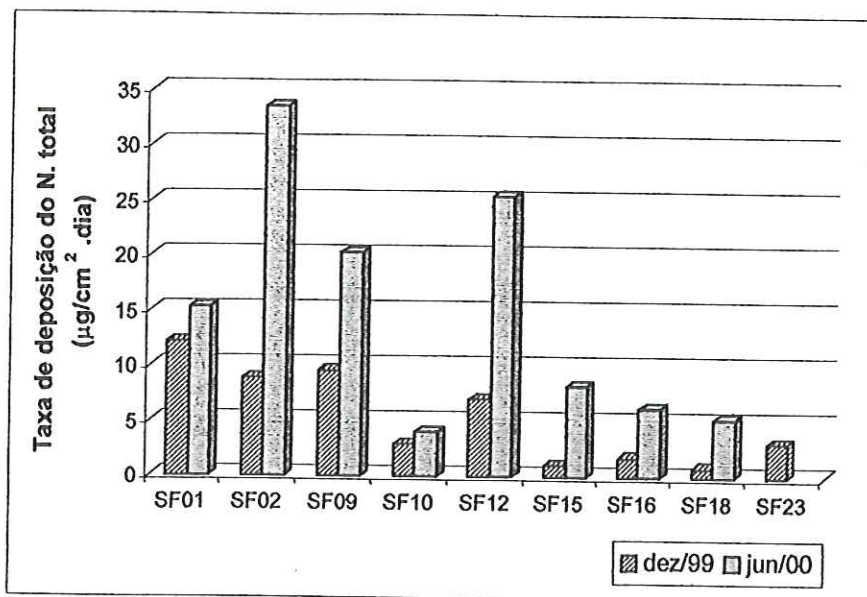


FIGURA 76 – Deposição de nitrogênio total nas câmaras de sedimentação, após 24 horas de exposição, em dezembro de 1999 e junho de 2000.

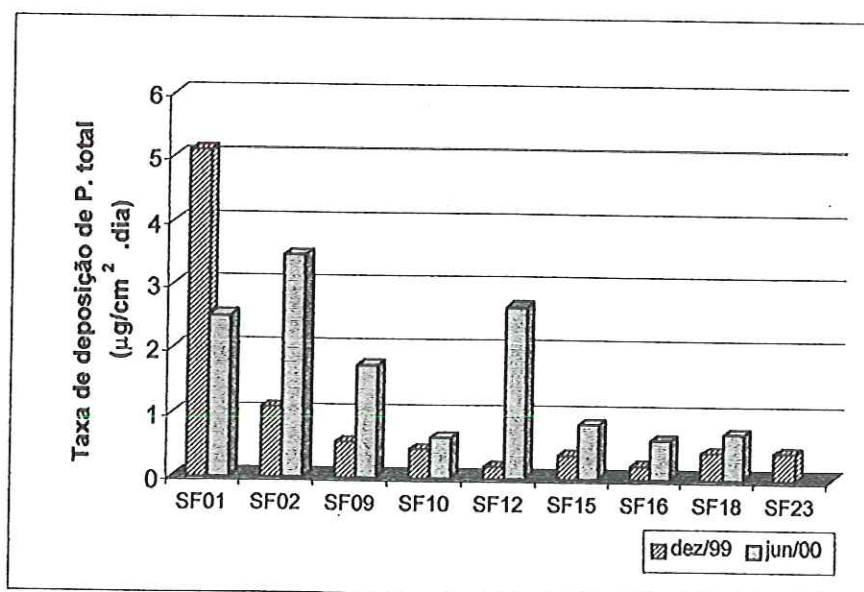


FIGURA 77 – Deposição de fósforo total nas câmaras de sedimentação, após exposição de 24 horas, em dezembro de 1999 e junho de 2000.

5.6 Uso de imagens Landsat no mapeamento da distribuição de material em suspensão nos reservatórios do sub-médio São Francisco.

A aquisição das imagens foi feita observando-se as datas das coletas de campo, em busca daquelas imageadas em datas coincidentes (ou mais próximas) e que apresentassem cobertura de nuvens máximas de 10% nos quadrantes que cobrem a área de interesse. Todas as imagens são da cena 216-66, na qual estão inseridos os reservatórios de Itaparica (quadrantes C e D da cena, referentes aos dois quadrantes da parte inferior da imagem, ver Figura 78), Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV (quadrante D da cena).

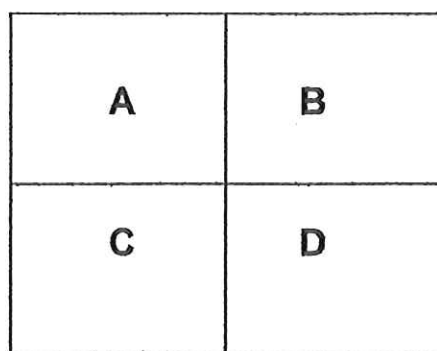


FIGURA 78 – Localização dos quadrantes em cenas do satélite Landsat.

Nas Figuras 79 e 80 estão apresentadas algumas imagens, listadas através de pesquisa no sistema de consulta CBS do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir da *homepage* da Divisão de Geração de Imagens (<http://www.dgi.inpe.br>), relacionadas na Tabela 38, em datas próximas às coletas de campo. Sendo que a primeira coleta de campo foi realizada no período de 27 de setembro a 01 de outubro de 1999; a segunda coleta no período de 15 a 19 de dezembro de 1999; a terceira de 15 a 20 de março de 2000; a quarta coleta no período de 18 a 24 de junho de 2000 e a última foi realizada no período de 25 a 30 de setembro de 2000.

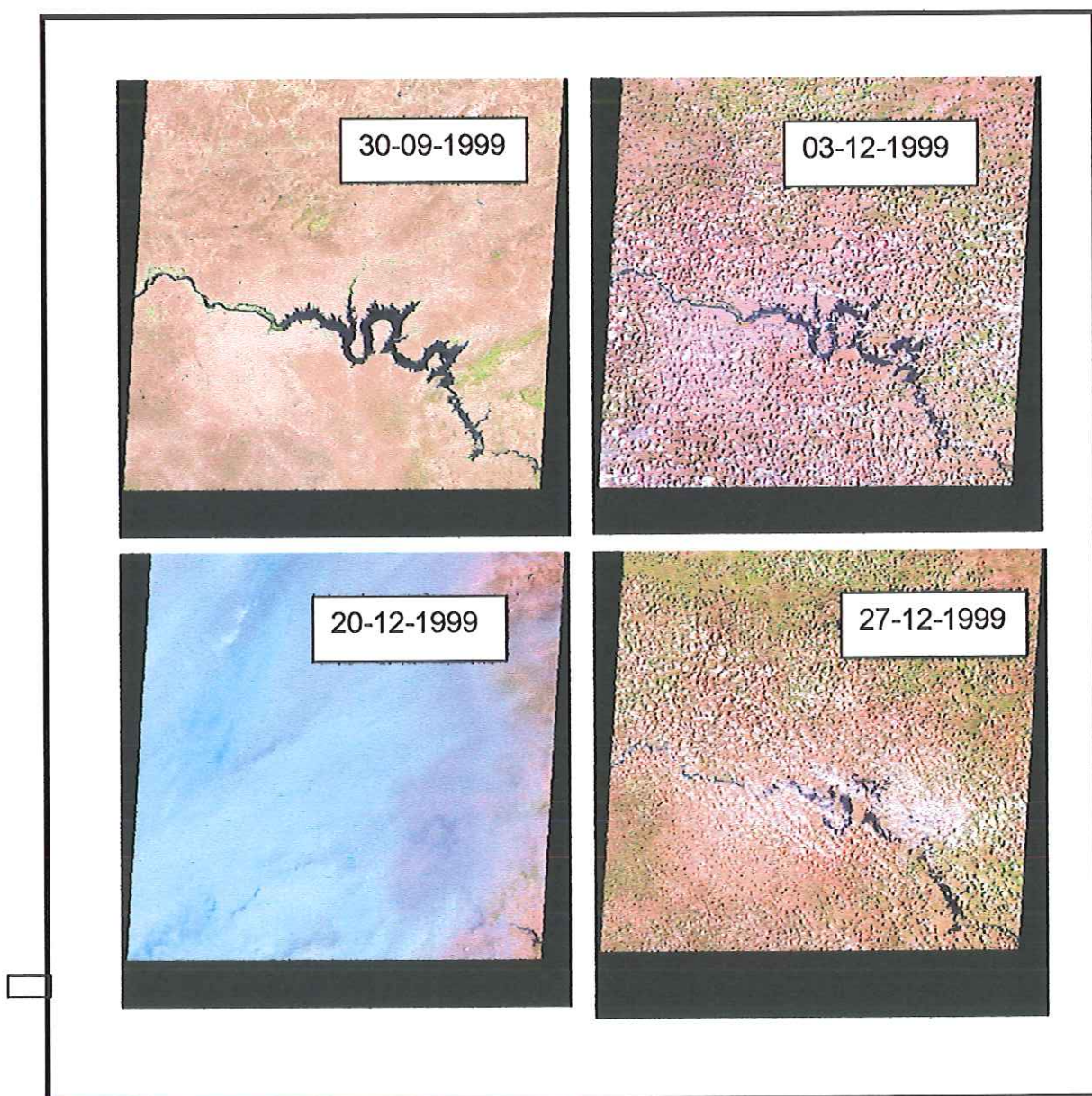


FIGURA 79 – Composições coloridas das bandas 3, 4 e 5 da cena 216-66, obtidas pelos satélites Landsat 5 ou Landsat 7, durante o período de estudo.

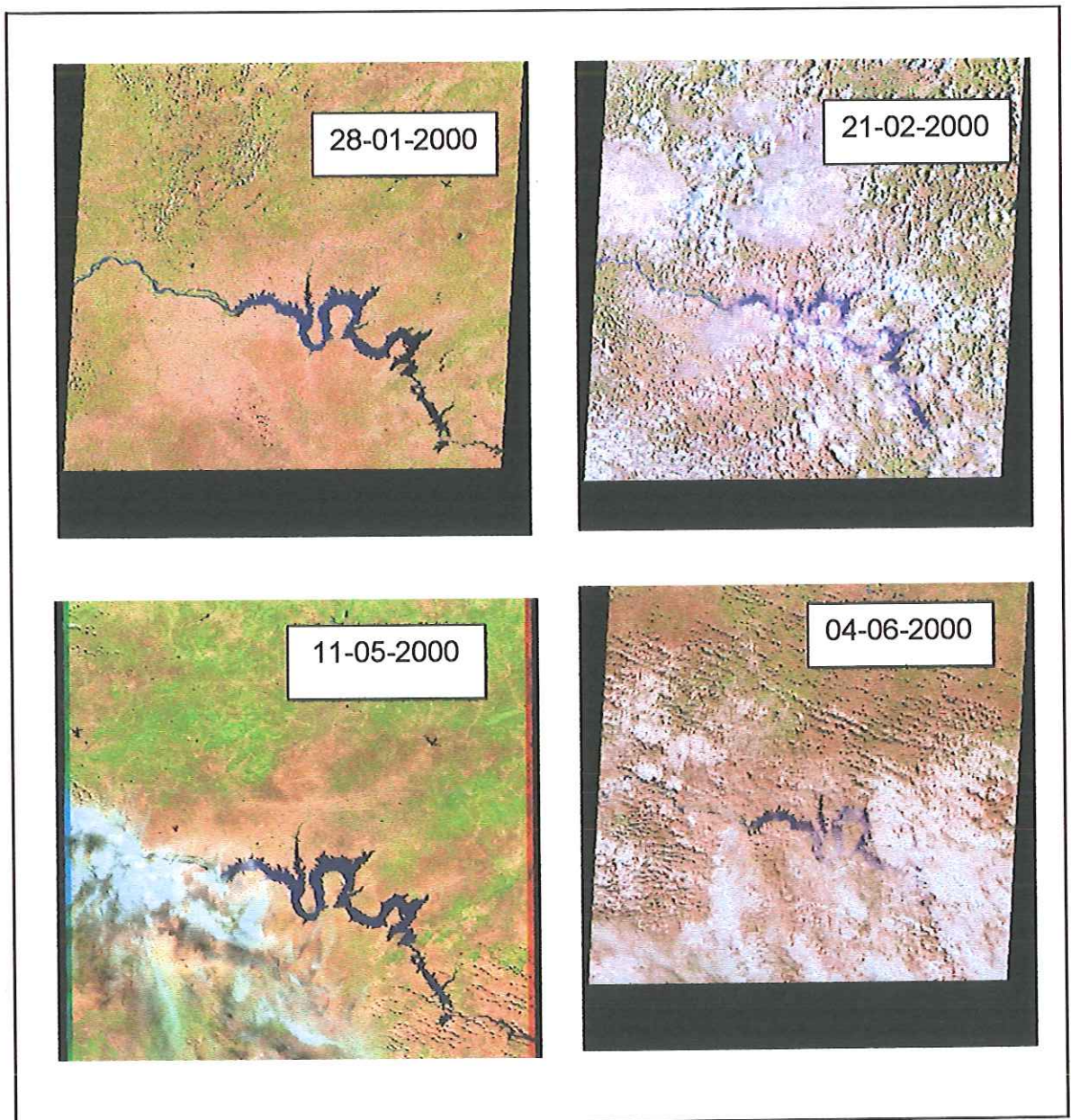


FIGURA 80 – Composições coloridas das bandas 3, 4 e 5 da cena 216-66, obtidas pelos satélites Landsat 5 ou Landsat 7, durante o período de estudo.

Dentre todas as imagens gravadas durante o período de estudo, selecionaram-se aquelas que apresentaram cobertura de nuvens sobre a região de estudo inferior a 10%, já que nas áreas ocupadas pelas nuvens e suas respectivas sombras perdem-se as informações referentes ao alvo de interesse (a água).

Neste sentido, e devido a disponibilização das imagens para consulta apenas no mês subsequente ao imageamento, não foi possível a aquisição em datas que atendessem, plenamente, aos pré-requisitos supracitados. Dessa maneira, foram adquiridas imagens TM e ETM⁺ dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, respectivamente, a partir da Tabela 38 e contato pessoal com a INTERSAT Imagens de Satélite. As imagens utilizadas nesse estudo foram obtidas pelo Landsat 7 em 30 de setembro de 1999 e 11 de maio de 2000; e pelo Landsat 5 em 28 de janeiro de 2000.

TABELA 38 – Valores percentuais da cobertura de nuvens nos quadrantes A, B, C e D das cenas TM Landsat 5 e ETM⁺ Landsat 7, obtidas em consulta à Divisão de Geração de Imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br>).

Satélites	Quadrantes	Datas de imageamento				
		14/09/99	30/09/99	01/11/99	17/11/99	03/12/99
LANDSAT 7 (ETM ⁺)	A	90	0	90	90	80
	B	70	0	50	0	80
	C	100	0	90	100	90
	D	90	0	90	100	90
		17/12/99	04/01/00	20/01/00	05/02/00	21/02/00
	A	100	90	50	90	90
	B	90	80	60	80	90
	C	100	80	80	90	90
Landsat 5 (TM)		06/09/99	09/11/99	25/11/99	27/12/99	28/01/00
	A	70	90	100	90	30
	B	30	100	70	90	10
	C	80	90	70	100	10
	D	90	100	30	90	0
		13/02/00	04/06/00	20/06/00	22/07/00	07/08/00
	A	80	80	100	100	100
	B	30	50	100	80	100
	C	90	90	100	100	90
	D	90	100	100	90	90
		23/08/00	08/09/00	24/09/00		
	A	100	100	0		
	B	90	100	0		
C	90	90	30			
D	90	90	50			

5.6.1 Reflectâncias da imagem de 28 de janeiro de 2000

Na Tabela 39 estão apresentados os valores de reflectâncias médias obtidas em *clusters* de 7x7 pixels, no entorno dos pontos de amostragem, nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, a partir da cena 216-66 do Landsat 5, em 28 de janeiro de 2000

TABELA 39 – Reflectâncias médias nos *clusters* de 7x7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, nas bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat 5, cena 216-66, de 28 de janeiro de 2000.

Reservatórios	Estações	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
ITAPARICA	SF01	17.73	15.99	23.70	4.24
	SF02	10.80	7.92	6.61	0.79
	SF03	18.37	16.52	24.09	3.39
	SF04	17.76	14.62	16.01	1.72
	SF05	14.63	11.14	9.48	1.01
	SF06	16.69	12.00	10.17	1.10
	SF07	8.70	5.40	2.69	1.02
	SF08	7.60	3.79	2.36	0.82
	SF09	9.23	4.83	2.42	0.28
MOXOTÓ	SF10	16.67	11.57	9.39	2.02
	SF11	12.63	8.16	5.22	0.58
	SF12	4.53	4.54	4.19	2.11
	SF13	5.66	3.78	1.75	0.59
	SF14	10.39	5.76	3.25	0.69
	SF15	13.37	8.07	5.27	1.24
	SF16	10.41	5.97	3.38	0.79
PAULO AFONSO IV	SF17	11.82	7.23	4.72	1.17
	SF18	10.16	5.77	3.44	0.99
	SF19	2.81	1.06	0.61	0.73
	SF20	2.45	1.00	0.76	0.97
	SF21	1.85	0.75	0.24	0.68
PAULO AFONSO I-II-III	SF22	12.41	7.76	4.79	1.03
	SF23	12.12	7.66	4.66	1.18

As correlações obtidas entre os dados espectrais e as concentrações de sólidos suspensos totais, com 95% de significância, nas coletas realizadas em dezembro de 1999 e março de 2000 estão apresentadas nas Tabelas 40 e 41. Essas correlações foram determinadas para as concentrações de material em suspensão na superfície e meio da coluna d'água.

TABELA 40 – Coeficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4) em *clusters* de 7×7 pixels, da imagem do Landsat 5 de janeiro de 2000, e dados de concentrações de material em suspensão total na superfície (MSTs), material em suspensão total no meio da coluna d'água (MSTm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações obtidas na campanha de dezembro de 1999. Os valores em negrito são significativos a 95%.

	MSTs	LN(MSTs)	MSTm	LN (MSTm)
BAND 1	0.15	0.10	0.38	0.26
BAND 2	0.22	0.19	0.48	0.37
BAND 3	0.39	0.38	0.59	0.48
BAND 4	0.49	0.44	0.66	0.42
SB1B2	0.19	0.15	0.44	0.31
SB1B3	0.30	0.27	0.53	0.41
SB1B4	0.21	0.16	0.45	0.30
SB2B3	0.33	0.31	0.56	0.44
SB2B4	0.28	0.25	0.53	0.39
SB3B4	0.41	0.39	0.61	0.48
RB1B2	-0.13	-0.14	-0.43	-0.38
RB1B3	-0.19	-0.10	-0.39	-0.33
RB1B4	-0.20	-0.19	-0.19	-0.01
RB2B3	-0.29	-0.16	-0.41	-0.32
RB2B4	-0.22	-0.22	-0.11	0.06
RB3B4	-0.04	-0.07	0.14	0.27

Em relação aos coeficientes de correlação de Pearson entre os dados de material em suspensão, obtidos na campanha de dezembro de 1999, e os dados espectrais da imagem de janeiro de 2000, foram observadas correlações significativas, para os valores de superfície, apenas com a banda 4 ($r = 0,49$). Entretanto, para os sólidos presentes no meio da coluna d'água foram obtidas maiores correlações com a banda 4 ($r = 0,67$), com a soma das reflectâncias nas bandas 3 e 4 ($r = 0,61$) e com a banda 3 ($r = 0,60$).

Esses coeficientes de correlação aumentaram quando foram utilizados os dados de material em suspensão total obtidos na coleta de março de 2000, com valores chegando a $r = 0,77$ (banda 4 e MSTs) e $r = 0,88$ (banda 4 e MSTm), sendo obtidos ainda, para a banda 3, valores de $r = 0,68$ e $r = 0,84$ nas correlações dos dados espectrais na banda 3 e material em suspensão na superfície e meio da coluna d'água, respectivamente.

TABELA 41 – Coeficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em *clusters* de 7x7 *pixels*, da imagem do Landsat 5 de janeiro de 2000, e dados de concentrações de sólidos suspensos totais na superfície (MSTs), sólidos suspensos totais no meio da coluna d'água (MSTm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações obtidas na campanha de março de 2000. Os valores em negrito são significativos a 95%.

	MSTs	ln(MSTs)	MSTm	ln(MSTm)
BAND 1	0.504612	0.57747	0.574356	0.649288
BAND 2	0.583623	0.569569	0.707011	0.720488
BAND 3	0.703056	0.584416	0.84928	0.77784
BAND 4	0.812387	0.623125	0.906791	0.797982
SB1B2	0.549525	0.579721	0.646832	0.69185
SB1B3	0.654676	0.608731	0.77646	0.761478
SB1B4	0.591391	0.617089	0.669648	0.712791
SB2B3	0.666704	0.587189	0.80615	0.766842
SB2B4	0.64689	0.598348	0.768628	0.758785
SB3B4	0.723596	0.594815	0.864553	0.787665
RB1B2	-0.50255	-0.59497	-0.58192	-0.61334
RB1B3	-0.496	-0.68576	-0.50704	-0.58605
RB1B4	-0.37675	-0.22248	-0.40721	-0.39012
RB2B3	-0.56669	-0.6972	-0.59874	-0.64627
RB2B4	-0.33285	-0.15682	-0.32562	-0.29234
RB3B4	-0.00396	0.124068	0.097995	0.122321

Com as variáveis que apresentaram maiores correlações, referentes aos dados de sólidos suspensos totais na superfície e meio da coluna d'água obtidos na campanha de março de 2000 e os dados espectrais na banda 3 e 4 da imagem de janeiro de 2000, foram aplicadas análises de regressão simples.

As equações das retas de regressão, obtidas pelo método dos mínimos quadrados, para as bandas 3 e 4 e os dados de campo (Figuras 81, 82, 85 e 86) serviram como entrada para a construção dos mapas de distribuição de MST nos reservatórios do sub-médio São Francisco (Figuras 83, 84, 87 e 88). Os mapas mostram a pluma de entrada de sólidos em suspensão a partir da fase rio (estação SF01) e sua dispersão ao longo do eixo do reservatório em direção à barragem de Itaparica (estação SF09).

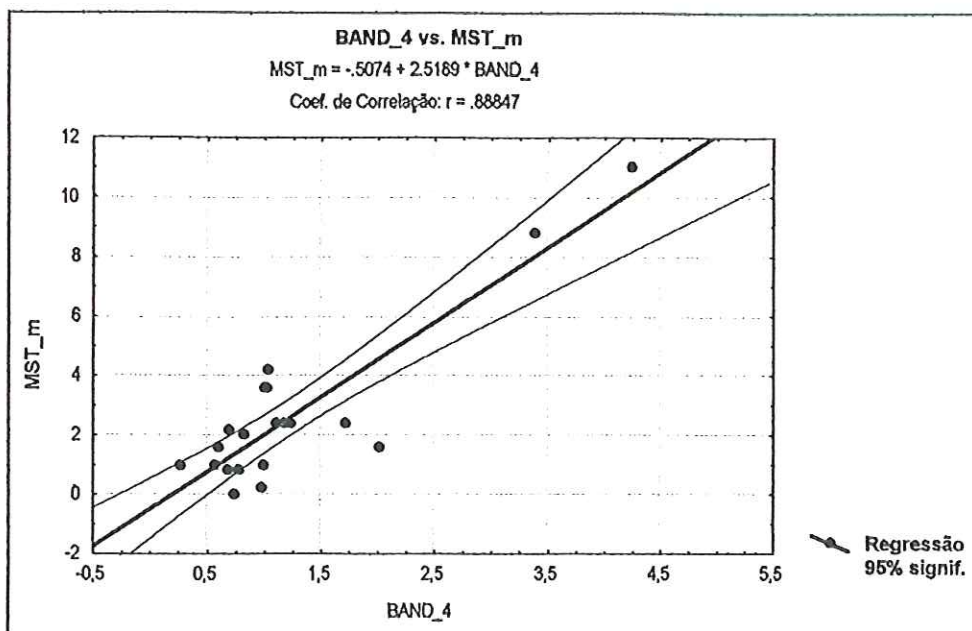


FIGURA 81 – Reta de regressão entre valores de concentrações de material em suspensão no meio da coluna d'água (MSTm) e dados espectrais na banda 4.

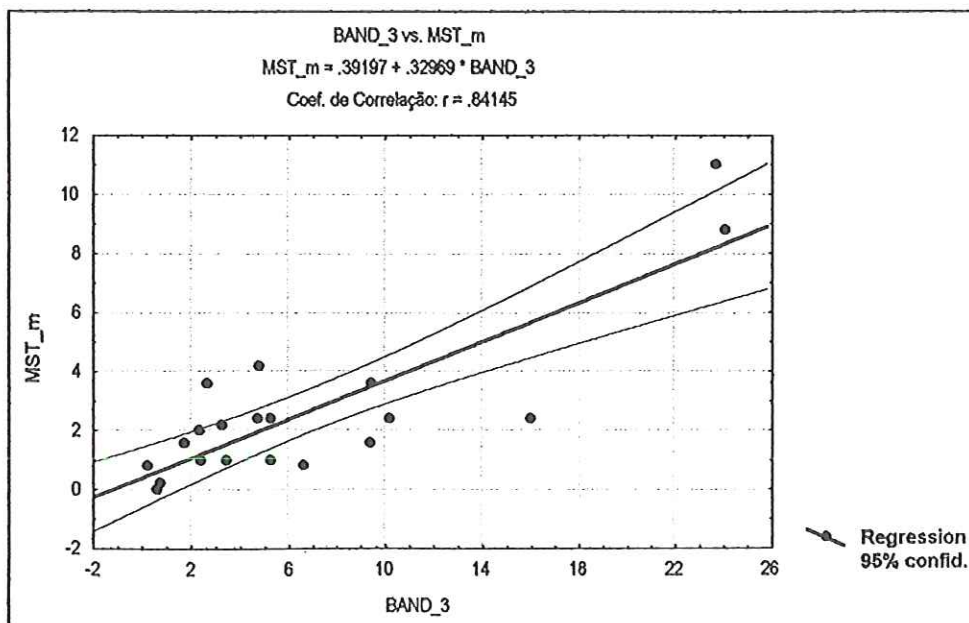


FIGURA 82 – Reta de regressão entre valores de concentrações de material em suspensão no meio da coluna vertical (MSTm) e dados espectrais na banda 3.

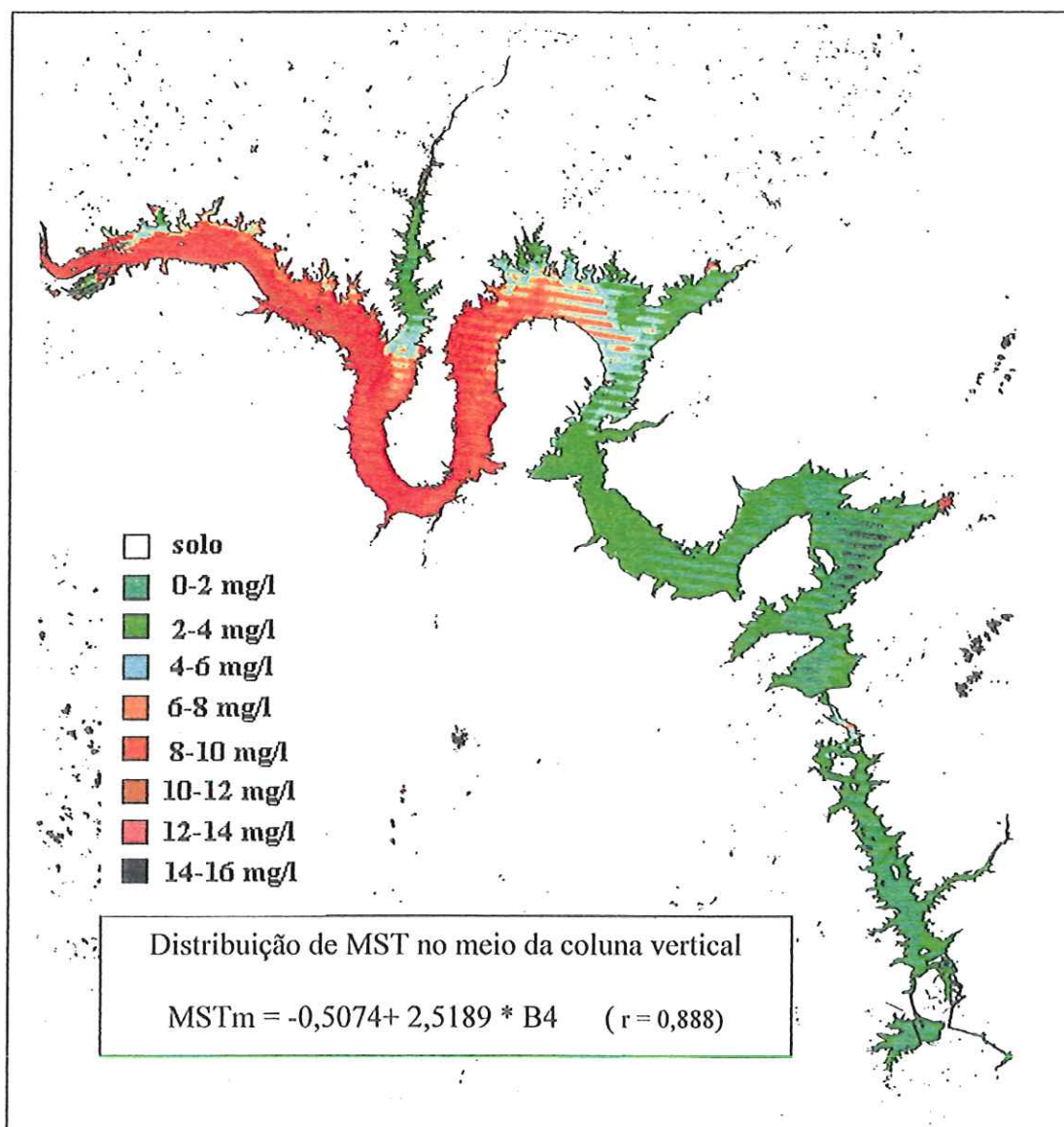


FIGURA 83 – Mapa da distribuição de material em suspensão (MST) nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida com as concentrações de material em suspensão no meio da coluna d'água (MSTm), em março de 2000, e reflectâncias médias na banda 4 da imagem de janeiro de 2000.

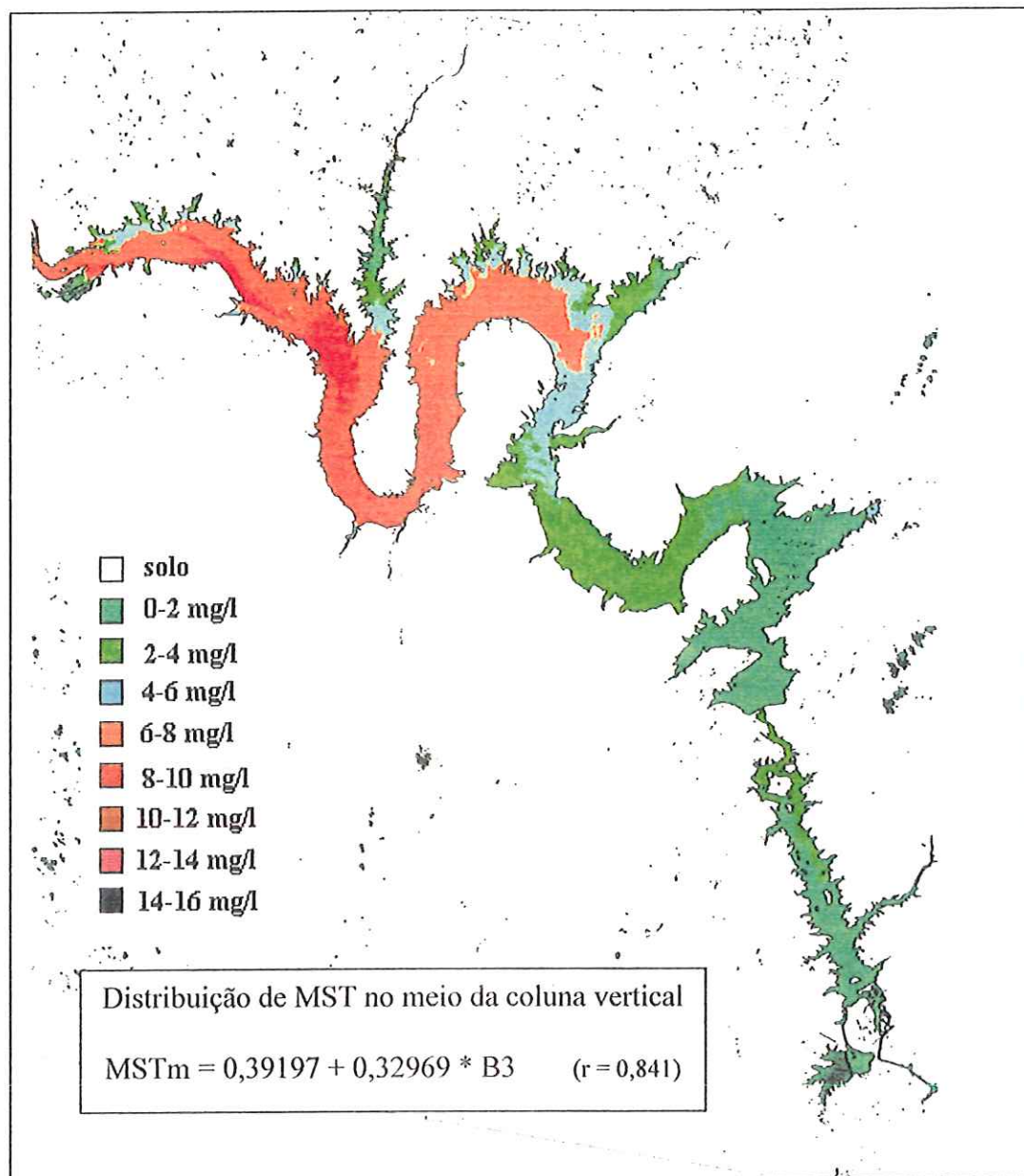


FIGURA 84 – Mapa da distribuição de material em suspensão (MST) nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida com as concentrações de material em suspensão no meio da coluna d'água (MSTm), em março de 2000, e reflectâncias médias na banda 3 da imagem de janeiro de 2000.

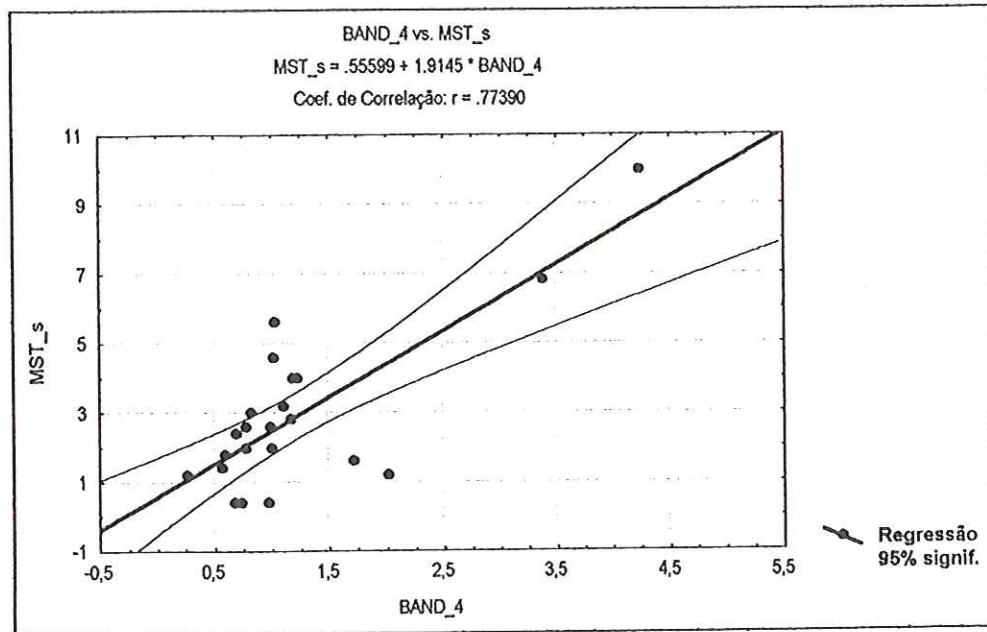


FIGURA 85 – Reta de regressão entre valores de concentrações de MST na superfície e dados espectrais na banda 4.

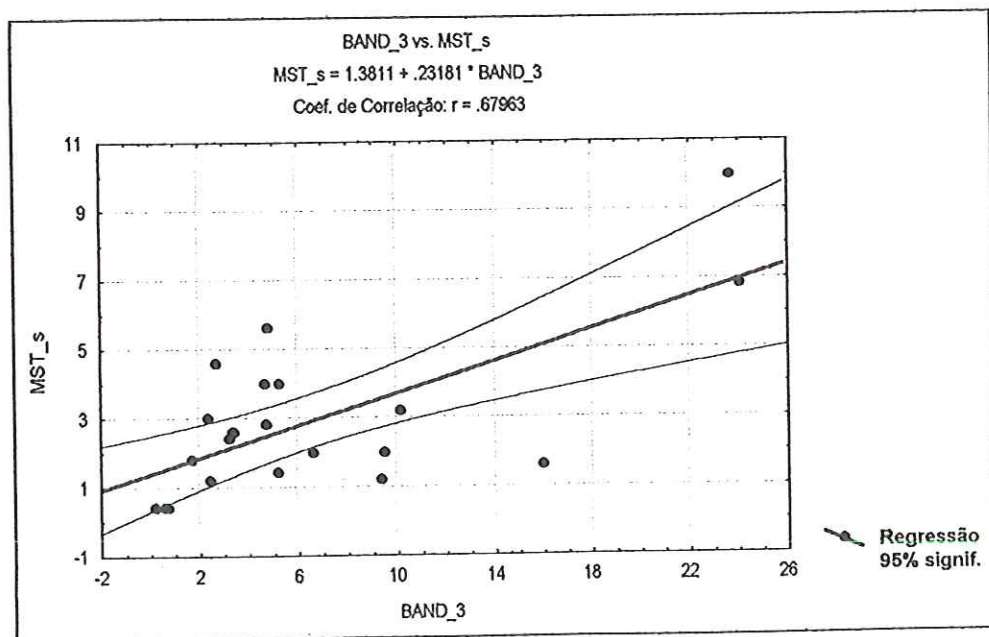


FIGURA 86 – Reta de regressão entre valores de concentrações de MST na superfície e dados espectrais na banda 3.

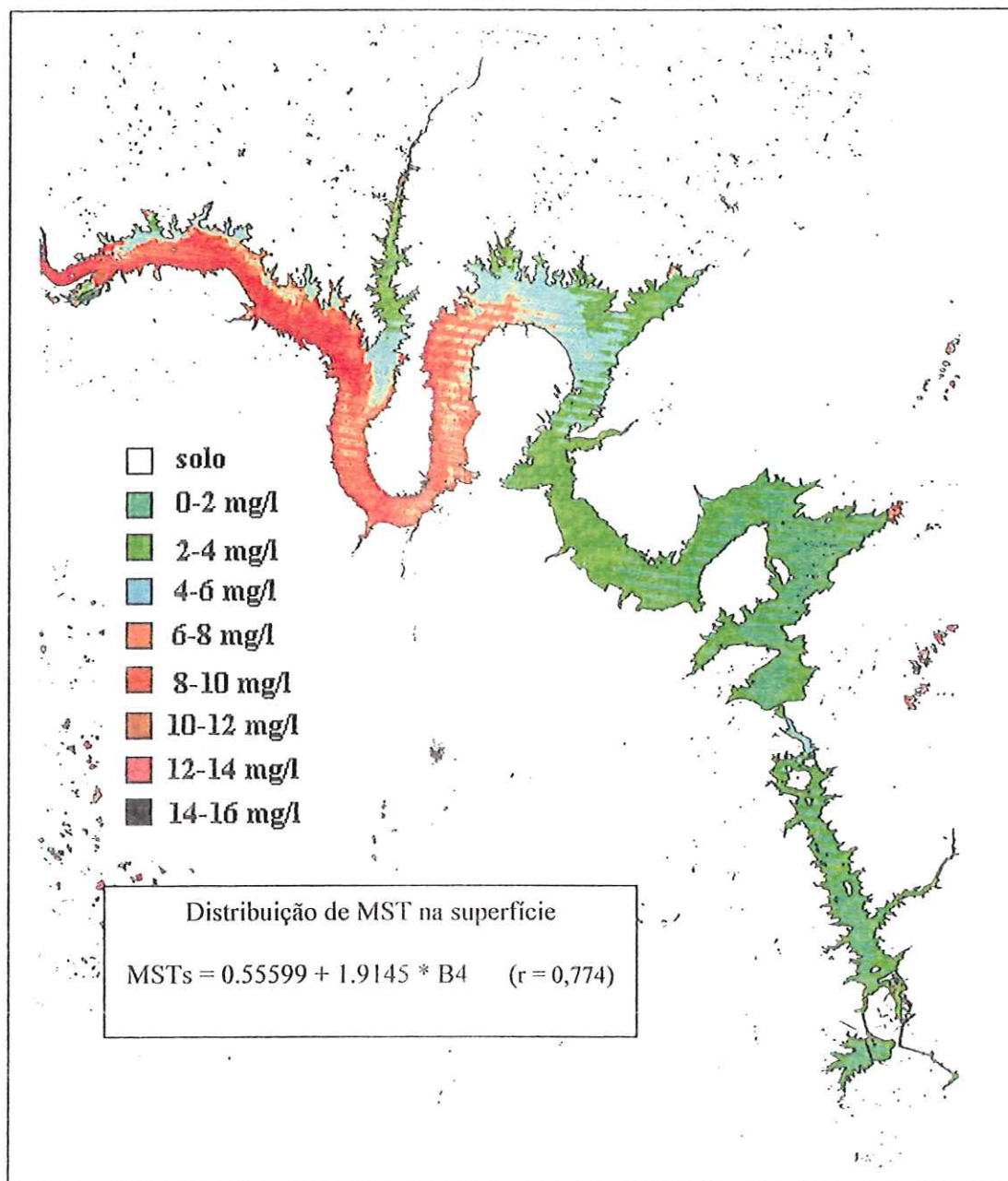


FIGURA 87 – Mapa da distribuição de MST nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida entre MSTs e reflectâncias na banda 4.

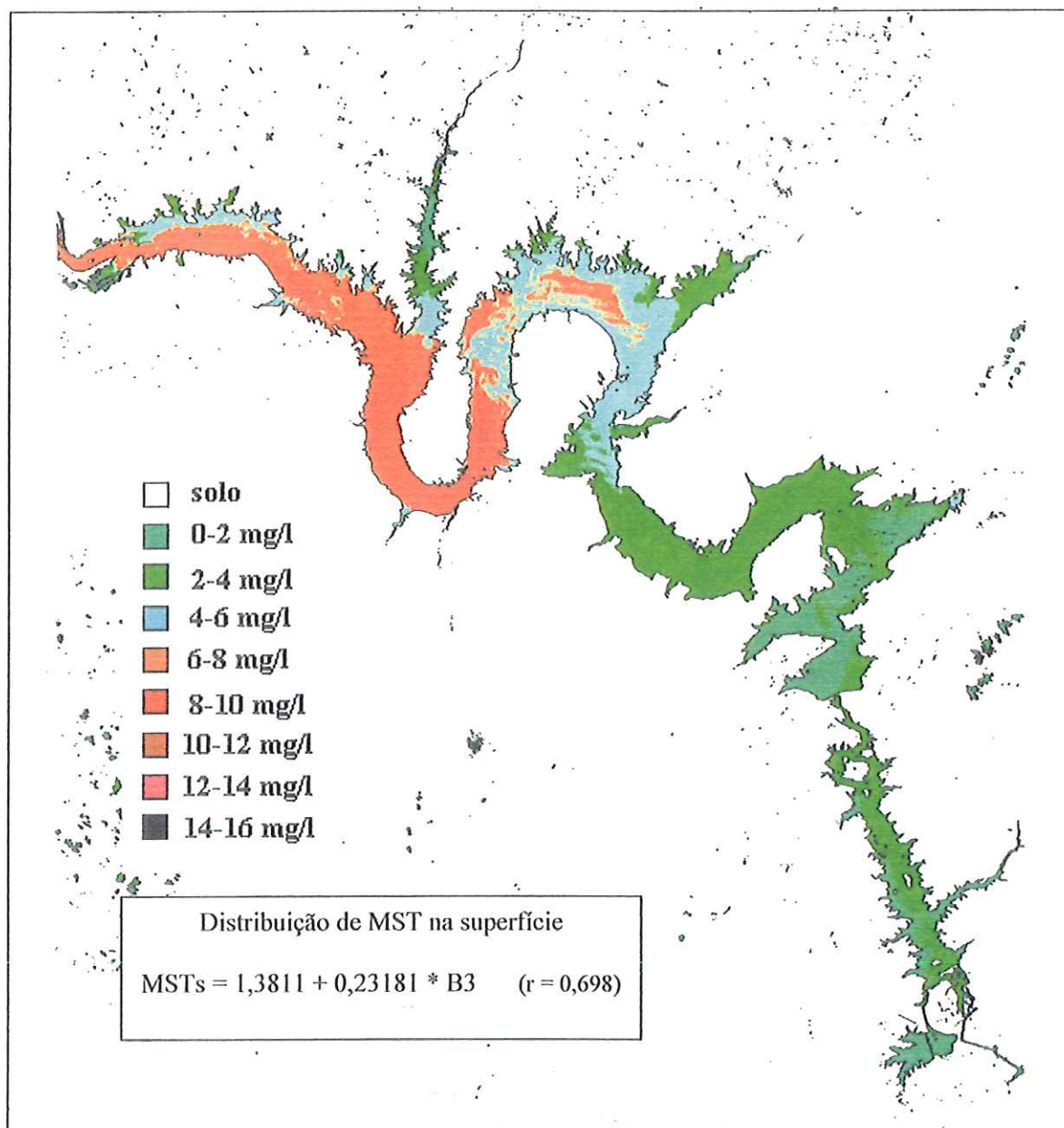


FIGURA 88 – Mapa da distribuição de MST nos reservatórios do sub-médio São Francisco para a equação de regressão obtida entre MSTs e reflectâncias na banda 3.

As concentrações de material em suspensão referentes às análises das amostras de campo e às médias das concentrações determinadas através das equações obtidas nas regressões lineares, tomadas em áreas de 7×7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, encontram-se nas Tabelas 42 e 43 (Anexo A) e estão plotados na Figura 89.

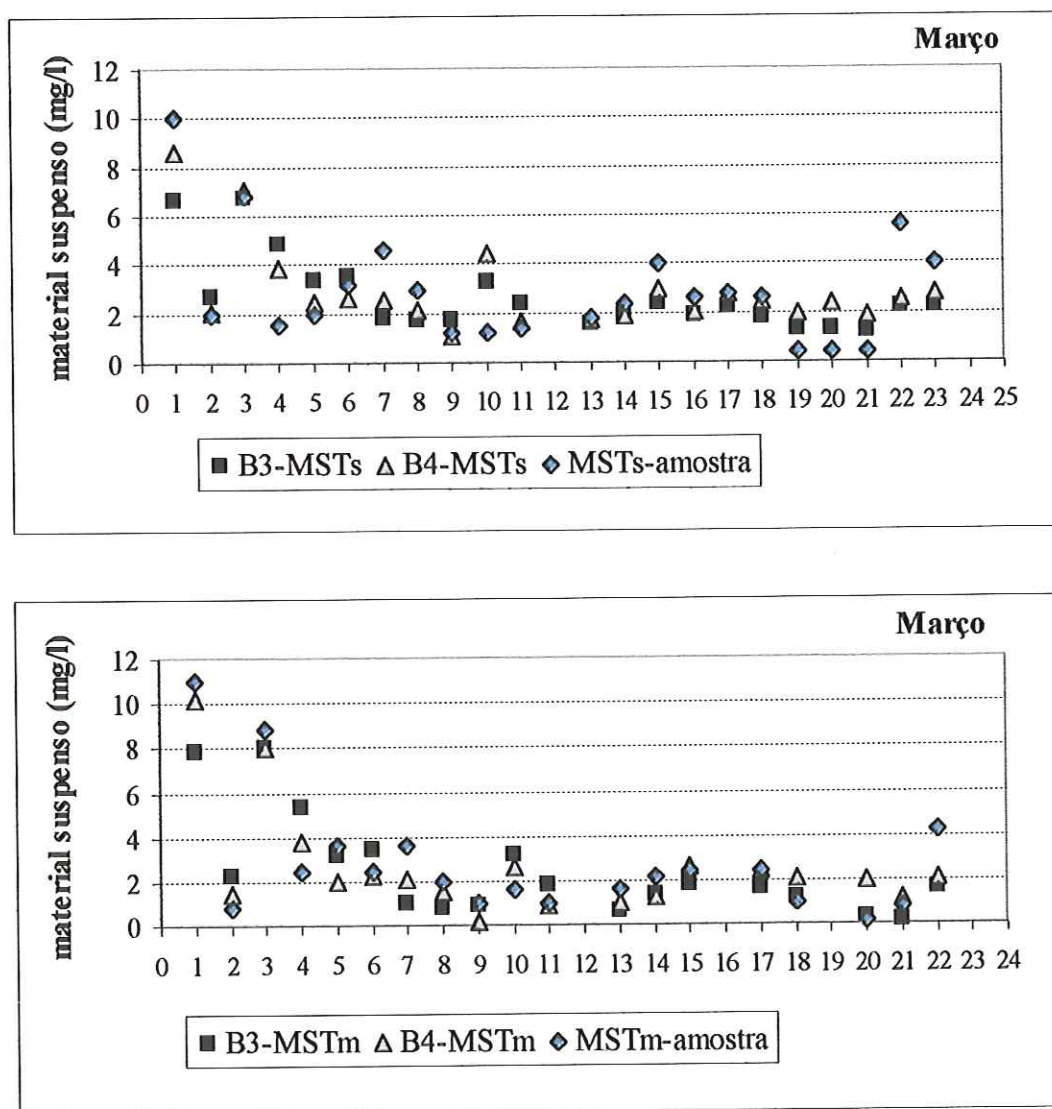


FIGURA 89 – Concentrações de material em suspensão obtidas a partir das médias em clusters de 7×7 nos mapas de distribuição de MST, na superfície (B3-MSTs e B4-MSTs) e meio (B3-MSTm e B4-MSTm) gerados a partir das regressões lineares entre dados das amostras de campo e reflectâncias nas bandas 3 e 4; e ainda concentrações de material em suspensão dessas amostras (MST-amostra).

Os erros médios encontrados entre os valores determinados através do mapa temático e os dados de campo, para as reflectâncias na banda 4, foram de 0,3 mg/l e 0,24 mg/l na superfície e meio da coluna d'água, respectivamente. Enquanto para as reflectâncias na banda 3, o erro médio foi 0,35 mg/l nas duas profundidades analisadas. Portanto, o menor erro médio foi obtido para o modelo gerado com os dados espectrais da banda 4 (imagem Landsat-5 de janeiro/00) e as concentrações de material em suspensão obtidas nas amostras do meio da coluna d'água (coleta de março/00).

Em função da colinearidade observada entre as reflectâncias nas bandas 1,2,3 e 4 do Landsat 5, não foi possível a utilização de uma análise multivariada.

5.6.2 Reflectâncias das imagem de 30 de setembro de 1999 e 11 maio de 2000

Nas Tabelas 44 e 45 estão apresentados os valores médios de reflectância dos *clusters* de 7×7 *pixels*, tomados no entorno das estações de amostragem, nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, em 30 de setembro de 1999 e 11 de maio de 2000, respectivamente. As correlações de Pearson para essas imagens estão apresentadas nas Tabelas 46 e 47.

Verificou-se que não houve correlação significativa entre os dados espectrais e aqueles obtidos das amostras coletadas na superfície e meio da coluna d'água, nas diversas estações nos reservatórios do sub-médio São Francisco, a partir dos dois conjuntos de dados analisados.

Na tentativa de obter-se melhores correlações, foram feitas normalizações dessas imagens, utilizando-se como referência à imagem de janeiro de 2000, que apresentou maior o melhor contraste. A partir da análise dos valores de reflectância das imagens normalizadas e sua correlação com os dados coletados no campo, verificou-se que a aplicação da normalização não resultou em aumento das correlações. Com isso, esses dados não foram utilizados para determinação de modelos de distribuição de material em suspensão, através de equações de regressão.

TABELA 44 – Reflectâncias médias nos clusters de 7x7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, nas bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat 7, cena 216-66, de 30 de setembro de 1999.

Reservatórios	Estações	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
ITAPARICA	SF01	17.69	13.94	12.47	23.39
	SF02	13.67	8.35	10.67	23.98
	SF03	12.43	6.59	7.02	18.35
	SF04	12.78	6.47	8.02	21.00
	SF05	11.12	5.33	7.51	19.69
	SF06	13.57	7.14	9.35	23.16
	SF07	18.22	14.16	13.29	27.37
	SF08	14.45	9.12	9.59	22.37
	SF09	14.88	8.94	9.39	22.84
MOXOTÓ	SF10	12.47	6.71	6.63	17.41
	SF11	18.94	14.02	14.29	30.08
	SF12	27.11	27.56	32.44	46.56
	SF13	17.55	14.47	14.29	27.12
	SF14	18.08	13.41	13.04	27.49
	SF15	20.33	16.14	15.86	31.90
	SF16	16.88	12.14	11.55	24.98
PAULO AFONSO IV	SF17	16.59	12.12	11.96	26.16
	SF18	17.29	12.69	12.92	27.31
	SF19	10.35	4.16	8.37	23.43
	SF20	13.41	7.24	12.33	29.51
	SF21	13.90	7.92	13.02	31.02
PAULO AFONSO I-II-III	SF22	18.41	14.20	14.00	29.37
	SF23	15.92	11.39	11.27	24.61

TABELA 45 – Reflectâncias médias nos clusters de 7x7 pixels no entorno dos pontos de amostragem, nas bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem Landsat 7, cena 216-66, de maio de 2000.

Reservatórios	Estações	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4
ITAPARICA	SF01	38.41	69.41	71.06	91.59
	SF02	4.78	16.55	7.88	3.16
	SF03	7.82	25.86	18.27	6.78
	SF04	5.63	22.53	15.14	3.90
	SF05	5.02	19.06	9.71	3.76
	SF06	5.94	23.33	15.71	4.61
	SF07	5.02	21.45	12.98	3.45
	SF08	5.65	21.41	12.55	4.59
	SF09	5.96	22.71	14.84	4.29
MOXOTÓ	SF10	5.69	22.33	15.02	4.59
	SF11	5.98	23.06	15.33	4.90
	SF12	0.00	3.22	0.44	4.67
	SF13	0.00	0.45	0.00	2.06
	SF14	5.53	21.92	13.71	4.08
	SF15	5.82	22.49	14.51	4.12
	SF16	8.53	27.88	21.18	14.47
PAULO AFONSO IV	SF17	6.04	23.18	15.41	5.78
	SF18	5.96	22.78	15.43	5.61
	SF19	15.57	32.59	30.43	44.43
	SF20	1.16	5.82	0.00	2.98
	SF21	4.18	10.59	7.73	15.71
PAULO AFONSO I-II-III	SF22	6.00	23.18	15.73	5.59
	SF23	23.27	51.39	50.76	66.55

TABELA 46 – Coeficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em clusters de 7x7 pixels, da imagem do Landsat 5 de setembro de 1999, e dados de concentrações de sólidos suspensos totais na superfície(MSTs), sólidos suspensos totais no meio da coluna d'água (MSTm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações, obtidas na campanha de setembro de 1999.

	MSTs	ln(MSTs)	MSTm	ln(MSTm)
BAND_1	0.178	0.178	-0.347	-0.240
BAND_2	0.171	0.181	-0.309	-0.199
BAND_3	0.103	0.130	-0.295	-0.219
BAND_4	0.062	0.088	-0.291	-0.233
SB1B2	0.175	0.181	-0.326	-0.218
SB1B3	0.145	0.158	-0.330	-0.236
SB1B4	0.117	0.134	-0.335	-0.251
SB2B3	0.146	0.163	-0.311	-0.213
SB2B4	0.122	0.143	-0.323	-0.234
SB3B4	0.080	0.107	-0.297	-0.231
RB1B2	-0.077	-0.082	0.314	0.217
RB1B3	-0.011	-0.046	0.064	0.075
RB1B4	0.140	0.108	-0.170	-0.069
RB2B3	0.143	0.124	-0.278	-0.150
RB2B4	0.177	0.170	-0.283	-0.150
RB3B4	0.139	0.151	-0.254	-0.160

TABELA 47 – Coeficientes de correlação de Pearson para os valores de reflectâncias médias (bandas 1, 2, 3 e 4), em clusters de 7x7 pixels, da imagem do Landsat 5 de setembro de 1999, e dados de concentrações de sólidos suspensos totais na superfície(MSTs), sólidos suspensos totais no meio da coluna d'água (MSTm) e o logaritmo neperiano dessas concentrações, obtidas na campanha de maio de 2000.

	MSTs	ln(MSTs)	MSTm	ln(MSTm)
BAND_1	0.189	0.186	0.251	0.222
BAND_2	0.316	0.351	0.356	0.323
BAND_3	0.246	0.251	0.288	0.255
BAND_4	0.072	0.035	0.159	0.128
SB1B2	0.268	0.288	0.316	0.285
SB1B3	0.227	0.228	0.276	0.244
SB1B4	0.103	0.074	0.183	0.153
SB2B3	0.279	0.297	0.319	0.287
SB2B4	0.159	0.146	0.231	0.199
SB3B4	0.141	0.119	0.211	0.179
RB1B2	-0.142	-0.231	-0.043	-0.060
RB1B3	-0.388	-0.448	-0.193	-0.182
RB1B4	0.229	0.403	0.202	0.247
RB2B3	-0.083	0.012	-0.028	0.002
RB2B4	0.212	0.374	0.180	0.221
RB3B4	0.290	0.438	0.204	0.241

5.7 Uso de imagem Landsat 5 no mapeamento do uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco.

A imagem obtida na passagem do satélite Landsat 5 na região de estudo em janeiro de 2000 foi processada e analisada para obtenção do mapa de uso e ocupação do solo. Na Figura 90 estão apresentadas as diversas classes mapeadas e na Tabela 48 estão as áreas correspondentes a cada uma dessas classes. Verificou-se que nessa região ocorrem poucos núcleos urbanos, representando apenas 0,27% da área, sendo este valor inferior a área encoberta por nuvens no dia do imageamento (0,47%). A maior fração observada foi de caatinga preservada, com 63% da área avaliada, seguindo-se a área de caatinga degradada, representando 22% do total. Apenas 2,8% correspondem a perímetros irrigados, ou seja, 285,9 km² ocupados com culturas irrigadas em projetos agrícolas. Os reservatórios e o trecho rio inseridos no recorte de cena analisado corresponderam a 9,5 % da área, representando uma lâmina d'água superficial de 964,4 km². As demais classes corresponderam a 1,44% do total, onde a área de mata ciliar obtida foi de 112,31 km²; as áreas alagadas ocuparam 27,00 km² e as ilhas apresentaram uma área total de 7,26 km².

TABELA 48 – Classificação do uso e ocupação da área de entorno dos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA IV.

Classes	Área	
	Km ²	%
Caatinga preservada	6390,99	63,17
Caatinga degradada	2253,89	22,27
Culturas irrigadas	285,91	2,82
Área urbana	27,51	0,27
Mata ciliar	112,31	1,11
Água	964,45	9,53
Nuvem	47,93	0,47
Ilhas	7,26	0,07
Áreas alagadas	27,00	0,26
Área total das classes	10.117,26	100

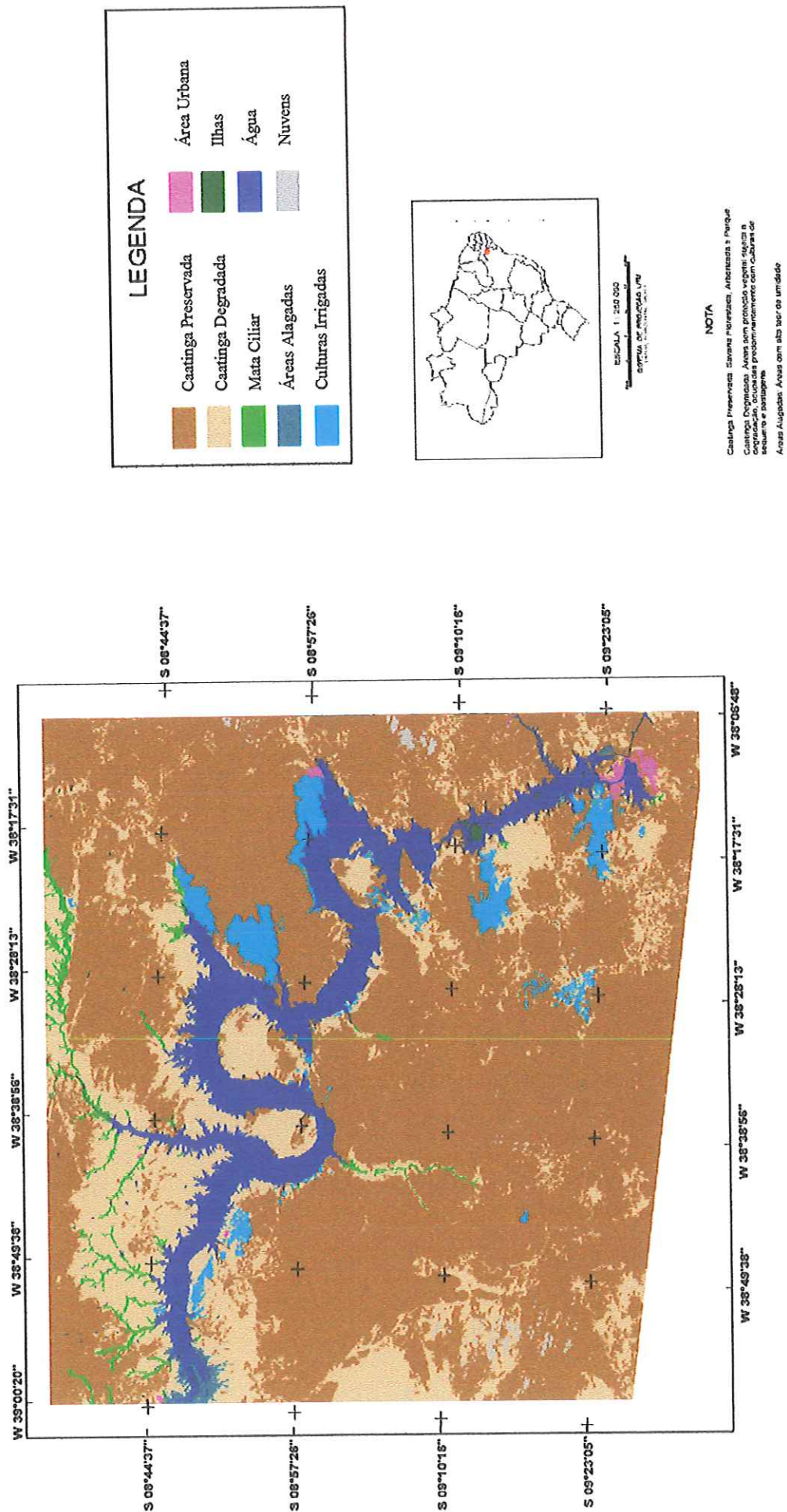


FIGURA 90 – Uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios do sub-médio São Francisco, a partir do processamento da imagem Landsat 5, cena 216-66, obtida em janeiro/00.

Analisando a Figura 90 observou-se que a região com maior área de caatinga degradada situou-se na metade inicial do reservatório de Itaparica, cobrindo grande parte da bacia do rio Pajeú (Pernambuco) e estendendo-se pela margem esquerda até aproximadamente a longitude 38°23' W. Verificaram-se também grandes áreas de caatinga degradada na margem direita do reservatório de Moxotó e próximo ao reservatório de PA IV.

Em relação às áreas urbanas, o mapa da área avaliada mostra uma maior concentração às margens do reservatório de PA IV, representada pela cidade de Paulo Afonso e áreas adjacentes. O segundo maior núcleo urbano identificado foi a cidade de Petrolândia, localizada às margens do reservatório de Itaparica. Algumas cidades de menor porte não foram representadas na classificação obtida através da imagem do satélite Landsat 5.

As maiores áreas de culturas irrigadas estão localizadas às margens do reservatório de Itaparica, cercadas por áreas de caatinga preservada. Verificou-se ainda dois projetos de irrigação próximos ao reservatório de Moxotó.

Em relação às áreas alagadas, estas foram identificadas, apenas, na fase rio do reservatório de Itaparica (próximo à estação SF01) e próximo ao reservatório de PA I-II-III, enquanto os poucos trechos de mata ciliar estiveram concentrados nos afluentes da porção superior da margem esquerda do reservatório de Itaparica.

Os dados observados nesse estudo corroboram com as observações de Chaves (1994), que verificou um maior risco de degradação por erosão hídrica do solo na margem esquerda da porção superior do reservatório de Itaparica (Figura 10). O que permite inferir que a menor cobertura de solo nessa região, que apresenta áreas de caatinga degradada, estaria promovendo um maior transporte de material até o reservatório, sendo responsável pela maior quantidade de material em suspensão nessa região.

Na tentativa de avaliar se a presença de áreas de caatinga degradada, nas regiões de contribuição mais próximas às estações em que foram instaladas as câmaras de sedimentação, poderia ser a principal fonte de material em suspensão para os reservatórios, foram calculadas as correlações entre a taxa de deposição nas câmaras de sedimentação e a área de caatinga degradada em amostras tomadas nas bacias de captação (Figura 91). Contudo, nas amostras avaliadas (com áreas entre 29,6 a 31,2 km²), não foram verificadas correlações significativas para as taxas de deposição obtidas em dezembro/99 e em junho/00 e a fração correspondente à caatinga degradada. O mesmo ocorreu quando todos os dados foram avaliados em conjunto (Tabela 43 no Anexo A).

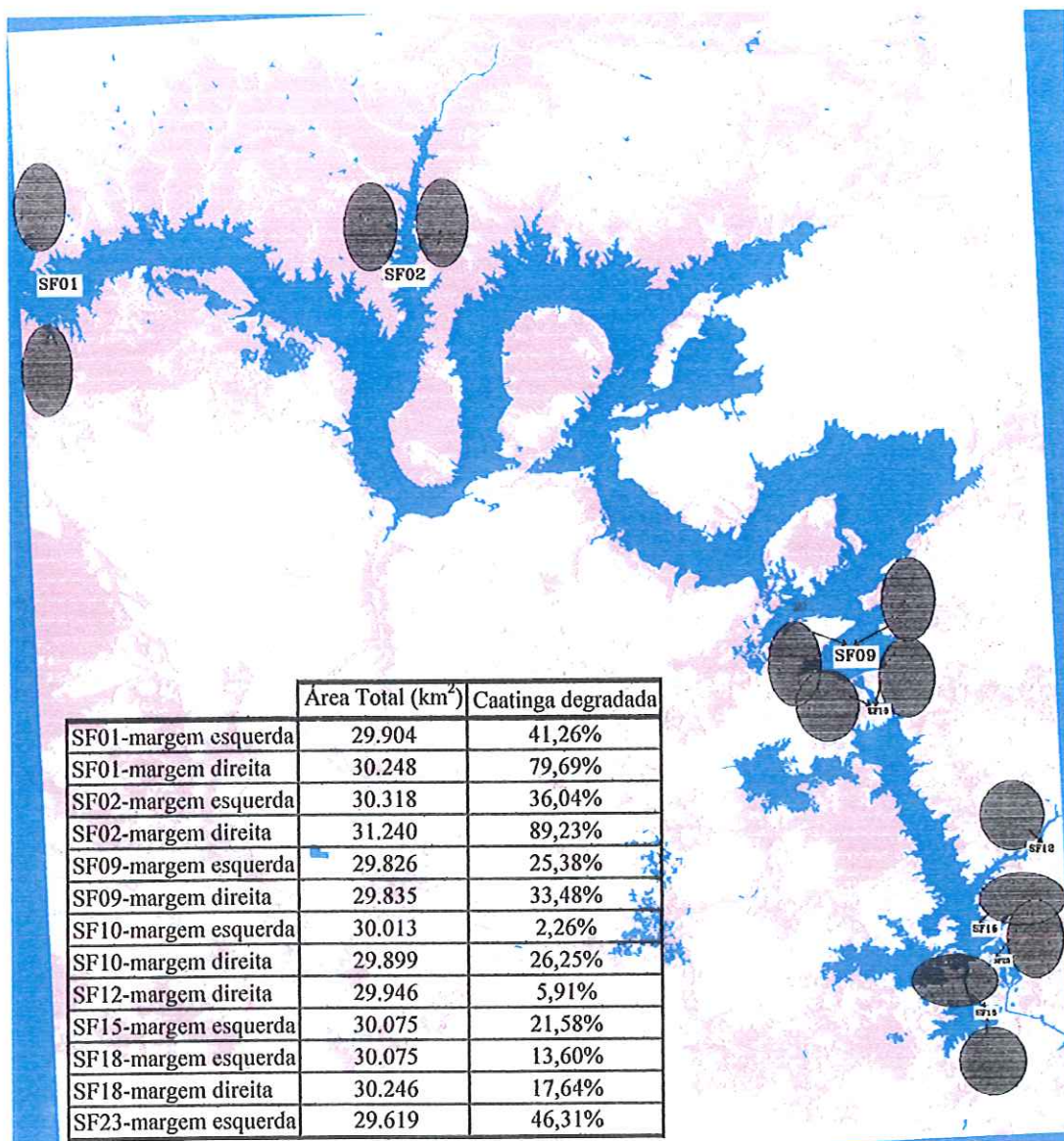


FIGURA 91 - Percentuais de caatinga degradada nas amostras tomadas em regiões próximas às estações SF01, SF02, SF09, SF10, SF12, SF15, SF18, SF23.

6 DISCUSSÃO

6.1 Limnologia comparada dos reservatórios do sub-médio rio São Francisco: análise dos fatores determinantes.

As comparações das características limnológicas de lagos e reservatórios de regiões semi-áridas com aqueles de regiões temperadas têm sido questionadas por alguns autores (STRASKRABA *et al.*, 1993; THORNTON & RAST, 1993; ARMENGOL *et al.*, 1999). Em alguns países, como por exemplo os Estados Unidos, com uma grande quantidade de lagos e reservatórios distribuídos em diferentes zonas climáticas, não existem padrões diferenciados na legislação ambiental que regularize os usos a partir das singularidades de cada região. No Brasil, a classificação dos cursos d'água com base em seu aproveitamento para os mais diversos fins está prevista através da Resolução CONAMA 20/1986 e também não engloba as peculiaridades das suas diferentes regiões. Isto resulta na aplicação generalizada de padrões sem considerar a limnologia local. Por outro lado, reservatórios em regiões semi-áridas têm a mesma função sócio-econômica que os lagos naturais das regiões mais ricas do mundo, tornando-se ainda de maior importância pela sua localização em uma região de escassez de água. Assim, é necessário que o gerenciamento desses sistemas seja racional, baseado não em premissas comparativas, mas no conhecimento e entendimento de suas características e seu contexto.

O conhecimento dos parâmetros limnológicos nos quatro reservatórios do sub-médio São Francisco analisados durante este estudo, tem a finalidade de caracterizar e fornecer maiores informações sobre os reservatórios dessa região semi-árida, que têm sido pouco estudados pela comunidade científica brasileira.

A climatologia, o tempo de residência da água e a posição do reservatório são, segundo TUNDISI (1999), os principais componentes e funções que estabelecem as condições de contorno no funcionamento de reservatórios, influenciando suas características bióticas e abióticas. Para a região de estudo, o clima funciona como um diferencial importante nas variações das características limnológicas dos sistemas.

As temperaturas do ar observadas na área da pesquisa foram altas durante todo o período de estudo, com valor médio de 26,4 °C e variação máxima de 3,7 °C. A diferença de

temperatura entre a estação seca (fria) e chuvosa (quente) na região esteve muito abaixo da observada, por exemplo, por ZANATA (1999) no reservatório de Salto Grande (SP), onde houve uma variação de 8 °C entre as estações de verão (chuva) e inverno (seca). As médias elevadas e a menor variação de gradiente entre inverno e verão, refletem a localização geográfica da região (Figura 05).

A alta insolação que ocorre nessa região influenciou, também, a temperatura da água nos quatro reservatórios analisados, que apresentaram altos valores médios: Itaparica (26 °C ± 1,66); Moxotó (26,2 °C ± 1,7); Paulo Afonso I-II-III (26 °C ± 1,59) e Paulo Afonso IV (26,4 °C ± 1,65). Não foram observadas variações espaciais significativas na temperatura da água dos reservatórios em cada coleta e as diferenças observadas entre as estações de um mesmo reservatório, ou mesmo entre os reservatórios, podem ter sido provocadas pelas diferenças de dias e horários de medição, devido às grandes distâncias a serem percorridas entre algumas destas estações.

Por outro lado, verificou-se no período de chuvas, uma variabilidade vertical da temperatura da água ao longo do perfil de alguns reservatórios do sistema. Assim, foram observadas menores temperaturas no hipolímnio e maiores no epilímnio, sendo que ocorreram maiores gradientes nos reservatórios de Itaparica (máximo de 2,9 °C) e Moxotó (máxima de 3,2 °C); menores gradientes em PA IV (máxima de 1,3 °C) e isoterminia no reservatório de PA I-II-III. Esses valores podem ser comparados aos encontrados por HENRY (1999), que, analisando o regime térmico de vários lagos e reservatórios no Brasil, encontrou um gradiente térmico anual máximo de 7,7 °C no reservatório de Itaipu (Paraná); 6,1 °C no reservatório de Três Marias (Minas Gerais); 5,4 °C na Lagoa de Pampulha (Minas Gerais); 4,7 °C no Lago Paranoá (Brasília); 3,8 °C no reservatório das Garças (São Paulo) e 2,3 °C no reservatório de Tucuruí (Pará). Tendo o autor verificado, ainda, que a variabilidade anual da temperatura apresentou uma correlação positiva significativa com a latitude dos reservatórios.

Apesar das pequenas variações no perfil de temperaturas observadas no sub-médio São Francisco, quando comparadas àquelas encontradas, por exemplo, no reservatório de Itaipu (com gradiente máximo 140% superior ao máximo observado em Moxotó), deve-se levar em consideração que a variação na capacidade de expansão das moléculas de água varia em função da temperatura, mas não uniformemente, ou seja, para valores mais altos de temperatura essa "taxa de expansão" se torna cada vez maior. Este fenômeno tem enormes conseqüências limnológicas, visto que em ecossistemas com temperaturas superiores a 20 °C, não há necessidade de grandes diferenças de temperatura entre as sucessivas camadas para que se processe sua estratificação térmica (GOLDMAN & HORNE, 1983).

Isso foi destacado por ESTEVES (1988) quando mencionou um estudo realizado por WRIGHT (1937) no reservatório de Bodocongó (Nordeste do Brasil), onde verificou que uma variação de 3 °C entre a superfície e o fundo do reservatório promoveu uma estratificação tão estável quanto àquela observada para uma diferença de 16 °C no lago Anderson (Wisconsin, EUA), localizado em uma região temperada.

As altas temperaturas podem atuar sobre os ambientes aquáticos de duas maneiras: (a) reduzindo a solubilidade de gases, entre eles o oxigênio, e (b) diretamente sobre os organismos aquáticos, com base na regra de Van T'Hoff, na qual a elevação da temperatura em 10 °C pode duplicar ou triplicar a velocidade das reações, promovendo uma decomposição mais rápida e um maior consumo de oxigênio (ESTEVES, 1988). Alguns autores comprovaram este fato ao verificarem uma maior taxa de respiração dos copépodos e peixes provocados pelo aumento da temperatura, resultando em menores concentrações de oxigênio dissolvido (MARGALEF, 1983; RANTIN & JOHANSEN, 1984). Portanto, em reservatórios localizados em regiões semi-áridas, como os reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA-IV; o tipo de perfil vertical de oxigênio pode não refletir a magnitude de sua produção primária, onde uma redução acentuada nas concentrações de oxigênio não significa necessariamente altas produtividades.

Além da temperatura, outro fator climatológico importante para os estudos limnológicos é a precipitação. Os baixos índices de precipitação verificados nas estações meteorológicas próximas aos reservatórios estudados (abaixo de 50 mm no período seco e em torno de 150 mm no período de chuva) são característicos dessa região e podem desencadear uma série de processos que alteram as condições físicas e químicas da água. A ocorrência de chuvas no verão e as altas temperaturas observadas seguiram o previsto na classificação de Köeppen para o semi-árido – Bshw (climas secos com temperaturas médias anuais acima de 18°C e chuvas no verão).

Apesar dos baixos volumes precipitados na região dos reservatórios de Itaparica, Moxotó, PA I-II-III e PA IV, observou-se claramente a influência da precipitação na variação das profundidades de Secchi, principalmente as obtidas no reservatório de Itaparica, o primeiro na cascata. Neste reservatório, durante o período de estudo, ocorreu uma redução média na transparência da água de 85,9 % em relação ao período seco. Os valores de profundidades de Secchi diminuíram com o início do período de chuvas, cuja influência foi percebida inicialmente na estação SF01, que se encontra na zona de desembocadura do rio São Francisco, indicando o aporte, portanto, de grande parte da carga alóctone transportada por este rio. A partir daí, verificou-se a formação de um gradiente longitudinal de transparência, com maiores profundidades de Secchi na estação próxima à barragem. A

entrada do rio Pajeú (estação SF02) no sistema não pareceu contribuir no processo de transporte de material em suspensão da bacia, visto que as transparências da água nesse rio, representadas pelos valores das profundidades de Secchi, foram superiores às aquelas encontradas na estação SF03, localizada após sua desembocadura no reservatório de Itaparica.

Semelhante ao observado em Itaparica, um aumento de turbidez provocado pelo transporte de material em suspensão durante o *runoff* ocorreu no reservatório de Moxotó, contudo, não houve a formação de gradientes longitudinais de transparência no seu eixo central, provavelmente em função do menor tempo de residência e das contribuições difusas mais acentuadas que ocorrem em sua bacia. Para as estações localizadas no rio Moxotó, afluente a esse reservatório, o aumento de transparência na direção do fluxo (SF12 → SF13) reflete a formação de um gradiente longitudinal de deposição de material em suspensão entre as duas estações. Os valores extremamente baixos de profundidade de Secchi na estação SF12 (rio Moxotó) foram influenciados também pela alta densidade de macrófitas aquáticas (*Pistia*), observadas no período de chuvas (Figura 92), devido a atenuação da radiação solar promovida pela absorção de alguns comprimentos de onda (em geral no vermelho e azul) e aumento da dispersão da luz incidente, bem como devido à retenção de material em suspensão no “filtro” formado pelas suas raízes (ESTEVES, 1988; KIRK, 1994).

A redução da profundidade da zona eufótica em regiões com alto desenvolvimento de macrófitas também foi descrita por ESTEVES (1988), que comparou a luminosidade dentro e abaixo de um estande de macrófitas aquáticas com o interior de uma floresta, afirmando que em alguns casos, estas comunidades podem atenuar a radiação a níveis tão elevados, que o crescimento do fitoplâncton nesta região pode ser quase nulo.



FIGURA 92 – Estação de amostragem no rio Moxotó (SF12), na coleta de março/00.

Para o reservatório de Paulo Afonso IV, a variação temporal dos valores de profundidade de Secchi mostrou-se mais acentuada nas estações localizadas no sentido do fluxo de entrada (SF17) e saída (SF18) do reservatório (84,5% em média), enquanto que, para a porção oeste a redução da transparência da água observada no período de chuvas (46,3% em média) não provocou modificações que viessem a comprometer a disponibilidade de luz na coluna d'água. Podendo-se inferir, portanto, que o material em suspensão alóctone que chega à barragem nesse reservatório deve-se principalmente ao fluxo proveniente do reservatório de Moxotó e entra nesse sistema a partir do canal de ligação entre os dois reservatórios.

Os resultados observados nos reservatórios em estudo, se assemelham aos obtidos em outros sistemas. No Reservatório de Salto Grande, considerado um sistema hipereutrófico com entradas pontuais e difusas de material alóctone e elevada produção autóctone, LEITE (1998) verificou que os valores de transparência foram maiores na seca (máximo de 2,0 m) e menores no período chuvoso (máximo de 0,6 m), limitando a zona eufótica em profundidades inferiores a 50% da coluna d'água, excetuando-se as estações de coleta de menor profundidade. Este resultado também foi confirmado por ZANATA (1999), que avaliando o mesmo reservatório, encontrou dados semelhantes, tendo verificado ainda que a influência da precipitação no aumento da turbidez da água proporcionou uma redução média de 4 vezes na profundidade de Secchi obtida no período seco.

Apesar de inseridos em uma região semi-árida, os reservatórios do sub-médio São Francisco apresentaram altos valores médios de profundidade de Secchi (2,9 m em Itaparica e em Moxotó; 2,8 m em PA I-II-III e 3,9 m em PA IV), quando comparados aos relacionados por THORNTON & RAST (1993), ao analisarem dados de 113 reservatórios de regiões semi-áridas na África, USA, Espanha, Índia e Austrália, onde o valor médio anual da profundidade foi de 1,2 m. Os autores concluíram que a alta turbidez observada nestes reservatórios deve-se à alta erosividade encontrada nas suas bacias, associada à natureza sazonal das chuvas, que ocorrem em grandes volumes precipitados em curtos intervalos de tempo.

Durante esta pesquisa não foram obtidos dados que permitissem avaliar o potencial de erosão atual e a taxa de transporte do material erodido até o leito do rio São Francisco. Contudo, no Brasil, segundo definição contida na Convenção Mundial de Luta Contra a Desertificação, a área susceptível aos processos da desertificação encontra-se situada na

Região Nordeste, particularmente, no Semi-Árido (Figura 93). Foi verificado que a desertificação nesta região atinge uma área de mais de 900.000 km² e tem como causas o uso inadequado dos recursos (desmatamento), práticas inapropriadas do uso do solo (sobrepastoreio e cultivo excessivo) e, principalmente, modelos de desenvolvimento regionais imediatistas (www.desert.org.br, consultado em 24.07.2002).

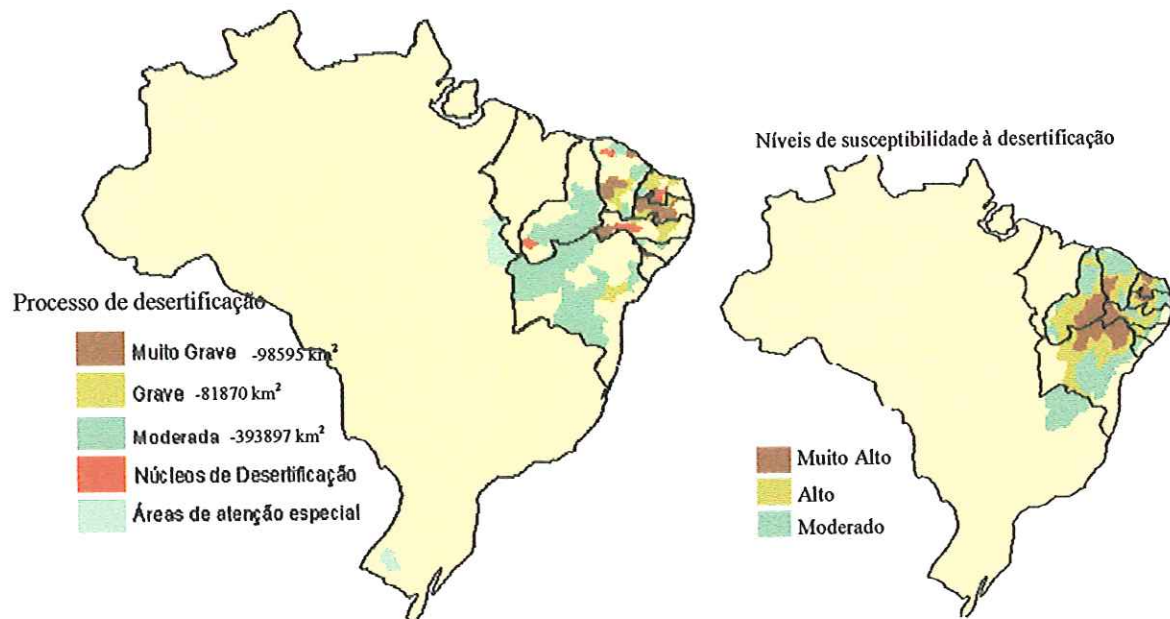


FIGURA 93 – Níveis de susceptibilidade à desertificação e processo de desertificação no Brasil (Fonte: modificado de www.desert.org.br em 24.07.2002).

Logo, considerando o conjunto de fatores que interferem no processo de erosão, verifica-se que apesar do baixo índice pluviométrico na região, este não representa o único fator que exerce influência na perda de solos por erosão hídrica. Segundo SILVA (1999), o fator cobertura do solo é determinante no processo erosivo, pois permite a redução da energia cinética contida na gota d'água da chuva, impedindo o contato direto entre esta e as partículas de solo. Para a região de estudo, verifica-se que, apesar da ocorrência de 63,17 % de caatinga preservada (representada na Figura 94), esse tipo de vegetação (dominada por tipos de vegetação com características xerofíticas, arbustos e árvores de porte baixo ou médio, caducifólias (folhas que caem), grande quantidade de plantas espinhosas, entremeadas de outras espécies como as cactáceas e as bromeliáceas) não propicia uma proteção suficiente para diminuir o potencial erosivo das chuvas.

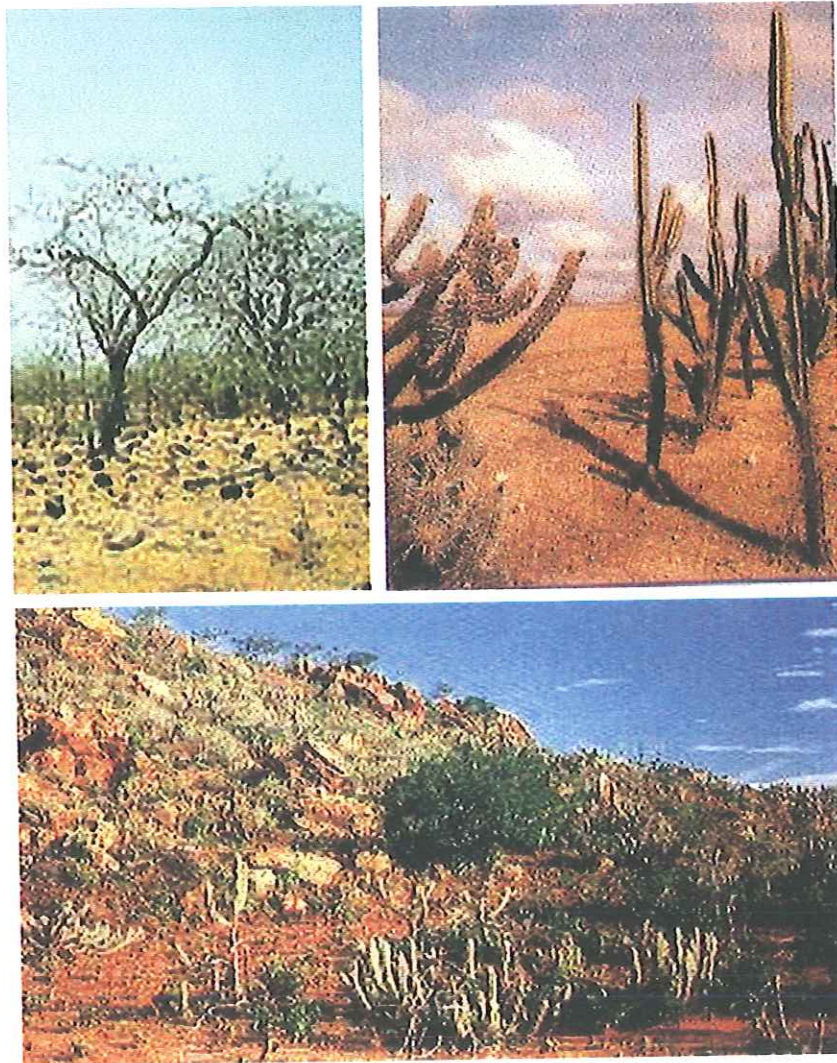


FIGURA 94 – Vegetação característica da região semi-árida.

Associados à baixa cobertura vegetal, os solos desta parte da bacia do rio São Francisco, predominantemente do tipo Areias Quatzosas, Bruno Não Cálculo e Regossolos, apresentam alta taxa de escoamento (MOLLE & CADIER, 1992) e proporcionam um ambiente ideal para a desagregação e o carreamento de partículas para o leito do rio.

O transporte de material em suspensão através do *runoff* até os cursos d'água tem sido avaliado por vários autores (MARQUISÁ, 1998; LEITE, 1998; SILVA, 1999; ZANATA, 1999) e sua influência nas características limnológicas em lagos e reservatórios, através de modificações bióticas (com o *input* de nutrientes e o conseqüente aumento da produtividade) e abióticas (como a redução da transparência da água com diminuição da zona eufótica), tem afetado significativamente os ecossistemas aquáticos. Esse aporte de material em suspensão também foi verificado nos reservatórios do sub-médio São Francisco.

O principal ponto de entrada de material em suspensão no sistema de reservatórios analisados é o rio São Francisco. No período de chuvas, o material em suspensão carregado por esse rio chega ao reservatório de Itaparica e, devido à sua morfometria, ocorre a formação de uma pluma onde o processo de deposição do material particulado é mais acentuado, com reduções na concentração do material em suspensão na coluna d'água ao longo do seu eixo longitudinal.

Outros aportes de material em suspensão ocorrem no reservatório de Itaparica com a entrada do rio Pajeú, um rio intermitente com desembocadura localizada entre a estação SF01 e SF03, e as contribuições difusas ao longo de suas margens (Figura 95). Contudo, não houve, aparentemente, aporte significativo de material em suspensão com a entrada desse rio no reservatório de Itaparica durante o período de estudo.

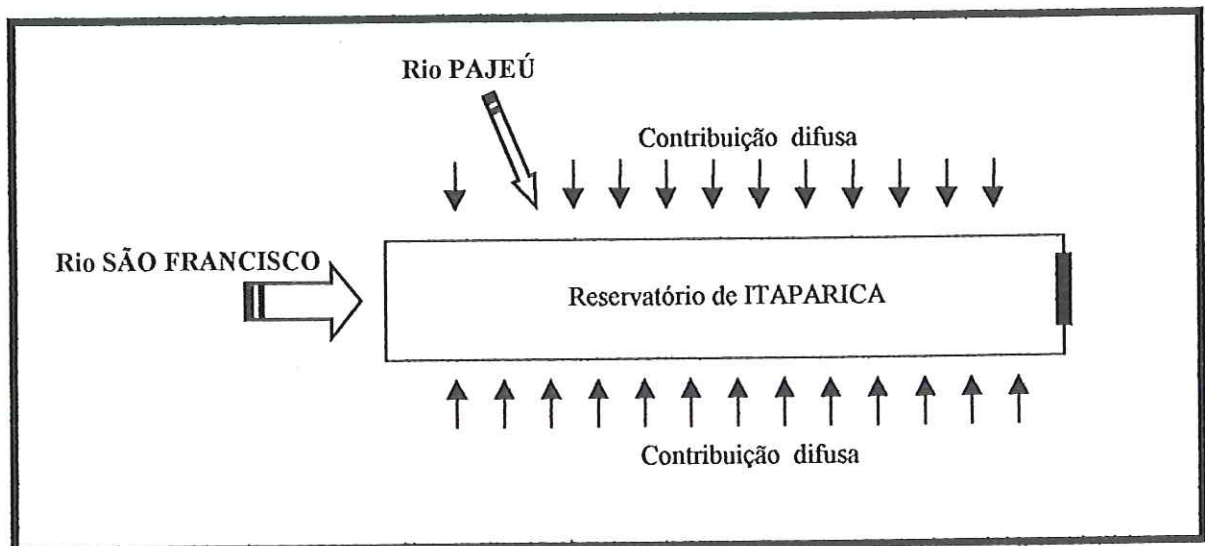


FIGURA 95 – Esquema do aporte de material em suspensão ao reservatório de Itaparica.

A redução nas concentrações de material em suspensão na coluna d'água ao longo do reservatório de Itaparica pode ser resultante da variação da taxa de deposição, onde as estações próximas à desembocadura do rio São Francisco teriam uma maior taxa de deposição e aquelas próximas à barragem apresentariam menores taxas. Com isso, as partículas seriam retiradas mais rapidamente do sistema no início do reservatório de Itaparica, com conseqüente redução da concentração de material em suspensão ao longo do eixo do reservatório até a barragem. Estas maiores deposições em áreas de desembocadura têm sido

relatadas por vários autores, como por exemplo no estudo de LEITE (1998), quando o autor analisou as diferenças longitudinais de deposição de material em suspensão no reservatório de Salto Grande (SP).

Nesse trabalho, o autor verificou a formação de gradientes horizontais de deposição, com um valor 13 vezes superior na estação localizada no início do reservatório, na zona de desembocadura do rio Atibaia, em relação à deposição na estação próxima a barragem. No reservatório de Itaparica, no sub-médio São Francisco, a concentração de material em suspensão na estação SF01 (entrada do rio São Francisco) foi, em média, $7,3 (\pm 0,76)$ vezes superior à concentração obtida na estação SF09 (próxima à barragem), nos meses de dezembro/99 e março/00. Nos demais reservatórios do sub-médio São Francisco, não foram verificados gradientes longitudinais de concentração de material em suspensão.

Também ZANATA (1999), verificou a formação de um gradiente longitudinal no reservatório de Salto Grande e concluiu que o material em suspensão apresenta valores elevados de decaimento no sentido rio-barragem, independente do período (seco ou chuvoso). A taxa de variação obtida em Salto Grande foi de 0,27; 0,16; e 0,05 (chuva) e de 0,11; 0,17; e 0,05 (seca), correspondendo às três zonas distintas no reservatório (riverina, transição e lacustre).

Os dados relativos à concentração de material em suspensão não permitem determinar os locais mais susceptíveis ao assoreamento, pois, segundo CARVALHO (1994), a deposição é função de vários aspectos do escoamento, entre eles: o tamanho, peso e forma da partícula; as condições do fluxo (laminar ou turbulento); a velocidade da corrente; os obstáculos no leito e a morfometria do reservatório. Esses fatores podem ter influenciado a velocidade de deposição das partículas ao longo do rio Moxotó, porque apesar das maiores concentrações de material em suspensão nesse rio (SF12) em relação às observadas em SF01, observou-se uma redução maior na concentração de material em suspensão entre as estações SF12 e SF13 (rio Moxotó) que entre as estações SF01 e SF03 no reservatório de Itaparica. Associado a isso, a grande floração de *Pistia* observada em março/00 pode ter funcionado como um filtro, promovendo uma maior deposição pela redução das correntes de fluxo e adsorção de partículas em suspensão.

As concentrações de material em suspensão observada nas entradas dos afluentes nos reservatórios do São Francisco foram semelhantes às obtidos por HENRY & MARICATO (1996), quando analisaram a taxa de sedimentação do material em suspensão no reservatório de Jurumirim, um sistema oligo-mesotrófico localizado no Estado de São Paulo. Nesse sistema, foram verificadas concentrações máximas de material em suspensão na coluna

d'água de 14,4 mg/l na desembocadura do rio Paranapanema (estação P3); e 19,1 mg/l na desembocadura do rio Taquari (estação T3).

Em relação às concentrações máximas de material em suspensão obtidas nas estações próximas à barragem de Itaparica (4,4 mg/l em SF09), Moxotó (5,0 mg/l em SF15), PA I-II-III (4,8 mg/l em SF23) e PA IV (3,0mg/l em SF18), verificou-se que foram inferiores às observadas por MARQUISÁ (1998), quando avaliou comparativamente a sedimentação na barragem do reservatório de Barra Bonita (eutrófico) e na barragem do reservatório de Broa (oligotrófico) em SP; onde os máximos foram 6,5 mg/l e 7 mg/l, respectivamente.

Em relação ao oxigênio dissolvido, o escoamento superficial das chuvas no solo e a incorporação de material dissolvido e particulado a este escoamento podem promover a redução de oxigênio dissolvido, bem como o aumento de nutrientes nos reservatórios e lagos. As variações de curto e longo prazo dessas concentrações fornecem uma idéia do seu estado trófico. Lagos e reservatórios oligotróficos apresentam, em geral, pequenas variações de OD em relação aos valores de saturação, enquanto ecossistemas eutrofizados podem apresentar desde valores 2,5 vezes superiores aos de saturação como períodos de anoxia (GOLDMAN & HORNE, 1983). As atividades antrópicas, como às observadas no entorno do reservatório de PA IV, podem estar associadas, também, a essas variações, pois a entrada de matéria orgânica proveniente de esgotos domésticos ou descargas industriais, pode resultar no deplecionamento do oxigênio dissolvido com conseqüente diminuição da diversidade de espécies nos corpos d'água. Esses fatores estiveram presentes nos reservatórios analisados, atuando ora conjuntamente ora isoladamente no aumento de nutrientes e conseqüente enriquecimento do sistema.

O aporte de material em suspensão pode ter sido, em parte, responsável pela variação nas concentrações de oxigênio dissolvido nos reservatórios do sub-médio São Francisco. No período de chuvas foram observadas oxiclina em algumas estações dos reservatórios de Itaparica, Moxotó e PA IV. Nesse período, foram obtidas variações máximas entre superfície e fundo de 4,8 mg/l no rio Pajeú; máxima de 3,7 mg/l na desembocadura do rio Moxotó; e máxima de 3,8 na porção oeste do reservatório de PA IV. Estas variações podem ser atribuídas a:

- a) entrada de material em suspensão na zona de desembocadura do rio São Francisco, com reduções de 18,4% \pm 1,8 na concentração de oxigênio na coluna d'água, com menores valores no hipolímnio, para as estações SF01, SF03, SF04 e SF05;

- b) ressuspensão de material sedimentado no rio Pajeú (SF02) com as concentrações de oxigênio dissolvido no hipolímnio representando cerca de 40% das concentrações no epilímnio;
- c) influência da entrada de material em suspensão no rio Moxotó, proveniente de uma área com uso agrícola intenso e presença de núcleos urbanos, provocando anoxia na estação localizada na porção superior do rio (SF12) e oxiclina na estação SF13 (no hipolímnio apenas 57% das concentrações de OD no epilímnio), na desembocadura do rio no reservatório de Moxotó.
- d) Presença de centro urbano próximo à estação SF14 com variações de 12% entre as concentrações de OD na superfície e fundo.
- e) Influência da entrada de material em suspensão pelo rio Moxotó na estação SF15 (barragem), com reduções de 16% ao longo da coluna vertical;
- f) Influência dos projetos agrícolas e núcleo urbano na porção oeste do reservatório de PA IV observadas principalmente nas estações SF19 ($OD_{\text{hipolímnio}} = 54\% OD_{\text{epilímnio}}$) e SF21 ($OD_{\text{hipolímnio}} = 65\% OD_{\text{epilímnio}}$).

Os resultados mostram que, apesar de não haver indício de correlação significativa entre as variações nas concentrações de oxigênio dissolvido e as temperaturas, durante a estratificação térmica da coluna d'água, observou-se uma redução mais acentuada das concentrações médias de OD com a desestratificação e homogeneização da mesma nos reservatório de Moxotó e na porção oeste de PA IV, em junho/00. O mesmo foi observado por MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI (1995) no Lago Don Helvécio (MG), onde foram obtidos valores de 9 mg/l de oxigênio no epilímnio e anoxia no hipolímnio, no período de chuvas, e perfis homogêneos com concentrações de 6 mg/l de OD no período seco.

A baixa concentração de oxigênio dissolvido tem várias conseqüências no meio aquático, observando-se por exemplo que, durante a estratificação, a redução das concentrações no hipolímnio promove um aumento na atividade das bactérias desnitrificadoras que transformam o nitrato, diminuindo ainda mais a concentração de oxigênio. Por outro lado, durante a desestratificação, devido à mistura e homogeneização das camadas de água, as concentrações de oxigênio no epilímnio diminuem e interferem na diversidade de espécies dentro do sistema, com a morte daquelas mais exigentes e o aumento do número de organismos especializados, que suportam essas baixas concentrações.

Além da temperatura, da incidência de luz na coluna d'água e da concentração de oxigênio, outro fator que atua na maior produção de biomassa é a disponibilidade de nutrientes. Os principais nutrientes responsáveis pelo aumento da produtividade primária e da eutrofização do meio são os compostos fosfatados e nitrogenados e as fontes potenciais desses nutrientes para o sistema são: os escoamentos superficiais; a precipitação sobre a superfície do lago; as entradas de água subterrânea; a fixação de nitrogênio na água e a reincorporação dos nutrientes do sedimento. Segundo GOLDMAN & HORNE (1983), a disponibilidade dos compostos nitrogenados nos corpos d'água influencia a variedade, a abundância e os valores nutricionais de animais e plantas aquáticas.

Nos quatro reservatórios do rio São Francisco analisados, as concentrações de nitrogênio orgânico total foram muito inferiores às obtidas por ZANATA (1999), quando avaliou a heterogeneidade ambiental do reservatório de Salto Grande, onde encontrou valores entre 1,4 e 6,1 mg/l no período chuvoso e entre 0,5 e 2,4 mg/l no período seco, o que mostra que em relação a esse nutriente, os reservatórios de Itaparica, Moxotó e PA I-II-III-IV são mais preservados.

As concentrações de nitrogênio orgânico, obtidas nos reservatórios do sub-médio São Francisco, também foram inferiores às verificadas por MARICATO (1994) no reservatório de Jurumirim (SP), aonde as concentrações médias de nitrogênio na coluna d'água chegaram a representar cerca de 2,13 vezes a concentração máxima de nitrogênio total obtidas nos quatro reservatórios dessa pesquisa. Deve-se destacar, para os reservatórios do rio São Francisco, o fato de que os maiores valores de nitrogênio total foram observados no período de chuvas, enquanto nos estudos de MARICATO (1994), ZANATA (1999) e RODGHER (2001), as maiores concentrações desse nutriente foram verificadas no período seco. Alguns autores relatam essas diferenças, verificando que alguns sistemas são enriquecidos com o carreamento de nutrientes durante o "runoff", enquanto outros sofrem diluição com o aumento do fluxo (CAMARGO & ESTEVES, 1995).

Em relação à variação espacial, RODGHER (2001), analisando alguns parâmetros limnológicos ao longo da cascata de reservatórios do Tietê, verificou uma redução nas concentrações de nitrogênio orgânico, com os menores valores sendo observados no reservatório de jusante, mas, segundo MATSUMARA-TUNDISI *et al.* (2000), a grande carga de nutrientes observada no primeiro reservatório de uma série nem sempre sofre uma redução gradativa nos reservatórios subsequentes, visto que em cada reservatório ocorrem interferências em função da sua morfometria, sua operação e do uso da bacia hidrográfica em seu entorno. No caso desta pesquisa, os valores obtidos para os diversos reservatórios em série do rio São Francisco mostraram que a concentração de

nitrogênio orgânico foi aumentando ao longo da cascata, com máximo no reservatório de PA I-II-III, excetuando-se nesta análise a concentração observada no rio Moxotó (SF12) em março/00, que apresentou sempre os valores máximos. Este aumento na concentração de nitrogênio orgânico pode ter como causa a maior ocupação no entorno das bacias desses reservatórios de jusante, com maior densidade populacional e aproveitamento agrícola.

O aproveitamento das formas orgânicas do nitrogênio em ambientes aquáticos só ocorre quando a concentração das formas inorgânicas apresenta-se muito baixa ou esgotada. Em relação aos compostos nitrogenados inorgânicos, o nitrato é, em geral, o mais disponível em lagos e reservatórios. Por outro lado, sua grande mobilidade no solo e incorporação à água das chuvas permite inferir que sua concentração está intrinsecamente relacionada ao *runoff* e ao uso e ocupação da bacia. Outra fonte de nitrogênio disponível é o nitrito, forma intermediária entre o nitrato e a amônia, mas, em geral, sua concentração é insignificante em relação aos demais compostos nitrogenados (GOLDMAN & HORNE, 1983).

Essas relações entre os compostos nitrogenados foram confirmadas no presente estudo, quando foram obtidas altas concentrações de nitrato entre as formas nitrogenadas, baixas concentrações de amônia e insignificantes concentrações de nitrito. A variação na concentração de nitrato nos reservatórios do São Francisco seguiu a tendência de variação das concentrações de nitrogênio orgânico total, onde a influência sazonal foi marcante, com as menores concentrações observadas no início das chuvas, aumentando significativamente até o final da estação, para depois diminuir gradativamente no período de seca.

Em relação à distribuição espacial, durante as cinco coletas realizadas nos reservatórios do sub-médio São Francisco, as estações localizadas na porção oeste do reservatório de PA IV apresentaram, em geral, menores concentrações de nitrato quando comparadas às demais, o que, associado à disponibilidade de luz em toda a coluna d'água e às menores concentrações de oxigênio dissolvido observadas nessas estações, sugere uma redução do nitrato à amônia. A disponibilização de amônia a partir do nitrato não significa, necessariamente, um aumento na produtividade primária nos reservatórios, pois na maioria dos lagos tropicais parece não haver relação significativa entre esta e a concentração de amônia, mas existe correlação entre a amônia e a estratificação térmica, ocorrendo baixas concentrações no epilímnio e altas no hipolímnio, com o consumo do íon amônio pelo fitoplâncton no epilímnio e altas taxas de amonificação de nitrato no hipolímnio (ESTEVES, 1988).

O íon amônio é muito importante para os organismos produtores e sua absorção é energeticamente mais viável, pois não há necessidade de redução no interior da célula, como ocorre com o nitrato. Mas, quando a amônia é encontrada em baixas concentrações, verifica-

se o aproveitamento do nitrato, através da sua redução a amônia pela enzima nitrato-reductase, enquanto que a assimilação do nitrito pelo fitoplâncton é muito baixa e só ocorre na ausência de amônia e nitrato.

A amônia está disponível no meio aquático em duas formas NH_4^+ (ion amônio) e NH_4OH (hidróxido de amônio), sendo a proporção entre estas uma função dos valores de pH do meio. Segundo GOLDMAN & HORNE (1983) verifica-se que a razão entre o íon amônio e o hidróxido de amônio está em 3000:1, em pH 6,0; em 300:1 em pH 7,0; e em 30:1 em pH 8,0; com as concentrações tendendo a valores iguais em pH 9,5. Contudo, em corpos d'água que apresentam valores de pH acima deste, associado a altas concentrações de amônia, podem ocorrer concentrações tóxicas de NH_4OH (HUTCHINSON, 1957). Para os quatro reservatórios analisados verificou-se que os valores de pH foram em média de 6,9 ($\pm 0,2$) nas duas primeiras coletas, e após o início das chuvas houve tamponamento da água, que permaneceu assim durante as outras campanhas, com valores médios de pH de 8,3 ($\pm 0,2$) em março/00; de 7,7 ($\pm 0,5$) em junho/00 e de 8,0 ($\pm 0,3$) em setembro/00. Os baixos desvios-padrão dos valores médios de pH mostram que não houve variação desse parâmetro entre as estações distribuídas nos quatro reservatórios, mas a variação temporal observada pode ter promovido um aumento dos percentuais de hidróxido de amônio nos reservatórios.

Reforçando a idéia de amonificação do nitrato, verificou-se maior concentração de amônia nas estações da porção oeste do reservatório de PA IV, mas, em geral, as concentrações de amônia foram muito baixas e apresentaram um moderado aumento da concentração ao longo da cascata de reservatórios. A amonificação, ou seja, a formação de amônia durante o processo de decomposição aeróbia ou anaeróbia da matéria orgânica dissolvida e particulada, por organismos heterotróficos, é a principal fonte desse composto em cursos d'água. Uma outra fonte de amônia para lagos e reservatórios é a excreção destas por animais aquáticos, entretanto, comparando os dois processos nota-se que a excreção é quantitativamente insignificante como fonte de amônia (ESTEVES, 1988).

Em alguns cursos d'água a presença de nitrogênio e seus compostos em baixas concentrações são o fator limitante no crescimento fitoplanctônico, contudo, verifica-se que usualmente essa limitação ocorre pela indisponibilidade de fósforo. Apesar da necessidade de pequenas quantidades desse nutriente para o crescimento, baixas concentrações de fósforo em ambientes aquáticos devem-se principalmente a: 1) inexistência deste como gás (como o nitrogênio), que permitiria sua fixação mais facilmente; 2) sua alta reatividade com uma grande variedade de solos, resultando na rápida remoção desse composto do sistema por processos físico-químicos; e 3) como os compostos fosfatados são retidos pelas partículas do

solo, diferentemente do nitrogênio, baixas concentrações são transportadas aos cursos d'água através do "runoff" (GOLDMAN & HORNE, 1983).

Além das fontes naturais, o aporte de fósforo aos cursos d'água pode se dar por fontes artificiais como esgotos domésticos e industriais, fertilizantes agrícolas e materiais particulados de origem industrial contidos na atmosfera (BLOESCH *et al.*, 1977; GOLDMAN & HORNE, 1983; KENNEDY & WALKER, 1990). Logo, devido à limitação natural de compostos fosfatados em cursos d'água, a presença em grande quantidade desse nutriente leva a inferir que isto se deve às ações antrópicas na bacia. A Resolução CONAMA 20/1986, que trata da classificação dos corpos d'água em função dos diversos usos (abastecimento, irrigação, lazer, etc.), estabelece um limite de 25 µg/l de fósforo total, o que mostra a importância da determinação deste parâmetro.

No caso dos reservatórios do sub-médio São Francisco, as concentrações de fósforo total foram altas e estiveram acima do recomendado pela Resolução CONAMA, em quase todas as coletas realizadas nos reservatórios de Moxotó e PA I-II-III (exceto em dezembro/99). Enquanto para os reservatórios de PA IV e Itaparica, as concentrações estiveram abaixo de 20 µg/l apenas em dezembro/99; foram superiores a 25 µg/l na maioria das estações desses reservatórios, nas demais coletas.

Segundo ESTEVES (1988), toda forma de fósforo presente em águas naturais, quer na forma iônica quer na forma complexada, encontra-se na forma de fosfato e, do ponto de vista limnológico, todas as formas de fosfato são importantes. No entanto, o ortofosfato (P-orto) assume maior relevância por ser a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos. Na região semi-árida do Nordeste do Brasil, devido às altas temperaturas, o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente fazendo com que o P-orto seja ainda mais rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa.

Comparando-se com os valores obtidos por RODGHER (2001) nos reservatórios em cascata do Tietê (SP), verificou-se que as concentrações de fósforo total nos reservatórios de Moxotó e Itaparica foram semelhantes aos obtidos pela autora nos reservatórios de Bariri e Ibitinga, ambos mesotróficos, com concentrações entre 9,0 e 113 µg/l. Para os reservatórios de PA IV e PA I-II-III, as concentrações de fósforo total foram semelhantes às aquelas encontrados por RODGHER (2001) no reservatório de Promissão, um reservatório oligotrófico, onde foram obtidas concentrações entre 8,0 e 60,0 µg/l.

O aumento das concentrações de fósforo nos primeiros reservatórios que compõem a cascata do sub-médio São Francisco, durante o período de chuvas, coincide com o aumento das concentrações de material em suspensão no sistema. Segundo GOLDMAN & HORNE (1983), em regiões semi-áridas, a composição do solo e o baixo índice de vegetação são

fatores que propiciam uma maior taxa de transporte de fósforo para os cursos d'água. Esse efeito das chuvas na variação da concentração de fósforo total nos reservatórios de Itaparica e Moxotó sugere um aporte desse nutriente a partir de fertilizantes aplicados às áreas irrigadas instalados próximas às margens dos reservatórios. Essas altas concentrações podem ainda estar associadas ao lançamento dos esgotos das cidades de Jatobá (jusante da estação SF10) e Glória (próxima à estação SF14), além da contribuição das cargas drenadas na bacia do rio Moxotó.

Quanto às concentrações de ortofosfato nos sistemas avaliados, estas não acompanharam a variação das concentrações de fósforo total e representaram cerca de 5% dessas concentrações em setembro/99 e março/00; 29% em dezembro/99, 13% em junho/00 e 10% em setembro/00.

Para explicar a inexistência de um padrão linear de variação espacial do fosfato nos reservatórios do sub-médio São Francisco, deve-se pensar na complexa estrutura de distribuição de substâncias não-conservativas (como o fósforo) em modelos de decaimento, para fluxos com variadas concentrações. Nesta situação, segundo KENNEDY & WALKER (1990), considerando-se inicialmente que a vazão e a concentração não variam no tempo, pode-se prever uma taxa de decaimento constante e um regime de fluxo não-dispersivo, ao contrário, quando essa concentração não é constante, verifica-se uma taxa de decaimento não uniforme (Figura 96). Quando se associa a essa análise outro componente, a variação da vazão, verifica-se um aumento na complexidade de modelagem e maior distanciamento da previsão de decaimento linear (Figura 97). Uma variabilidade espacial não linear também foi observada por MARICATO (1994), quando pesquisou as características físicas e químicas em estações nos rios Taquari e Paranapanema; e próximo à barragem do reservatório de Jurumirim (SP).

Em lagos e reservatórios, a disponibilidade de nutrientes está diretamente relacionada à biomassa do sistema, em particular a comunidade fitoplanctônica, visto que esta é a principal fonte de energia da cadeia alimentar. A determinação da biomassa em lagos e reservatórios pode ser feita a partir de vários métodos, dentre estes o mais utilizado em estudos limnológicos é a análise da concentração de pigmentos (clorofila e feopigmentos). A avaliação da variabilidade sazonal da biomassa não permite a determinação da produtividade primária dos sistemas, devido às variações de curto prazo, tais como: o curto ciclo de vida da comunidade fitoplanctônica, as perdas por herbivoria e a sedimentação; que mascaram a produtividade real; mas permite determinar o grau de comprometimento do sistema em função da ação antrópica na bacia. Para tanto, os valores de concentração de clorofila tem

sendo utilizados na determinação do estado trófico de lagos e reservatórios, permitindo comparações dos níveis de preservação em diferentes regiões.

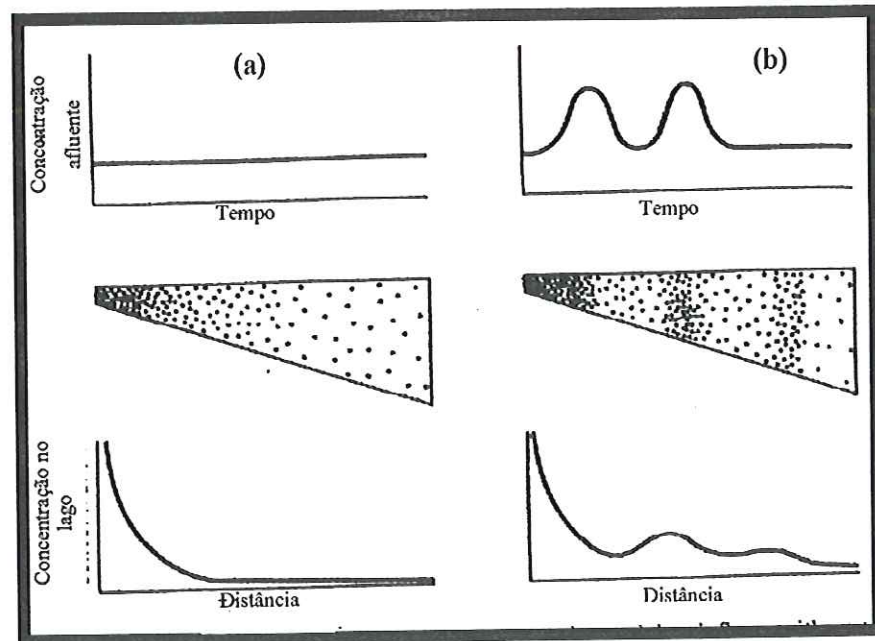


FIGURA 96 – Distribuição de material ao longo de um reservatório não estratificado, recebendo um fluxo com (a) concentração constante e (b) mesmo fluxo com concentrações variáveis (Modificado de KENNEDY & WALKER, 1990).

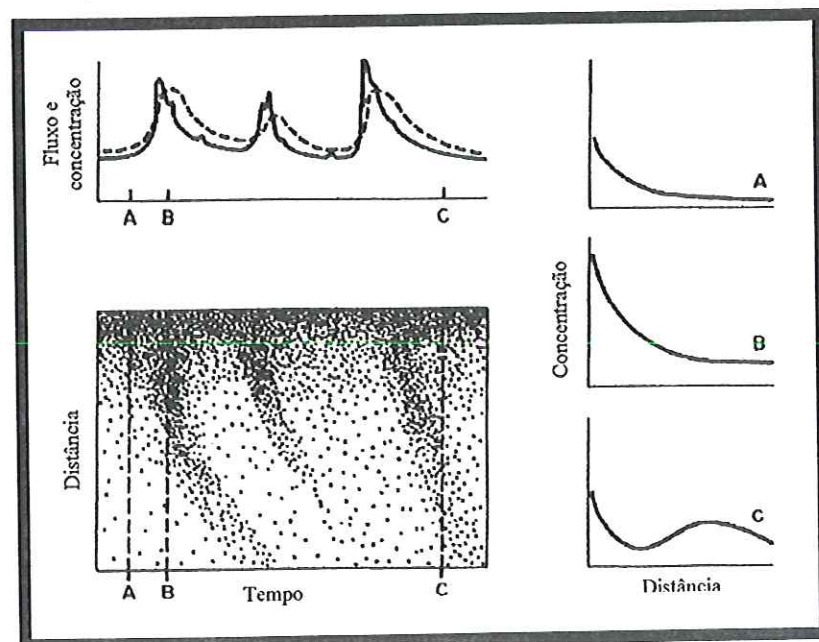


FIGURA 97 – Efeitos combinados de mudanças de concentração e fluxo afluentes na distribuição temporal e espacial de materiais em reservatórios (Modificado de KENNEDY & WALKER, 1990).

Nas quatro primeiras coletas de campo, os valores de clorofila observados nos reservatórios analisados não apresentaram grandes variações espaciais ou temporais ($3,85 \mu\text{g/l} \pm 0,86$), excetuando-se os valores observados no rio Moxotó (SF12), que apresentou concentrações de clorofila em média 8 vezes superiores àquelas obtidas nas demais estações. Porém, na última coleta realizada (setembro/00) as concentrações estiveram, em média, 10 vezes superiores às obtidas nas coletas anteriores (exceto no rio Moxotó, onde os valores não apresentaram grandes variações durante todo o período do estudo). O aumento na biomassa fitoplanctônica observada em setembro/00 (SEVERI (2000), comunicação pessoal) pode ter sido resultante do enriquecimento dos reservatórios, visto que altas concentrações de fósforo foram observadas a partir de março.

A concentração de clorofila foi baixa em todos os reservatórios nas coletas de setembro/99, dezembro/99, março/00 e junho/00 quando comparadas com as observadas, por exemplo, por ZANATA (1999) no reservatório de Salto Grande (SP), um ambiente em acelerado processo de eutrofização, com entrada de altas cargas de nutrientes e material em suspensão, onde foram encontradas concentrações de clorofila entre 1,7 e 41,6 $\mu\text{g/l}$ (7,0 $\mu\text{g/l}$ em média) no período de chuvas e entre 1,7 e 23,4 $\mu\text{g/l}$ (5,0 $\mu\text{g/l}$ em média) no período seco. Estiveram abaixo também das concentrações obtidas por MARQUISÁ (1998) no reservatório do Lobo (SP), um ambiente oligotrófico, com concentrações de clorofila variando entre 5,1 e 13,8 $\mu\text{g/l}$.

6.1.1 Estado Trófico

A classificação de estado trófico é uma ferramenta usual para o gerenciamento de reservatórios e sua determinação é extremamente simples, consistindo na aplicação de relações empíricas, baseadas em parâmetros como: produtividade primária, biomassa de algas, transparência da água ou concentração de nutrientes (LIND *et al.*, 1993). Contudo, segundo os autores, o estado trófico de reservatórios pode variar com o método aplicado, bem como com as variáveis selecionadas para descrevê-lo. Com isso, para o mesmo conjunto de dados podem ser encontradas diferentes classificações, as quais podem ser resultantes das imprecisas relações entre a concentração de nutrientes disponível e a produção primária em

reservatórios, ou ainda da alta heterogeneidade espacial e temporal dos fatores ambientais que controlam a produtividade primária.

Segundo TOLEDO *et al.*(1983), a utilização de nutrientes por um organismo obedece à “Lei do Mínimo”, estabelecida por Liebig, na qual o crescimento é limitado pela substância disponível nas quantidades mínimas relativas às suas necessidades para crescimento e reprodução. Aplicando ao fitoplâncton, a assimilação de nitrogênio e fósforo analisada por CHIAUDANI & VIRGLIS (1974) mostrou que, para uma razão N:P inferior a 5:1 o nitrogênio é limitante, enquanto para razões superiores a 10:1 a limitação se dá pelo fósforo. Segundo STRASKRABA *et al.*(1993), grande parte dos estudos citam que, para reservatórios de regiões semi-áridas, o nutriente limitante é o nitrogênio, contudo, não é aceitável a simples transferência de procedimentos empíricos de uma situação para outra, sendo de fundamental importância a determinação local dos parâmetros relevantes.

Para o reservatório de Paulo Afonso I-II-III, observou-se uma limitação pela concentração de fósforo durante todo o período de estudo. Essa limitação pelo fósforo foi percebida nos reservatórios de Itaparica, Moxotó e Paulo Afonso IV a partir da segunda coleta, enquanto na primeira coleta o nitrogênio foi o fator limitante nesses reservatórios. Nos casos de sistemas com a limitação de crescimento fitoplanctônico pelo fósforo, verifica-se que uma maior concentração desse nutriente irá promover o desenvolvimento de maior biomassa nesses sistemas, aumentando o grau de trofia dos reservatórios.

Uma maior concentração de fósforo total foi observada nos reservatórios em cascata do São Francisco em setembro/00, interferindo na classificação dos reservatórios quanto ao grau de trofia. Além disso, o aumento da concentração de fósforo não implica somente no aumento da produção fitoplanctônica pois, conforme comentado por TUNDISI (1988), ocorrem também mudanças qualitativas nessa comunidade, com o surgimento de algumas espécies típicas de lagos eutróficos (principalmente as diatomáceas e cianofíceas) e redução no número de indivíduos ou mesmo desaparecimento de outras espécies. Isso foi verificado por ESPÍNDOLA (1994), em Barra Bonita, no rio Tietê, em relação à substituição de espécies do gênero *Notodiatomus* e por ROCHA *et al.* (1997) em seu estudo das relações entre o estado trófico e a estrutura da comunidade fitoplanctônica e zooplanctônica em lagos e reservatórios do Brasil.

Na determinação do grau de trofia de reservatórios em regiões tropicais são necessárias modificações na modelagem do processo de eutrofização, visando representar as altas temperaturas e tipos de solo diferenciados. Neste sentido, TOLEDO *et al.* (1983) propuseram modificações nos valores limites adotados para reservatórios de regiões temperadas e recalcularam o índice de Carlson (Índice de Estado Trófico), tendo aplicado os

resultados na determinação do estado trófico (ET) de alguns reservatórios na região sudeste do Brasil. Os autores salientam que a classificação feita a partir da profundidade de Secchi deve ser vista apenas como referência, sendo necessário o uso de ao menos outro parâmetro para validar essa classificação.

Os resultados dos cálculos do Índice de Estado Trófico médio, obtidos para os reservatórios do sub-médio São Francisco, mostram que no período seco e início das chuvas (setembro e dezembro/99) todos os reservatórios foram classificados como oligotróficos. Mas, com a continuação das chuvas e o carreamento de material em suspensão e nutrientes para os reservatórios de Itaparica e Moxotó, em março/00, verificou-se um aumento nos índices calculados a partir dos dados de profundidade de Secchi e carga de fósforo total, levando a um maior índice médio de estado trófico (IET médio), sendo os reservatórios classificados como meso-oligotróficos.

Na coleta de junho/00, com o final das chuvas, os reservatórios ainda apresentaram altas concentrações de fósforo e baixas profundidades de Secchi, mantendo-se a classificação de meso-oligotróficos para os reservatórios de Itaparica e Moxotó, agora com inclusão dos reservatórios de PA I-II-III e PA-IV nesta classe. Finalmente, na última coleta (setembro/00), apesar dos menores valores de fósforo total e turbidez da água, a influência da maior biomassa (maiores concentrações de clorofila) nos reservatórios elevou o índice em algumas estações, mas, em geral, houve uma tendência de retorno ao estado inicial, com a maior parte das estações classificadas como oligotróficas.

Os dados obtidos corroboram com aqueles observados por ZANATA (1999) no reservatório de Salto Grande, onde a autora verificou um maior grau de trofia do reservatório no período de chuvas, quando foi classificado como eutrófico, e um menor grau de trofia no período seco, quando este apresentou um gradiente longitudinal no sentido rio-barragem, variando de eutrófico a oligotrófico.

Entre todos os pontos amostrados, observou-se uma maior eutrofização no rio Moxotó, classificado neste estudo como meso-eutrófico. Isso foi evidenciado pelas altas cargas de nutrientes obtidas e pelo *bloom* de *Pistia*, observada em março/00. O aumento da eutrofização em lagos e reservatórios tem sido discutido por vários setores, principalmente devido à proliferação de cianobactérias em reservatórios usados para abastecimento. Essas algas são responsáveis pela formação de espumas, pela liberação de toxinas que podem causar a morte do gado e outros animais, pelo aumento de alergias e distúrbios gastrointestinais em humanos (UNEP-IETC, 2001). Ainda, como bioproduto das explosões de algas verifica-se a produção de grandes concentrações de carbono orgânico dissolvido

(COD), que quando submetidos à cloração, em estações de tratamento de água, podem formar trihalometanos carcinogênicos e mutagênicos.

6.2 Deposição de material em suspensão nos reservatórios do Sub-médio rio São Francisco: quantificação e implicações.

Os dados obtidos para as câmaras de sedimentação instaladas na zona de desembocadura do rio São Francisco no reservatório de Itaparica (SF01); no rio Pajeú (SF02), a jusante (SF09) e montante (SF10) da barragem de Itaparica; no rio Moxotó (SF12) e próximo às barragens de Moxotó (SF15), PA I-II-III (SF23) e PA IV (SF18), mostram a variação sazonal das taxas de deposição de material em suspensão, cujos maiores valores ocorreram no período de chuvas. Além da variação sazonal observou-se um gradiente de deposição do material em suspensão ao longo do reservatório de Itaparica, com maiores taxas no início do reservatório e menores próximo à barragem (Figura 98).

Esse gradiente ocorreu devido à redução da capacidade de transporte do rio. Isso é verificado quando a turbulência e a velocidade da água começam a diminuir na sua desembocadura no reservatório, havendo a formação de um delta com altas taxas de deposição de material em suspensão. Em geral, as partículas maiores sedimentam na região do delta, enquanto as partículas mais leves e especialmente as argilas vão sendo depositadas lentamente ou transportadas até seguirem com o fluxo rio abaixo. Algumas argilas, como as do grupo montmorillonita podem reagir com sais dissolvidos, floculando. Por outro lado, as argilas caolínicas podem permanecer suspensas por longos períodos (ACKERMAN *et al.*, 1973).

A análise das frações que compõem o material depositado nas armadilhas instaladas em Itaparica, em dezembro/99, corrobora com essa idéia, visto que a carga de material inorgânico sedimentado na primeira armadilha ($9,54 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{dia}$) é muito superior à taxa de deposição de material inorgânico na barragem ($0,02 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{dia}$).

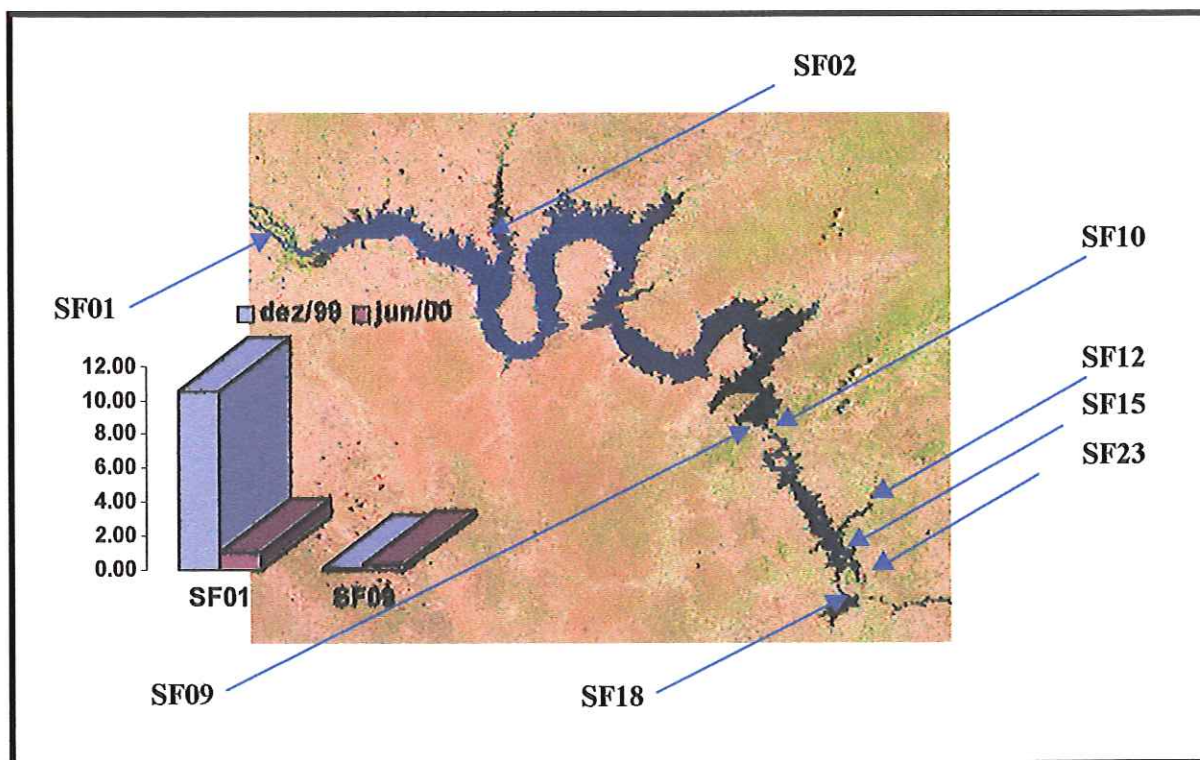


FIGURA 98 Variação das taxas de deposição ($\text{mg}/\text{cm}^2.\text{dia}$) ao longo do reservatório de Itaparica em dezembro/99 e junho/00.

Verificou-se, ainda, a partir do experimento isolado instalado no reservatório de Itaparica, em março/01, que o material em suspensão depositado na segunda (A2) e terceira (A3) armadilhas corresponderam a 5,7% e 0,36% do obtido na primeira (A1), respectivamente (Tabela 35). Logo, a área crítica para assoreamento estaria inserida nos 16,4 km da porção inicial do reservatório de Itaparica, entre a armadilha A1 (instalada na estação SF01) e a armadilha A2. Este fato também foi observado por LEITE (1998) no reservatório de Salto Grande (SP), onde o material depositado na segunda armadilha (160,1 $\text{mg}/\text{l}.\text{dia}$) correspondia a 4,8% dos sólidos sedimentados na entrada do rio Atibaia, onde o autor tinha instalado a primeira armadilha.

Muitos dos mecanismos citados por HILTON *et al.* (1986, p.10) podem ser associados aos resultados obtidos nos reservatórios do sub-médio São Francisco e, dentre esses, o mecanismo de formação de delta foi bem representado nos dados de deposição em Itaparica, de modo semelhante ao observado pelo autor no lago Esthwaite Water, onde a

pluma formada na zona riverina do lago foi responsável por um incremento localizado da taxa de deposição.

Ainda em Itaparica, após a grande deposição que ocorreu no início do reservatório, verificou-se que as taxas variaram levemente a partir da armadilha A3 até a barragem, onde as cargas de material em suspensão observadas devem-se à associação das entradas difusas e da carga remanescente do rio São Francisco.

A análise granulométrica do material sedimentado na armadilha A1 (março/01), conforme adotado pelo Massachusetts Institute of Technology – MIT (CARVALHO, 1997), mostrou que o material em suspensão tem em sua composição 10,8% de argila (diâmetro até 5,0 μm); 59% de silte ($5,0 < \phi < 60,0 \mu\text{m}$); e 28,2% de areia ($60,0 < \phi < 200 \mu\text{m}$). Pode-se inferir então que a fração do material em suspensão inorgânico, transportado pelo rio São Francisco até o reservatório de Itaparica, que consegue chegar a barragem é composta essencialmente de argilas.

MARICATO (1994), determinando a taxa de sedimentação no reservatório de Jurumirim (SP), obteve valores máximos de sedimentação de 9,0 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$ nas câmaras mais profundas do braço Paranapanema e 1,6 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$ próximo à barragem, enquanto MARQUISÁ (1998) verificou máximos de 1,8 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$ na barragem do reservatório do Broa (SP) e 6,2 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$ na barragem de Barra Bonita (SP) e LEITE (1998) encontrou deposições de até 93,1 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$ na desembocadura do rio Atibaia no reservatório de Salto Grande e 2,2 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$ próximo à barragem. Verifica-se que as deposições máximas obtidas por esses autores nas estações próximas as barragens são superiores às observadas na barragem de Itaparica (0,36 $\text{mg}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$) durante os três experimentos, apesar da semelhança entre o alto valor obtido por LEITE (1998) na entrada do rio Atibaia e a taxa de sedimentação verificada na estação SF01 em março/01. Contudo, essa menor deposição na barragem de Itaparica pode ser justificada pelo maior comprimento desse reservatório (144,7 km) comparado aos reservatórios de Barra Bonita (29,0 km), Salto Grande (17,0 km); Broa (8,0 km) e Jurumirim (30,7 km).

A previsão de vida útil de reservatórios a partir de dados de deposição é bastante contraditória, como por exemplo no trabalho de LEITE (1998), no reservatório de Salto Grande, onde o autor determinou inicialmente a taxa de deposição média anual em cada estação, obtendo uma taxa de 72,8 $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ na estação 1 e 5,5 $\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ na estação próxima a barragem, mas, como a maior taxa ocorre em uma estação de menor profundidade o valor obtido para a vida útil do reservatório foi de 31, 25 anos na estação 1 e 1688,3 anos na estação próxima à barragem. Isso mostra a dificuldade em determinar com precisão o tempo disponível para que sejam feitas intervenções que contenham o processo

sedimentológico. Neste caso o ideal seria o adotado por ARAÚJO (2001), que em seu trabalho fez uma comparação entre levantamentos batimétricos periódicos no reservatório de Apipucos (PE), obtendo um mapa síntese do processo sedimentológico no reservatório que permitiu verificar as áreas de assoreamento e erosão no fundo. Nesse estudo, o autor adotou uma relação de ponto de sondagem batimétrica por área de espelho líquido de 1/116 m² na área 1 (6,25 ha) e 1/360 m² na área 2 (9,6 ha), num total de 846 pontos de sondagem em uma área superficial de 15,85 ha. Porém para grandes reservatórios, como Itaparica (área superficial de 828 km²) e Moxotó (98 km²), a implementação de levantamentos batimétricos desse porte torna-se inviável, pelo grande número de estações de amostragem necessárias.

Em relação à composição do material em suspensão depositado na barragem de Itaparica, os percentuais das frações orgânicas corresponderam a 74,6% do total em dezembro/99 e 25,2% em junho/00. Isso pode ser explicado pela ação das primeiras chuvas que provocam o arraste das partículas desagregadas da camada superior do solo, onde são encontradas as maiores concentrações dos compostos orgânicos. Contudo, com a continuidade do período chuvoso verifica-se o maior aporte de matéria inorgânica alóctone para os reservatórios, diminuindo a fração de material orgânico depositado. Isso foi observado em março/01, onde a fração orgânica foi semelhante ao observado em junho/00 (seca).

Para o reservatório de Moxotó, as maiores deposições ocorreram no rio Moxotó, sendo verificado na estação SF12, no período de chuvas, uma deposição 3,9 vezes maior que aquela observada na estação SF10 e 7,0 vezes maior que na estação SF15, enquanto no período de seca esses valores foram de 10,1 e 7,4 vezes, respectivamente. Quanto às frações orgânicas e inorgânicas no material em suspensão depositado nas armadilhas, verificou-se que a predominância foi de material inorgânico, correspondendo a 81,5% em média do material depositado. A razão entre as frações orgânica e inorgânica nas armadilhas instaladas em Moxotó apresentou pequena variação espacial e temporal, representando cerca de $\pm 4,9\%$ da média nos dois períodos analisados.

Comparando a deposição na barragem de Moxotó com as de Paulo Afonso IV e Paulo Afonso I-II-III, observou-se que nesses últimos reservatórios as taxas de sedimentação foram o dobro da obtida na barragem de Moxotó em dezembro/99, enquanto que no período seco, a sedimentação ocorrida nas armadilhas instaladas nos dois primeiros reservatórios foi semelhante. Em relação a Itaparica, foram obtidas maiores deposições nas barragens dos reservatórios de jusante em dezembro e valores menores em junho/00.

Em geral, as frações inorgânicas tiveram maior contribuição na composição do material em suspensão depositado, representando em média 69% do material sedimentado nas armadilhas instaladas no reservatório de Itaparica; 78,9% em Moxotó; 81% em PA IV; e 78% em PA I-II-III, para os experimentos de dezembro/99 e junho/00. Enquanto no reservatório eutrófico de Salto Grande, LEITE (1998) verificou que a fração inorgânica foi predominante apenas no período de chuvas e representou em média 83% do total depositado, mas no período seco o autor observou um aumento na fração orgânica, com os valores representando até 52% do material depositado em algumas estações. Ainda LEITE, verificou que a maior deposição de matéria orgânica observada em Salto Grande teve como causa as frequentes florações de algas que ocorreram nesse período do ano. Para a estação SF09 (barragem de Itaparica) não foram observadas florações de algas que justifiquem a maior contribuição de material orgânico nas armadilhas instaladas em dezembro/99.

Comportamento semelhante ao observado nos reservatórios do São Francisco ocorreu no reservatório de Barra Bonita (SP), onde MARQUISÁ (1998) obteve, entre junho/95 e dezembro/96, percentuais de fração inorgânica no material depositado nas armadilhas variando entre 76,7 a 85,4%, contudo, no reservatório do Lobo (BROA) o autor obteve em média 57,5 % de material inorgânico e 42,5% de material orgânico em uma armadilha instalada próximo à barragem. Segundo esse autor, o maior aporte de material inorgânico no reservatório de Barra Bonita está relacionado à grande densidade populacional e uso do solo da bacia e a entrada desse material alóctone no reservatório é determinante no processo de transporte do fósforo dentro do sistema, devido à facilidade de adsorção desse nutriente às partículas inorgânicas. O material em suspensão que é retirado do sistema e carregado para os sedimentos torna-se uma fonte potencial de nutrientes, os quais podem ser reincorporados à coluna d'água e voltar ao processo produtivo em lagos e reservatórios.

Para os quatro reservatórios analisados, a deposição de nitrogênio orgânico total nas armadilhas seguiu a variação temporal observada nas concentrações desse nutriente na coluna d'água. Apesar dos maiores valores de deposição terem sido observados na estação seca (junho/00) em relação ao início da estação chuvosa (dezembro/99), não se pode inferir que isso ocorre durante toda a estação de chuvas, visto que para o reservatório de Moxotó por exemplo, as concentrações de nitrogênio orgânico na coluna d'água também foram menores em dezembro/99 que em junho/00, mas as concentrações obtidas em junho/00 (seca) foram inferiores àsquelas do mês com maior precipitação (março/00).

Em relação à variação espacial do nitrogênio orgânico nas armadilhas, no período seco ocorreu uma maior deposição nos rios Pajeú (SF02) e Moxotó (SF12); enquanto no período de chuvas verificou-se uma maior deposição na estação SF01 (início do reservatório

de Itaparica). A pequena diferença (10%) observada entre as taxas de deposição das armadilhas instaladas no reservatório de Itaparica e a análise da variação das concentrações de nitrogênio orgânico na coluna d'água permitem inferir que o aporte desse nutriente através do rio São Francisco e seu transporte ao longo do reservatório não é o fator determinante da sua disponibilidade nesse sistema.

As deposições de fósforo total nos reservatórios do sub-médio São Francisco foram superiores às reportadas por CHALAR & TUNDISI (2001) no reservatório do Lobo (Broa), um reservatório oligotrófico que está inserido em uma área de proteção ambiental, onde foram obtidas taxas médias de $0,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{dia}$. Segundo os autores, a principal fonte desse nutriente no reservatório do Lobo é o aporte de material orgânico proveniente das áreas alagadas. Para os reservatórios analisados nessa pesquisa pode-se deduzir que a principal fonte de fósforo no período de chuvas é o rio São Francisco; e no período de seca, as principais fontes são as áreas sob influência dos reservatórios na desembocadura dos rios Pajeú e Moxotó, podendo estar relacionado a mineralização de matéria orgânica na coluna d'água.

Como observado para o nitrogênio orgânico em dezembro/99, também foi constatada a influência da precipitação no carreamento de fósforo para a cascata de reservatórios do sub-médio São Francisco, quando ocorreu uma maior deposição desse nutriente na armadilha instalada na estação SF01, em relação às demais armadilhas. Nesse período, no reservatório de Itaparica, a deposição de fósforo total no início do reservatório foi 8,4 vezes maior que na barragem.

6.3 Utilização do sensoriamento remoto nos estudos limnológicos: problemas e perspectivas.

A incorporação de dados remotos em estudos ambientais torna-se cada vez mais freqüente, impulsionada pela busca de respostas não pontuais como as advindas das análises ambientais tradicionais. O desenvolvimento de novas e avançadas tecnologias na área de sensoriamento remoto tem permitido o mapeamento mais detalhado de diversas regiões, com resoluções espaciais de até 1 m^2 (por exemplo, satélites DK-1, IKONOS e EROS), possibilitando inclusive o controle no movimento de pessoas. Para o gerenciamento ambiental de áreas de difícil acesso e na tentativa de obter-se respostas em curto prazo de interferências antrópicas no meio ambiente, a disponibilidade desta ferramenta de aquisição de dados torna-se fascinante. Contudo, verifica-se ainda um alto custo na aquisição de

imagens de satélite, com valores de U\$ 30,00 a 40,00 por km² para imagens com alta resolução espacial (IKONOS e DK-1, respectivamente), enquanto para uma imagem Landsat, que cobre uma área de 185 x 185 km e com resolução espacial de 30 m (bandas 1 a 5) o custo fica em torno de U\$ 1000,00 (www.engesat.com.br e www.geodesign.com.br em 17.05.2002).

A utilização de imagens de satélites está associada, ainda, a um outro condicionante, o índice de cobertura de nuvens da cena no momento da passagem do satélite. Para a região do sub-médio São Francisco, observou-se que cerca de 90% das imagens obtidas pelos satélites Landsat 5 e 7 próximas às datas de coleta (Tabela 37) apresentaram coberturas superiores a 10% na área de interesse. NOVO & TUNDISI (1994) citaram, também, a limitação no uso de dados espectrais na região amazônica em função da alta cobertura de nuvens durante o período de chuvas, restringindo a utilização de imagens de satélite apenas ao período seco. Para análise de propriedades físicas de sistemas aquáticos, determinação de uso e ocupação do solo, entre outros, essa deficiência de dados orbitais, nas regiões em que a cobertura de nuvens é alta durante a maior parte do ano, pode ser suprida por dados coletados por radar, tendo em vista que as microondas (0,1 – 100 cm) atravessam as nuvens, diferentemente dos sensores óticos que trabalham no intervalo espectral do visível e infravermelho, entretanto, esta faixa do espectro é refletida pela água, impossibilitando o uso destes dados para análise da qualidade da água.

A alta cobertura de nuvens reduziu sensivelmente a disponibilidade de dados espectrais a serem utilizados no sub-médio São Francisco e entre as imagens adquiridas verificou-se que os resultados obtidos para o coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os dados espectrais e os valores de campo mostraram-se satisfatórios apenas para a imagem obtida em janeiro/00 e as concentrações medidas nas amostras coletadas em dezembro/99 e março/00. A ausência de correlação significativa entre as reflectâncias obtidos na imagem e dados de campo obtidos em setembro/99 ($r_{\text{máximo}} = -0,347$ e $p > 0,05$ em todas as correlações) e entre a imagem de maio/00 e os dados de campo obtidos em junho/00 ($r_{\text{máximo}} = -0,438$ e $p > 0,05$ em todas as correlações), respectivamente, podem ter como causa a baixa concentração de material em suspensão observada durante essas coletas.

Em relação à imagem de janeiro, apesar da diferença de tempo entre os dois conjuntos de dados analisados, foram verificados maiores valores de r para as concentrações de material em suspensão nas amostras obtidas em março/00, sendo esses superiores aos de dezembro/99 em até 280% para os dados de superfície e até 80% para as concentrações medidas no meio da coluna d'água. A maior correlação observada entre eles pode ser explicada através da análise de todos os dados limnológicos e climatológicos discutidos

anteriormente, permitindo verificar que o aporte de material em suspensão aos reservatórios analisados foi influenciado pela precipitação ocorrida no período de dezembro/99 a março/00, com um incremento na concentração de material em suspensão nos reservatórios ao longo do período de chuvas. Deste modo, pode-se inferir que a tendência de distribuição de material em suspensão nos reservatórios, registrada na passagem do Landsat na área em janeiro manteve-se durante o resto do período chuvoso.

Altas correlações com a banda 3 (530 – 690 nm), como as observadas nos reservatórios do São Francisco, também foram obtidas em outros ambientes por vários autores, como por exemplo no trabalho de NELLIS *et al.* (1998), que usando um modelo desenvolvido a partir das interações da luz com o material em suspensão presente na camada superficial da água, concluíram que as bandas 3 do MSS-Landsat e do TM-Landsat apresentaram as maiores correlações para o reservatório de Tuttle Creek (USA).

Contudo, NOVO *et al.* (1989), avaliando o efeito do tipo de sedimento na relação entre a concentração de material em suspensão e dados de sensoriamento remoto, verificaram que diferenças na granulometria e na composição das partículas interferem na região do espectro que responderá às variações das concentrações. Também SOUZA *et al.* (1991) verificaram que as variações nos comprimentos de onda refletidos pela água e em sua classificação colorimétrica estão associadas às concentrações e ao tipo de sedimento (mineralogia), tendo verificado que ocorreram picos de máxima reflectância diferenciados, para as mesmas concentrações de dois tipos de solo, o podzólico vermelho-amarelo (PV) e a terra roxa estruturada (TE). Esse deslocamento de resposta na faixa espectral, em função do tipo de sedimento, poderia explicar a alta correlação também verificada entre a reflectância na região do infravermelho próximo (banda 4) e as concentrações de material em suspensão nos reservatórios do São Francisco.

Os valores máximos de $r = 0,77$ (banda 4 e dados de superfície) e $r = 0,88$ (banda 4 e dados a meia profundidade), determinados para os reservatórios do São Francisco, foram semelhantes aos determinados por BRAGA *et al.* (1993), quando analisaram a qualidade da água na Baía da Guanabara (RJ), onde obtiveram um valor de $r = 0,86$ entre dados espectrais da banda 4 do TM Landsat e as concentrações de material em suspensão, em amostras coletadas a 0,50 m de profundidade.

Os mapas gerados a partir das regressões lineares, obtidas para os parâmetros que tiveram maiores valores de r , corroboram com a idéia da formação de um delta na entrada do rio São Francisco no reservatório de Itaparica e permitem a visualização da distribuição do material em suspensão ao longo dos reservatórios. Neste sentido, verificou-se uma maior concentração de material em suspensão no terço superior do reservatório de Itaparica,

decrecendo no sentido rio-barragem e apresentando um leve aumento após a passagem pelas turbinas da usina de Itaparica, provavelmente devido ao turbilhonamento e ressuspensão do material de fundo que ocorre no local de descarga da água turbinada.

As diferenças observadas entre as concentrações na superfície e meio da coluna d'água (coleta de março/00), determinadas pelo modelo gerado com as reflectâncias na região do infravermelho próximo da imagem de janeiro/00 (Figura 86), permitem inferir que ocorreram correntes de densidade no trecho mais a montante do reservatório de Itaparica, a partir da desembocadura do rio São Francisco. Segundo ACKERMAN *et al.* (1973), esse comportamento é causado pelas diferenças de temperatura ou concentração de material em suspensão (ou, ainda, a combinação desses) entre o fluxo afluyente e a água do reservatório, ocorrendo, portanto, uma diferença de densidade entre os dois. Como resultado, a água que entra no reservatório não se mistura imediatamente, podendo mover-se sobre a água existente no reservatório (*overflow*), sob a água (*underflow*) ou ainda entre as camadas de água (*interflow*). Em razão das diferenças nos reservatórios do São Francisco terem sido observadas entre as concentrações de material em suspensão na superfície e meio da coluna d'água, a suposição de entrada da água no metalímnio parece atender melhor a esta condição.

Também, para o modelo de regressão determinado a partir das concentrações de material em suspensão na superfície e meio da coluna d'água (coleta de março/00) e os dados espectrais da banda 3 (imagem de janeiro/00) foram verificadas maiores concentrações de sólidos em suspensão no meio da coluna d'água para a porção inicial do reservatório de Itaparica e próximo à estação SF10 (Figura 86).

Na região de montante do reservatório de Itaparica, foram verificadas diferenças de até 4,8 mg/l entre superfície e meio (banda 4), contudo, em 54,8% da área as diferenças estiveram entre 1,0 e 2,0 mg/l (1,37 mg/l em média) e em 40% da área as diferenças estiveram abaixo de 1,0 mg/l (0,59 mg/l em média). De modo semelhante, quando foram utilizados os valores das reflectâncias na banda 3, verificou-se que em 50,7 % da área, essas diferenças estiveram entre 1,0 e 2,0 mg/l (1,18 mg/l em média) e em 49,7% da área as variações estiveram entre 0,0 e 1,0 mg/l (0,6 mg/l em média).

Em relação à região em que as concentrações de material em suspensão foram maiores na superfície, verificou-se que a diferença máxima observada foi de 1,17 mg/l e 1,44 mg/l a partir dos dados espectrais da banda 4 e 3, respectivamente.

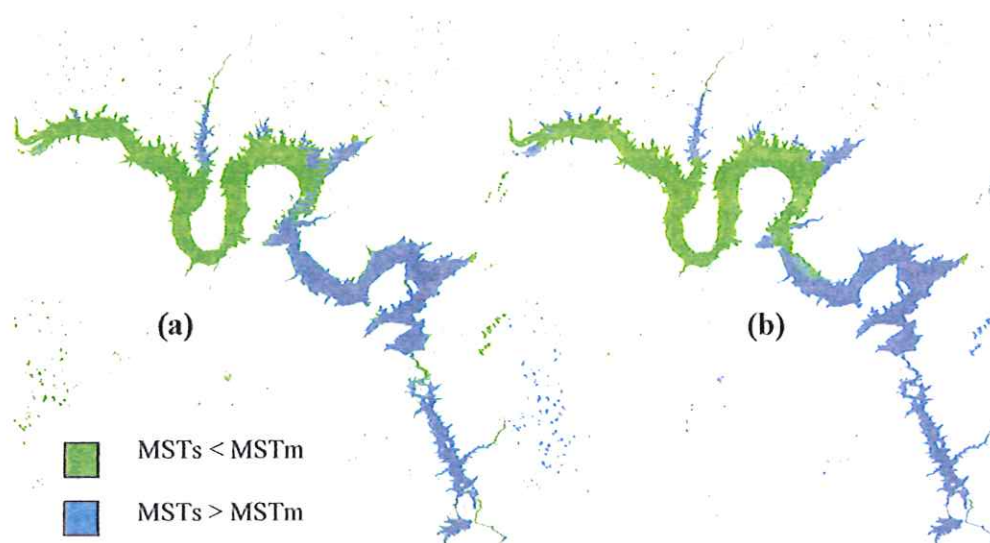


FIGURA 99 – Mapas das áreas de maior concentração de material em suspensão total (MST) na coluna vertical a partir da regressão entre os dados coletados na superfície (MSTs) e meio (MSTm) da coluna d'água em março/00 e dados espectrais da banda 4 (a) e da banda 3 (b), da imagem Landsat 5 de janeiro/00.

Verificou-se que os modelos gerados promoveram superestimação das concentrações de material em suspensão em algumas estações de amostragem, enquanto em outras houve uma subestimação dos valores obtidos na coleta de março/00. Entretanto, a tendência de distribuição do material em suspensão ao longo dos reservatórios foi semelhante para os mapas temáticos e os dados de campo. Verificou-se, também, que os erros médios determinados para os conjuntos de dados foram baixos (Tabelas 41 e 42), significando que estes podem ser representados pelo modelo. As diferenças observadas podem ter ocorrido em função de diversos fatores associados ao conjunto de dados originais, destacando-se a diferença entre a data da imagem e a data da coleta de campo.

Os resultados obtidos a partir do uso de dados orbitais, para prever valores de parâmetros de qualidade d'água, têm mostrado as vantagens da implementação de tecnologias e ferramentas que permitam a visão mais ampla, com uma maior representatividade espacial dessas características. A constatação das dificuldades de se aplicar métodos limnológicos tradicionais no estudo de grandes sistemas aquáticos encontra-se, segundo NOVO & TUNDISI (1988), na maior variabilidade de fatores bióticos, abióticos e antrópicos a que se encontram sujeitos, a qual não pode ser plenamente entendida e caracterizada devido ao pequeno número de estações. No caso dos reservatórios do São Francisco, apesar das dificuldades na aquisição simultânea das informações de campo e

espectrais, os resultados obtidos abrem uma grande perspectiva na utilização de imagens orbitais como ferramenta de monitoramento da qualidade da água nesses reservatórios.

Para uma melhor compreensão do contexto de inserção do sensoriamento remoto em estudos ambientais devem ser consideradas as limitações das técnicas de análise e controle ambiental, em função do custo envolvido na coleta de dados em grandes áreas e por longo período de tempo e do nível de detalhamento necessário para caracterizá-lo e monitorá-lo.

7 CONCLUSÕES

- ✓ A variabilidade na qualidade da água dos reservatórios ocorreu em função do carreamento de material alóctone da bacia, através do *runoff*, promovendo a redução da transparência da água e o aumento na concentração de material em suspensão em todas as estações, permitindo inferir, portanto, que a pluviosidade é fator determinante nas características físicas e químicas do sistema.
- ✓ A variação sazonal das taxas de deposição de material em suspensão nos reservatórios, cujos maiores valores foram obtidos no período de chuvas, também foi observada, verificando-se que, em geral, ocorreu uma maior contribuição da fração inorgânica na composição dos materiais em suspensão depositados nas câmaras de sedimentação, sendo estes provenientes do aporte de material alóctone nos rios São Francisco e Moxotó, além da contribuição de fontes difusas.
- ✓ A formação de um gradiente de deposição no sentido rio-barragem, no primeiro reservatório do sistema (Itaparica), com as menores taxas ocorrendo na zona lacustre do reservatório, mostra que este funciona como uma câmara de retenção para o material em suspensão transportado pelo rio São Francisco, contribuindo para a melhoria da qualidade da água nos reservatórios subseqüentes (efeito cascata).
- ✓ A partir do mapa temático de distribuição vertical da concentração de material em suspensão nos reservatórios, observa-se que no período de chuvas ocorrem correntes de densidade na porção superior do reservatório de Itaparica, o que permite inferir que a entrada da água do rio São Francisco, neste reservatório, ocorre pelo metalímnio.
- ✓ Os principais pontos de entrada de material alóctone no sistema em cascata do sub-médio São Francisco são a desembocadura do rio São Francisco no reservatório de Itaparica e o rio Moxotó, nos quais foram obtidas as maiores concentrações de material em suspensão e as maiores taxas de deposição de sedimentos.

- ✓ O uso diferenciado do solo nas margens dos reservatórios (incluindo as áreas de caatinga degradada, os pólos de irrigação, as regiões de maior adensamento populacional, por exemplo) e, ainda, o maior tempo de retenção nos braços dos reservatórios, podem ter contribuído para as diferenças espaciais observadas nas concentrações de nutrientes obtidas em algumas estações de amostragem.

- ✓ Apesar do aporte contínuo de materiais (incluindo as frações orgânicas e inorgânicas, totais ou dissolvidas), as concentrações obtidas ainda são reduzidas, quando comparadas a outros reservatórios. Assim, considerando as variáveis analisadas, os reservatórios apresentam uma boa qualidade da água, com características oligotróficas no período seco e oligo-mesotróficas no período de chuvas.

- ✓ A inclusão de dados espectrais permitiu a obtenção de um modelo de distribuição do material em suspensão nos reservatórios, durante o período de chuvas, verificando-se altas correlações entre os dados de campo e as reflectâncias nas bandas 3 e 4 do satélite Landsat-5 e baixos erros médios para os conjuntos de dados, o que abre uma perspectiva de estudos para que o monitoramento desta variável possa ser feito a partir da aquisição de outras imagens de satélite, principalmente, em virtude do lançamento de novas plataformas, com melhores resoluções espaciais e espectrais.

8 BIBLIOGRAFIA

- A.P.H.A./A.W.W.A./W.E.F. (1995) *Standard methods for the examination of water and wastewater. 19^o ed.*, Washington.
- ACKERMANN, W. C. W., GILBERT F.; WORTHINGTON, E.B., [Eds] (1973). *Man- Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*. American Geophysical Union, Washington, 847 p.
- AGOSTINHO, A. A.; MIRANDA, L. E.; BINI, L. M.; GOMES, L. C.; THOMAZ, S. M.; SUZUKI, H. I.(1999). Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. Organizado por TUNDISI, José Galizia, STRASKRABA, Milan. *Theoretical reservoir ecology and its application*. São Carlos, p.227-265.
- ARAÚJO, A. M. (2001). Evolução do processo de assoreamento em reservatório urbano. In: PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. (eds.). *Caracterização quali-quantitativa da produção de sedimentos*. Santa Maria, ABRH-UFSM. 365-372 p.
- ARMENGOL, J., GARCIA, J. C., COMERMA, M., ROMERO, M., DOLZ, J., ROURA, M., HAN, B. H., VIDAL, A.; SIMEK, K (1999). Longitudinal Processes in Canyon Type Reservoirs: the case of Sal (N. E. Spain). In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (ed.) *Theoretical Reservoir Ecology and its Application*. 1^a ed. São Carlos, Instituto Internacional de Ecologia; Leiden, Backhuys Publishers. 313-346p.
- ASFOLDI, T.T. (1982) Remote sensing for water quality monitoring. In: *Remote sensing for resource management*. Anteny/Iowa. Chris J.Johansen and James L. Sanders.
- BALCH, W.M.; EPPLEY, R.W.; ABBOT; M.R.; REID, F.M.H. (1989) Bias in satellite-derived pigments measurements due to coccolithophores and dinoflagellates. *Journal of Plankton Research*. v.11, n.3, p. 575-581.
- BARBOSA, F.A.R.; PADISÁK, J.; ESPÍNDOLA, E.L.G.; BORICS, G.; ROCHA, O. (1999). The Cascading Reservoir Continuum Concept (CRCC) and its Application to the River Tietê-

- basin, São Paulo State, Brazil. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (ed.) *Theoretical Reservoir Ecology and its Application*. 1ª ed. São Carlos, Instituto Internacional de Ecologia; Leiden, Backhuys Publishers. 425-438p.
- BISWAS, A.K. et al. (1997). Relatório da missão sobre o Programa Xingó. Relatório submetido ao CNPq e à CHESF. Brasília, 15p.
- BLOESCH, J. (1994) A review of methods used to measure sediment resuspension. *Hydrobiologia*, v. 284, p.13-18.
- BLOESCH, J.; UEHLINGER U . (1986). *Horizontal Sedimentation Differences in a Eutrophic Swiss Lake Limnology and Oceanography* 31: (5) 1094-1109.
- BLOESCH, J.; STADELMANN, P.; BÜHRER, H. (1977). Primary production, mineralization and sedimentation in the euphotic zone of two Swiss lakes. *Limnology and Oceanography*, v.22 (3) p-511-526.
- BLOESH, J & BURNS, N.M.(1980) A critical review of sedimentation trap technique. *Schweiz. Z. Hydrol.* v. 42, n.1, p. 15-55.
- BLOMQVIST, S. ; KOFOED, L. (1981) Sediment Trapping – a subaquatic in situ experiment. *Limnol. And Oceanogr.*, 26
- BRAGA, C. Z. F.; SETZER, A. W.; LACERDA, L. D. (1993). Water quality assessment with simultaneous Landsat-5 TM data at Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Remote Sens. Environ.*, 45, p-95-106.
- BRANCO, S.M., ROCHA, A. A. (1977) *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. São Paulo, Edgard Blücher, CETESB. 185p.
- BRAUD, I.; FERNANDEZ, P.; BOURAONI, F. (1999). Study of the rainfall-runoff process in the Andes region using a continuous distributed model. *JOURNAL OF HYDROLOGY* . 216: (3-4) 155-171.
- CALLIERI, C.; BERTONI, R.; DE MARCO, C.; CONTESINI, M. (1991) Settling flux and sinking velocity of seston in Lago di Mergozzo (Northern Italy) and influence of microbial activity on the decomposition of entrapped organic material. *Hydrobiologia* 213, 155-165.
- CAMARGO, A. F. M.; ESTEVES, F. A. (1995). Biomass and Productivity of Aquatic Macrophytes in Brazilian Lacustrine Ecosystems. In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.) *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro, ABC/SBL. 137-150p.

- CARLSON, R.E. (1974). A trophic state index for lakes, contribution nº 141 - Limnological Research Center, University of Minnesota, Minneapolis, 17 p.
- CARVALHO, J. B.Q. (1997). *Fundamentos da Mecânica dos Solos*. Campina Grande, Editor Marconi.
- CARVALHO, N. O. (1994) *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro, CPRM. 372p.
- CESTARI, A.C. (1996) *Estimativa da concentração média de clorofila na zona eufótica em função da concentração de clorofila na superfície d'água obtida a partir de dados TM-Landsat*. São Carlos. 151p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, - Universidade de São Paulo.
- CHALAR, G.; TUNDISI, J.G. (2001) Phosphorus fractions and fluxes in the water column and sediments of a tropical reservoir (Lobo-Broa – SP). *Internat. Rev. Hydrobiol.*, v.86, n.2, p. 183-194.
- CHAVES, H.M.L (1994) Estimativa da erosão atual e potencial no vale do rio São Francisco. Relatório Final de Consultoria. FAO TCP/BRA/2257. Brasília: 34 p.
- CHESF (1997). Relatório básico de ativos da geração (relatório interno).
- CHIAUDAN, G.; VIGHI, M. (1974). N-P Ratio and tests with Selenastrum to predict eutrophication in Lakes. *Water Research* 8: (12) 1063-1069
- CHOUBEY, V.K., SUBRAMANIAN, V. (1991) Spectral response of suspended sediments in water under controlled conditions. *Journal of Hydrology* 122, p. 301-308.
- CHUVIECO, E. (1995) . *Fundamentos da Teledetection*. 350 p.
- 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., VELASCO, J.L.; RUBIO, A. (1993) Settling seston in a hypertrophic lake. *Arch. Hydrobiol.*, v. 127, n. 3, p. 327-343.
- COLE, G. A. (1975). *Textbook of limnology*. Saint Louis, C.V. Mosby Company.
- DILLON, P. J.; EVANS, R.D.; MOLOT, L.A. (1990). Retention and resuspension of phosphorus, nitrogen and iron in a central Lake Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, v. 47, p. 1269-1274.
- ESPÍNDOLA, E. L. G. (1994). *Dinâmica da associação congênica das espécies de Notodiptomus na Represa de Barra Bonita-SP*. São Carlos, 363p. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- ESPÍNDOLA, E. L. G. (2002). *Limnologia de Represas: alguns fatores determinantes*. São Carlos, 95p. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência – FINEP. 575p.
- FROIDEFOND, J. M.; CASTAING, P.; MIRMAUD, M.; RUCH, P. (1991) Analysis of the turbid plume of the Gironde (France) based on SPOT radiometric data. *Remote Sens. Environ.* 36, p. 149-163.
- FUKUSHIMA, T.; AIZAKI, M.; MURAOKA K. (1989). Characteristics of settling matter and its role in nutrient cycles in a deep oligotrophic lake. *Hydrobiologia* 176/177: 279-295. SLY, P.G; HART, B.T. (eds). *Sediment/Water Interaction*. Kluwer Academic Publishers. Printed in Belgian.
- GALO, M.L.B.T; NOVO, E. M. L. M. (2000) Normalização radiométrica de imagens: um meio de integrar dados multitemporais de sensoriamento remoto para monitoramento ambiental. *Revista do Instituto Florestal*. V.12 nº1. p. 67-75.
- GÁLVEZ, J. A.; NIELL, F. X. (1993). Sedimentation and mineralization of seston in a eutrophic reservoir, with a tentative sedimentation model. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. *Comparative Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 119-126p.
- GIARDINO, C. et al. (2001). Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery. *The Science of the Total Environment*. 286, p19-29.
- GOLDMAN, C. R.; HORNE, A. J. (1983). *Limnology*. New York, McGraw-Hill, 464 p.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. (1978). *Methods for physical and chemical analysis of freshwater*. 2ª ed. Oxford, Blackweel Scientific Publications. (IBP, 8). 213p.
- GOUDIE, A. 1994. *The human impact on the natural environment*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 454 p.
- HÅKANSON, L.; FLODERUS, S.; WALLIN, M. (1989) Sediment trap assemblages – a methodological description. *Hydrobiologia ..176-177/Dev Hydrobiol.* v.50, p. 481-490.
- HARGRAVE, B.T., BURNS, N.M. (1979) Assesment of sediment trap collection efficiency. *Limnol. And Oceanogr.*, v.24, n.1, p. 1124-1136

- HENRY, R. (1999). Heat Budgets, Thermal Structure and Dissolved Oxygen in Brazilian Reservoirs. In: TUNDISI, J.G. & STRASKRABA, M. (eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. P. 125-151. São Carlos.
- HENRY, R.; MARICATO, F.E. (1996). Sedimentation rates of tripton in Jurumirim reservoir (São Paulo, Brazil). *Limnologia*, 26 (1), p. 15-25.
- HICKS, R. E., OWEN, C.J.; AAS, P. (1994) Deposition, resuspension, and decomposition of particulate organic matter in the sediments of Lake Itasca, Minnesota, USA. *Hydrobiologia*, v. 284, p. 79-91.
- HIDROSERVICE (1986). Estudo de Impacto Ambiental da construção da Barragem de Itaparica .
- HILTON, J.; LISHMAN, J.P.; ALLEN, P.V. (1986). The Dominant Processes of Sediment Distribution and Focusing in a Small, Eutrophic, Monomictic Lake. *Limnology and Oceanography*, 31: (1) 125-133.
- HUTCHINSON, G.E. (1967). *A treatise on limnology*. (Introduction to Lake biology and the limnoplankton, v. II). New York, John Wiley & Sons. 1115p.
- INPE -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (1997). *SPRING: Manual do usuário*. [on-line], *Divisão de Processamento de Imagens (INPE-DPI)*. São José dos Campos (<http://www.inpe.br/spring> em 6 de abril de 1999)
- KENNEDY, R. H. (1999). Reservoir Design and Operation: Limnological Implication and Management Opportunities. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (ed.) *Theoretical Reservoir Ecology and its Application*. 1ª ed. São Carlos, Instituto Internacional de Ecologia; Leiden, Backhuys Publishers. 1-28p.
- KENNEDY, R.H.; WALKER Jr., W.W. (1990). Reservoir nutrient dynamics. p 109-131. In: THORTON, K.W.; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. (Eds.). *Perspectives in reservoir limnology*. John Wiley and Sons, New York.
- KIRK, J.T.O. (1994) *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, 401 p.
- KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (ed.) *Methods of seawater analysis*. Verlag. Chemie. Weinheim. p. 117-181.
- KRATZER, C.R.; BREZONIK, P.L. (1981). A Carlson type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resources Bull.*, v.17, n.4, p. 713-714.

- LAROCQUE I, MAZUMDER A, PROULX M, LEAN DRS, PICK FR (1996) Sedimentation of algae: Relationships with biomass and size distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.53: (5) 1133-1142
- LATHROP, R.G.; LILLESAND, T.M. (1989) Monitoring water quality and river plume transport in Green Bay, Lake Michigan with SPOT-a imagery. *Photog. Engineer. and Remote Sensing*, v.55, n.3 , p. 349-354.
- LEITE, M. A (1998). *Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no Reservatório de Salto Grande (Americana -SP) e sua influência sobre as características limnológicas do sistema*. São Carlos, 167p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LEITE, M.A.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (2000). Eutrofização: uma análise comparativa entre os reservatórios de Americana (22°44'S e 47°15'W) e do Lobo (22°10'S e 47°57'W). Seminário Internacional Represa do Lobo-Broa – 30 anos de pesquisa em limnologia, gerenciamento e participação da comunidade e Bases científicas para o gerenciamento da eutrofização. São Carlos. SP (*anais*).
- LILLESAND, T.M., KIEFFER, R.W. (1987) *Remote sensing and image interpretation*. New York., John Wiley e Sons.
- MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists*. (Freshwater Biological Association Scientific Publication, n. 36). Kendall. Titus Wilson.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnologia*. Barcelona. Ed. Omega, 1010 p.
- 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 de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MARQUISÁ, G.C. (1998) *Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em dois reservatórios de distinto estado trófico (reservatório do Broa e Barra Bonita – SP)*. Tese (doutorado)151p. EESC/USP. São Carlos-SP.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. *et al.* (2000) O efeito das barragens do “River Continuum”(Médio Tietê) nos fatores biogeoquímicos e na diversidade zooplancônica. IN: Seminário internacional Represa do Lobo – 30 anos de pesquisa em limnologia, gerenciamento e participação da comunidade e Bases científicas para o gerenciamento da eutrofização. São Carlos. *Resumos*. São Paulo, UFSCAR-USP, p.40.

- MATSUMURA-TUNDISI, M.; TUNDISI, J. G. (1995). Limnology of a Warm Monomictic Lake at Rio Doce Forest Park (Lake Dom Helvecio, MG, Eastern Brazil). In: TUNDISI, J. G.; BICUDO, C. E. M.; MATSUMURA-TUNDISI, T. (eds.) *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro, ABC/SBL. 245-256p.
- MAUL, G.A; GORDON, H.R. (1975). On the Use of the Earth Resources Technology Satellite (LANDSAT-1) in Optical Oceanography, *Remote Sensing of Environment*, 4, 95-128
- MOLLE, F.; CADIER, E. (1992). Manual do Pequeno Açude: construir, conservar e aproveitar pequenos açudes, SUDENE/ORSTOM/TAPI, Recife. 510 p.
- MOREL, A., BERTHON, J.F.(1989) Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: Relationship reinvestigated in view of remote-sensing applications. *Limno. and Oceanogr.*, v.34, n.8, p. 1545-1562
- MOREL, A., PRIEUR, L. (1977) Analysis of variations in ocean color. *Limnol. and Oceanog.* v.22 (4), p. 709-723.
- MUNDAY, J.C. & ALFÖLDI, T.T.(1979) Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurements. *Remote Sens. Env.*, v.8, p. 169-178.
- NELLIS, M.D.; HARRINGTON, J.A.; WU, J. (1998). Remote sensing of temporal and spatial variations in pool size, suspended sediment, turbidity, and Secchi depth in Tuttle Creek Reservoir, Kansas:1993. *Geomorphology*, 21, p. 281-293.
- NOERNBERG, M.A.; CALTABIANO, A.C.; MAGNI, E.M.; GONÇALVES, J.D.C.; DORIA, C.R. (1996) Relação entre profundidade Secchi e fator de reflectância da água de ambientes aquáticos lênticos em Cachoeira Paulista, SP. *VII Simpósio Brasileiro de Sens. Remoto*. Salvador.
- NOVO, E. M. L. M. (1992) *Sensoriamento remoto, princípios e aplicações*. 2 ed. Sao Paulo. ED. Edgard Blucher.
- NOVO, E. M. L. M. et al. (1995) Remote sensing and geographical information system application to inland water studies. In: TUNDISI, J.G. et al. *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro: ABC/SBL. 384 p.
- NOVO, E. M. L. M., TUNDISI, J. G. (1988) Sensoriamento remoto em águas interiores: perspectivas. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. V.1, p 13-21.
- NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F.; TUNDISI, J. G. (1993). Remote sensing estimation of total chlorophyll pigment distribution in Barra Bonita Reservoir, Brazil. In: STRASKRABA, M.;

- TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. *Comparative Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 147-152p.
- NOVO, E.M.L.M.; TUNDISI, J.G. (1994). Contribution of remote sensing techniques to the assessment of methane emission from large tropical reservoirs. *Remote Sensing Reviews*, 10: 143-153.
- NOVO, E.M.M; HANSON, J.D.; CURRAN, P.J. (1989). The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. *International Journal of Remote Sensing*, 10(7): 1283-1289.
- NUSCH, E. A. (1980). Comparison of different methods for Chlorophyll-a and phaeopigments determination. *Arch. fur Hydrobiolol.*, v.14, p.14-36.
- PERRY, M.J. (1986). Assessing marine primary productivity from Space. *Bioscience*, v.36, p 461-467.
- PREISENDORFER, R. W.(1986) Secchi disk science : visual optics of natural waters. *Limnol. Ocean.*, 31, p. 909-935.
- RADAMBRASIL, Projeto (1978). Levantamento de Recursos Naturais (DNPM: Rio de Janeiro).
- RANTIN, F.T.; JOHANSEN, K. (1984). Responses of the Teleost *Hoplias-Malabaricus* to Hypoxia. *Environmental Biology of Fishes*, 11: (3), 221-228.
- RESEARCH SYSTEMS, INC. (1995). Interactive Data Language (IDL). Pearl East Circle Boulder, CO 80301, USA.
- RITCHIE, J.C.; F.R. SCHIEBE; MCHENRY, J.R. (1976) Remote Sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.*, 42, 1539-45. 191, 192.
- ROCHA, O, *et al.* (1999a). Aspectos estruturais e funcionais das cascatas de reservatórios do baixo São Francisco, Brasil. IN: Seminário internacional Represa do Lobo – 30 anos de pesquisa em limnologia, gerenciamento e participação da comunidade e Bases científicas para o gerenciamento da eutrofização. São Carlos. *Resumos*. São Paulo, UFSCAR-USP.
- ROCHA, O., MATSUMURA-TUNDISI, T.; SAMPAIO, E. V. (1997). Phytoplankton and zooplankton structure and production as related to trophic state in some Brazilian lakes and reservoirs. *Verh Internat. Verein. Limnol.*, n. 26, p. 599-604.
- ROCHA, O.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; ESPÍNDOLA, E.L. G.; ROCHE, K. F.; RIETZLER, A. C. (1999b). Ecological theory applied to reservoir zooplankton. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (ed.) *Theoretical Reservoir Ecology and its Application*. 1ª ed. São Carlos, Instituto Internacional de Ecologia; Leiden, Backhuys Publishers. 457-476p.

- RODGHER, S. (2001). *Estudos ecotoxicológicos e limnológicos nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo Rio Tietê: uma análise espacial e temporal*. São Carlos. 213p. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ROSA, F.; J. BLOESCH, J.; RATHKE, D.E. (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. Inc. Boca Raton, Ann Arbor, Boston: 97-130.
- SCHOTT, J.R.; SALVAGGIO, C.; VOLCHOK, W.J. (1988) Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 26, No. 1, October 1988, pp. 1-16
- SILVA, A.M. (1999). *Relações entre os processos erosivos e sedimentológicos de bacia hidrográfica em função das características físicas e de uso do solo, estudadas através de técnicas de geoprocessamento*. Tese (doutorado). 247p. EESC/USP. São Carlos.
- SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P.; CAMPOS FILHO, O.R. (1986) Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:282-287.
- SILVEIRA, A.L. (1993) Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre. Ed. Da Universidade. ABRH:EDUSP, p.35-51.
- SOUZA, R.B.; FELIX, I.M.; MANTOVANI, J.E.; NOVO, E.M.L.M. (1991). Efeito da concentração de dois tipos de sedimento em suspensão sobre a colorimetria e reflectância da água. *Anais do V Simpósio Latino Americano de Percepção Remota*, Cuzco, Peru.
- SPERLING, E. von (1999). *Morfologia de lagos e represas*. Belo Horizonte. 138 p. DESA/UFMG.
- SRHSR -Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação do Estado da Bahia (1996) PDRH das Bacias Hidrográficas da Margem Direita do Sub-Médio São Francisco. Documento Síntese.
- STEFFEN, C. A.; LORENZZETTI, J. A.; SECH, J. L.; SOUZA, R.C. M. Sensoriamento Remoto: Princípios Físicos; Sensores e Produtos, e Sistema LANDSAT. São José dos Campos, INPE, INPE-2226-MD/013, 1981, set.1981..81p.
- STRASKRABA, M. (1999a). Retention Time as a Key Variable of Reservoir Limnology. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (ed.) *Theoretical Reservoir Ecology and its Application*. 1ª ed. São Carlos, Instituto Internacional de Ecologia; Leiden, Backhuys Publishers. 385-410p.

- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (1993). State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. *Comparative Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 213-288p.
- STRIKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis, Bull. Fish. Res. Bd. Can. 122:1.
- STURM, B. (1980) Optical properties of water – application of remote sensing to water quality determination. In: FRAYESSE, G. *Remote Sensing applications in Agriculture and Hydrology*. Rotherdan, Baltema, p. 471-495.
- TASSAN, S., STURM, B. (1986) An algorithm for retrieval of sediment content in turbid coastal. *Int. J. Remote Sensing*. V.7, p. 643-655.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J. G.; KUTTNER, M. B. (1965). Plankton studies in a mangrove. II. The standing-stock and some ecological factors. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, n. 24, p.23-41.
- THORNTON, J. A.; RAST W. (1993). A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (1993). *Comparative Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 1-24p.
- TOLEDO, A. P., TALARICO, M., CHINEZ, S. J. & AGUDO, E. G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais*, Camboriú, SC.
- 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*. (Monografias em Limnologia, v.1, t.1). São Paulo, ACIESP. 506p.
- TUNDISI, J. G. (1999). Reservatórios como sistemas complexos. IN: HENRY, R. (ed.). *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: FUNDIBIO: FAPESP. p. 21-38.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; CALIJURI, M. C. (1993). Limnology and management of reservoir in Brazil. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. *Comparative Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 25-56p.

- TUNDISI, J.G. (1969). *Produção primária, "standing crop" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia*. São Paulo, 131p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- UNEP-IETC (2001). *Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização*. São Carlos-SP. 385 p.
- VERMOTE, E. F.; TANRÉ, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M.; MORCRETTE, J. (1997). Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35, 675-686.
- VILLELA, S.M; MATTOS, A. (1975) *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil.
- WILKINSON, G.G. (1991). The processing and interpretation of remotely-sensed satellite images - a current view. IN: BELWARD, A S. & VALENGUELA, C.R. (eds.). *Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*, 71-96. ECSC, EEC, EAEC. Brussels and Luxembourg. Netherland.
- WEYHENMEYER GA, BLOESCH J. (2001). The pattern of particle flux variability in Swedish and Swiss lakes. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 266: (1-3) 69-78 .
- YENTSCH, C.S.; YENTSCH, C.M. (1979) Fluorescence spectral signatures: the characterization of phytoplankton populations by use of excitation and emission spectra. *Journal of Marine Research.*, 37, p. 471-483.
- ZANATA, L.H. (1999). *Heterogeneidade ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana/SP), com ênfase na distribuição das populações de clarocera*. 171 p., (mestrado)
- ZAR, J.H. (1999). *Bioestatistical Analysis*, 4th ed., Prentice Hall. INC, New Jersey, 718 pp.
- ZYTKOWICK, R. (1989). Characteristics of tripton sedimentation in ten small lakes. SALANKI, J.; HERODEK, S. (eds) *Symp. Biol. Hung.* 38. Akademiai Kiadó, Budapest. P 547-552.



ANEXO - A

TABELA 03 – Dias de chuva, médias mensais de precipitação e valores acumulados no período de estudo para os postos próximos às estações de coleta.

PERÍODO	POSTOS PLUVIOMÉTRICOS												Prec.média (mm)				
	SUB-BACIA 48						SUB-BACIA 49										
	AIRI ROCH.		SERRINHA		BELEM SF		FLORESTA SERRA TALHADA		IBO		INAJA			DELMIRO			
Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)	Dias	Prec.(mm)		
set/99	0	0	4	21.2	2	2.1	1	1.4	3	18	3	3.7	4	3.3	4	15.8	8.2
out/99	3	6	6	15.4	4	13.6	3	19.1	2	106	4	8.6	6	52.3	7	41.9	32.9
nov/99	4	94.5	4	120.1	1	106.8	2	38.3	6	91.1	2	32	6	22.6	4	160.3	83.2
dez/99	9	118.6	11	114.4	6	160	9	104.3	9	97.7	7	130.8	8	49	5	81.8	107.1
jan/00	6	28.5	11	79.3	3	61.2	5	35.1	3	17.2	9	168.8	4	69.1	2	7.6	58.4
fev/00	9	176.2	11	146.5	11	152.1	9	121.8	12	163.4	9	118.6	10	51.5	8	143.3	134.1
mar/00	8	87	6	61.8	5	89.7	9	128.4	6	36.8	8	80.2	6	166.9	3	29.1	85.0
abr/00	10	93.6	12	133.6	2	42.2	5	53.5	15	148.2	8	80.4	7	87.1	6	36.3	84.4
mai/00	0	0	4	22.7	1	2.7	6	9.7	2	3.9	5	2.7	9	20.5	9	32.9	11.9
jun/00	6	37.8	6	18.4	3	8.5	5	42	5	30.2	3	8.3	12	50.8	12	62.3	32.3
jul/00	1	0.4	3	12.8	2	2.7	7	10.5	5	23.7	3	5.8	12	28.8	9	44.1	16.1
ago/00	3	11.6	3	24	2	3	2	9.5	2	21.0	5	3.1	9	40.9	7	29	17.8
set/00	3	26	3	26.7	3	34.4	2	13.3	2	11.4	2	0.9	6	26.7	5	23.4	20.4
acumulado	62	680.2	84	795.9	45	679	65	586.9	72	312.8	68	643.9	99	669.5	81	707.8	691.475

TABELA 04 – Temperatura do Ar (°C) e Velocidade do Vento (m/s) medidos na estação de Cabrobró-PE, no período de 1998 a 2000.

Parâmetros	Anos	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	var
Temperatura do Ar (°C)	1998	28	29.4	29.5	29.8	27.7	-	25	25.6	27	28.6	30.2	29.1	5.3
	1999	29	28.9	27.4	27.7	26.5	-	24	24.5	26	27.2	28.2	27.5	4.9
	2000	27	26.3	26	26.6	26.4	-	25	25.2	26	28	28.4	27.7	3.9
Velocidade do Vento (m/s)	1998	3.2	3.6	3.7	4.7	4.7	-	5.1	5.8	5.7	5.2	3.3	3.6	2.6
	1999	3.6	4.2	3.1	4	4.2	-	5.1	5.6	5.7	5.4	4.2	4	2.6
	2000	3.4	3	2.9	3.5	4.2	-	4.4	5	5.7	5.4	4.3	3.2	2.8

TABELA 05 – Vazões médias mensais turbinadas nos reservatórios de Itaparica; Complexo Moxotó+PA-IV; PA I-II-III e PA-IV.

RESERVATORIO	Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Itaparica	1998	1922	1957	2003	1979	1835	1824	1880	1977	2052	2141	2099	1987
	1999	1934	1836	1710	1730	1709	1719	1711	1664	1724	1783	1879	2050
	2000	1901	1974	2025	1869	1906	1821	1844	1915	1929	2156	2192	2099
	2001	1962	1995	1942	1710	1684	1109	1113	1102				
Moxotó e PA-IV	1998	1873	1914	1970	1927	1805	1793	1850	1958	2027	2093	2113	1968
	1999	1890	1810	1677	1710	1675	1709	1707	1673	1745	1800	1882	2076
	2000	1915	1958	2004	1914	1925	1888	1892	1937	1946	2154	2233	2083
	2001	1955	1974	1944	1706	1645	1128	1057	1115				
PA I-II-III	1998	1044	1105	1216	1135	1136	1100	1153	1183	1252	1279	1239	1195
	1999	1160	1066	1013	919	861	929	932	915	901	969	1007	1034
	2000	993	1039	1066	1024	938	837	865	886	930	977	1026	971
	2001	902	863	879	756	543	235	0	0				
PA-IV	1998	792	791	730	787	647	654	654	722	754	793	832	744
	1999	684	712	625	746	759	745	730	725	811	807	854	1020
	2000	887	880	896	862	957	1011	993	1026	986	1170	1193	1110
	2001	1030	1088	1033	920	1105	1010	1462	1473				

TABELA 06 – Tempo de residência da água (em dias) nos reservatórios de Itaparica; Complexo Moxotó+PA-IV; PA I-II-III e PA-IV, determinados para as vazões médias mensais e para a vazão de projeto.

RESERVATÓRIO	Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	projeto
Itaparica (10780 x 10 ⁶ m ³)	1998	64,92	63,75	62,29	63,05	67,99	68,40	66,37	63,11	60,80	58,28	59,44	62,79	60,57
	1999	64,51	67,96	72,96	72,12	73,01	72,58	72,92	74,98	72,37	69,98	66,40	60,86	
	2000	65,63	63,21	61,61	66,76	65,46	68,52	67,66	65,15	64,68	57,87	56,92	59,44	
	2001	63,59	62,54	64,25	72,96	74,09	112,51	112,11	113,22					
Moxotó e PAIV (1328,5 x 10 ⁶ m ³)	1998	8,21	8,03	7,80	7,98	8,52	8,57	8,31	7,85	7,58	7,34	7,27	7,81	7,46
	1999	8,13	8,49	9,17	8,99	9,18	8,99	9,00	9,19	8,81	8,54	8,17	7,40	
	2000	8,03	7,85	7,67	8,03	7,98	8,14	8,12	7,94	7,90	7,14	6,88	7,38	
	2001	7,86	7,79	7,91	9,01	9,34	13,63	14,54	13,79					
PA I-II-III (26 x 10 ⁶ m ³)	1998	0,29	0,27	0,25	0,27	0,26	0,27	0,26	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25	0,23
	1999	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,32	0,32	0,33	0,33	0,31	0,30	0,29	
	2000	0,30	0,29	0,28	0,29	0,32	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,29	0,31	
	2001	0,33	0,35	0,34	0,40	0,55	1,28	0,00	0,00					
PA-IV (128,5 x 10 ⁶ m ³)	1998	1,88	1,88	2,04	1,89	2,30	2,27	2,27	2,06	1,97	1,88	1,79	2,00	1,98
	1999	2,17	2,09	2,38	1,99	1,96	2,00	2,04	2,05	1,83	1,84	1,74	1,46	
	2000	1,68	1,69	1,66	1,73	1,55	1,47	1,50	1,45	1,51	1,27	1,25	1,34	
	2001	1,44	1,37	1,44	1,62	1,35	1,47	1,02	1,01					

TABELA 09 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água da Temperatura, Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade, Alcalinidade e Secchi, relativos à campanha de março/00.

RESERVATORIOS	Estações	Temperatura (°C)						OD conc. (mg/l)						pH						Condutividade (µS/cm)						Secchi (m)
		S		M		F		S		M		F		S		M		F		S		M		F		
		media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	
T A P A R I C A	SF1	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	8.0	7.1	6.4	7.2	8.6	8.4	8.5	8.5	8.5	71.0	70.9	71.1	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	71.0	0.5
	SF2	29.8	27.9	27.5	28.4	7.9	6.5	3.1	5.8	8.5	8.3	8.2	8.4	129.2	120.9	152.1	134.1	73.0	72.4	74.2	73.2	73.2	73.2	73.2	73.2	0.9
	SF3	30.3	28.3	28.0	28.9	8.5	7.4	6.9	7.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	74.2	74.5	72.2	72.5	73.1	73.1	73.1	73.1	0.5	
	SF4	28.3	27.7	27.6	27.9	7.9	7.0	6.6	7.2	8.9	8.6	8.6	8.6	8.7	74.5	72.2	72.5	73.0	72.9	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	0.6	
	SF5	30.1	27.5	27.3	28.3	8.0	6.9	6.5	7.1	8.6	8.4	8.4	8.4	8.4	74.3	73.0	72.9	73.0	72.9	73.4	73.4	73.4	73.4	73.4	0.8	
	SF6	29.2	27.6	27.6	28.1	7.8	7.2	7.2	7.4	8.4	8.4	8.3	8.3	8.4	72.6	72.4	72.2	72.4	72.2	72.4	72.4	72.4	72.4	72.4	0.8	
	SF7	27.3	27.2	27.2	27.2	6.9	6.9	6.9	6.9	8.5	8.2	8.3	8.3	8.3	73.7	73.7	73.2	73.5	73.2	73.5	73.5	73.5	73.5	73.5	0.8	
	SF8	28.0	27.4	27.8	27.7	7.7	5.6	7.4	6.9	8.3	8.2	8.4	8.3	8.2	70.3	71.6	70.0	70.6	70.0	70.6	70.6	70.6	70.6	70.6	1.0	
	SF9	28.5	27.4	27.4	27.8	7.7	6.9	7.0	7.2	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	69.2	69.0	68.4	68.9	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4	68.4	0.7	
	SF10	27.7	27.7	27.7	27.7	7.2	7.2	7.3	7.2	7.6	7.8	7.9	7.7	7.9	69.4	69.4	70.0	69.7	69.4	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	69.7	0.8
	SF11	29.1	27.7	27.8	28.2	7.5	7.3	7.3	7.4	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	68.5	68.0	68.6	68.4	68.5	68.6	68.4	68.6	68.6	68.6	68.6	0.7
	SF12	27.3	26.9	26.8	27.0	1.4	1.1	0.9	1.2	7.8	7.9	7.8	7.8	7.9	570.0	514.0	512.0	532.0	514.0	512.0	532.0	512.0	512.0	512.0	512.0	0.1
	SF13	30.4	27.7	27.6	28.6	8.4	7.0	4.7	6.7	8.6	8.4	8.3	8.4	8.3	75.8	77.7	78.2	77.2	77.7	78.2	77.2	77.2	77.2	77.2	77.2	1.0
	SF14	30.9	27.7	27.7	28.8	8.2	7.3	7.2	7.6	8.5	8.3	8.4	8.4	8.4	67.5	67.4	67.6	67.5	67.4	67.6	67.5	67.6	67.6	67.6	67.6	0.8
	SF15	30.2	27.7	27.7	28.5	8.4	7.2	7.0	7.5	8.5	8.4	8.5	8.4	8.5	67.7	66.5	69.1	67.8	66.5	69.1	67.8	67.8	67.8	67.8	67.8	0.8
	SF16	28.9	27.7	27.7	28.3	8.2	7.2	7.2	7.7	8.5	8.5	8.4	8.4	8.4	67.5	67.5	67.2	67.4	67.5	67.2	67.4	67.4	67.4	67.4	67.4	0.7
PA 4	SF17	28.2	27.9	27.9	28.0	7.5	7.4	7.4	7.4	8.3	8.3	8.3	8.3	68.0	68.0	67.9	67.9	68.0	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	0.8
	SF18	28.0	27.9	27.6	27.8	7.4	5.7	5.7	6.3	8.6	8.5	8.6	8.6	72.4	71.5	69.8	71.2	71.5	69.8	71.2	71.2	71.2	71.2	71.2	1.0	
	SF19	29.2	28.6	27.8	28.5	8.1	7.0	4.4	6.5	8.4	8.4	8.3	8.4	97.0	97.4	91.1	95.2	97.4	91.1	95.2	91.1	91.1	91.1	91.1	2.8	
PA 1,2,3	SF20	29.1	29.1	29.2	29.1	8.1	7.4	7.6	7.7	8.5	8.7	8.6	8.6	107.9	105.5	106.6	106.7	105.5	106.6	106.7	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	3.1
	SF21	29.6	29.3	28.3	29.1	8.1	7.5	5.3	6.9	8.6	8.5	8.3	8.4	112.1	112.1	96.5	106.9	112.1	96.5	106.9	96.5	96.5	96.5	96.5	3.8	
	SF22	27.7	27.8	27.7	27.7	7.4	7.3	7.3	7.3	8.2	8.2	8.1	8.2	69.4	69.4	69.3	69.4	69.4	69.3	69.4	69.3	69.3	69.3	69.3	0.7	
SF23	27.8	27.8	27.7	27.8	7.6	7.6	7.3	7.4	8.0	8.0	8.0	8.0	69.4	69.4	69.3	69.4	69.4	69.3	69.4	69.3	69.3	69.3	69.3	69.3	0.8	

S - superfície M - meio F - fundo

TABELA 12 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Total, relativos à campanha de setembro/99.

RESERVATÓRIOS	Est	Amônia (µg/l)					Nitrito (µg/l)					Nitrato (µg/l)					Nitrogênio Total (mg/l)								
		S	M	F	media		S	M	F	media		S	M	F	media		S	M	F	media					
T A P A R I C A	SF1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.298	0.205	0.139	0.139	0.21
	SF2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.093	0.139	0.130	0.130	0.12
	SF3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.139	0.223	0.289	0.289	0.22
	SF4	0.00	14.79	0.00	4.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.063	0.102	0.110	0.110	0.10
	SF5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.307	0.102	0.083	0.083	0.16
	SF6	0.07	0.00	1.11	0.39	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.139	0.065	0.223	0.223	0.14
	SF7	2.88	1.33	0.00	1.41	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.149	0.326	0.074	0.074	0.18
	SF8	1.11	0.00	0.22	0.44	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.111	0.055	0.102	0.102	0.09
	SF9	1.18	0.00	0.07	0.42	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.158	0.205	0.139	0.139	0.17
	SF10	1.48	0.00	0.00	0.49	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.093	0.139	0.074	0.074	0.10
M O X O T O	SF11	4.81	4.51	3.18	4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.40	57.20	62.60	62.60	0.07
	SF12	5.10	2.88	3.85	3.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.10	42.90	55.40	55.40	0.29
	SF13	1.55	3.03	3.62	2.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.30	64.40	64.40	64.40	0.09
	SF14	2.00	3.25	2.88	2.71	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.60	64.40	64.40	64.40	0.28
	SF15	3.18	0.81	4.44	2.81	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.00	73.30	71.50	71.50	0.16
	SF16	3.25	3.92	4.51	3.90	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.80	51.90	57.20	56.63	0.14
	SF17	3.48	2.59	3.18	3.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.80	64.40	64.40	63.20	0.13
	SF18	3.55	3.33	4.73	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.20	57.20	71.50	61.97	0.14
	SF19	3.62	4.88	5.25	4.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.80	23.20	50.10	33.37	0.15
	SF20	4.88	3.77	2.74	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.20	30.40	28.60	30.40	0.25
PA 1,2,3	SF21	4.07	3.85	10.06	5.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.50	23.20	223.50	89.40	0.67	
	SF22	3.48	4.44	3.85	3.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.60	50.10	69.70	69.13	0.35	
	SF23	4.73	3.33	3.25	3.77	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.70	59.00	57.20	64.97	0.27	

S - superfície

M-meio

F-fundo

TABELA 14 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrito, Nitrito e Nitrogênio Total, relativos à campanha de março/00.

RESERVATORIOS	Est	Amônia (µg/l)						Nitrito (µg/l)						Nitrito (µg/l)						Nitrogênio Total (mg/l)					
		S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media								
		S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media								
I T A P A R I C A	SF1	0.74	0.89	1.11	0.91	0.01	0.02	0.01	0.01	202.07	205.65	212.80	206.84	0.50	0.23	0.31	0.35								
	SF2	0.59	1.18	0.52	0.76	0.02	0.02	0.01	0.02	87.63	87.63	103.72	92.99	0.63	0.27	0.78	0.56								
	SF3	0.89	0.59	1.04	0.84	0.01	0.02	0.01	0.01	168.10	200.29	207.44	191.94	0.44	0.79	0.66	0.63								
	SF4	0.37	0.74	0.81	0.64	0.01	0.00	0.01	0.01	162.73	209.23	218.17	196.71	0.21	0.61	0.48	0.43								
	SF5	0.89	0.67	1.41	0.99	0.01	0.01	0.01	0.01	173.46	250.36	243.20	222.34	0.78	0.53	0.54	0.62								
	SF6	0.37	0.89	0.59	0.62	0.01	0.01	0.01	0.01	256.00	288.00	275.00	266.33	0.44	0.22	0.40	0.35								
	SF7	0.59	1.04	1.26	0.96	0.00	0.01	0.01	0.01	241.42	248.57	112.66	200.88	0.54	0.62	0.83	0.66								
	SF8	2.59	3.03	2.07	2.56	0.01	0.01	0.01	0.01	118.03	202.07	194.92	171.67	0.15	0.48	0.31	0.31								
	SF9	1.33	1.18	1.63	1.38	0.01	0.00	0.01	0.01	244.99	259.30	280.76	261.68	0.33	0.62	0.49	0.48								
M O X O T O	SF10	4.44	3.03	4.36	3.94	0.00	0.01	0.00	0.01	266.45	216.38	234.26	239.03	0.15	1.83	0.59	0.86								
	SF11	2.51	3.48	1.55	2.51	0.00	0.01	0.00	0.00	246.78	259.30	248.57	251.55	0.33	1.57	0.77	0.89								
	SF12	34.24	47.41	53.77	45.14	0.11	0.11	0.12	0.11	363.02	445.28	418.45	408.92	7.54	9.67	9.84	9.01								
	SF13	16.20	1.48	3.11	6.93	0.01	0.00	0.04	0.02	134.12	257.51	221.75	204.46	0.89	0.34	0.31	0.51								
	SF14	2.88	6.21	0.96	3.35	0.01	0.01	0.00	0.01	224.00	245.00	258.00	242.33	0.70	0.32	1.12	0.71								
	SF15	3.92	1.63	4.44	3.33	0.00	0.00	0.01	0.00	225.00	241.00	259.00	241.67	0.20	0.17	0.05	0.14								
PA 4	SF16	4.66	5.03	5.03	4.84	0.00	0.00	0.01	0.01	244.99	259.30	252.15	248.57	0.57	0.37	0.47	0.47								
	SF17	3.11	1.92	2.81	2.61	0.01	0.01	0.01	0.01	241.42	239.63	257.51	246.19	1.47	1.07	0.77	1.10								
	SF18	1.78	1.92	5.55	3.06	0.01	0.01	0.01	0.01	230.69	236.05	255.72	240.82	0.44	0.26	0.05	0.25								
	SF19	1.33	3.18	4.36	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00	23.25	62.59	100.14	61.99	0.44	0.44	0.34	0.40								
	SF20	2.88	6.80	4.96	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00	19.67	35.77	35.77	30.40	0.40	0.42	0.27	0.36								
	SF21	4.14	6.06	4.81	5.00	0.00	0.00	0.01	0.00	23.25	19.67	107.30	50.07	0.46	0.74	0.84	0.68								
PA 1,2,3	SF22	2.96	5.03	25.37	11.12	0.00	0.00	0.00	0.00	237.84	263.93	275.39	255.72	0.71	0.72	0.71	0.71								
	SF23	4.07	2.00	2.00	3.03	0.00	0.00	0.00	0.00	255.72	123.39	123.39	189.56	0.47	0.52	0.52	0.49								

S - superfície M-meio F-fundo

TABELA 15 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Amônia, Nitrito, Nitrito e Nitrogênio Total, relativos à campanha de junho/00.

RESERVATÓRIOS	Est.	Amônia (µg/l)						Nitrito (µg/l)						Nitrito (µg/l)						Nitrogênio Total (mg/l)					
		S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media				
I T A P A R I C A	SF1	2.51	0.67	3.03	2.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	92.99	89.41	71.53	84.64	0.40	0.37	0.36	0.38				
	SF2	3.33	1.70	4.22	3.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	107.30	98.35	92.99	99.55	0.72	0.68	0.57	0.66				
	SF3	4.07	4.29	4.14	4.17	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	75.11	121.60	103.72	100.14	0.29	0.21	0.20	0.23				
	SF4	5.47	6.58	9.99	7.35	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	159.16	92.99	118.03	123.39	0.59	0.21	0.69	0.50				
	SF5	3.03	1.70	3.70	2.81	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	110.87	101.93	128.76	113.85	0.75	0.85	0.44	0.68				
	SF6	3.92	1.85	5.33	3.70	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	107.30	157.37	160.94	141.87	0.32	0.41	0.47	0.40				
	SF7	4.96	6.66	4.29	5.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	152.00	216.38	152.00	173.46	0.41	0.39	0.40	0.40				
	SF8	6.14	3.99	1.92	4.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	132.33	100.14	184.19	138.89	0.20	0.14	0.10	0.15				
	SF9	4.14	7.17	6.21	5.84	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	150.21	198.50	157.37	168.69	0.16	0.33	0.29	0.26				
M O X O T Ó	SF10	5.47	1.85	5.47	4.27	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	148.43	162.73	137.70	149.62	0.16	0.30	0.43	0.30				
	SF11	1.26	0.81	4.96	2.34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	143.06	160.94	150.21	151.41	0.52	0.59	0.43	0.51				
	SF12	4.14	0.00	1.92	2.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	26.82	10.73	62.59	33.38	1.55	0.91	0.90	1.12				
	SF13	0.00	0.00	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	98.35	123.39	134.12	118.62	0.12	0.09	0.04	0.08				
	SF14	0.15	0.00	0.00	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	160.94	191.34	143.06	165.12	0.06	0.06	56.00	18.71				
	SF15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	169.89	182.40	168.10	173.46	0.19	0.48	0.20	0.29				
	SF16	2.44	0.00	1.63	2.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	153.79	0.00	157.37	103.72	0.20	0.24	0.24	0.22				
	SF17	0.67	0.30	3.62	1.53	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	164.52	168.10	173.46	168.69	0.40	1.47	0.69	0.85				
PA 4	SF18	0.00	0.74	0.81	0.52	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	105.51	194.92	171.67	157.37	0.56	0.66	0.59	0.60				
	SF19	0.59	0.81	0.89	0.76	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	98.36	128.76	96.57	107.89	0.57	0.59	0.75	0.63				
	SF20	0.96	6.21	1.70	2.96	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	73.32	84.05	85.84	81.07	0.67	0.63	0.63	0.65				
	SF21	0.00	1.41	0.89	0.76	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	73.32	67.95	30.40	57.22	0.68	0.62	0.57	0.62				
	SF22	1.41	0.00	0.00	0.47	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	155.58	171.67	173.46	166.91	0.40	0.41	0.44	0.42				
PA 1,2,3	SF23	1.70	0.00	0.00	0.57	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	178.83	146.64	119.81	148.43	0.49	0.49	1.46	0.81				

S - superfície M-meio F-fundo

TABELA 17 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortófosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de setembro/99.

RESERVATORIOS	Est	PO ₄ -P (µg/l)						Fósforo Total (µg)						Mat. Suspensão (mg/l)						Clorofila-a (µg/l)					
		S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media	S	M	F	media				
I T A P A R I C A	SF1	0.00	0.00	0.00	0.00	51.30	81.58	57.32	63.40	1.60	1.40	1.60	1.53	5.58	3.49	4.88	4.65								
	SF2	1.51	0.00	0.00	0.50	18.96	22.89	22.19	21.35	0.80	0.20	1.00	0.67	3.49	3.49	2.79	3.26								
	SF3	1.51	0.00	0.00	0.50	23.65	66.04	66.23	51.97	1.40	1.00	1.20	1.20	1.40	4.19	1.40	2.33								
	SF4	0.00	0.00	4.54	1.51	63.69	70.28	23.99	52.65	1.20	1.20	1.20	1.20	3.49	2.09	2.09	2.56								
	SF5	0.00	0.00	0.00	0.00	53.54	59.49	40.67	51.23	1.20	15.80	2.00	6.33	3.49	3.49	6.28	4.42								
	SF6	0.00	0.00	0.00	0.00	18.50	66.20	44.34	43.01	0.40	1.40	1.60	1.13	6.28	3.49	2.79	4.19								
	SF7	3.03	1.51	0.00	1.51	44.80	54.58	23.49	40.96	0.00	2.80	2.40	1.73	6.28	4.88	4.88	5.35								
	SF8	0.00	0.00	0.00	0.00	26.79	67.73	51.09	48.54	1.80	1.40	1.80	1.67	7.67	6.98	4.19	6.28								
	SF9	0.00	1.51	0.00	0.50	97.82	24.78	21.43	48.01	1.60	1.20	1.80	1.53	4.88	2.09	3.49	3.49								
M O X O T Ó	SF10	1.51	0.00	0.00	0.50	24.80	24.64	23.26	24.23	0.60	0.80	0.00	0.47	6.98	5.58	6.98	6.51								
	SF11	0.00	0.00	1.51	0.50	66.68	58.03	48.49	57.73	2.00	0.40	1.20	1.20	4.19	4.88	6.28	5.12								
	SF12	4.54	18.16	3.03	8.58	54.42	25.63	70.40	50.15	10.20	9.80	6.40	8.80	20.23	22.32	22.32	21.62								
	SF13	0.00	0.00	0.00	0.00	64.65	48.24	85.90	66.26	1.20	1.80	2.40	1.80	3.49	3.49	4.88	3.95								
	SF14	1.51	0.00	0.00	0.50	26.58	29.12	23.21	26.30	1.00	1.00	1.00	1.00	4.19	4.19	2.79	3.72								
	SF15	0.00	0.00	0.00	0.00	31.00	22.10	24.36	25.82	1.20	1.00	1.20	1.13	4.19	4.88	4.88	4.65								
	SF16	0.00	0.00	0.00	0.00	24.51	22.05	27.07	24.54	1.80	1.20	2.60	1.87	4.88	4.88	3.49	4.42								
	SF17	0.00	0.00	0.00	0.00	21.70	23.27	24.48	23.15	1.00	0.60	0.60	0.73	6.98	2.09	5.58	4.88								
	SF18	0.00	1.51	1.51	1.01	23.33	22.85	20.12	22.10	1.40	1.40	0.80	1.20	3.49	2.79	1.40	2.56								
PA 4	SF19	1.51	3.03	4.54	3.03	20.32	26.59	29.12	25.34	1.60	1.00	0.60	1.07	2.79	2.79	3.49	3.02								
	SF20	0.00	1.51	0.00	0.50	23.36	26.93	27.81	26.03	0.00	0.00	0.80	0.27	2.79	2.79	1.40	2.33								
	SF21	1.51	0.00	1.51	1.01	22.59	27.87	23.74	24.73	0.80	1.40	0.80	1.00	3.49	2.79	3.49	3.26								
	SF22	4.54	3.03	3.03	3.53	23.70	23.85	29.79	25.78	1.00	1.20	1.00	1.07	4.19	2.79	3.49	3.49								
	SF23	3.03	1.51	3.03	2.52	27.07	28.54	28.03	27.88	0.40	2.00	1.20	1.20	2.09	2.79	2.79	2.56								
S - superfície																									
M-meio																									
F-fundo																									

TABELA 19 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de março/00.

RESERVATORIOS	Est.	PO ₄ -P (µg/l)					Fósforo Total (µg/l)					Mat. Suspensão (mg/l)					Clorofila-a (µg/l)				
		S	M	F	media	media	S	M	F	media	media	S	M	F	media	S	M	F	media		
I T A P A R I C A	SF1	6.05	1.51	6.05	4.54	60.55	59.83	60.40	60.26	10.00	11.00	11.40	10.80	3.72	4.65	2.79	3.72	4.65	2.79	3.72	
	SF2	1.51	1.51	4.54	2.52	62.12	53.99	93.10	69.74	2.00	0.80	8.00	3.60	9.30	2.79	0.00	4.03	2.79	0.00	4.03	
	SF3	6.05	0.00	7.57	4.54	51.56	57.20	55.60	54.78	6.80	8.60	3.40	6.33	11.16	3.72	1.86	3.72	1.86	3.72	1.86	
	SF4	0.00	7.57	3.03	3.53	87.94	79.21	96.58	87.57	1.60	2.40	5.20	3.07	5.58	2.79	0.93	5.58	2.79	0.93	3.10	
	SF5	6.05	1.51	3.03	3.53	80.31	100.34	97.58	92.74	2.00	3.60	4.40	3.33	3.72	0.00	0.93	3.72	0.00	0.93	1.55	
	SF6	0.00	4.54	1.51	2.02	80.25	75.27	89.86	85.13	3.20	2.40	1.80	2.47	0.93	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	0.31	
	SF7	3.03	0.00	9.08	4.04	104.10	108.73	78.89	97.24	4.60	3.60	3.60	3.93	2.23	1.12	2.23	1.12	2.23	1.12	2.23	
	SF8	0.00	4.54	3.03	2.52	75.36	81.11	0.00	52.16	3.00	2.00	1.60	2.20	2.23	2.23	0.56	2.23	2.23	0.56	1.67	
	SF9	0.00	6.05	4.54	3.53	112.77	83.13	97.10	97.67	1.20	1.00	2.60	1.60	3.35	1.12	1.12	1.12	3.35	1.12	1.12	1.86
M O X O T O	SF10	12.11	16.65	4.54	11.10	184.60	84.49	110.22	126.44	1.20	1.60	1.00	1.27	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	
	SF11	1.51	6.05	3.03	3.53	92.21	84.85	75.44	84.17	1.40	1.00	2.00	1.47	3.91	3.35	2.23	3.91	3.35	2.23	3.16	
	SF12	34.81	30.27	42.37	35.82	568.44	531.38	713.88	604.57	186.80	325.80	418.00	310.20	27.90	33.48	44.64	27.90	33.48	44.64	35.34	
	SF13	0.00	3.03	1.51	1.51	90.28	43.22	90.28	84.82	1.80	1.60	6.20	3.20	5.02	3.35	4.46	5.02	3.35	4.46	4.28	
	SF14	0.00	0.00	0.00	0.00	130.07	87.49	100.62	100.62	2.40	2.20	3.40	2.67	2.79	1.12	1.12	2.79	1.12	1.12	1.67	
	SF15	0.00	0.00	1.51	0.50	60.05	100.43	88.14	88.14	4.00	2.40	3.20	3.20	10.60	2.23	0.56	10.60	2.23	0.56	4.46	
	SF16	46.91	0.00	0.00	23.46	96.95	82.86	89.91	89.91	2.60	-	3.00	2.80	6.70	0.00	5.02	6.70	0.00	5.02	3.91	
	SF17	0.00	3.03	4.54	2.52	21.12	32.02	29.28	27.47	2.80	2.40	3.00	2.73	3.35	3.91	5.58	3.35	3.91	5.58	4.28	
	SF18	0.00	0.00	0.00	0.00	26.55	29.55	22.34	26.14	2.60	1.00	2.60	2.07	4.46	3.35	4.46	4.46	3.35	4.46	4.09	
PA 4	SF19	0.00	1.51	0.00	0.50	25.39	21.18	22.63	23.07	0.40	0.00	0.00	0.13	6.70	6.70	3.35	6.70	6.70	3.35	5.58	
	SF20	0.00	3.03	0.00	1.01	21.56	21.18	19.10	20.61	0.40	0.20	0.40	0.33	6.14	5.58	4.46	6.14	5.58	4.46	5.39	
	SF21	0.00	0.00	0.00	0.00	23.43	21.30	21.00	21.91	0.40	0.80	2.60	1.27	5.58	5.02	5.02	5.58	5.02	5.02	5.21	
	SF22	0.00	0.00	1.51	0.50	31.65	32.87	43.22	35.91	5.60	4.20	3.80	4.53	3.35	0.00	2.23	3.35	0.00	2.23	1.86	
1,2,3	SF23	0.00	0.00	0.00	0.00	26.50	26.50	27.50	27.00	4.00	4.00	4.40	4.20	2.79	0.00	1.12	2.79	0.00	1.12	1.30	

S - superfície

M-meio

F-fundo

TABELA 20 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortófosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de junho/00.

RESERVATÓRIOS	Est.	PO ₄ -P (µg/l)						Fósforo Total (µg/l)						Mat. Suspensão (mg/l)						Clorofila-a (µg/l)					
		S	M	F	S	M	F	S	M	F	S	M	F	S	M	F	S	M	F						
		média						média						média						média					
I T A P A R I C A	SF1	9.08	7.57	9.08	8.58	22.60	23.58	26.49	24.22	4.96	4.70	5.56	5.07	2.79	2.23	2.79	2.79	2.23	2.79	2.60					
	SF2	7.57	9.08	15.13	10.59	31.83	27.79	34.83	31.48	2.46	2.98	6.80	4.08	2.23	3.35	2.79	2.23	3.35	2.79	2.79					
	SF3	9.08	10.59	7.57	9.08	31.30	32.69	32.01	32.00	4.96	3.94	2.88	3.93	3.91	2.79	1.12	2.79	2.23	1.12	2.60					
	SF4	9.08	4.54	10.59	8.07	26.04	24.35	23.82	24.74	3.02	3.68	4.76	3.82	2.79	2.23	1.67	2.79	2.23	1.67	2.23					
	SF5	6.05	4.54	9.08	6.56	66.84	46.99	80.49	64.77	4.30	4.62	4.10	4.34	3.91	5.58	3.35	3.91	5.58	3.35	4.28					
	SF6	7.57	12.11	6.05	8.58	101.55	66.31	54.17	74.01	3.42	3.98	3.14	3.51	3.35	3.91	4.46	3.35	3.91	4.46	3.91					
	SF7	9.08	6.05	10.59	8.58	63.46	41.00	55.42	53.29	3.16	3.22	4.92	3.77	6.14	2.23	2.23	6.14	2.23	2.23	3.53					
	SF8	12.11	7.57	7.57	9.08	90.81	80.64	70.52	80.66	4.00	5.08	5.46	4.65	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46					
	SF9	7.57	13.62	6.05	9.08	102.09	76.78	59.16	79.34	4.38	4.46	4.38	4.41	5.02	5.58	4.46	5.02	5.58	4.46	5.02					
	M O X O T O	SF10	6.05	10.59	4.54	7.06	53.19	54.02	73.75	60.32	7.86	4.92	4.62	5.80	3.91	2.79	2.23	3.91	2.79	2.23	2.98				
SF11		1.51	10.59	6.05	6.05	66.57	59.63	61.26	62.49	4.04	4.12	5.74	4.63	4.46	3.35	5.58	4.46	3.35	5.58	4.46					
SF12		6.05	7.57	16.65	10.09	85.71	104.34	121.73	103.93	8.84	6.74	9.70	8.43	34.04	41.85	11.72	34.04	41.85	11.72	29.20					
SF13		1.51	6.05	6.05	4.54	46.40	49.28	16.79	37.49	5.96	4.28	4.96	5.07	6.14	5.58	2.79	6.14	5.58	2.79	4.84					
SF14		4.54	3.03	3.03	3.53	43.34	47.88	516.30	202.51	4.68	4.62	11.02	6.77	3.35	5.02	6.70	3.35	5.02	6.70	5.02					
SF15		3.03	4.54	4.54	4.04	86.87	60.13	49.96	65.65	3.66	4.04	3.88	3.86	6.70	7.25	5.58	6.70	7.25	5.58	6.51					
PA 4	SF16	4.54	3.03	3.03	3.78	49.96	40.37	38.77	43.03	4.50	-	4.90	4.70	6.70	0.00	5.02	6.70	0.00	5.02	3.91					
	SF17	4.54	4.54	6.05	5.04	38.77	48.47	50.31	45.85	3.72	3.94	4.34	4.00	3.35	2.79	3.91	3.35	2.79	3.91	3.35					
	SF18	1.51	3.03	3.03	2.52	45.42	39.07	47.94	44.14	3.28	1.40	4.38	3.02	3.35	3.91	5.58	3.35	3.91	5.58	4.28					
	SF19	1.51	1.51	1.51	1.51	44.65	42.36	34.63	40.61	2.02	2.84	1.22	2.03	6.14	6.14	7.81	6.14	6.14	7.81	6.70					
	SF20	0.00	6.05	3.03	3.03	49.48	39.07	115.53	68.03	1.34	1.72	2.96	2.01	6.14	7.81	8.93	6.14	7.81	8.93	7.63					
	SF21	6.05	4.54	4.54	5.04	45.15	43.22	102.65	63.67	0.50	1.74	1.92	1.39	7.81	6.70	6.70	7.81	6.70	6.70	7.07					
PA 1,2,3	SF22	6.05	3.03	4.54	4.54	53.10	54.71	39.81	49.21	4.66	4.30	4.20	4.39	6.14	7.25	4.46	6.14	7.25	4.46	5.95					
	SF23	4.54	3.03	6.05	4.54	45.66	45.33	65.27	52.08	4.90	4.94	4.76	4.87	6.70	7.25	5.58	6.70	7.25	5.58	6.51					

S - superfície

M - meio

F - fundo

TABELA 21 - Valores na superfície, meio, fundo e valores médios na coluna d'água de Ortofosfato, Fósforo Total, Material em Suspensão e Clorofila, relativos à campanha de setembro/00.

RESERVATÓRIOS	Est.	PO ₄ -P (µg/l)						Fósforo Total (µg)						Mat. Suspensão (mg/l)						Clorofila-a (µg/l)					
		S		M		F		S		M		F		S		M		F		S		M		F	
		media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media	media
I T A P A R I C A M O X O T O PA 4 PA 1,2,3	SF1	1.51	3.03	1.51	3.03	1.51	2.02	34.83	27.62	35.54	32.66	1.10	1.16	1.06	1.10	35.15	33.48	32.36	18.41	12.83	17.30	16.18	33.67		
	SF2	1.51	3.03	1.51	2.02	19.58	28.18	22.99	23.58	0.26	0.92	0.59	0.26	0.92	0.59	18.41	12.83	17.30	16.18	12.83	17.30	16.18	33.67		
	SF3	4.54	1.51	3.03	3.03	23.58	67.79	48.80	46.72	1.12	0.99	8.96	1.12	0.99	24.78	44.64	41.85	28.46	44.64	41.85	28.46	38.32	38.32		
	SF4	1.51	4.54	3.03	3.03	18.75	26.82	19.96	21.84	1.01	1.06	0.89	1.01	1.06	0.89	29.02	37.39	39.06	29.02	37.39	39.06	35.15	35.15		
	SF5	4.54	3.03	1.51	3.03	30.58	29.93	26.07	28.86	1.39	1.65	1.36	1.39	1.65	1.36	32.36	35.15	44.64	32.36	35.15	44.64	37.39	37.39		
	SF6	3.03	4.54	3.03	3.53	20.67	22.51	18.95	20.71	0.83	1.26	0.90	0.83	1.26	0.90	41.29	32.92	30.13	41.29	32.92	30.13	34.78	34.78		
	SF7	3.03	1.51	3.03	2.52	18.51	22.07	27.31	22.63	1.17	1.02	1.23	1.17	1.02	1.23	32.36	34.04	36.83	32.36	34.04	36.83	34.41	34.41		
	SF8	1.51	0.00	1.51	1.01	21.74	21.56	24.35	22.55	0.92	0.75	0.72	0.92	0.75	0.72	29.02	24.55	24.55	29.02	24.55	24.55	26.04	26.04		
	SF9	1.51	3.03	1.51	2.02	24.53	24.29	37.59	28.80	0.98	1.18	2.67	0.98	1.18	2.67	23.44	29.57	25.67	23.44	29.57	25.67	26.23	26.23		
	SF10	1.51	1.51	4.54	2.52	32.30	33.82	34.50	33.54	0.40	0.98	1.39	0.40	0.98	1.39	26.78	31.81	31.81	26.78	31.81	31.81	30.13	30.13		
	SF11	1.51	1.51	3.03	2.02	35.18	43.79	36.87	38.61	0.96	1.07	0.88	0.96	1.07	0.88	32.36	29.02	24.55	32.36	29.02	24.55	28.64	28.64		
	SF12	33.29	40.86	45.40	39.85	102.71	120.51	147.75	123.66	7.86	8.37	14.86	7.86	8.37	14.86	36.27	41.85	54.13	36.27	41.85	54.13	44.08	44.08		
	SF13	7.57	3.03	4.54	5.04	33.02	37.29	39.01	36.44	1.67	1.25	1.61	1.67	1.25	1.61	31.81	49.66	34.04	31.81	49.66	34.04	38.50	38.50		
	SF14	1.51	3.03	1.51	2.02	33.97	30.76	103.93	56.22	0.83	0.96	0.84	0.83	0.96	0.84	39.06	39.62	37.39	39.06	39.62	37.39	38.69	38.69		
	SF15	1.51	6.05	3.03	3.53	21.56	27.85	24.83	24.75	1.30	0.86	0.37	1.30	0.86	0.37	44.08	53.01	31.25	44.08	53.01	31.25	42.78	42.78		
	SF16	3.03	3.03	6.05	4.04	26.76	23.11	26.55	25.47	0.47	0.23	0.94	0.47	0.23	0.94	0.00	23.44	27.34	16.93	0.00	23.44	27.34	16.93	16.93	
SF17	6.05	3.03	3.03	4.04	27.08	29.46	27.62	28.05	1.54	1.03	1.30	1.54	1.03	1.30	35.15	50.78	31.81	35.15	50.78	31.81	39.25	39.25			
SF18	1.51	3.03	1.51	2.02	27.08	20.58	22.63	23.43	0.96	0.99	1.25	0.96	0.99	1.25	49.66	39.06	40.73	49.66	39.06	40.73	43.15	43.15			
SF19	1.51	1.51	1.51	1.51	31.21	33.94	29.40	31.51	1.39	1.13	1.41	1.39	1.13	1.41	41.29	49.66	46.31	41.29	49.66	46.31	45.76	45.76			
SF20	1.51	4.54	4.54	3.53	25.57	35.36	33.94	31.62	1.38	1.36	4.74	1.38	1.36	4.74	53.61	47.99	30.69	53.61	47.99	30.69	47.43	47.43			
SF21	1.51	1.51	3.03	2.02	29.81	28.89	28.12	28.94	1.02	1.61	0.91	1.02	1.61	0.91	30.69	40.18	29.02	30.69	40.18	29.02	33.29	33.29			
SF22	3.03	4.54	3.03	3.53	36.52	23.97	28.57	29.68	0.64	1.06	1.26	0.64	1.06	1.26	35.15	38.50	43.52	35.15	38.50	43.52	39.06	39.06			
SF23	1.51	6.05	1.51	3.03	32.78	33.05	56.10	40.64	0.53	0.90	0.51	0.53	0.90	0.51	37.94	38.50	35.71	37.94	38.50	35.71	37.39	37.39			

S - superfície

M-meio

F-fundo

TABELA 22 – Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO₄), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em setembro/99.

Estações	S (m)	IET(S)	ET	P (mg/l)	IET(P)	ET	PO ₄ (mg/l)	IET(PO ₄)	ET	Cl (mg/l)	IET(Cl)	ET	IET	ET
SF01	3,3	33,54	oligo	51,300	53,53	meso	0,000	0,00	oligo	5,580	47,807	meso	33,746	oligo
SF02	4,0	30,77	oligo	18,960	39,17	oligo	1,513	21,54	oligo	3,488	43,094	oligo	34,054	oligo
SF03	3,4	33,11	oligo	23,650	42,36	oligo	1,513	21,54	oligo	1,395	33,907	oligo	32,676	oligo
SF04	4,0	30,77	oligo	63,690	56,65	eutro	0,000	0,00	oligo	3,488	43,094	oligo	32,894	oligo
SF05	4,0	30,77	oligo	53,540	54,15	eutro	0,000	0,00	oligo	3,488	43,094	oligo	32,179	oligo
SF06	3,3	33,54	oligo	18,500	38,82	oligo	0,000	0,00	oligo	6,278	48,988	meso	29,879	oligo
SF07	3,4	33,11	oligo	44,800	51,58	meso	3,027	31,54	oligo	6,278	48,988	meso	42,475	oligo
SF08	3,5	32,69	oligo	26,790	44,16	meso	0,000	0,00	oligo	7,673	51,000	meso	31,859	oligo
SF09	3,7	31,89	oligo	97,820	62,84	eutro	0,000	0,00	oligo	4,885	46,468	meso	35,788	oligo
SF10	3,7	31,89	oligo	24,800	43,05	oligo	1,513	21,54	oligo	6,975	50,044	meso	37,308	oligo
SF11	3,8	31,51	oligo	66,680	57,31	eutro	0,000	0,00	oligo	4,185	44,922	meso	33,712	oligo
SF12	0,6	59,39	eutro	54,420	54,38	eutro	4,540	37,39	oligo	20,228	60,720	eutro	52,054	meso
SF13	2,4	38,14	oligo	64,650	56,87	eutro	0,000	0,00	oligo	3,488	43,094	oligo	34,009	oligo
SF14	3,8	31,51	oligo	26,580	44,05	meso	1,513	21,54	oligo	4,185	44,922	meso	36,075	oligo
SF15	3,9	31,13	oligo	31,000	46,27	meso	0,000	0,00	oligo	4,185	44,922	meso	30,501	oligo
SF16	3,9	31,13	oligo	24,510	42,88	oligo	0,000	0,00	oligo	4,885	46,468	meso	29,974	oligo
SF17	3,9	31,13	oligo	21,700	41,12	oligo	0,000	0,00	oligo	6,975	50,044	meso	30,494	oligo
SF18	3,9	31,13	oligo	23,330	42,16	oligo	0,000	0,00	oligo	3,488	43,094	oligo	28,807	oligo
SF19	4,8	28,14	oligo	20,320	40,17	oligo	1,513	21,54	oligo	2,790	40,857	oligo	33,325	oligo
SF20	4,6	28,75	oligo	23,350	42,18	oligo	0,000	0,00	oligo	2,790	40,857	oligo	27,831	oligo
SF21	5,4	26,44	oligo	22,590	41,70	oligo	1,513	21,54	oligo	3,488	43,094	oligo	34,158	oligo
SF22	3,7	31,89	oligo	23,700	42,39	oligo	4,540	37,39	oligo	4,185	44,922	meso	40,186	oligo
SF23	3,7	31,89	oligo	27,070	44,31	meso	3,027	31,54	oligo	2,093	37,972	oligo	37,077	oligo

oligo = oligotrófico, meso = mesotrófico e eutro = eutrófico.

TABELA 23 – Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO4), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em dezembro/99.

Estações	S (m)	IET(S)	ET	P (mg/l)	IET(P)	ET	PO4 (mg/l)	IET(PO4)	ET	Cl (mg/l)	IET(Cl)	ET	IET médio	ET médio
SF01	0,9	53,11	meso	33,640	47,44	meso	6,053	41,541	oligo	11,718	55,246	euro	48,796	meso
SF02	3,0	34,92	oligo	19,490	39,57	oligo	0,000	0,000	oligo	4,464	45,569	meso	29,314	oligo
SF03	1,7	43,11	oligo	24,260	42,73	oligo	4,540	37,391	oligo	6,696	49,635	meso	43,231	oligo
SF04	3,6	32,49	oligo	15,930	36,66	oligo	10,593	49,615	meso	2,790	40,857	oligo	40,964	oligo
SF05	4,4	29,39	oligo	13,940	34,73	oligo	10,593	49,615	oligo	2,232	38,619	oligo	39,333	oligo
SF06	4,0	30,77	oligo	12,680	33,37	oligo	6,053	41,541	oligo	1,674	35,735	oligo	36,008	oligo
SF07	4,5	29,07	oligo	10,990	31,30	oligo	0,000	0,000	oligo	2,232	38,619	oligo	24,131	oligo
SF08	5,0	27,55	oligo	16,040	36,76	oligo	3,027	31,541	oligo	1,674	35,735	oligo	33,660	oligo
SF09	6,1	24,68	oligo	12,190	32,80	oligo	1,513	21,541	oligo	3,348	42,685	oligo	31,247	oligo
SF10	5,0	27,55	oligo	17,740	38,21	oligo	0,000	0,000	oligo	6,138	48,763	meso	28,785	oligo
SF11	5,1	27,26	oligo	18,360	38,71	oligo	4,540	37,391	oligo	42,966	68,274	euro	45,144	meso
SF12	0,8	53,99	meso	38,940	49,55	meso	0,000	0,000	oligo	40,176	67,600	euro	41,185	oligo
SF13	4,0	30,77	oligo	17,740	38,21	oligo	0,000	0,000	oligo	1,116	31,669	oligo	24,362	oligo
SF14	5,1	27,26	oligo	29,340	45,47	meso	0,000	0,000	oligo	0,000	0,000	oligo	16,886	oligo
SF15	4,9	27,84	oligo	15,210	35,99	oligo	7,567	44,760	meso	0,558	24,719	oligo	34,112	oligo
SF16	3,2	33,99	oligo	13,580	34,36	oligo	4,540	37,391	oligo	0,000	0,000	oligo	25,355	oligo
SF17	5,7	25,66	oligo	15,600	36,36	oligo	6,053	41,541	oligo	2,232	38,619	oligo	36,956	oligo
SF18	6,0	25,04	oligo	17,290	37,84	oligo	46,913	71,083	euro	3,906	44,231	meso	47,336	meso
SF19	5,5	26,17	oligo	11,740	32,26	oligo	3,027	31,541	oligo	3,348	42,685	oligo	34,163	oligo
SF20	5,3	26,71	oligo	16,850	37,47	oligo	7,567	44,760	oligo	3,348	42,685	oligo	39,505	oligo
SF21	5,3	26,84	oligo	15,630	36,39	oligo	3,027	31,541	oligo	4,464	45,569	meso	36,262	oligo
SF22	5,7	25,78	oligo	25,210	43,28	oligo	1,513	21,541	oligo	3,906	44,231	meso	34,842	oligo
SF23	4,0	30,77	oligo	13,580	34,36	oligo	7,567	44,760	meso	3,906	44,231	meso	39,638	oligo

oligo = oligotrófico, meso = mesotrófico e euro = eutrófico.

TABELA 24 – Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO4), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em março/00.

Estações	S (m)	IET(S)	ET	P (µg/l)	IET(P)	ET	PO4 (µg/l)	IET(PO4)	ET	Cl (µg/l)	IET(Cl)	ET	IET	ET
SF01	0,5	60,77	eutro	59,825	56,75	eutro	6,053	41,541	oligo	3,720	43,741	oligo	48,976	meso
SF02	0,9	53,11	meso	53,993	54,27	eutro	1,513	21,541	oligo	9,300	52,929	meso	44,370	meso
SF03	0,5	60,77	eutro	57,197	55,10	eutro	6,053	41,541	oligo	11,160	54,757	eutro	51,938	meso
SF04	0,6	58,14	eutro	79,212	59,80	eutro	0,000	0,000	oligo	5,580	47,807	meso	39,050	oligo
SF05	0,8	53,99	meso	100,340	63,21	eutro	6,053	41,541	oligo	3,720	43,741	oligo	50,139	meso
SF06	0,8	53,99	meso	75,266	59,06	eutro	0,000	0,000	oligo	0,930	29,841	oligo	33,113	oligo
SF07	0,8	53,99	meso	108,730	64,37	eutro	3,027	31,541	oligo	2,232	38,619	oligo	46,149	meso
SF08	1,0	50,77	meso	81,111	60,14	eutro	0,000	0,000	oligo	2,232	38,619	oligo	35,470	oligo
SF09	0,7	55,91	eutro	83,128	60,50	eutro	0,000	0,000	oligo	3,348	42,685	oligo	37,468	oligo
SF10	0,8	53,99	meso	84,493	60,73	eutro	12,107	51,541	meso	2,232	38,619	oligo	50,824	meso
SF11	0,7	55,91	eutro	84,849	60,79	eutro	1,513	21,541	oligo	3,906	44,231	meso	44,148	meso
SF12	0,1	91,36	eutro	531,380	87,26	eutro	34,806	66,777	eutro	27,900	63,944	eutro	75,331	eutro
SF13	1,0	50,77	meso	43,222	51,06	meso	0,000	0,000	oligo	5,022	46,750	meso	35,198	oligo
SF14	0,8	53,99	meso	87,490	61,23	eutro	0,000	0,000	oligo	2,790	40,857	oligo	36,881	oligo
SF15	0,8	53,99	meso	100,430	63,22	eutro	0,000	0,000	oligo	10,602	54,243	eutro	41,274	oligo
SF16	0,7	55,91	eutro	82,861	60,45	eutro	48,913	71,083	eutro	6,696	49,635	meso	59,750	eutro
SF17	0,8	53,99	meso	32,019	46,73	meso	0,000	0,000	oligo	3,348	42,685	oligo	33,260	oligo
SF18	1,0	50,77	meso	29,545	45,57	meso	0,000	0,000	oligo	4,464	45,569	meso	33,293	oligo
SF19	2,8	35,91	oligo	21,178	40,77	oligo	0,000	0,000	oligo	6,696	49,635	meso	30,960	oligo
SF20	3,1	34,44	oligo	21,178	40,77	oligo	0,000	0,000	oligo	6,138	48,763	meso	30,501	oligo
SF21	3,8	31,51	oligo	21,297	40,85	oligo	0,000	0,000	oligo	5,580	47,807	meso	29,831	oligo
SF22	0,7	55,91	eutro	32,868	47,11	meso	0,000	0,000	oligo	3,348	42,685	oligo	33,643	oligo
SF23	0,8	53,99	meso	26,500	44,00	meso	0,000	0,000	oligo	2,790	40,857	oligo	31,958	oligo

oligo = oligotrófico, meso = mesotrófico e eutro = eutrófico.

TABELA 25 – Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO4), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em junho/00.

Estações	S (m)	IET(S)	ET	P (µg/l)	IET(P)	ET	PO4 (µg/l)	IET(PO4)	ET	Cl (µg/l)	IET(Cl)	ET	IET	ET
SF01	1,3	46,98	meso	22,602	41,71	oligo	9,080	47,391	meso	2,790	40,857	oligo	43,842	oligo
SF02	2,1	40,06	oligo	31,829	46,65	meso	7,567	44,760	meso	2,232	38,619	oligo	42,873	oligo
SF03	2,1	40,06	oligo	31,295	46,40	meso	9,080	47,391	meso	3,906	44,231	meso	45,158	meso
SF04	1,2	48,14	meso	26,044	43,75	oligo	9,080	47,391	oligo	2,790	40,857	oligo	44,591	meso
SF05	1,2	48,14	meso	66,840	57,35	eutro	6,053	41,541	eutro	3,906	44,231	meso	47,768	meso
SF06	1,2	48,14	meso	101,550	63,38	eutro	7,567	44,760	eutro	3,348	42,685	oligo	49,971	meso
SF07	1,2	48,14	meso	63,457	56,60	eutro	9,080	47,391	eutro	6,138	48,763	meso	50,520	meso
SF08	1,2	48,14	meso	90,813	61,77	eutro	12,107	51,541	eutro	4,464	45,569	meso	52,271	meso
SF09	1,1	49,39	meso	102,090	63,46	eutro	7,567	44,760	eutro	5,022	46,750	meso	51,333	meso
SF10	1,1	49,39	meso	53,192	54,05	eutro	6,053	41,541	oligo	3,906	44,231	meso	47,006	meso
SF11	1,1	49,39	meso	66,573	57,29	eutro	1,513	21,541	oligo	4,464	45,569	meso	42,599	oligo
SF12	1,0	51,51	meso	85,710	60,94	eutro	6,053	41,541	oligo	34,038	65,938	eutro	55,477	eutro
SF13	1,5	44,92	meso	46,397	52,08	meso	1,513	21,541	oligo	6,138	48,763	meso	41,384	oligo
SF14	1,1	49,39	meso	43,341	51,10	meso	4,540	37,391	oligo	3,348	42,685	oligo	44,535	meso
SF15	1,1	49,39	meso	86,867	61,13	eutro	3,027	31,541	oligo	6,696	49,635	meso	47,715	meso
SF16	9,0	19,07	oligo	49,958	53,15	meso	4,540	37,391	oligo	6,696	49,635	meso	42,774	oligo
SF17	1,1	49,39	meso	38,772	49,49	meso	4,540	37,391	oligo	3,348	42,685	oligo	44,075	meso
SF18	1,3	46,98	meso	45,418	51,78	meso	1,513	21,541	oligo	3,348	42,685	oligo	39,855	oligo
SF19	2,6	36,98	oligo	44,647	51,53	meso	1,513	21,541	oligo	6,138	48,763	meso	40,092	oligo
SF20	3,1	34,44	oligo	49,483	53,01	meso	0,000	0,000	oligo	6,138	48,763	meso	33,999	oligo
SF21	3,1	34,44	oligo	45,151	51,69	meso	6,053	41,541	oligo	7,812	51,181	meso	46,181	meso
SF22				53,102	54,03	eutro	6,053	41,541	oligo	6,138	48,763	meso	41,238	oligo
SF23	1,1	49,39	meso	45,655	51,85	meso	4,540	37,391	oligo	6,696	49,635	meso	46,735	meso

oligo = oligotrófico, meso = mesotrófico e eutro = eutrófico.

TABELA 26 – Índice de Estado Trófico (IET) e estado trófico (ET) nas estações de amostragem localizadas nos reservatórios de Itaparica, Moxotó,

Estações	S (m)	IET(S)	ET	P (µg/l)	IET(P)	ET	PO4 (µg/l)	IET(PO4)	ET	Cl (µg/l)	IET(Cl)	ET	IET médio	ET médio
SF01	4,5	29,07	oligo	34,826	47,94	meso	1,513	21,541	oligo	35,154	66,262	eutro	42,937	oligo
SF02	6,0	24,92	oligo	19,575	39,63	oligo	1,513	21,541	oligo	18,414	59,778	eutro	38,117	oligo
SF03	4,7	28,44	oligo	23,561	42,32	oligo	4,540	37,391	oligo	44,640	68,657	eutro	46,453	meso
SF04	5,0	27,55	oligo	18,745	39,01	oligo	1,513	21,541	oligo	29,016	64,338	eutro	39,617	oligo
SF05	3,2	33,99	oligo	30,583	46,07	meso	4,540	37,391	oligo	32,364	65,432	eutro	47,396	meso
SF06	5,0	27,55	oligo	20,673	40,42	oligo	3,027	31,541	oligo	41,292	67,875	eutro	43,889	oligo
SF07	4,7	28,44	oligo	18,508	38,82	oligo	3,027	31,541	oligo	32,364	65,432	eutro	42,862	oligo
SF08	6,0	24,92	oligo	21,742	41,15	oligo	1,513	21,541	oligo	29,016	64,338	eutro	39,853	oligo
SF09	6,2	24,44	oligo	24,531	42,89	oligo	1,513	21,541	oligo	23,436	62,196	eutro	39,671	oligo
SF10	6,2	24,44	oligo	32,304	46,86	meso	1,513	21,541	oligo	26,784	63,535	eutro	41,188	oligo
SF11	5,0	27,55	oligo	35,182	48,09	meso	1,513	21,541	oligo	32,364	65,432	eutro	42,525	oligo
SF12	1,0	51,51	meso	102,710	63,55	eutro	33,293	66,135	eutro	36,270	66,575	eutro	63,432	eutro
SF13	3,8	31,51	oligo	33,016	47,17	meso	7,567	44,760	meso	31,806	65,258	eutro	49,413	meso
SF14	6,0	24,92	oligo	33,965	47,58	meso	1,513	21,541	oligo	39,060	67,318	eutro	42,543	oligo
SF15	4,8	28,14	oligo	21,564	41,03	oligo	1,513	21,541	oligo	44,082	68,531	eutro	41,477	oligo
SF16	5,2	26,98	oligo	26,756	44,14	meso	3,027	31,541	oligo	0,000	0,000	oligo	25,478	oligo
SF17	5,7	25,66	oligo	27,082	44,32	meso	6,053	41,541	oligo	35,154	66,262	eutro	47,128	meso
SF18	5,3	26,71	oligo	27,082	44,32	meso	1,513	21,541	oligo	49,662	69,726	eutro	42,553	oligo
SF19	5,0	27,55	oligo	31,206	46,36	meso	1,513	21,541	oligo	41,292	67,875	eutro	42,729	oligo
SF20	4,0	30,77	oligo	25,569	43,49	oligo	1,513	21,541	oligo	63,612	72,208	eutro	43,605	oligo
SF21	5,6	25,91	oligo	29,812	45,70	meso	1,513	21,541	oligo	30,690	64,900	eutro	41,457	oligo
SF22	4,5	29,07	oligo	36,517	48,63	meso	3,027	31,541	oligo	35,154	66,262	eutro	45,990	meso
SF23	4,5	29,07	oligo	32,779	47,07	meso	1,513	21,541	oligo	37,944	67,027	eutro	42,906	oligo

Paulo Afonso I-II-III e Paulo Afonso IV, com base na profundidade de Secchi (S) e nas concentrações de fósforo total (P), clorofila (Cl) e ortofosfato (PO4), e ainda IET e ET médios, determinadas a partir de amostras de superfície em setembro/00.

oligo = oligotrófico, meso = mesotrófico e eutro = eutrófico.

TABELA 35 – Taxas de deposição de material em suspensão total, nas câmaras de sedimentação instaladas nas estações de amostragem nos reservatórios analisados, observados em dezembro de 1999 e junho de 2000; e as taxas de sedimentação nas armadilhas instaladas no reservatório de Itaparica em março de 2001.

Taxa de deposição mg/cm ² dia				
Estações	dez/99	jun/00	Estações	mar/01
SF01	10,56	1,12	A1	93,32
SF02	0,31	2,5	A2	5,31
SF09	0,12	0,36	A3	0,34
SF10	0,43	0,16	A4	0,26
SF12	1,65	1,63	A5	0,58
SF15	0,24	0,22	A7	0,40
SF16	0,05	0,09	A9	0,31
SF18	0,48	0,26	A10	0,46
SF23	0,5	-	A11	0,34

TABELA 37 – Taxas de deposição de nitrogênio e fósforo totais nas câmaras de sedimentação para os experimentos de dezembro de 1999 e junho de 2000.

Estações	dezembro de 1999				junho de 2000			
	N. total µg/l	N. total µg/cm ² .dia	F. total µg/l	F. total µg/cm ² .dia	N. total µg/l	N. total µg/cm ² .dia	F. total µg/l	F. total µg/cm ² .dia
SF01	404,55	12,14	169,98	5,10	509,76	15,29	83,91	2,52
SF02	297,19	8,92	36,57	1,10	1114,81	33,44	115,62	3,47
SF09	319,05	9,57	18,00	0,54	675,55	20,27	58,17	1,75
SF10	96,42	2,89	14,59	0,44	135,49	4,06	21,08	0,63
SF12	231,66	6,95	5,51	0,17	844,94	25,35	89,37	2,68
SF15	35,59	1,07	12,02	0,36	273,21	8,20	27,88	0,84
SF16	58,79	1,76	6,79	0,20	206,08	6,18	19,95	0,60
SF18	27,69	0,83	13,84	0,42	177,71	5,33	23,93	0,72
SF23	103,19	3,10	14,06	0,42				

TABELA 42 – Concentrações de material em suspensão obtidas a partir das médias em clusters de 7x7 nos mapas de distribuição na superfície (B3-MSTs e B4-MSTs), gerados a partir dos dados espectrais das bandas 3 e 4; concentrações de material em suspensão das amostras coletadas em março/00 (MSTs-amostra) e erro médio entre os dois conjuntos de dados.

Estações	B3-MSTs mg/l	B4-MSTs mg/l	MSTs-amostra mg/l	difB3 mg/l	difB4 mg/l
1	6.64	8.67	10.00	3.36	1.33
2	2.68	2.06	2.00	-0.68	-0.06
3	6.73	7.04	6.80	0.07	-0.24
4	4.86	3.85	1.60	-3.26	-2.25
5	3.35	2.48	2.00	-1.35	-0.48
6	3.51	2.67	3.20	-0.31	0.53
7	1.77	2.52	4.60	2.83	2.08
8	1.69	2.13	3.00	1.31	0.87
9	1.71	1.08	1.20	-0.51	0.12
10	3.32	4.42	1.20	-2.12	-3.22
11	2.36	1.66	1.40	-0.96	-0.26
13	1.55	1.69	1.80	0.25	0.11
14	1.90	1.88	2.40	0.50	0.52
15	2.37	2.93	4.00	1.63	1.07
16	1.93	2.06	2.60	0.67	0.54
17	2.24	2.80	2.80	0.56	0.00
18	1.83	2.49	2.60	0.77	0.11
19	1.29	1.96	0.40	-0.89	-1.56
20	1.32	2.42	0.40	-0.92	-2.02
21	1.20	1.86	0.40	-0.80	-1.46
22	2.25	2.53	5.60	3.35	3.07
23	2.22	2.82	4.00	1.78	1.18
			Σquad	60.70	44.12
			Erro médio	0.35	0.30

TABELA 43 – Concentrações de material em suspensão obtidas a partir das médias em clusters de 7x7 nos mapas de distribuição no meio da coluna d'água (B3-MSTm e B4-MSTm), gerados a partir dos dados espectrais das bandas 3 e 4; concentrações de material em suspensão das amostras coletadas em março/00 (MSTm-amostra) e erro médio entre os dois conjuntos de dados.

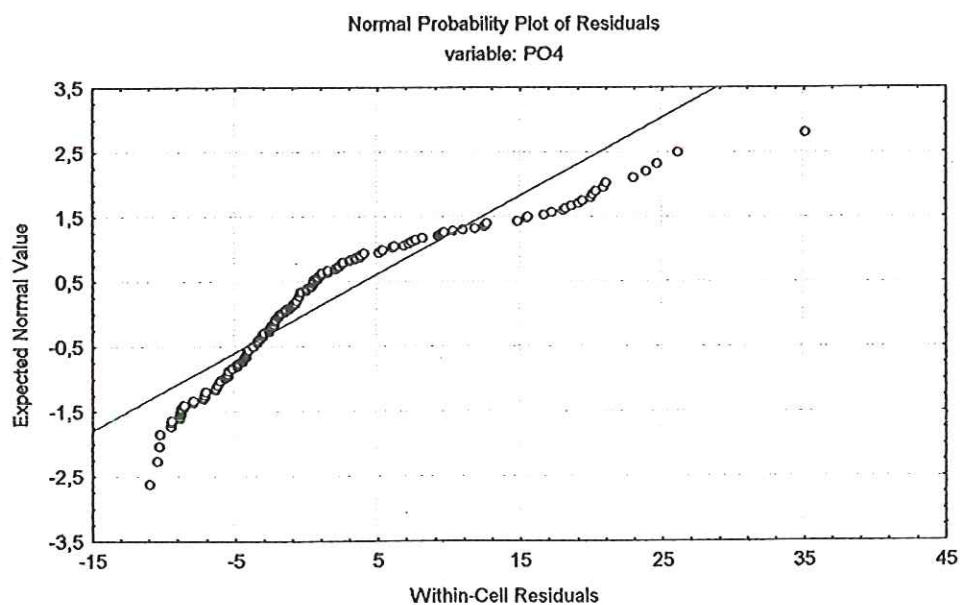
Estações	B3-MSTm mg/l	B4-MSTm mg/l	MSTm-amostra mg/l	difB3 mg/l	difB4 mg/l
1	7.87	10.17	11.0	3.1	0.8
2	2.24	1.47	0.8	-1.4	-0.7
3	8	8.02	8.8	0.8	0.8
4	5.34	3.82	2.4	-2.9	-1.4
5	3.19	2.03	3.6	0.4	1.6
6	3.41	2.27	2.4	-1.0	0.1
7	0.95	2.074	3.6	2.7	1.5
8	0.84	1.56	2.0	1.2	0.4
9	0.86	0.188	1.0	0.1	0.8
10	3.16	2.58	1.6	-1.6	-1.0
11	1.78	0.94	1.0	-0.8	0.1
13	0.64	0.98	1.6	1.0	0.6
14	1.33	1.23	2.2	0.9	1.0
15	1.8	2.6	2.4	0.6	-0.2
17	1.62	2.45	2.4	0.8	-0.1
18	1.138	2.11	1.0	-0.1	-1.1
20	0.314	1.94	0.2	-0.1	-1.7
21	0.14	1.2	0.8	0.7	-0.4
22	1.64	2.09	4.2	2.6	2.1
			Σquad	43.44	20.63
			Erro médio	0.35	0.24

ANEXO - B

B1.a Ortofosfato (PO₄)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: PO4
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

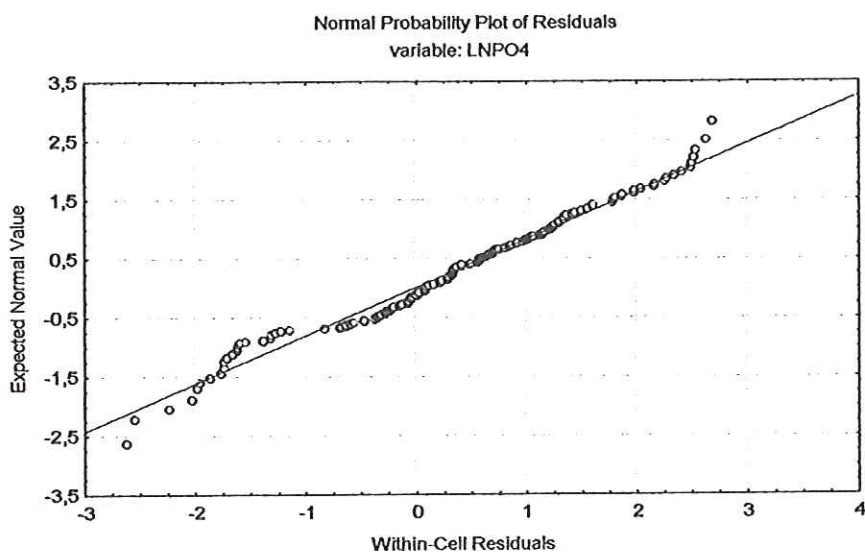
Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
PO4	176,3759	,207503	223,3259	23	0,00000	



B1.b LN (PO₄)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: LNPO4
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERIDO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)					
GENERAL					
MANOVA					
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p
LNPO4	20,87649	,090139	41,91791	23	,009315

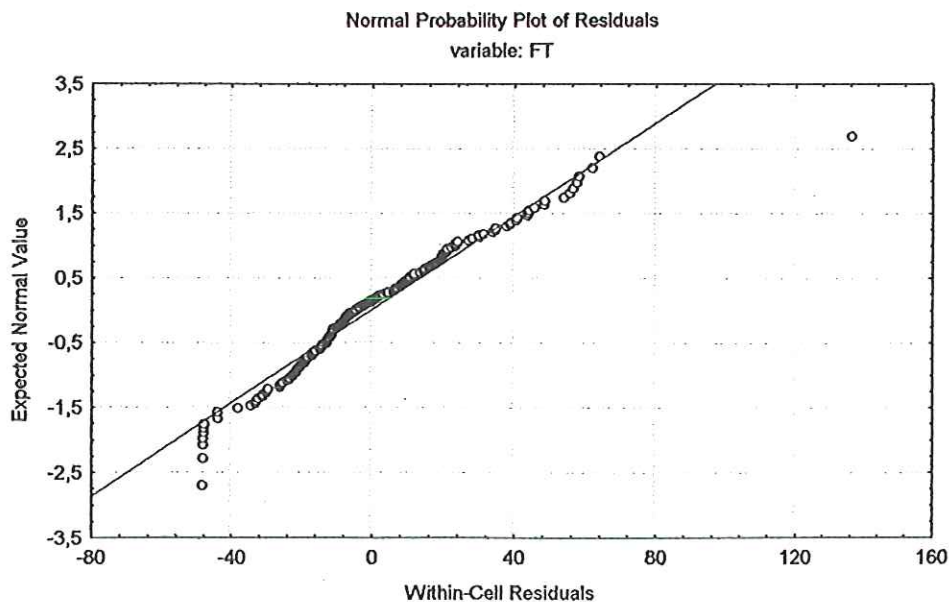


STAT. Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
GENERAL |1-RESER, 2-PERIDO, 3-SMF						
MANOVA						
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3*	4,46275*	249*	1,584326*	2,816815*	,039719*
2	1*	10,04854*	249*	1,584326*	6,342469*	,012416*
3	2	,15692	249	1,584326	,099047	,905736
12	3	3,71926	249	1,584326	2,347536	,073224
13	6	,19959	249	1,584326	,125981	,993084
23	2	,16193	249	1,584326	,102206	,902882
123	6	,37079	249	1,584326	,234039	,965155

STAT.				Tukey HSD test; variable LNPO4 (dados4.sta)			
GENERAL				Probabilities for Post Hoc Tests			
MANOVA				MAIN EFFECT: RESER			
RESER	PERIODO	SMF		{1}	{2}	{3}	{4}
				1,468119	,9727378	,9960833	1,233619
1	{1}		,036121*	,168433	,737473
2	{2}	,036121*		,999662	,691547
3	{3}	,168433	,999662		,823022
4	{4}	,737473	,691547	,823022	

B2.a Fósforo total (FT)

STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
GENERAL						
MANOVA						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
FT	101,6111	,283663	97,79269	23	,000000	



Dep Var: FT N: 192 Multiple R: 0.300 Squared multiple R: 0.090

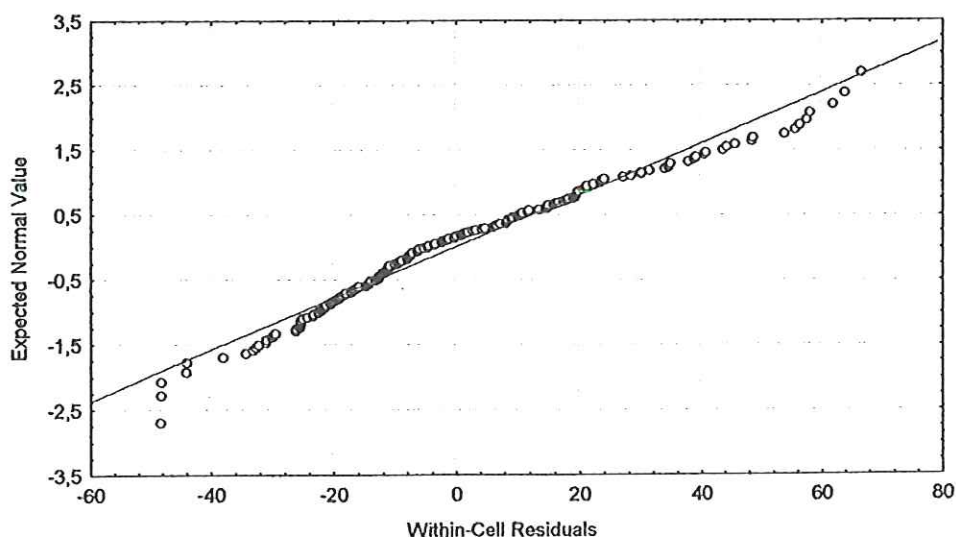
Analysis of Variance

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
RESER	11006.922	3	3668.974	4.507	0.005
PERIODO\$	387.400	1	387.400	0.476	0.491
SMF\$	26.953	2	13.476	0.017	0.984
RESER*PERIODO\$	3282.186	3	1094.062	1.344	0.262
RESER*SMF\$	378.474	6	63.079	0.077	0.998
PERIODO\$*SMF\$	60.193	2	30.096	0.037	0.964
RESER*PERIODO\$ *SMF\$	567.508	6	94.585	0.116	0.994
Error	136771.590	168	814.117		

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: FT
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERIODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
FT	56,31749	,194185	78,63613	23	,000000	

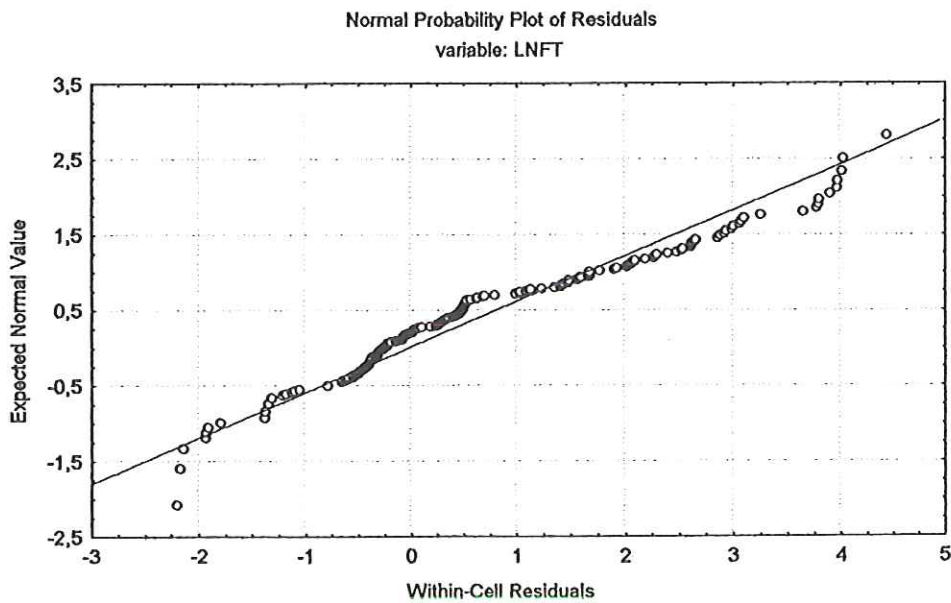
Normal Probability Plot of Residuals
variable: FT



B2.b LN (FT)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: LNFT
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)					
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p
LNFT	65,34993	,097488	205,8569	23	0,0000



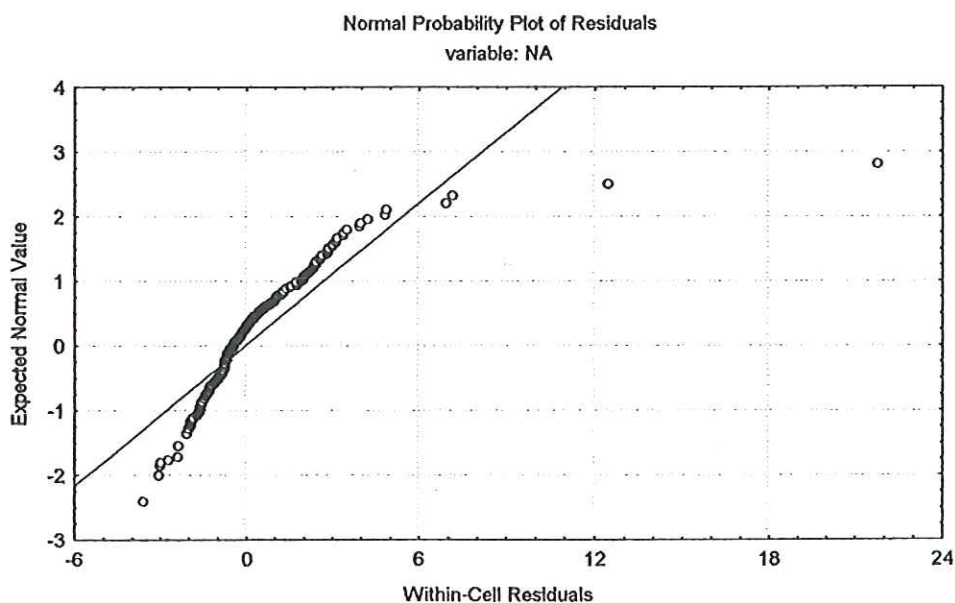
Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
Effect	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	3	4,0034	248	2,771567	1,4444	,230404
2	1*	372,7813*	248*	2,771567*	134,5020*	,000000*
3	2	1,1339	248	2,771567	,4091	,664687
12	3	3,9313	248	2,771567	1,4184	,237901
13	6	,3572	248	2,771567	,1289	,992643
23	2	1,0886	248	2,771567	,3928	,675605
123	6	,0960	248	2,771567	,0346	,999823

B3.a Nitrogênio amoniacal (NA)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects

DEPENDENT: 1 variable: NA
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
NA	155,9600	,483763	198,8828	23	,000000	

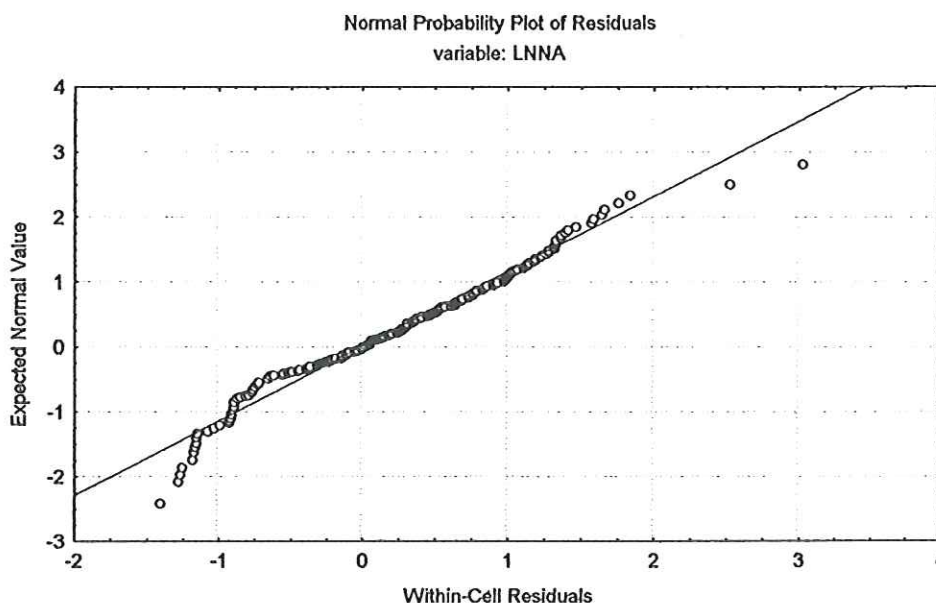


B3.b LN (NA)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects

DEPENDENT: 1 variable: LNNA
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

STAT. | Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
GENERAL |						
MANOVA |						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
LNNA	5,050086	,097934	29,24049	23	,172589	



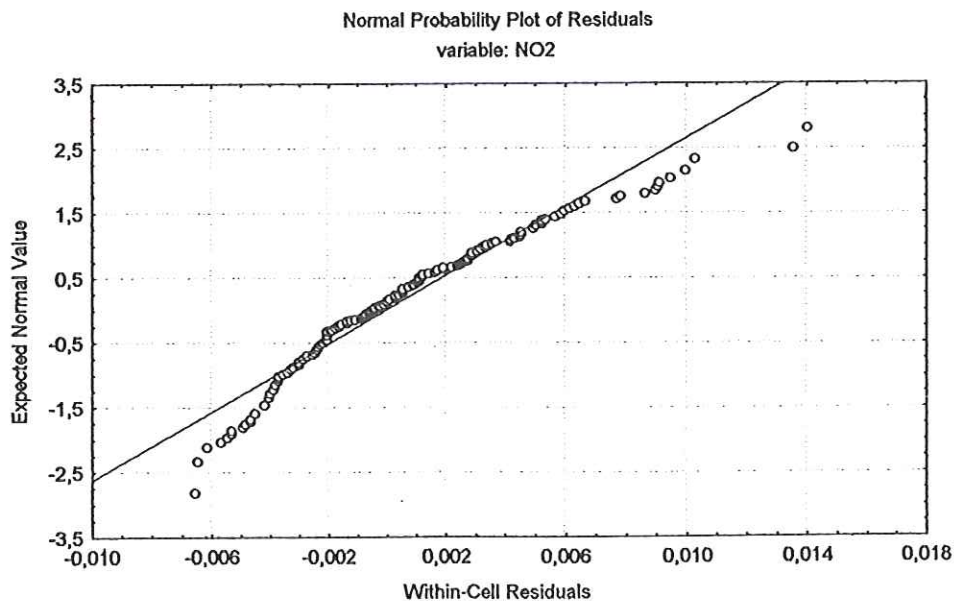
STAT. | Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
GENERAL | 1-RESER, 2-PERIDO, 3-SMF						
MANOVA |						
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	1,288252	249	,779274	1,653144	,177711
2	1	2,618133	249	,779274	3,359707	,068004
3	2	,863975	249	,779274	1,108692	,331614
12	3	,891893	249	,779274	1,144518	,331698
13	6	,349551	249	,779274	,448560	,845643
23	2	,713065	249	,779274	,915037	,401844
123	6	,429033	249	,779274	,550555	,769331

B4.a Logaritmo da concentração de nitrato -LN (NO₂)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: NO2
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERIDO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)					
GENERAL					
MANOVA					
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p
NO2	16,87623	,103129	39,45665	23	,017720

STAT. Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
GENERAL |1-RESER, 2-PERIDO, 3-SMF						
MANOVA						
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3*	,000124*	246*	,000015*	8,49800*	,000022*
2	1*	,000274*	246*	,000015*	18,68567*	,000022*
3	2	,000026	246	,000015	1,75170	,175636
12	3*	,000109*	246*	,000015*	7,45311*	,000085*
13	6	,000003	246	,000015	,21552	,971646
23	2	,000013	246	,000015	,89176	,411253
123	6	,000005	246	,000015	,37313	,895666



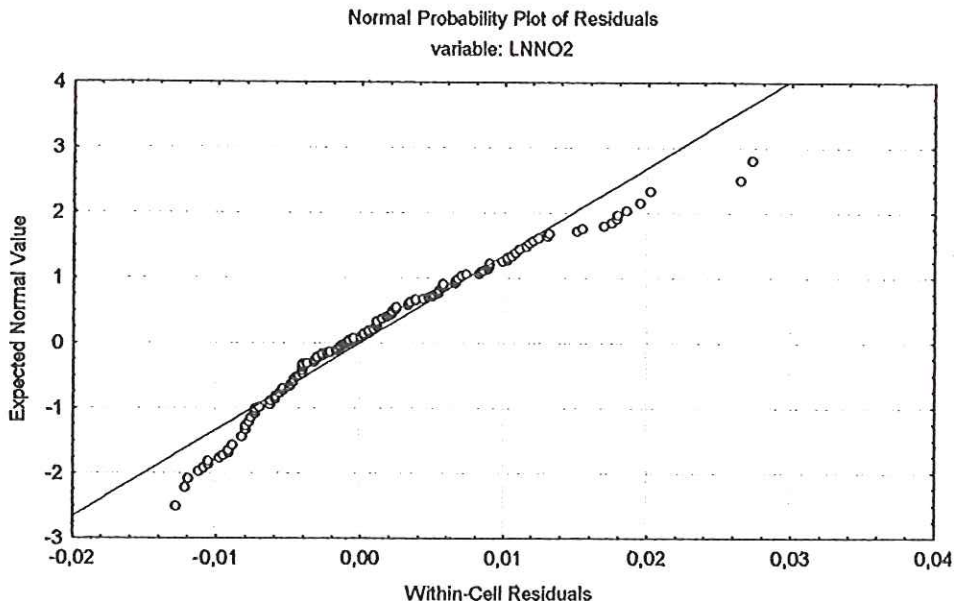
STAT.				Tukey HSD test; variable NO2 (dados4.sta)			
GENERAL				Probabilities for Post Hoc Tests			
MANOVA				INTERACTION: 1 x 2			
RESER	PERIODO	SMF		{1}	{2}	{3}	{4}
				,0066081	,0078038	,0071649	,0037673
1	Seca	....	{1}		,759694	,998214	,008879*
1	Chuva	....	{2}	,759694		,993909	,000033*
2	Seca	....	{3}	,998214	,993909		,001795*
2	Chuva	....	{4}	,008879*	,000033*	,001795*	
3	Seca	....	{5}	1,000000	,932680	,999478	,140165
3	Chuva	....	{6}	,034682*	,000143*	,009024*	,999999
4	Seca	....	{7}	,992955	,483647	,908307	,571764
4	Chuva	....	{8}	,000160*	,000032*	,000055*	,700512

STAT.				Tukey HSD test; variable NO2 (dados4.sta)			
GENERAL				Probabilities for Post Hoc Tests			
MANOVA				INTERACTION: 1 x 2			
RESER	PERIODO	SMF		{5}	{6}	{7}	{8}
				,0065717	,0035596	,0057503	,0021319
1	Seca	....	{1}	1,000000	,034682*	,992955	,000160*
1	Chuva	....	{2}	,932680	,000143*	,483647	,000032*
2	Seca	....	{3}	,999478	,009024*	,908307	,000055*
2	Chuva	....	{4}	,140165	,999999	,571764	,700512
3	Seca	....	{5}		,184770	,998244	,005557*
3	Chuva	....	{6}	,184770		,595027	,906865
4	Seca	....	{7}	,998244	,595027		,053868
4	Chuva	....	{8}	,005557*	,906865	,053868	

B4.b LN NO2

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: LNNO2
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERIODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
GENERAL						
MANOVA						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
LNNO2	16,58814	,101515	39,38794	23	,018033	



STAT. Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
GENERAL |1-RESER, 2-PERIDO, 3-SMF						
MANOVA						
Effect	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	3*	,000506*	249*	,000057*	8,89865*	,000013*
2	1*	,001082*	249*	,000057*	19,00297*	,000019*
3	2	,000121	249	,000057	2,12971	,121032
12	3*	,000423*	249*	,000057*	7,43261*	,000087*
13	6	,000012	249	,000057	,20859	,973903
23	2	,000051	249	,000057	,89315	,410672
123	6	,000026	249	,000057	,44810	,845969

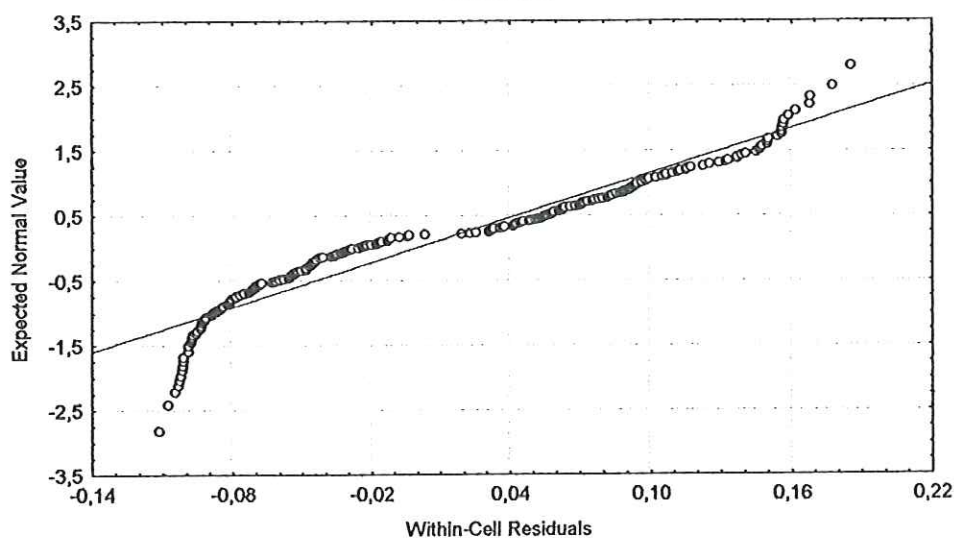
B5.a Nitrito (NO₃)⁻

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: NO3
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERIDO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)					
GENERAL					
MANOVA					
Variable	Hartley	Cochran	Bartlett	df	p
	F-max	C	Chi-sqr		
NO3	4,274299	,073165	25,61166	23	,319629

STAT. Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
GENERAL | 1-RESER, 2-PERIDO, 3-SMF						
MANOVA						
Effect	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	3	,002985	246	,007507	,397636	,754818
2	1*	,056062*	246*	,007507*	7,467481*	,006738*
3	2	,000365	246	,007507	,048639	,952534
12	3	,009593	246	,007507	1,277785	,282551
13	6	,000814	246	,007507	,108401	,995415
23	2	,000611	246	,007507	,081377	,921871
123	6	,000446	246	,007507	,059428	,999156

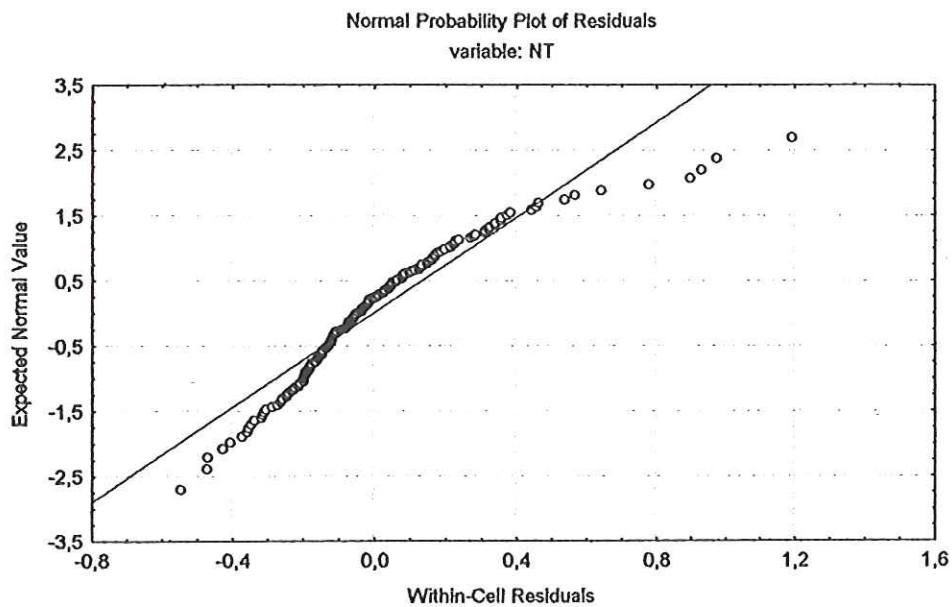
Normal Probability Plot of Residuals
variable: NO3



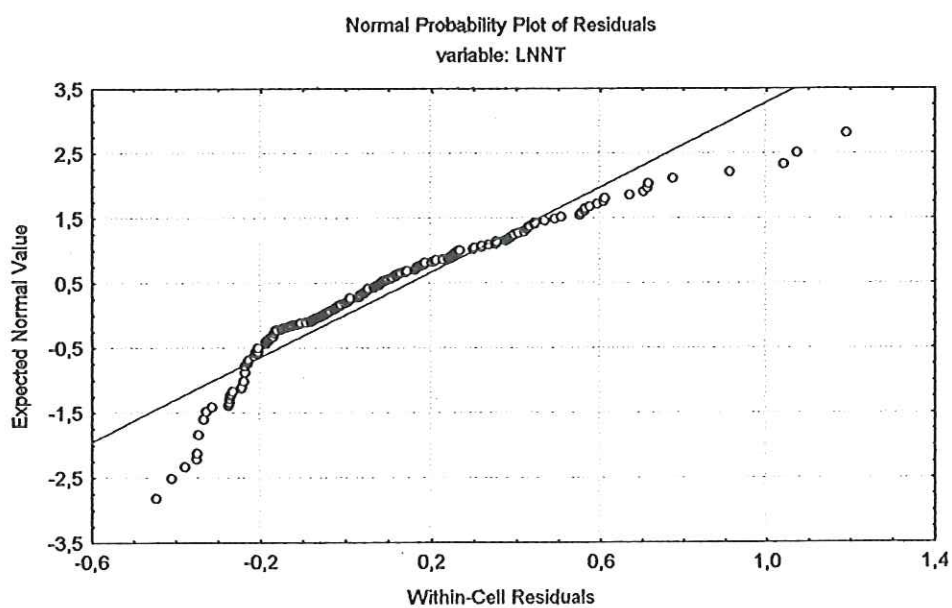
B6.a Nitrogênio total (NT)

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: NT
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERIDO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)					
GENERAL					
MANOVA					
Variable	Hartley	Cochran	Bartlett	df	p
	F-max	C	Chi-sqr		
NT	33,77261	,181872	95,56423	23	,000000



B6.b LN NT



DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: LNNT
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

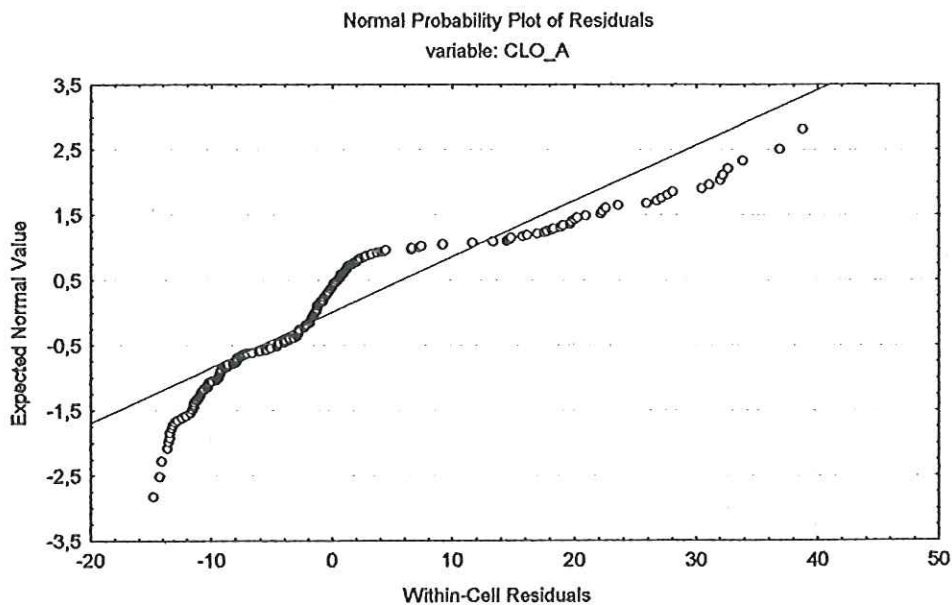
Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
LNNT	11,47482	,106918	54,85229	23	,000206	

Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
Effect	df	MS	df	MS	F	p-level
Effect	Effect	Effect	Error	Error		
1	3*	,399253*	249*	,090264*	4,42318*	,004737*
2	1*	3,692275*	249*	,090264*	40,90538*	,000000*
3	2	,021292	249	,090264	,23588	,790048
12	3*	,272964*	249*	,090264*	3,02406*	,030255*
13	6	,043409	249	,090264	,48091	,822296
23	2	,004966	249	,090264	,05501	,946485
123	6	,028853	249	,090264	,31966	,926387

B7.a Clorofila

DESIGN: 3 - way ANOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: CLO_A
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERiodo (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none

Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
CLO_A	476,6764	,131358	269,4964	23	0,0000	



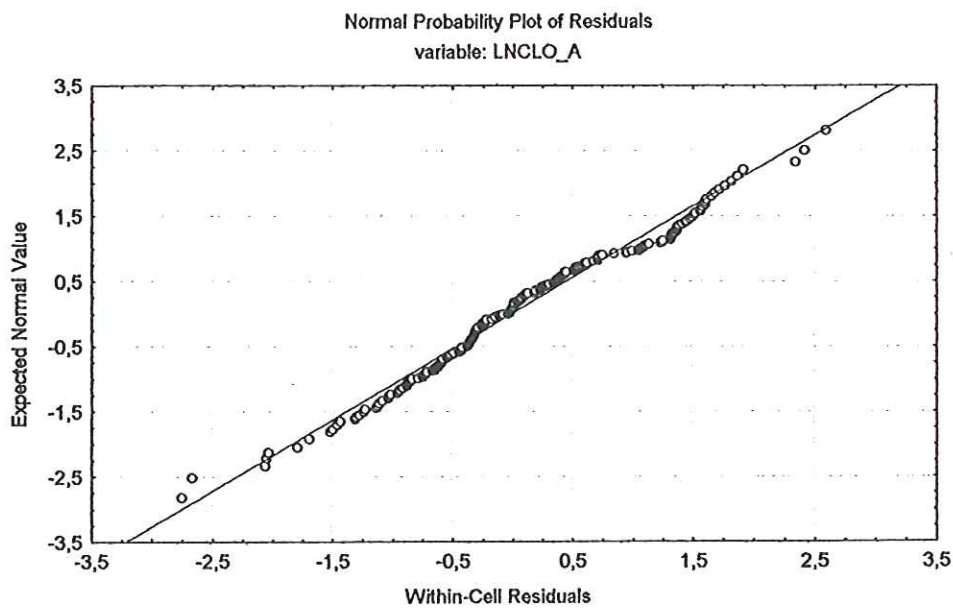
B7.b LN Clorofila

```

DESIGN: 3 - way ANOVA          , fixed effects
DEPENDENT: 1 variable:      LNCLO_A
  BETWEEN: 1-RESER ( 4):      1      2      3      4
           2-PERODO ( 2): Seca Chuva
           3-SMF ( 3): S M F
  WITHIN: none

```

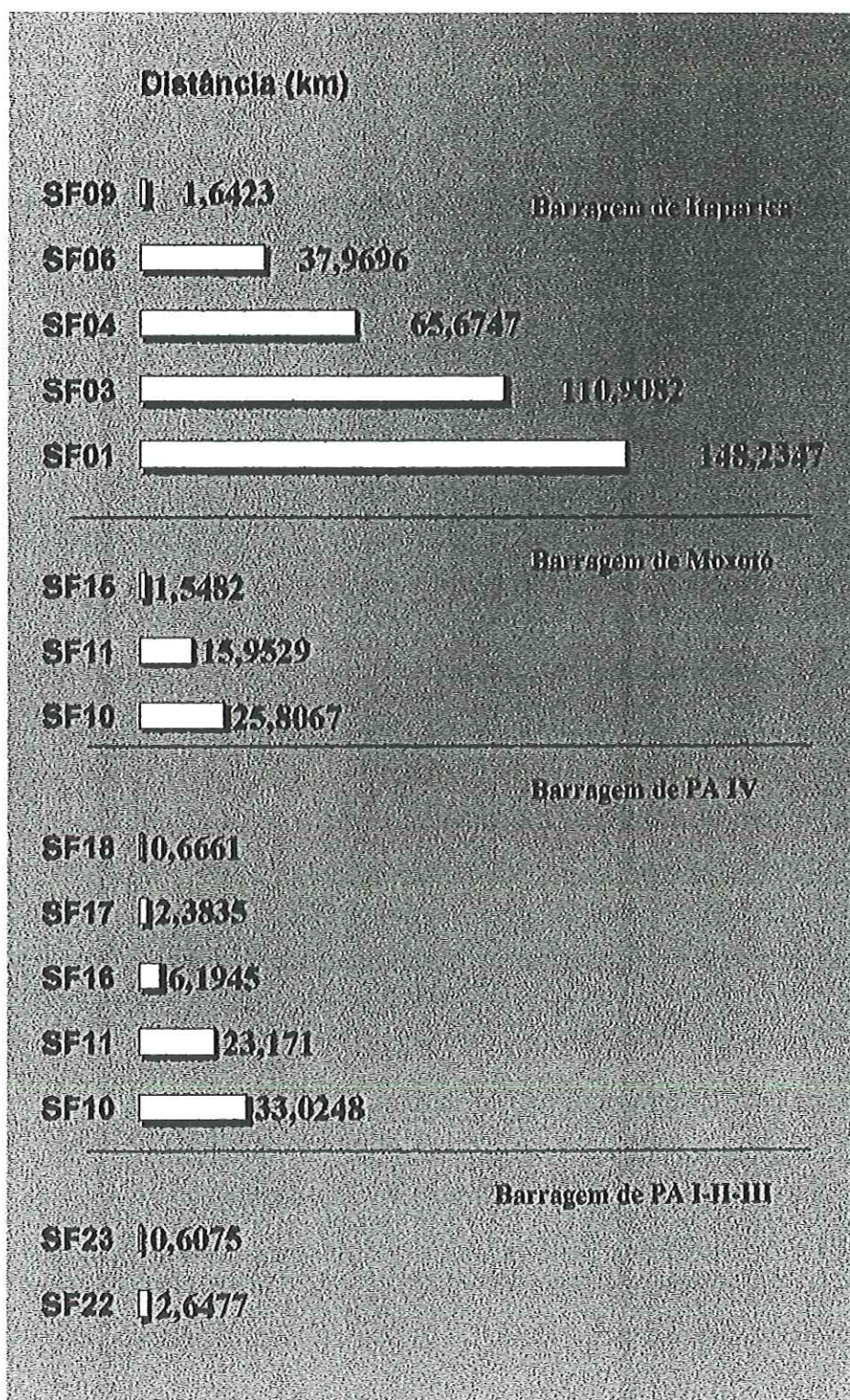
Tests of Homogeneity of Variances (dados4.sta)						
Variable	Hartley F-max	Cochran C	Bartlett Chi-sqr	df	p	
LNCLO_A	16,72988	,083393	54,97676	23	,000198	



STAT. Summary of all Effects; design: (dados4.sta)						
GENERAL | 1-RESER, 2-PERODO, 3-SMF						
MANOVA						
Effect	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	3	,30126	249	,887275	,33954	,796757
2	1*	46,57174*	249*	,887275*	52,48849*	,000000*
3	2	,20846	249	,887275	,23495	,790788
12	3	,74803	249	,887275	,84306	,471425
13	6	,27351	249	,887275	,30826	,932328
23	2	,08169	249	,887275	,09207	,912072
123	6	,18506	249	,887275	,20857	,973907

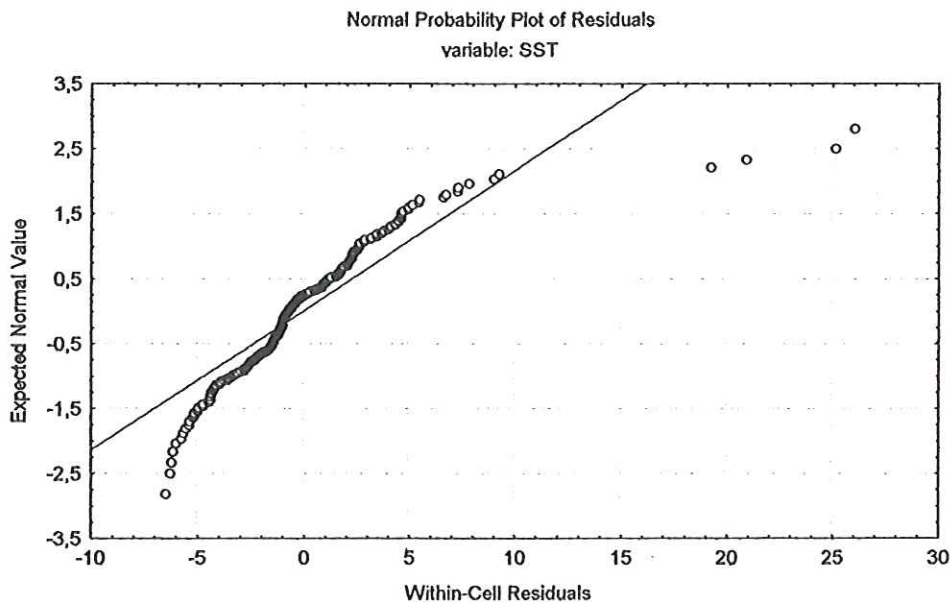
ANEXO - C

C.1 SST



As distâncias foram obtidas à partir da Imagem Landsat-5 de janeiro de 2000.

DESIGN: 3 - way ANCOVA , fixed effects
 DEPENDENT: 1 variable: SST
 COVARIATE: 1 variable: DIST
 BETWEEN: 1-RESER (4): 1 2 3 4
 2-PERODO (2): Seca Chuva
 3-SMF (3): S M F
 WITHIN: none



STAT. Tests of Homogeneity of Variances (dados3.sta)						
GENERAL						
MANOVA						
	Hartley	Cochran	Bartlett			
Variable	F-max	C	Chi-sqr	df	p	
SST	43,237	,176105	128,9297	23	,000000	
DIST	3425,184	,160592	558,2789	23	0,000000	

STAT. Test of Parallelism (dados3.sta)					
GENERAL MAIN EFFECT: RESER					
MANOVA					
Univar.	Sum of	Mean			
Test	Squares	df	Square	F	p-level
Effect	41,309	3	13,76976	,755035	,520379
Error	4413,410	242	18,23723		

```

+-----+-----+
| STAT. |Test of Parallelism (dados3.sta) |
| GENERAL |MAIN EFFECT: PERIODO |
| MANOVA | |
+-----+-----+
| Univar. | Sum of | | Mean | | |
| Test | Squares | df | Square | F | p-level |
+-----+-----+
| Effect | 17,115 | 1 | 17,11528 | ,941077 | ,332962 |
| Error | 4437,604 | 244 | 18,18690 | | |
+-----+-----+

```

```

+-----+-----+
| STAT. |Test of Parallelism (dados3.sta) |
| GENERAL |MAIN EFFECT: SMF |
| MANOVA | |
+-----+-----+
| Univar. | Sum of | | Mean | | |
| Test | Squares | df | Square | F | p-level |
+-----+-----+
| Effect | 8,187 | 2 | 4,09338 | ,223700 | ,799719 |
| Error | 4446,533 | 243 | 18,29849 | | |
+-----+-----+

```

```

+-----+-----+
| STAT. |Test of Parallelism (dados3.sta) |
| GENERAL |INTERACTION: 1 x 2 |
| MANOVA | |
+-----+-----+
| Univar. | Sum of | | Mean | | |
| Test | Squares | df | Square | F | p-level |
+-----+-----+
| Effect | 87,241 | 7 | 12,46293 | ,679151 | ,689661 |
| Error | 4367,479 | 238 | 18,35075 | | |
+-----+-----+

```

```

+-----+-----+
| STAT. |Test of Parallelism (dados3.sta) |
| GENERAL |INTERACTION: 1 x 2 |
| MANOVA | |
+-----+-----+
| Univar. | Sum of | | Mean | | |
| Test | Squares | df | Square | F | p-level |
+-----+-----+
| Effect | 87,241 | 7 | 12,46293 | ,679151 | ,689661 |
+-----+-----+

```

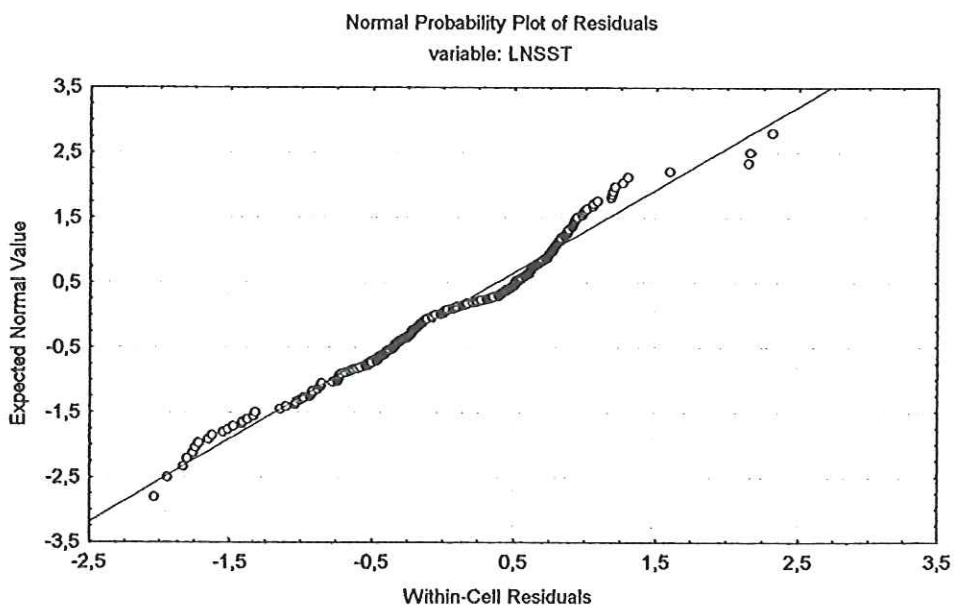
```

+-----+-----+
| STAT. |Test of Parallelism (dados3.sta) |
| GENERAL |INTERACTION: 1 x 2 |
| MANOVA | |
+-----+-----+

```

| Univar. |	| Sum of |	| Mean |	| |	| |
| Test |	| Squares |	| df |	| Square |	| F | p-level |
| Error |	| 4367,479 |	| 238 |	| 18,35075 |	| | |

C.2 LNSST



| STAT. | Tests of Homogeneity of Variances (dados3.sta) |					
| GENERAL |					
| MANOVA |					
|	| Hartley |	| Cochran |	| Bartlett |	|	|
| Variable |	| F-max |	| C |	| Chi-sqr |	| df |	| p |
| LNSST |	| 7,311 |	| ,099641 |	| 26,4264 |	| 23 |	| ,281253 |
| DIST |	| 3425,184 |	| ,160592 |	| 558,2789 |	| 23 |	| 0,000000 |

| STAT. | Test of Parallelism (dados3.sta) |					
| GENERAL | MAIN EFFECT: PERIODO |					
| MANOVA |					
| Univar. |	| Sum of |	| Mean |	| |	| |	
| Test |	| Squares |	| df |	| Square |	| F | p-level |	
| Effect |	| 1,4651 |	| 1 |	| 1,465074 |	| 2,323186 | ,128754 |	
| Error |	| 153,8740 |	| 244 |	| ,630631 |	| | |	

```

+-----+
| STAT. | Summary of all Effects; design: (dados3.sta) |
| GENERAL | 1-RESER, 2-PERiodo, 3-SMF |
| MANOVA | |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| | df | MS | df | MS | | |
| Effect | Effect | Effect | Error | Error | F | p-level |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 | | 3 | ,40866 | 245 | ,634037 | ,64454 | ,587073 |
| 2 | | 1*| 26,65318*| 245*| ,634037*| 42,03725*| ,000000*|
| 3 | | 2 | ,25928 | 245 | ,634037 | ,40894 | ,664809 |
| 12 | | 3 | ,37293 | 245 | ,634037 | ,58818 | ,623282 |
| 13 | | 6 | ,28456 | 245 | ,634037 | ,44881 | ,845456 |
| 23 | | 2 | ,06703 | 245 | ,634037 | ,10572 | ,899714 |
| 123 | | 6 | ,05273 | 245 | ,634037 | ,08317 | ,997807 |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```