

**ESTUDOS ECOTOXICOLÓGICOS E LIMNOLÓGICOS NOS  
RESERVATÓRIOS EM CASCATA DO MÉDIO E BAIXO RIO TIETÊ: UMA  
ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL**

**Suzelei Rodgher**

<p>Serviço de Pós-Graduação EESC/USP</p> <p><b>EXEMPLAR REVISADO</b></p> <p>Data de entrada no Serviço: 05 / 07 / 01</p> <p>Ass.: <i>Guilherme</i></p>
--

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

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

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036721



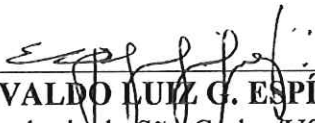
**São Carlos**

**2001**

**FOLHA DE JULGAMENTO**

Candidata: Licenciada **SUZELEI RODGHER**

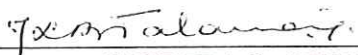
Dissertação defendida e julgada em 11-06-2001 perante a Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **EVALDO LUIZ G. ESPÍNDOLA (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)


APROVADA.

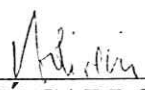
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutora **MARIA DA GRAÇA GAMA MELÃO**  
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutora **JANDIRA L. BISCALQUINI TALAMONI**  
(UNESP/Campus de Bauru)

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPÍNDOLA**  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Ciências da Engenharia Ambiental

  
\_\_\_\_\_  
/ **JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

À minha família pelo constante apoio e alegria

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Evaldo Luíz Gaeta Espíndola, pela orientação, apoio e estímulo.

À CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal e Ensino Superior), pela bolsa de estudo concedida.

Ao projeto PROBIO/MMA.

À Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Odete Rocha pelas oportunidades oferecidas.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Simões Pião pela realização da análise estatística.

Aos senhores Luis Alberto Milochi e João Estrocio pelo envio dos dados hidráulicos dos reservatórios do Médio e Baixo rio Tietê.

À geógrafa Cristina Criscuolo pela confecção dos mapas.

Aos técnicos do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA): Amândio, América, Beto, Denise, Henrique, Luci, Marcelo e Miro.

Aos técnicos do Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva da Universidade Federal de São Carlos: Airton, José Valdecir e Luís.

Aos funcionários do CRHEA: Claudete, Mara, Regina, Sônia, Paulo e Ivan pelos diversos auxílios prestados.

Aos meus pais, pelo afeto, dedicação e apoio.

À Solange e ao Marcus Vinícius pelas inúmeras idas ao CRHEA nos finais de semana e, acima de tudo, pela amizade e paciência.

À Sandra Fabiana, Marcelo e Marcela Fabiana pelo carinho e amizade

A todos os amigos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	xiii
RESUMO .....	xviii
ABSTRACT .....	xx
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Estudos ecotoxicológicos e o monitoramento ambiental .....	3
1.2 Reservatórios como ecossistemas: uma análise dos sistemas construídos em cascatas .....	8
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 Objetivo geral .....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
<b>3. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>14</b>
3.1 Considerações gerais da área de estudo .....	14
3.2 Características da área de estudo .....	15
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
4.1 Estações de coleta e período de amostragem.....	28
4.2 Variáveis climatológicas e hidrodinâmica dos reservatórios .....	30
4.3 Análise física e química da água.....	30
4.3.1 Análise dos dados obtidos. ....	32
4.3.1.1 Índice do estado trófico. ....	32
4.4 Análise física e química do sedimento.....	33
4.5 Bioensaio de toxicidade.....	34
4.5.1 Coleta das amostras da água e sedimento .....	34
4.5.2 Manutenção, cultivo e teste de sensibilidade dos organismos-teste.....	35
4.5.2.1 <i>Ceriodaphnia dubia</i> e <i>Daphnia similis</i> .....	35
4.5.2.2 Alimentação dos organismos-teste .....	36
4.5.2.3 Teste de sensibilidade de <i>Ceriodaphnia dubia</i> e <i>Daphnia similis</i> .....	37
4.5.3 Bioensaio de toxicidade com amostras de água. ....	37
4.5.3.1 Bioensaio de toxicidade aguda com <i>Daphnia similis</i> .....	37
4.5.3.2 Bioensaio de toxicidade crônica com <i>Ceriodaphnia dubia</i> .....	38
4.5.4 Bioensaio de toxicidade com amostras de sedimento.....	38
4.5.4.1 Bioensaio de toxicidade aguda com <i>Daphnia similis</i> .....	38
4.5.4.2 Bioensaio de toxicidade crônica com <i>Ceriodaphnia dubia</i> .....	39
4.6 Análise estatística.....	40

4.6.1	Análise estatística dos bioensaios de toxicidade.....	40
4.6.2	Análise de agrupamento .....	40
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
5.1	Variáveis climatológicas e hidrológicas.....	41
5.1.1	Dados climatológicos.....	41
5.1.2	Dados hidrodinâmicos .....	41
5.2	Caracterização física, química e biológica (clorofila) da água.....	44
5.2.1	Transparência da água .....	44
5.2.2	Temperatura e oxigênio dissolvido.....	46
5.2.3	pH e condutividade elétrica.....	50
5.2.4	Material em suspensão.....	53
5.2.5	Clorofila-a total .....	56
5.2.6	Formas nitrogenadas .....	58
5.2.7	Formas fosfatadas .....	64
5.2.8	Silicato .....	69
5.2.9	Metais.....	71
5.2.1.0	Análise dos dados .....	75
5.2.1.1.1	Índice do estado trófico .....	75
5.3	Caracterização física e química do sedimento .....	78
5.3.1	Granulometria e matéria orgânica .....	78
5.3.2	Nitrogênio orgânico .....	82
5.3.3	Fósforo total .....	84
5.3.4	Metais.....	86
5.4	Estudos ecotoxicológicos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.....	90
5.4.1	Teste de sensibilidade de <i>Ceriodaphnia dubia</i> e <i>Daphnia similis</i> .....	90
5.4.2	Bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água.....	91
5.4.3	Bioensaio de toxicidade crônica com amostras de água.....	94
5.4.4	Bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento .....	98
5.4.5	Bioensaio de toxicidade crônica com amostras de sedimento .....	100
<b>6.</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>104</b>
6.1	Caracterização espacial e temporal das variáveis ambientais nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê .....	104

6.2 Estudos ecotoxicológicos nos reservatórios em cascata do Médio e rio Baixo Tietê.....	133
6.2.1 Avaliação da qualidade da água.....	133
6.2.2 Avaliação da qualidade do sedimento.....	141
6.3 Avaliação ambiental dos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê.....	149
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>158</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>176</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Mapa do Estado de São Paulo, com a localização dos reservatórios do sistema Tietê/Paraná. FONTE: BARBOSA <i>et al.</i> (1999) .....	16
FIGURA 02 – Barragem do Reservatório de Barra Bonita.....	18
FIGURA 03 - Reservatório de Barra Bonita à montante com detalhe do banco de macrófitas .....	19
FIGURA 04 – Barragem do Reservatório de Álvaro de Souza Lima.....	20
FIGURA 05 - Reservatório de Álvaro de Souza Lima com detalhe do uso do solo e ocupação da bacia hidrográfica.....	20
FIGURA 06 - Reservatório de Ibitinga .....	21
FIGURA 07 - Reservatório de Ibitinga evidenciando os bancos de macrófitas submersos .....	21
FIGURA 08 – Barragem do Reservatório de Promissão .....	22
FIGURA 09 – Área de entorno do reservatório de Promissão .....	22
FIGURA 10 – Barragem do Reservatório de Nova Avanhandava.....	26
FIGURA 11 – Barragem do Reservatório de Três Irmãos.....	26
FIGURA 12 – Localização das estações de coleta nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP).....	29
FIGURA 13– Variação da precipitação no estado de São Paulo no período de julho de 1999 à julho de 2000.....	41
FIGURA 14 – Variação da vazão defluente média e tempo de residência da água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) no período de julho de 1999 à julho de 2000. ....	43
FIGURA 15 – Variação na visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM	



(Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 45

FIGURA 16 – Variação nos valores de temperatura na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 47

FIGURA 17 – Exemplos de perfil de temperatura e oxigênio dissolvido com a ocorrência de regiões de termoclina nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo..... 48

FIGURA 18 – Variação dos valores de oxigênio dissolvido na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 49

FIGURA 19 – Variação dos valores de pH na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 51

FIGURA 20 – Variação dos valores de condutividade na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 52

FIGURA 21 – Variação dos valores de material em suspensão total, matéria inorgânica e matéria orgânica nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante),

BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 54

FIGURA 22 – Variação dos valores de disco de Secchi e material em suspensão total nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 55

FIGURA 23 – Variação dos valores de clorofila-a mais feofitina nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 57

FIGURA 24 – Variação dos valores de nitrogênio orgânico total nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 59

FIGURA 25 – Variação dos valores de nitrato nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 60

FIGURA 26 – Variação dos valores de nitrito nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 62

FIGURA 27 – Variação dos valores de íon amônio nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 63

FIGURA 28 – Variação dos valores de fósforo total nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 65

FIGURA 29 – Variação dos valores de fosfato total dissolvido nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 66

FIGURA 30 – Variação dos valores de fosfato inorgânico nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 68

FIGURA 31 – Variação dos valores de silicato nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 70

FIGURA 32 – Variação dos valores de metais totais nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM

(Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 72

FIGURA 33 – Granulometria nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no mês de fevereiro de 2000..... 79

FIGURA 34 – Granulometria nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no mês de maio de 2000. .... 80

FIGURA 35 – Granulometria nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no mês de julho de 2000..... 81

FIGURA 36 – Variação das porcentagens de nitrogênio orgânico total nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)..... 83

FIGURA 37 – Variação dos valores de fósforo total nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). .... 85

FIGURA 38 – Variação dos valores de metais biodisponíveis nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)..... 87

FIGURA 39 – Porcentagem de imobilidade de neonatos de *Daphnia similis* obtidas em bioensaios de toxicidade aguda com amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e índices de toxicidade, no período de estudo. ■ não tóxico (imobilidade  $\leq 10\%$ ) ■ início de toxicidade ( $10\% < \text{imobilidade} < 40\%$ ) e ■ tóxico (imobilidade  $\geq 40\%$ ). T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova

Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 93

FIGURA 40 – Porcentagem de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* produzidos em relação ao controle, durante bioensaio de toxicidade crônica com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), durante o período de estudo. T (Tietê), Piracicaba (P), BBM (Barra Bonita Montante) BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 97

FIGURA 41 – Porcentagem de imobilidade de neonatos de *Daphnia similis* obtidas em bioensaios de toxicidade aguda com amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e índices de toxicidade, no período de estudo. ■ não tóxico (imobilidade  $\leq 10\%$ ) ■ início de toxicidade ( $10\% < \text{imobilidade} < 40\%$ ) e ■ tóxico (imobilidade  $\geq 40\%$ ). T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 99

FIGURA 42 – Porcentagem de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* produzidos em relação ao controle, durante bioensaio de toxicidade crônica com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), durante o período de estudo. T (Tietê), Piracicaba (P), BBM (Barra Bonita Montante) BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). .... 103

FIGURA 43 – Variação do grau de trofia nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), Piracicaba (P), BBM (Barra Bonita Montante) BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante). ..... 129

FIGURA 44 – Toxicidade nas amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. ■ Não tóxico, ■ início de toxicidade e ■ tóxico ..... 135

FIGURA 45 – Toxicidade nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo. ■ Não tóxico, ■ indicio de toxicidade e ■ tóxico..... 144

FIGURA 46 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em outubro/99. C1 (Tietê), C2 Piracicaba, C3 (Barra Bonita Montante) C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante), C15 (Três Irmãos Jusante)..... 152

FIGURA 47 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em fevereiro/00. C1 (Tietê), C2 Piracicaba, C3 (Barra Bonita Montante) C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante), C15 (Três Irmãos Jusante)..... 153

FIGURA 48 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em maio/00. C1 (Tietê), C2 Piracicaba, C3 (Barra Bonita Montante) C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante), C15 (Três Irmãos Jusante)..... 154

FIGURA 49 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em julho/00. C1 (Tietê), C2 Piracicaba, C3 (Barra Bonita Montante) C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante), C15 (Três Irmãos Jusante)..... 155

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Metodologias de análises das principais variáveis consideradas no presente estudo.....	31
TABELA 02 – Concentração efetiva inicial mediana CE(I)50; 48h, obtida em testes de sensibilidade ao dicromato de potássio para <i>Daphnia similis</i> .....	91
TABELA 03 – Concentração efetiva inicial mediana CE(I)50; 48h, obtida em testes de sensibilidade ao dicromato de potássio para <i>Ceriodaphnia dubia</i> .....	91
TABELA 04 – Resultado do teste de Kruskall – Wallis para os dados de reprodução de <i>Ceriodaphnia dubia</i> em bioensaios de toxicidade crônica com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP).....	96
TABELA 05 – Resultado do teste de Kruskall – Wallis para os dados de reprodução de <i>Ceriodaphnia dubia</i> em bioensaios de toxicidade crônica com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP). .....	102
TABELA 06 – Concentração de metais totais em amostras de água de rios e reservatórios.....	122
TABELA 07 – Comparação entre as concentrações de metais biodisponíveis na Estação Ecológica de Jataí e em algumas represas do estado de São Paulo. ....	125
TABELA 08 – Índices de estado trófico para os valores de fosfato inorgânico e clorofila-a das represas em cascata do rio Tietê, em estações localizadas à montante da barragem, nos períodos chuvosos e secos de 1979/1980 e 1999/2000. ....	130
TABELA 09 – Valores obtidos para os índices de estado trófico em relação aos valores de fosfato inorgânico e clorofila-a das represas dos rios Tietê, Paranapanema, Paraná e Atibaia.....	131
TABELA 10 – Médias mensais de precipitação no período de julho de 1999 à julho de 2000... ..	177
TABELA 11 - Valores mensais de vazão defluente média e tempo de residência da água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP).....	177
TABELA 12 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água, e visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro de 1999.....	179

TABELA 13 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água, e visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro de 2000.....	180
TABELA 14 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água, e visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio de 2000.....	181
TABELA 15 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água, e visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho de 2000.....	182
TABELA 16 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro de 1999. ....	183
TABELA 17 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro de 2000.....	184
TABELA 18 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio de 2000.....	185
TABELA 19 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho de 2000.....	186
TABELA 20 – Índice de estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em outubro/99, calculados com amostras de água de coluna integrada.....	187
TABELA 21 – Índice de estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em fevereiro/00, calculados com amostras de água de coluna integrada.....	187
TABELA 22 – Índice de estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em maio/00, calculados com amostras de água de superfície.....	188



TABELA 23 – Índice de estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em maio/00, calculados com amostras de água de coluna integrada.....	188
TABELA 24 – Índice de estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em julho/00, calculados com amostras de água de superfície.....	189
TABELA 25 – Índice de estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, em julho/00, calculados com amostras de coluna d'água integrada.....	189
TABELA 26 - Valores de granulometria, matéria orgânica, matéria inorgânica, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro de 1999.....	190
TABELA 27 - Valores de granulometria, matéria orgânica, matéria inorgânica, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro de 2000.....	191
TABELA 28 - Valores de granulometria, matéria orgânica, matéria inorgânica, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio de 2000.....	192
TABELA 29 - Valores de granulometria, matéria orgânica, matéria inorgânica, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho de 2000.....	193
TABELA 30 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.....	194
TABELA 31 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	196
TABELA 32 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	197
TABELA 33 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	198

TABELA 34 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.....	199
TABELA 35 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	201
TABELA 36 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade. ....	202
TABELA 37 - Porcentagem de imobilidade de <i>Daphnia similis</i> em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	203
TABELA 38 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de <i>Ceriodaphnia dubia</i> obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.....	204
TABELA 39 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de <i>Ceriodaphnia dubia</i> obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	206
TABELA 40 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de <i>Ceriodaphnia dubia</i> obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	207
TABELA 41 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de <i>Ceriodaphnia dubia</i> obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.....	208
TABELA 42 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de <i>Ceriodaphnia dubia</i> obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.....	209
TABELA 43 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de <i>Ceriodaphnia dubia</i> obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as	

amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.. ..... 211

TABELA 44 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.. ..... 212

TABELA 45 - Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.. ..... 213

## RESUMO

RODGHER, S – (2001). Estudos ecotoxicológicos e limnológicos nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê (SP): uma análise espacial e temporal. 213p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Entre os diversos impactos nos ecossistemas aquáticos, a construção de reservatórios talvez represente um dos principais agentes modificadores, inserindo alterações físicas, químicas e biológicas nos sistemas antes e após a sua construção. No Brasil, tal impacto também é singular, verificando-se o aproveitamento dos mesmos para a construção de barragens, principalmente as construídas em cascatas (sistema Paranapanema, Tietê e São Francisco, por exemplo), sendo que, nesse padrão de construção, espera-se, na maioria das vezes, um efeito crescente do controle da qualidade da água, com o primeiro reservatório mais eutrófico que os demais por sua capacidade de reter materiais provenientes dos principais tributários. No Estado de São Paulo, na região sudeste, destacam-se os reservatórios de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos. Visando avaliar os impactos e contribuir com informações para monitorar as condições ambientais desses reservatórios, foram realizadas coletas de água e sedimento em quatro períodos distintos (outubro/99, fevereiro, maio e julho/00), em 15 estações de coleta, incluindo estações nos rios Tietê e Piracicaba e à montante e à jusante da barragem de cada um dos seis reservatórios, bem como no rio Bauru (um afluente bastante impactado do reservatório de Bariri). Foram realizados bioensaios de toxicidade com amostras de água e sedimento, utilizando-se *Daphnia similis* (em bioensaios de toxicidade aguda) e *Ceriodaphnia dubia* (em bioensaios de toxicidade crônica), análises de metais totais na água e biodisponíveis no sedimento, além do monitoramento de variáveis limnológicas (temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, material em suspensão, clorofila-a, nutrientes totais e dissolvidos). Os resultados obtidos para as variáveis limnológicas, de um modo geral, revelaram diferenças na qualidade da água em relação às escalas espacial e temporal (efeitos de fatores climatológicos e hidrodinâmicos-vazão e tempo de retenção da água), com elevado aporte de nutrientes

pelos rios Tietê e Piracicaba, além da incorporação, da sedimentação e da redução de materiais no reservatório de Barra Bonita, promovendo a melhoria da qualidade da água nos demais reservatórios, caracterizando, assim, as primeiras estações como eutróficas e as demais como mesotróficas e oligotróficas. Concentrações de metais totais na água acima do limite estabelecido pela resolução CONAMA 20/1986 foram encontradas, bem como um aumento da fração biodisponível. Os bioensaios revelaram toxicidade aguda para *Daphnia similis* somente nos reservatórios localizados à jusante da barragem de Barra Bonita, o que não seria inicialmente esperado. Tal fato pode estar relacionado às entradas difusas de poluição ou a presença de metais no sistema Tietê, os quais, no primeiro reservatório, estariam mais presentes na forma retida em função de sua maior incorporação (pela maior biomassa e pelo maior tempo de retenção), não causando toxicidade aguda aos organismos devido à parte dissolvida não ser tão elevada. Os resultados de toxicidade crônica, porém, configuraram um padrão diferente, verificando-se toxicidade em ordem decrescente (de Barra Bonita à Três Irmãos), na maioria dos períodos de amostragens, o que demonstra o estado de degradação ambiental nos reservatórios e a necessidade de estudos mais integrados para uma melhor avaliação ambiental.

Palavras-chaves: Ecotoxicologia; limnologia; reservatórios; eutrofização.

## ABSTRACT

RODGHER, S. (2001). Ecotoxicological and limnological studies at the cascade reservoirs in the Medium and Low Tietê river (SP): a spatial and temporary analyses. 213p São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

Among the several impacts in the aquatic ecosystems, perhaps the construction of reservoirs represents one of the principal modifier agents, inserting physical, chemical and biological alterations in the systems before and after its construction. In Brazil, such impact is also singular, having verified this application for the construction of reservoirs, mainly the ones built in cascades (Paranapanema, Tietê and São Francisco system, for example) and, in that construction pattern, in most cases, a growing effect of the control of the quality of the water is anticipated, with the first reservoir being more eutrophic than the others for its capacity to retain materials that come from the principal tributary. In the southeast of São Paulo States, Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava and Três Irmãos reservoirs stand out. Seeking to evaluate the impacts and contributing with information to evaluate the environmental conditions of those reservoirs, collections of water and sediment were accomplished in four different periods (October/99, February, May and July/00), in 15 sampling stations, including stations in the Tietê and Piracicaba Rivers and at the specified place after and before the line of the dam, from each one of the six reservoirs, as well as the Bauru River (a very impacted tributary of the Bariri Reservoir ). Toxicity bioassays were accomplished with samples of water and sediment using *Daphnia similis* (in acute toxicity bioassays) and *Ceriodaphnia dubia* (in chronic toxicity bioassays), analyses of total metals in the water and bioavailable in the sediment, besides the monitoring of limnological variables (temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, material in suspension, chlorophyll-a, total nutrients and dissolved). The results obtained for the limnological variables, in general, revealed differences in the quality of the water in relation to the spatial and temporary scales (effects of climatological factors and hydrodynamic-flowing out and residence time) with high contribution of nutrients

from the Tietê and Piracicaba Rivers, besides the incorporation, the sedimentation and the reduction of materials in the Barra Bonita Reservoir, promoting the improvement of the water quality in the other reservoirs, characterizing, in this way, the first stations as eutrophic and the others as mesotrophic and oligotrophic. Concentrations of total metals in the water above the established limit for the resolution CONAMA 20/1986 were found out, and an increase of the fraction bioavailable of metals was verified as well. The bioassays only revealed acute toxicity for *Daphnia similis* to the points after the Barra Bonita Reservoir, something not initially awaited for. Such fact can be related to the diffuse entrances of pollution or to the presence of metals in the Tietê System, which, in the first reservoir, would be more present in the form retained in function of their largest incorporation (for the largest biomass and for the largest residence time), not causing acute toxicity to the organisms due to the dissolved part not to being so high. However, the results of chronic toxicity, configured a different pattern, being verified toxicity in decreasing order (from Barra Bonita to Três Irmãos), during most of the samplings periods, which demonstrates the state of environmental degradation in the reservoirs and the need for more integrated studies for a better environmental evaluation.

Key words: Ecotoxicology; limnology; reservoirs; eutrofication.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a humanidade vem se defrontando com uma série de problemas globais envolvendo aspectos ambientais, econômicos e sociais. Diante deste quadro, as preocupações com o ambiente, em geral, e com a água, em particular, adquiriram especial importância, pois as demandas estão se tornando cada vez maiores frente ao impacto causado pelo crescimento acelerado da população e pelo maior uso da água. Entretanto, a qualidade das águas de rios, lagos naturais e represas, em particular, e da vida, em geral, vem sendo degradada de uma maneira alarmante, sobretudo nas áreas mais densamente povoadas dos países em desenvolvimento, como o Brasil (REBOUÇAS *et al.*, 1999).

As águas utilizadas para o abastecimento do consumo humano e das suas atividades sócio-econômicas são captadas nos rios, lagos, represas e aquíferos subterrâneos. Essas águas apresentam características diferenciadas, que lhes são conferidas pelos ambientes de origem, por onde circulam, percolam ou onde são armazenadas. Considerando-se a importância crescente da influência de atividades antrópicas na qualidade das águas (formas de uso e ocupação do meio físico e das atividades sócio-econômicas), torna-se necessário distinguir as suas características naturais daquelas engendradas pelo homem, procurando-se reconhecer e estabelecer formas mais adequadas de manejo e recuperação dos recursos hídricos.

Segundo DERISIO (1992), a disponibilidade de água doce não é ilimitada. É indispensável preservá-la, controlá-la e, se possível, crescê-la. Segundo o autor, será impossível satisfazer essa demanda, ou elevar o nível de vida, se cada um deixar de considerar a água como um bem valioso.

O mesmo autor ressalta ainda que alterar a qualidade da água significa prejudicar a vida do homem e dos outros seres que dela dependem, pois a água é um meio vivente, portador de elementos benéficos que contribuem para a sua qualidade.



Contaminando-a, corre-se o risco de destruir esses organismos, transfigurando o processo de autodepuração e modificando, de forma desfavorável, o meio.

Entre as atividades que interferem na qualidade da água destaca-se a agricultura, com a aplicação crescente de fertilizantes à base de nitrogênio, fósforo e potássio, necessários ao aumento de produção de alimentos em consequência do crescimento demográfico e do empobrecimento progressivo dos solos, por lixiviação e erosão, que também constitui uma fonte considerável daqueles elementos para a água. Além disso, o uso crescente de produtos químicos, como os detergentes sintéticos, solventes, corantes, entre outros, contribui para o aumento significativo dos teores de nitrogênio, fósforo e metais nos esgotos domésticos e industriais (BRANCO, 1991). Tais atividades acabam contaminando a água e os sedimentos de rios, represas e lagoas marginais, produzindo amplas modificações na biota aquática.

Segundo BRAGA *et al.* (1999), o intenso uso da água e a poluição da mesma contribuem para agravar sua escassez, o que demonstra a necessidade crescente de acompanhamento das alterações da qualidade da água, as quais são feitas, normalmente, através de análises físicas e químicas da água.

No entanto, através das análises normalmente utilizadas no controle da poluição, torna-se difícil determinar o agente causador de distúrbio à vida aquática. Além disso, os resultados das análises químicas apenas fornecem os teores das substâncias químicas em quantidades absolutas, sendo difícil determinar as frações dessas substâncias que estão disponíveis para exercer um efeito tóxico aos organismos. Para ampliar estes estudos, têm sido utilizados, nas últimas décadas, testes de toxicidade com organismos-teste (ZAGATTO, 1999), objetivando reconhecer os efeitos dos poluentes na biota aquática.

Os testes de toxicidade podem ser considerados como uma análise indispensável no controle da poluição hídrica, uma vez que fundamentam-se na utilização de organismos vivos que são diretamente afetados pelos desequilíbrios que eventualmente ocorrem nos ecossistemas aquáticos onde vivem. No entanto, para o efetivo controle dos agentes químicos introduzidos nos ecossistemas aquáticos, faz-se necessário o uso de estudos interdisciplinares e de técnicas adequadas que possam prever o impacto dos agentes químicos sobre a biota dos recursos hídricos receptores.

De acordo com BRANCO (1999), o verdadeiro potencial de toxicidade de uma água só pode ser estimado, com relativo grau de segurança, através de ensaios realizados com seres vivos. Os bioensaios de toxicidade constituem a base para o biomonitoramento da água e são definidos como sendo a “determinação dos efeitos de poluentes tóxicos lançados a um corpo d’água sobre a vida aquática, inclusive com possibilidade de controle de bioacumulação desses poluentes nos tecidos dos organismos vivos”(PORTO, 1991).

Os ensaios realizados com água e o sedimento, os quais, segundo ADAMS *et al.* (1992), se tornaram uma extensão da avaliação da qualidade da água, são importantes na identificação de áreas que apresentam toxicidade, mostrando-se eficientes na caracterização de alguns efeitos diretos do sedimento, que não seriam obtidos em experimentos de rotina. Assim, os estudos ecotoxicológicos desempenham um importante papel nos programas de monitoramento de qualidade da água, gerando informações sobre o efeito das substâncias tóxicas lançadas nos sistemas aquáticos (ZAGATTO *et al.*, 1985).

### **1.1 Estudos ecotoxicológicos e o monitoramento ambiental**

Frente à expansão das atividades antrópicas e impactos gerados nos sistemas hídricos, novas formas de análise foram desenvolvidas, envolvendo não apenas análises físicas e químicas da água, mas também análises dos efeitos sobre a biota aquática. Nesse sentido surgiu, nas últimas décadas, uma nova linha de pesquisa denominada Ecotoxicologia Aquática, a qual, segundo HOFFMAN *et al.* (1995), é definida como a ciência que prediz os efeitos dos agentes tóxicos nos organismos aquáticos. Esta ampla definição inclui o estudo dos efeitos dos agentes em nível de célula, população e comunidade. No entanto, a maioria dos estudos executados até hoje tem sido em nível de indivíduo.

Desde que o termo ecotoxicologia foi utilizado pela primeira vez por Truhaut em 1969, esta ciência tem crescido e se desenvolvido como uma ferramenta eficiente na avaliação dos riscos ambientais (SOLOMON, 2000). Segundo CALOW (1993), a ecotoxicologia tem como objetivo a proteção dos sistemas ecológicos frente aos impactos provocados por substâncias químicas sintéticas. A ecotoxicologia é, as

vezes, usada como sinônimo de toxicologia ambiental, contudo esta também abrange os efeitos de químicos ambientais e outros agentes no homem.

Testes de toxicidade têm sido realizados com a finalidade de avaliar como os agentes químicos estão impactando os ecossistemas. O princípio fundamental em que todos os testes de toxicidade são baseados é que a identificação da resposta dos organismos vivos à presença (exposição) de agentes tóxicos é dependente da quantidade (nível de exposição) desses agentes (ADAMS, 1995), sendo que os testes de toxicidade avaliam efeitos causados às espécies-teste, quando expostas a várias concentrações de uma ou mais substâncias ou fatores ambientais, durante um certo intervalo de tempo (GHERARDI-GOLDSTEIN, 1988). Normalmente, têm sido utilizados testes de toxicidade aguda e crônica.

Os testes de toxicidade aguda são de curta duração, realizados para medir o efeito dos agentes tóxicos nas espécies aquáticas durante uma parcela curta de seu período de vida. A maior parte destes testes freqüentemente avaliam efeitos na sobrevivência, após um período de 24-96 horas. Nos testes de toxicidade crônica, os organismos são expostos aos agentes tóxicos durante um período significativo do seu ciclo de vida, sendo avaliados os efeitos sub-letais da substância na reprodução e no crescimento, podendo também ser incluídos efeitos fisiológicos, comportamentais e bioquímicos (ADAMS, *op.cit.*).

Segundo RAND *et al.* (1995), um teste de toxicidade aquática é freqüentemente chamado de bioensaio de toxicidade, sendo os dois termos comumente usados por praticantes da ecotoxicologia. Isso seria incorreto se a definição farmacêutica para bioensaio fosse utilizada: “um teste para avaliar o potencial tóxico de um químico, sobre um organismo vivo, através da comparação do efeito desse agente com o efeito de uma solução padronizada”. De acordo com o autor, um bioensaio de toxicidade refere-se aos procedimentos realizados para determinar o poder de um químico em relação ao grau de resposta provocada em um organismo-teste, e não apenas para estimar a concentração do químico que é tóxica ao organismo.

Uma variedade de métodos para a realização dos testes tem sido desenvolvida pela American Public Health Association (APHA), U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), American Society for Testing and Materials (ASTM),

International Standardization Organization (ISO) e Environment Canada, and Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) para avaliar o potencial tóxico e o risco de agentes químicos aos organismos aquáticos (RAND *et al.*, 1995).

Existem várias metodologias para a implementação destes testes em laboratório e várias também são as espécies consideradas como organismos-teste. Algumas das espécies-teste mais usadas, de acordo com ADAMS (1995), são peixes (*Pimephales promelas*), microcrustáceos (*Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia*), anfípodas (*Hyaella azteca*), larvas de insetos (*Chironomus sp*), algas verdes (*Selenastrum capricornutum*) e algas marinhas (*Skeletonema costatum*). Desde 1992, a CETESB vem utilizando *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia* (Crustacea-Cladocera) em testes de toxicidade aguda e crônica, em alguns pontos da rede de monitoramento de qualidade da água considerados críticos para o abastecimento humano (CETESB, 1992).

Segundo PERSOONE & JANSSEN (1993), os cladóceros, e mais particularmente os dafnídeos, têm emergido (por razões de praticidade e bem como sensibilidade) como o grupo chave para testes ecotoxicológicos padronizados. Esses organismos, os mais utilizados em testes de toxicidade, são amplamente distribuídos em corpos de água doce e estão presentes em uma grande variedade de habitats, apresentando um ciclo de vida curto, sendo facilmente cultiváveis em laboratório, constituindo um importante elo em muitas cadeias alimentares e uma significativa fonte de alimento para peixes, além de serem sensíveis a uma larga extensão de contaminantes (ENVIRONMENT CANADA, 1992a *apud* RAND, 1995).

Em relação ao uso de dafnídeos para a análise da toxicidade do sedimento, BURTON (1991) ressalta que tais organismos gastam um considerável período de tempo alimentando-se na superfície do sedimento. Segundo o autor, *Daphnia* é um filtrador não seletivo, ingerindo partículas de sedimento de 0,5 µm, suspensa ou não. Nesse sentido, apesar de *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis* serem organismos planctônicos, eles comportam-se como filtradores epibênticos não seletivos e têm sido freqüentemente observados na superfície do sedimento, expostos tanto a coluna d'água como ao sedimento contaminado (PEREIRA *et al.*, 1999).

Estudos comparativos sobre a sensibilidade de diferentes espécies, em testes de toxicidade com o sedimento, têm demonstrado respostas de dafnídeos similares às aquelas encontradas para espécies bênticas como *Hyalella azteca* e *Chironomus xanthus* e, em alguns casos, os dafnídeos foram mais sensíveis que alguns invertebrados bentônicos (GIESY *et al.*, 1990).

A maior parte das pesquisas ecotoxicológicas tem sido direcionada aos estudos dos efeitos dos poluentes dissolvidos sobre os organismos pelágicos. Entretanto, há cerca de dez anos, tem sido estabelecido que compostos químicos orgânicos hidrofóbicos e contaminantes inorgânicos que entram no meio ambiente aquático, rapidamente se associam com o sedimento e com partículas em suspensão (GUCHTEN & LEEUWEN, 1988).

ESTEVES (1988) salienta que a capacidade do sedimento em acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais. Os compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados no sedimento podem ser orgânicos, como inseticidas e herbicidas, ou inorgânicos, como elementos traço (metais pesados, metais-traços). Sed.

Definidos como uma coleção de partículas minerais nos fundos de lagos, rios, estuários e oceanos, os sedimentos são componentes importantes dos ecossistemas aquáticos, pois além de fornecerem substrato para uma grande variedade de organismos, de grande interesse econômico ou ecológico, eles funcionam como um reservatório de inúmeros contaminantes aquáticos de baixa solubilidade, desempenhando um papel importante na assimilação, transporte e deposição desses contaminantes. Além disso, os sedimentos constituem fonte primária de contaminantes para os organismos bentônicos e fonte secundária para os organismos da coluna d'água (ADAMS *et al.*, 1992), através da ressuspensão física daqueles por ação de ondas, dos processos de fluxos químicos entre o sedimento e a interface água, da bioturvação por invertebrados bentônicos durante a atividade de escavações e ingestão de partículas e da biomagnificação, na cadeia alimentar, da distribuição de contaminantes dentro de um ecossistema (REYNOLDS & DAY, 1993).

Os testes de toxicidade com sedimento têm sido aplicados a uma ampla variedade de organismos aquáticos. Não só as espécies bentônicas, que estão

intimamente associadas com o sedimento, mas também espécies que habitam a coluna de água, estão sendo utilizadas para que sejam avaliadas sua sobrevivência, crescimento e reprodução, uma vez que os diferentes processos metabólicos respondem diferentemente aos contaminantes presentes e são informações adicionais para o monitoramento de um determinado local a ser estudado. De forma similar ao compartimento água, é possível realizar testes de toxicidade agudos e crônicos com o sedimento, avaliando-se as condições subletais neste compartimento (BURTON & MACPHERSON, 1995).

BURTON & SCOTT (1992) citam, como exemplo de organismos-teste empregados em testes de toxicidade com sedimento, anfíbios (*Xenopus laevis*), peixes (*Pimephales promelas*, *Oncornynchus mykiss*), zooplâncton (*Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia*), invertebrados bentônicos (*Tubifex tubifex*, *Lumbriculus variegatus*, *Hyalella azteca*, *Gammarus pulex*, *Chironomus tentans*, *Hexagenia limbata*), fitoplâncton (*Selenastrum capricornutum*) e macrófitas (*Lemma* sp, *Hydrilla verticillata*).

De acordo com GIESY & HOKE (1989), do ponto de vista toxicológico, os estudos sobre a contaminação dos sedimentos podem ser realizados por observação em campo da presença ou ausência de organismos bentônicos, por comparação da concentração de tóxicos presentes com as relações dose/resposta já estabelecidas ou por meio de bioensaios de toxicidade. De acordo com ADAMS *et al.* (1992), as abordagens integradas, envolvendo análises físicas, químicas e biológicas, parecem ser as mais adequadas, considerando-se que os bioensaios de toxicidade são essenciais quando se visa a proteção dos organismos no ecossistema e que os parâmetros físicos e químicos, por sua vez, são fatores que podem influir de forma determinante na toxicidade.

Na abordagem integrada dos estudos ambientais, decorrente das evoluções conceitual e prática dos programas de monitoramento, verifica-se não somente a inserção de componentes biológicos e testes de toxicidade, como também o desenvolvimento e a aplicação de índices de qualidade de água, os quais permitem demonstrar a tendência da qualidade do ambiente em função do tempo, permitindo também uma análise comparativa entre diferentes corpos d'água (PORTO, 1991).

Avaliando-se alguns índices propostos (CAIRNS *et al.*, 1968; BROWN *et al.*, 1970; PRATI *et al.*, 1971; BOLTON *et al.*, 1978; SMITH, 1989; 1990 e ZAGATTO *et al.*, 1985; 1999) pode-se verificar a evolução dos estudos ambientais, desde aqueles iniciados apenas com a determinação de variáveis físicas e químicas até os que apresentam integração com variáveis biológicas e testes de toxicidade.

## **1.2 Reservatórios como ecossistemas: uma análise dos sistemas construídos em cascatas.**

A necessidade crescente de água, aliada à distribuição irregular da população humana e dos próprios recursos hídricos, tem feito com que a água seja armazenada em diversas partes do mundo, em reservatórios de dimensões variáveis (STRASKRABA & TUNDISI, 1999).

Reservatórios são sistemas complexos, tratando-se de ambientes intermediários entre lagos e rios (TUNDISI, 1988). De acordo com DE FILIPPO *et al.* (1999), entre os principais fatores que determinam as características limnológicas de um reservatório destacam-se a morfometria (área, comprimento, largura, forma, desenvolvimento das margens, profundidade, volume e área de drenagem) e a hidrologia (descarga de efluente, velocidade de enchimento, tempo de residência da água, padrão de circulação da água, oscilação dos níveis da água e regras operacionais da usina), além de outros elementos intrínsecos da bacia de drenagem (tipo de vegetação e solos inundados, quantidade de matéria orgânica incorporada, atividades antrópicas).

A construção de reservatórios para diversas atividades é uma das grandes experiências humanas causadoras de modificação nos ecossistemas naturais. Pequenos sistemas de acumulação, utilizados inicialmente para suprimento de água, deram lugar a imensos, complexos e sofisticados empreendimentos com finalidades diversas, como a geração de energia, o suprimento para a irrigação, o lazer, a piscicultura, o abastecimento de água, a navegação e outras. Esses empreendimentos são, seguramente, uma das formas mais visíveis da interferência do homem nas condições naturais, na busca de satisfazer suas necessidades básicas. Tal

interferência tem trazido consigo alguns impactos ambientais e, em alguns casos, desfavoráveis aos benefícios escolhidos (NOGUEIRA, 1991; TUNDISI, 1999).

Segundo BRANCO & ROCHA (1977), a construção de reservatórios traz uma série de alterações de caráter hidrológico ao recurso hídrico ou manancial, com repercussões climáticas e ecológicas que, de modo geral, afetam profundamente a flora e a fauna tanto aquática como terrestre. Além disso, os crescimentos populacional e industrial, favorecidos pelo melhor suprimento de energia e de água na região, levam à produção de maiores volumes de esgotos domésticos e resíduos poluidores em geral, os quais são portadores de altas cargas de nutrientes orgânicos e minerais e, eventualmente, de substâncias tóxicas, devendo, conseqüentemente, serem afastados das comunidades. O veículo natural de escoamento dessas impurezas será a própria água dos rios e represas, a qual forçosamente terá suas características ecológicas modificadas.

STRASKRABA & TUNDISI (1999) citam também como principais impactos causados em decorrência da construção de reservatórios, o desmatamento e a redução da cobertura vegetal, o aumento da contaminação e da toxicidade no sistema (em decorrência das atividades antrópicas), a poluição orgânica e a eutrofização acelerada, a alteração da biodiversidade com a remoção de espécies ecologicamente importantes; além da geração de efeitos negativos à saúde humana, resultantes da deterioração da qualidade da água.

Nem todos os efeitos de construção de reservatórios são negativos, devendo-se considerar também muitos efeitos positivos como a produção de energia, aumento do potencial de água e de recursos hídricos reservados, criação de possibilidade de turismo e recreação, aumento da melhoria da navegação e transporte, aumento da produção de peixes e na possibilidade de aquacultura, regulação do fluxo e de inundação e aumento da possibilidade de trabalho para a população local (TUNDISI *et al.*, 1999).

A superfície total construída de reservatórios em todo o planeta é de aproximadamente 590.000 Km<sup>2</sup>, ocupando um volume de 5.900 Km<sup>3</sup> (TUNDISI *et al.*, *op.cit.*).

Ainda segundo os mesmos autores, os estudos de sistemas dinâmicos, como reservatórios, têm contribuído e certamente contribuirão, no futuro, para a



compreensão dos problemas básicos em Ecologia, tais como sucessão de comunidades, padrões de colonização e efeitos de pulsos. O conhecimento científico dos reservatórios como ecossistemas, bem como das suas interações com as bacias hidrográficas e com os sistemas à montante e à jusante, têm adicionado permanentemente novas dimensões à abordagem sistêmica na pesquisa ecológica, proporcionando uma base fundamental para o gerenciamento da qualidade da água e das bacias hidrográficas.

No Brasil, a construção de grandes reservatórios, para fins de abastecimento público, atingiu seu máximo desenvolvimento nas décadas de 1960 e 1970. Muitos destes ecossistemas artificiais estão em pleno funcionamento, produzindo inúmeros benefícios locais e regionais. Grandes rios do território brasileiro foram completamente aproveitados para a construção de barragens em cascata, que é uma característica de países com grandes dimensões territoriais e rios extensos (TUNDISI *et al.*, 1999). Pelo mundo inteiro, numerosos reservatórios em cascata foram construídos, incluindo os dos rios Kama (Rússia), Ebro, Guadiana e Tejo (Espanha/Portugal), Missouri e Colorado (USA), Paranaíba, Grande, Tietê e Paranapanema (Brasil) e Paraná (Brasil/Uruguai). Reservatórios deste tipo acabam produzindo efeitos e impactos acumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de todo o rio (TUNDISI *et al.*, *op.cit.*).

Ainda segundo os mesmos autores, os reservatórios em cascatas são suscetíveis a pulsos, com efeitos múltiplos que afetam toda a cadeia, direta ou indiretamente. Esses pulsos são definidos como sendo qualquer tipo de flutuação natural ou induzida pelo homem, que afete os sistemas naturais ou artificiais pela entrada ou saída de matéria ou energia. No caso de reservatórios, estes pulsos dependem dos usos do sistema, da necessidade de descargas permanentes, da regulação do nível ou uso da água. Quando há uma cascata de reservatórios, há um efeito de pulsos à montante e à jusante, como, por exemplo, a liberação de água mais fria próxima ao sedimento e com baixas concentrações de oxigênio dissolvido, a qual pode ocasionar um pulso de liberação de fósforo para a água sobrejacente à jusante.

Os estudos desenvolvidos em reservatórios em série, na Espanha (ARMENGOL, 1977 e MARGALEF, 1983), também têm demonstrado que em uma cadeia ou cascata de reservatórios, em um mesmo rio, onde as entradas em um

reservatório são, em parte, reguladas pelas saídas do reservatório à montante, espera-se um efeito crescente de controle em relação à qualidade da água, sendo o primeiro sistema geralmente mais eutrófico que os demais.

No estado de São Paulo, na região Sudeste, destaca-se a construção de reservatórios em sistema do tipo cascata, com várias represas subsequentes, formando um conjunto de reservatórios que recebem e acumulam materiais orgânicos e inorgânicos provenientes dos sistemas adjacentes. Dentre estes sistemas de reservatórios está o sistema Tietê, que inclui os reservatórios de Barra Bonita, Álvaro de Souza Lima (Bariri), Ibitinga, Mário Lopes Leão (Promissão), Nova Avanhandava e Três Irmãos. Estes reservatórios têm hoje um papel social e econômico significativo devido a sua localização no meio de um importante sistema agrícola e industrial do país (TUNDISI *et al.*, 1991).

De forma semelhante à observada nos reservatórios da Espanha, como anteriormente mencionado, MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (1981) também verificaram que nos reservatórios do rio Tietê ocorria um decréscimo no grau de trofia (Barra Bonita > Bariri > Ibitinga > Promissão > Salto Avanhandava), devido ao aporte de materiais e impactos decorrentes dos rios Tietê e Piracicaba, além da presença de usinas de cana-de-açúcar e intensas atividades da agricultura (principalmente monoculturas de cana-de-açúcar) desenvolvidas na área da bacia hidrográfica.

No entanto, dependendo dos usos e ocupação da bacia hidrográfica, o efeito crescente do controle da qualidade da água pode não ser observado. SANDES (1990), por exemplo, verificou tendência contrária aos resultados observados por MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (*op.cit.*), uma vez que o segundo reservatório (Reservatório Álvaro de Souza Lima – Bariri) apresentou maior grau de trofia em relação ao reservatório de Barra Bonita (primeiro do sistema em cascata). Segundo o autor, a tendência de redução no grau de trofia em uma seqüência de represamentos não foi obtida, devido à entrada de cargas pontuais (usinas de álcool) e difusas (agricultura) e também pelo fato do reservatório de Barra Bonita representar uma fonte importante de nutrientes e biomassa para o reservatório de Bariri.

Os resultados obtidos por BARBOSA *et al.* (1999) no sistema Tietê também demonstraram, aproximadamente 20 anos após os estudos de MATSUMURA-

TUNDISI *et al.* (1981), que os reservatórios à jusante de Barra Bonita estão com grau de trofia mais elevado que o primeiro do sistema. Além disso, os autores salientaram que a presença de reservatórios em cascata, no Médio Tietê, influencia consideravelmente a qualidade da água, a composição e a densidade da comunidade fitoplanctônica, alterando, possivelmente, a biodiversidade existente na área.

Segundo ESPÍNDOLA *et al.* (1999), estudos limnológicos realizados nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê vêm sendo desenvolvidos desde 1979, abordando aspectos físicos, químicos e biológicos da água e do sedimento, bem como sua relação com o uso e ocupação da bacia hidrográfica. Frente aos impactos decorrentes da expansão das atividades industriais e agrícolas (principalmente a monocultura da cana-de-açúcar) e do crescimento populacional, verificou-se, após 20 anos, diferenças significativas na qualidade da água, demonstrando o acelerado processo de eutrofização dos sistemas e a necessidade de programas de manejo, recuperação e conservação dos reservatórios.

Além dos estudos limnológicos que avaliam as variáveis físicas e químicas da água, procurou-se, neste projeto, também avaliar a qualidade do sedimento, incluindo para ambos os compartimentos (água e sedimento) a determinação de metais. Acoplados a essas análises e subsidiando o diagnóstico ambiental dos sistemas, foram realizados bioensaios de toxicidade com organismos zooplanctônicos, contribuindo de forma mais efetiva para a avaliação das alterações espaciais (reservatórios em cascatas) e temporais da qualidade da água dos reservatórios.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

- Avaliar a qualidade da água e do sedimento dos Reservatórios do Médio e Baixo Tietê (Barra Bonita, Álvaro de Souza Lima, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos), através da realização de bioensaios ecotoxicológicos e de análises físicas e químicas de amostras de água e sedimento, verificando o efeito da fragmentação artificial do rio Tietê (construção de reservatórios).

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar o índice de estado trófico para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, avaliando-se os impactos ambientais do sistema construído em cascata.

- Avaliar a toxicidade aguda para *Daphnia similis* e crônica, para *Ceriodaphnia dubia*, das amostras de água e sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

- Comparar a sensibilidade das espécies utilizadas como organismos-teste, quando testadas em bioensaios com amostras de água e sedimento.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Considerações gerais sobre a área de estudo

Com a finalidade de se estabelecer uma tipologia dos reservatórios do estado de São Paulo, a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa), em 1979, subsidiou o Projeto “Tipologia de Represas do Estado de São Paulo”, no qual foram desenvolvidos diversos estudos, em 52 represas, para fornecer informações sobre os inúmeros impactos causados pelas atividades antrópicas, tendo sido constatado que a represa de Barra Bonita era uma das mais eutrofizadas da bacia do Médio Tietê (MATSUMURA-TUNDISI *et al.*, 1981).

Por tratar-se do primeiro reservatório do Médio Tietê e dada a sua importância sócio-econômica e ambiental, os estudos ficaram em sua maioria restritos ao reservatório de Barra Bonita, avaliando-se, em escalas de tempo diferenciadas, as estruturas física, química e biológica deste reservatório. Entre os estudos desenvolvidos tem-se os de TUNDISI (1981), ESTEVES *et al.* (1981), HENRY & SIMÃO (1981), JUREIDINI *et al.* (1983), GENTIL (1984), HENRY (1986), RAMOS *et al.* (1986), DE FILLIPPO (1986), JUREDINI (1987), CALIJURI (1988), TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI (1990), DÍAZ-GAVILAN (1990), ARANHA (1990), TUNDISI *et al.* (1991), SAGGIO (1992), DE OLIVEIRA (1993), GOVONI (1994), ESPINDOLA (1994), RIETZLER (1995), SORIANO (1997) e CHALAR-MARQUISÁ (1998).

Estudos envolvendo todos os reservatórios foram também realizados por ESTEVES *et al.* (1981, 1982), incluindo os reservatórios de Barra Bonita, Álvaro de Souza Lima e Promissão. Os resultados demonstraram altas concentrações de nutrientes nos sedimentos, principalmente fósforo e nitrogênio. Segundo ESTEVES (1988), estes reservatórios podem ser considerados como polimíticos, com grande entrada de nutrientes e material orgânico em suspensão.

Segundo CALIJURI (1988), o aporte de nitrogênio e fósforo nestas represas aumentou consideravelmente, em consequência do uso de produtos fosfatados pelo homem e lançamento de esgotos no meio aquático. Com base nestes resultados, SANTOS (1996) desenvolveu um trabalho na Represa de Barra Bonita e observou uma maior quantidade de fósforo nas camadas mais profundas da represa, principalmente na interface água-sedimento. Este autor recomendou a comparação das represas de todo o complexo hidroviário do Tietê, para avaliação dos diferentes impactos a que estão sujeitas em relação aos nutrientes.

Dentro desta temática, novos estudos estão sendo conduzidos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, desde 1997, através de projetos financiados pelo CNPq/FINEP (Programas PRONEX) e pelo Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal/CNPq (Programa PROBIO), objetivando avaliar as principais causas das alterações da qualidade da água e seus efeitos na biota aquática.

### **3.2. Características da área de estudo**

Situada entre o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, a bacia hidrográfica do rio Paraná, da qual o rio Tietê é tributário, insere-se na região de maior desenvolvimento econômico da América Latina. Considera-se o rio Tietê dividido em quatro trechos: Alto Tietê, Médio Tietê Superior, Médio Tietê Inferior e Baixo Tietê. Partindo do meio superior do rio Tietê e antes de sua entrada no rio Paraná, os reservatórios de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava, Três Irmãos e Jupia (Figura 01) formam uma ligação em cascata de amplos lagos rasos construídos pelo homem (maiores do que 100 km<sup>2</sup>, exceto Bariri, e de 8-40 m de profundidade).

Esses reservatórios foram construídos no final da década de 60, para atender principalmente à crescente demanda energética desta região, que possui a maior densidade demográfica do país, 2300 indústrias (demandando 113 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> de água) e uma soma acrescida para suprir a irrigação, criação de gado e para atender outros usos como navegação, recreação e suprimento de água (BARBOSA *et al.*, 1999).

O rio Tietê teve sua navegação natural incipiente até a década de 50, quando se iniciou a construção dos primeiros aproveitamentos hidrelétricos como Barra Bonita e Bariri, seguidas por Ibitinga e Promissão e, em anos mais recentes, as usinas

e eclusas de Nova Avanhandava e Três Irmãos, concluindo-se a ligação com o rio Paraná, o que permitiu a navegação em uma grande extensão do rio Tietê.

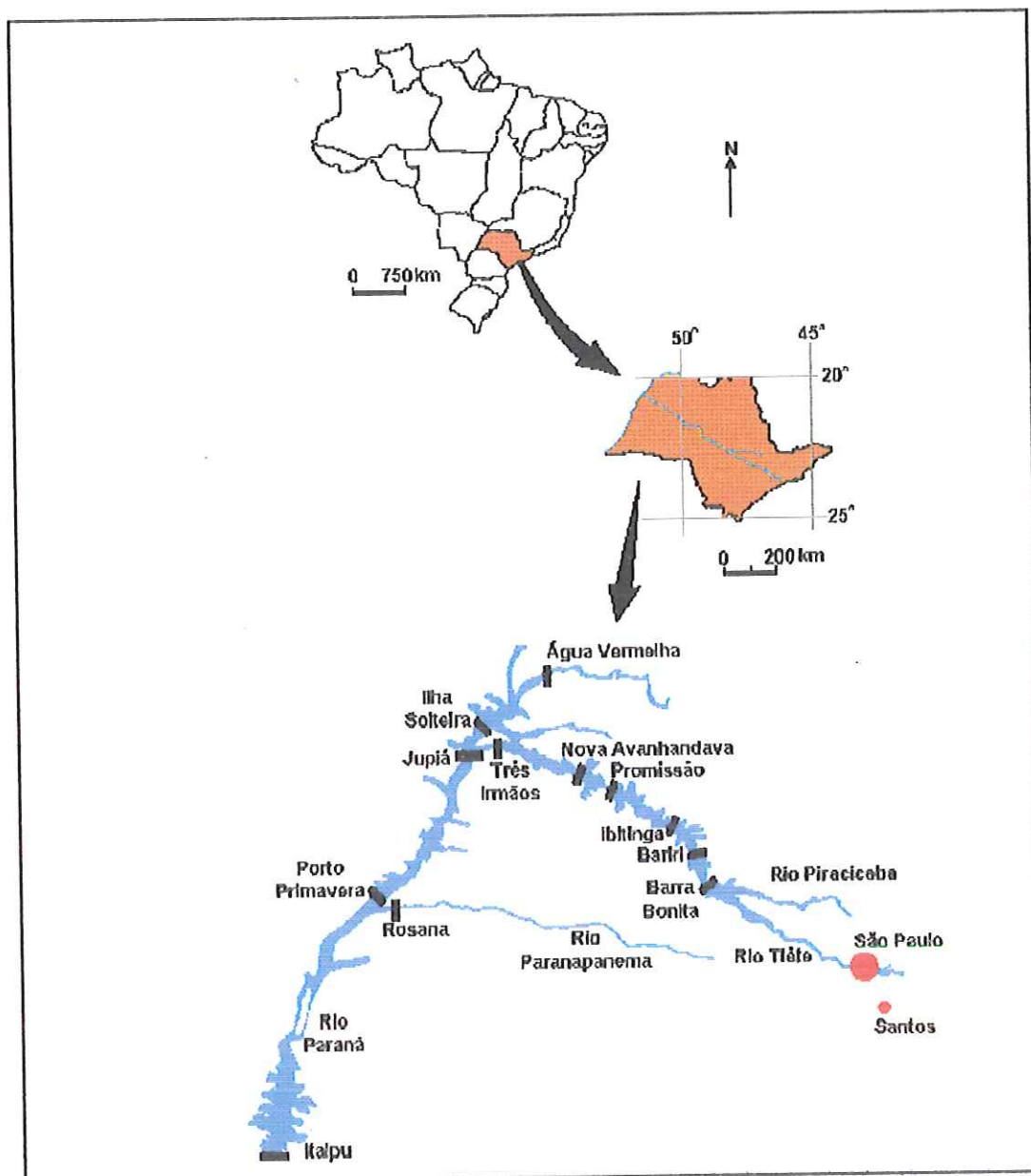


FIGURA 01 – Mapa do estado de São Paulo, com a localização dos reservatórios do sistema Tietê/Paraná. Fonte: BARBOSA *et al.* (1999).

As principais características são apresentadas a seguir:

#### Reservatório de Barra Bonita

A Barragem da Usina Hidrelétrica de Barra Bonita (Figuras 02 e 03) localiza-se na Bacia do Médio Tietê Superior, entre os municípios de Barra Bonita e Igaracú (latitude  $22^{\circ} 29'S$  e longitude  $48^{\circ} 34'W$ ), a uma altitude de 430 metros. Este reservatório foi construído em 1963, com o objetivo de geração de energia elétrica, através do barramento do rio Tietê e do rio Piracicaba (DE OLIVEIRA, 1993).

O comprometimento do rio Tietê é inquestionável. Iniciando-se no trecho que atravessa a cidade de São Paulo e continuando a sua jusante, com contribuição de cargas poluidoras industriais, urbanas e provenientes de atividades agropecuárias, os impactos no reservatório de Barra Bonita são evidentes. No rio Piracicaba, ocorre situação semelhante, dada a contribuição em termos de poluentes industriais e urbanos dos seus afluentes, que recebem efluentes das cidades de Campinas, Americana, Limeira e Paulínia. Ao se tornar o Piracicaba, propriamente dito, este rio atravessa extensa região onde predomina a lavoura de cana-de-açúcar para a indústria de álcool (CALHEIROS, 1993).

O reservatório de Barra Bonita tem sido considerado como um exemplo de aproveitamento múltiplo de suas águas, seja energético, turístico (passeio de barcos) ou lazer (muitas casas de veraneio em suas margens) e pesca (amadora ou profissional), além de ser praticamente o início da hidrovia Tietê-Paraná. No entanto, diversas razões têm limitado a exploração plena do potencial de recursos naturais existentes. A qualidade da água e a falta de infra-estrutura em saneamento básico local, agravada pelo fato de se tratar de águas oriundas da capital, têm acelerado o processo de eutrofização, comprometendo sob todos os aspectos a ampliação da atividade na área (VALENTE *et al.*, 1997).

A área de entorno do reservatório é ocupada por monocultura intensiva de cana-de-açúcar, que causa vários impactos no desenvolvimento regional e na qualidade ambiental. O carreamento de solos, sais nutrientes e agrotóxicos para o reservatório, a partir das atividades desenvolvidas na bacia, embora ainda não definidamente estudado, merece cuidadoso exame (DE OLIVEIRA, *op.cit.*).



Existem aproximadamente 1.020 indústrias na Bacia do Médio Tietê Superior, mas somente 10% delas são significativas em termos de poluição das águas, como as indústrias têxteis, alimentícias, de papel e celulose, abatedouros, usinas de açúcar e álcool e petroquímica (CETESB, 1998). Na área rural encontram-se plantações de cana-de-açúcar, café, hortaliças e frutas.

As principais características morfométricas do reservatório de Barra Bonita, segundo DE OLIVEIRA (1993) são:

área.....	63 km <sup>2</sup>
profundidade média .....	10,2 m
área inundada .....	324, 84 km <sup>2</sup>
perímetro .....	525 km
volume total .....	3135. 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume útil .....	2600. 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
descarga total do vertedouro .....	4200 m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup>
tempo de retenção (dias).....	37-137

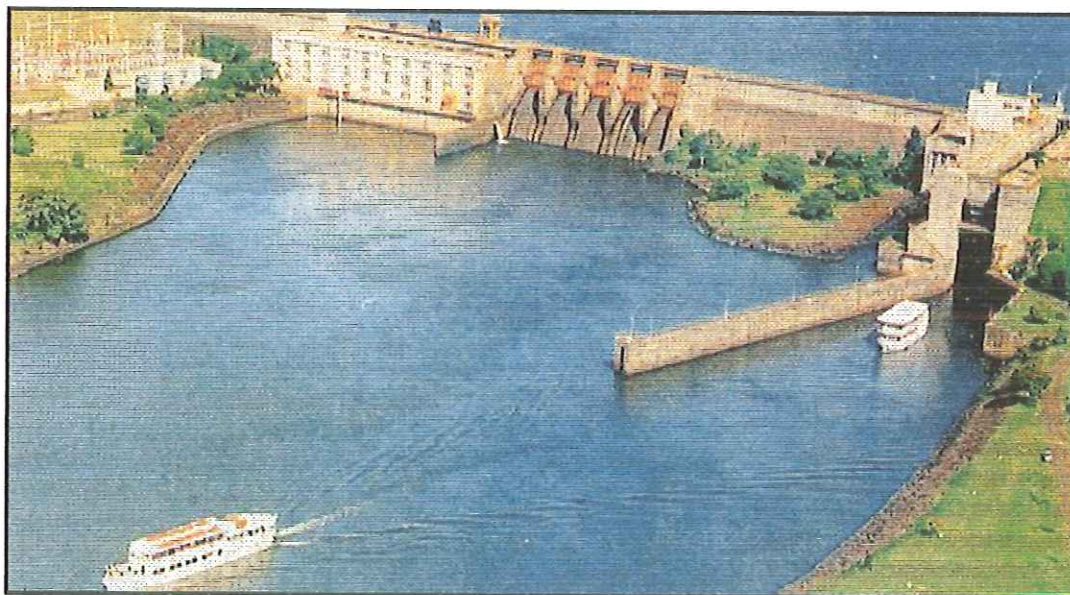


FIGURA 02 – Barragem do Reservatório de Barra Bonita.

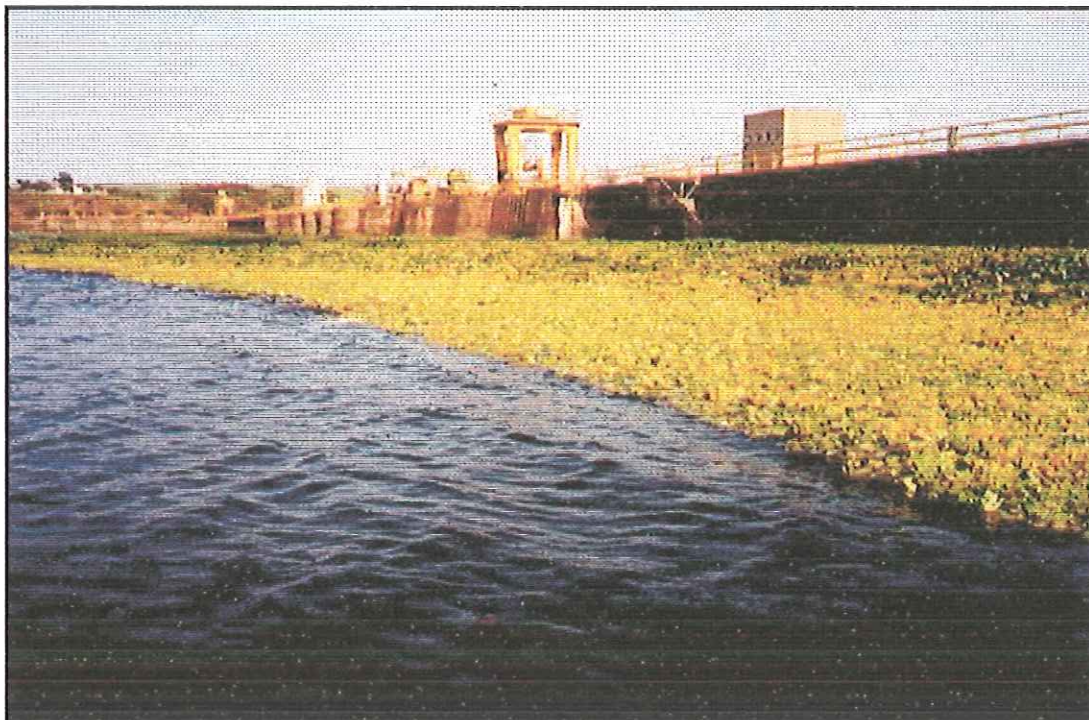


FIGURA 03 – Reservatório de Barra Bonita com detalhe do sistema à montante da barragem e banco de macrófitas.

Reservatório Álvaro de Souza Lima (Bariri), Ibitinga e Engenheiro Mário Lopes Leão (Promissão)

Os reservatórios de Álvaro de Souza Lima (Figuras 04 e 05), Ibitinga (Figuras 06 e 07) e Promissão (Figuras 08 e 09) estão localizados na Bacia do Médio Tietê Inferior, com uma área de drenagem total em torno de 23.700 km<sup>2</sup>.

Em relação ao uso dos solos da Bacia do Médio Tietê Inferior, estes se destinam às atividades urbanas e industriais. As principais atividades industriais são representadas pelas usinas de álcool e açúcar, engenhos, curtumes, indústrias alimentícias e agropecuária, com áreas de pastagens e cultivo de café, cana-de-açúcar, milho e citrus. A água é utilizada para a irrigação dos diversos cultivos, pelos municípios, para os abastecimentos público e industrial, recebendo também efluentes domésticos (CETESB, 1998).

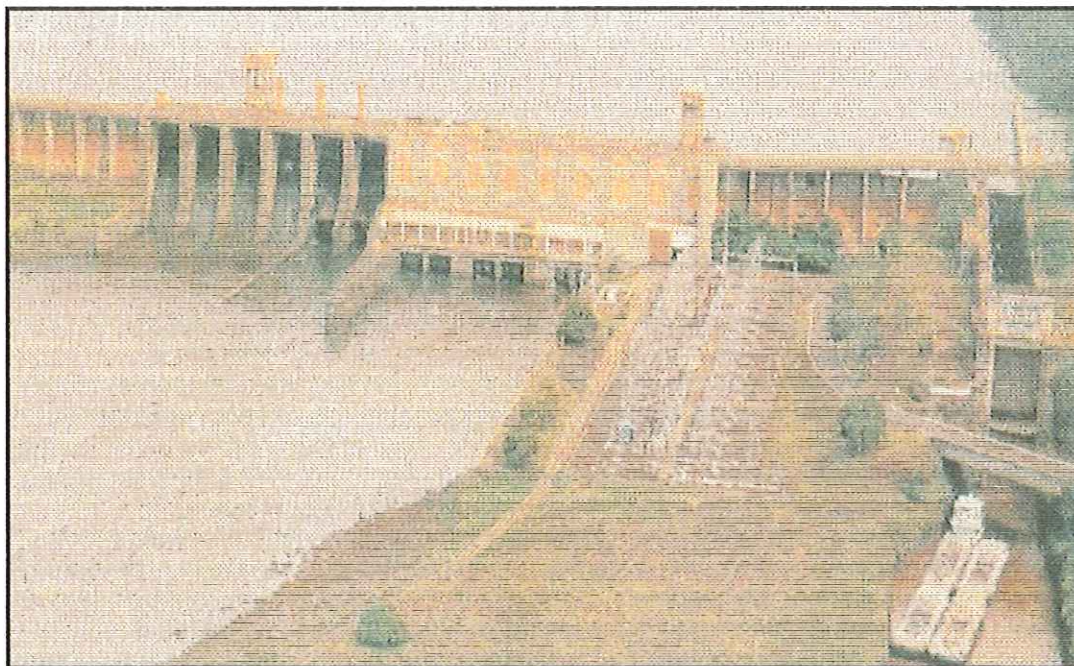


FIGURA 04 – Barragem do Reservatório de Álvaro de Souza Lima



FIGURA 05 – Reservatório Álvaro de Souza Lima com detalhe do uso do solo e ocupação da bacia hidrográfica.



FIGURA 06 – Barragem do Reservatório de Ibitinga



FIGURA 07 – Reservatório de Ibitinga evidenciando os bancos de macrófitas submersos.



FIGURA 08 – Barragem do Reservatório de Promissão



FIGURA 09 – Reservatório de Promissão com detalhe da área de entorno

O reservatório de Bariri, construído em 1965, situa-se a uma altitude de 420 m e localiza-se na latitude  $22^{\circ} 06'S$  e longitude  $48^{\circ} 45'W$ , sendo o segundo reservatório de aproveitamento no rio Tietê. Encontra-se à jusante da Usina de Barra Bonita e à montante do reservatório de Ibitinga, entre os municípios de Bariri e Boracéia (SANDES, 1990).

Este sistema recebe água de fundo do reservatório de Barra Bonita, o qual, durante o verão, apresenta estratificação térmica, exportando água com baixa concentração de oxigênio e altos níveis de material orgânico. Possui três tributários significativos: rios Lençóis, Jaú e Bauru, que também contribuem com água poluída por efluentes domésticos e industriais (CESP, 1998).

PARAGUASSÚ *et al.* (1988), em uma caracterização detalhada da bacia hidrográfica à qual a represa de Bariri pertence, relacionou o acúmulo de sedimento no reservatório às atividades agrícolas e ao intenso uso do solo, devido ao aumento da cultura mecanizada de cana-de-açúcar.

O terceiro reservatório de aproveitamento do rio Tietê, o reservatório de Ibitinga, foi construído em 1968 e situa-se a uma altitude de 460 metros, na latitude de  $21^{\circ} 45'S$  e longitude  $48^{\circ} 50'W$ . Além de gerar energia elétrica, o reservatório ainda se destina às navegações comercial e recreativa, à pesca e ao abastecimento público.

De acordo com VIEIRA (1996), a vegetação da área ao redor do reservatório era formada por mata Atlântica nas encostas, matas ciliares e de diferentes gradação dos cerrados. Hoje, a vegetação de encostas apresenta-se bastante descaracterizada. No entorno do reservatório aparecem alguns campos, porém a área é dominada por plantações de cana-de-açúcar. Na navegação, destaca-se o transporte de fertilizantes, grãos provenientes de Goiás, farelo e soja vindos pelo rio Paraná, cana-de-açúcar e álcool combustível, além de passageiros.

Segundo o autor, na bacia de drenagem do reservatório de Ibitinga, o desaparecimento da mata original, a urbanização e a agricultura podem estar acentuando o processo de erosão e o assoreamento do reservatório. Ao longo do rio Tietê e em vários de seus reservatórios existem importantes portos de dragagem de areia, destacando-se, no reservatório de Ibitinga, os portos Cristo Rei e Portal.

O reservatório Engenheiro Mário Lopes Leão (Promissão) foi construído em 1974 e representa a quarta unidade da série de seis aproveitamentos do rio Tietê. Este reservatório situa-se a 380 m de altitude, na latitude  $21^{\circ} 45'S$  e longitude  $49^{\circ} 47'W$ . De forma similar aos reservatórios anteriores, este também mostra diversos impactos antrópicos, como a alteração da sua vegetação perimetral e o aporte de esgotos e resíduos industriais (CESP, 1998).

Segundo SANDES (1990), RODRIGUES (1999) e BARBOSA *et al.* (1999), as principais características morfométricas do reservatórios pertencentes à Bacia do Médio Tietê Inferior são:

#### Reservatório de Bariri

área.....	63 km <sup>2</sup>
profundidade média .....	8,6 m
área inundada .....	324, 84 km <sup>2</sup>
perímetro .....	193 km
volume total .....	542 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume útil .....	60. 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
tempo de retenção (dias).....	7-24

#### Reservatório de Ibitinga

área.....	114 km <sup>2</sup>
profundidade média .....	8,6 m
área inundada .....	324, 84 km <sup>2</sup>
volume total .....	981 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume útil .....	56. 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
tempo de retenção (dias).....	12-43

#### Reservatório de Promissão

área.....	530 km <sup>2</sup>
profundidade média .....	14 m
volume total .....	7.408 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume útil .....	2.128 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
tempo de retenção (dias).....	124-134

### Reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos

Os reservatórios de Nova Avanhandava (Figura 10) e Três Irmãos (Figura 11) estão inseridos na bacia hidrográfica do Baixo Tietê, a qual possui uma área de drenagem de 13.655 km<sup>2</sup>. Ao longo desta bacia estão distribuídos 32 municípios, dos quais 22 possuem algum tipo de tratamento sanitário (CETESB, 1998).

Em relação aos usos do solo, estes se destinam às atividades urbanas e industriais, e extensas áreas de pastagens e cultivos. A água da bacia é utilizada pelos municípios para os abastecimentos público e industrial, irrigação e navegação, além de receber despejos de efluentes domésticos e industriais. As principais atividades industriais estão relacionadas com as usinas de açúcar e álcool, indústrias de curtume e alimentícias (RODRIGUES, 1999).

O reservatório de Nova Avanhandava foi construído entre 1979 e 1982 e localiza-se em Buritana, distante cerca de 550 km de São Paulo, na direção noroeste da capital do Estado de São Paulo. O aproveitamento múltiplo de Nova Avanhandava, da qual a usina é parte, além da exploração do potencial hidrelétrico, garantiu a navegabilidade do curso fluvial e a conseqüente implantação da hidrovia Tietê-Paraná, através da construção de uma eclusa (BERNARDES, 1995). Estudos realizados pela CESP (1997) apontam que a área limite a hidrovia é a mais indicada do interior paulista para o desenvolvimento de indústrias como moageiras de grãos, moinhos de trigo, misturadoras de fertilizantes, madeireiras, de celulose e papel, extratos e condimentos, açúcar e álcool, rações, além de caldeiraria pesada, estaleiros e equipamentos náuticos de esportes e lazer .

O reservatório de Três Irmãos, o maior dos reservatórios e último aproveitamento hidroelétrico do sistema Tietê, localiza-se próximo à cidade de Pereira Barreto, a 630 Km da cidade de São Paulo, na latitude 21<sup>o</sup> 45'S e longitude 49<sup>o</sup> 47'W (CESP, 1998).





FIGURA 10 – Barragem do Reservatório de Nova Avanhandava



FIGURA 11 – Barragem do Reservatório de Três Irmãos

O reservatório de Três Irmãos foi construído em 1991 e representa um acréscimo de 22% da geração de energia elétrica no Estado de São Paulo. Este reservatório apresenta uma característica inédita no país e na América do Sul, que é a sua interligação ao reservatório de Ilha Solteira através de um canal artificial denominado “Canal de Pereira Barreto”. Este, juntamente com a eclusa, incrementa o transporte fluvial de 345 km para 1700 km, possibilitando um melhor aproveitamento energético (VILLELA, 1992).

A seguir são apresentadas algumas características morfométricas dos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos, segundo SANDES (1990), RODRIGUES (1999) e BARBOSA *et al.* (1999):

#### Reservatório de Nova Avanhandava

área.....	210 km <sup>2</sup>
profundidade média .....	13 m
volume total .....	2720. 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
volume útil .....	380.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
tempo de retenção (dias).....	32-119

#### Reservatório de Três Irmãos

área.....	817 km <sup>2</sup>
profundidade média .....	17,2 m
volume total .....	13372. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
volume útil .....	3449. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
tempo de retenção (dias).....	166 -615

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Estações de coleta e período de amostragem

Considerando-se os estudos preliminares e os resultados obtidos por ESPÍNDOLA *et al.* (1999) e GÜNTZEL (2000), foram escolhidas 15 estações de coleta (conforme demonstrado na Figura 12), incluindo estações nos rios Tietê (estação 1) e Piracicaba (estação 2) e à montante e à jusante da barragem dos reservatórios de Barra Bonita (estações 3 e 4, respectivamente), Bariri (estações 6 e 7, respectivamente), Ibitinga (estações 9 e 10, respectivamente), Promissão (estações 10 e 11, respectivamente), Nova Avanhandava (estações 12 e 13, respectivamente) e Três Irmãos (estações 14 e 15, respectivamente), sendo também efetuadas coletas no rio Bauru (estação 5), um tributário bastante impactado e conseqüentemente significativo quanto à degradação dos recursos hídricos no reservatório de Bariri.

As coletas foram realizadas em quatro períodos distintos, compreendendo os meses de outubro/novembro de 1999 e fevereiro, maio e julho de 2000, os quais representam as estações seca (julho) e chuvosa (fevereiro) e os períodos intermediários.

Deve-se mencionar que, na coleta realizada em outubro/novembro de 1999, foram avaliadas 21 estações de coleta e, comparando-se os resultados obtidos nestas coletas com os dados obtidos por ESPÍNDOLA *et al.* (*op.cit*) e GÜNTZEL (*op.cit*), optou-se pela manutenção das 15 estações de coleta.

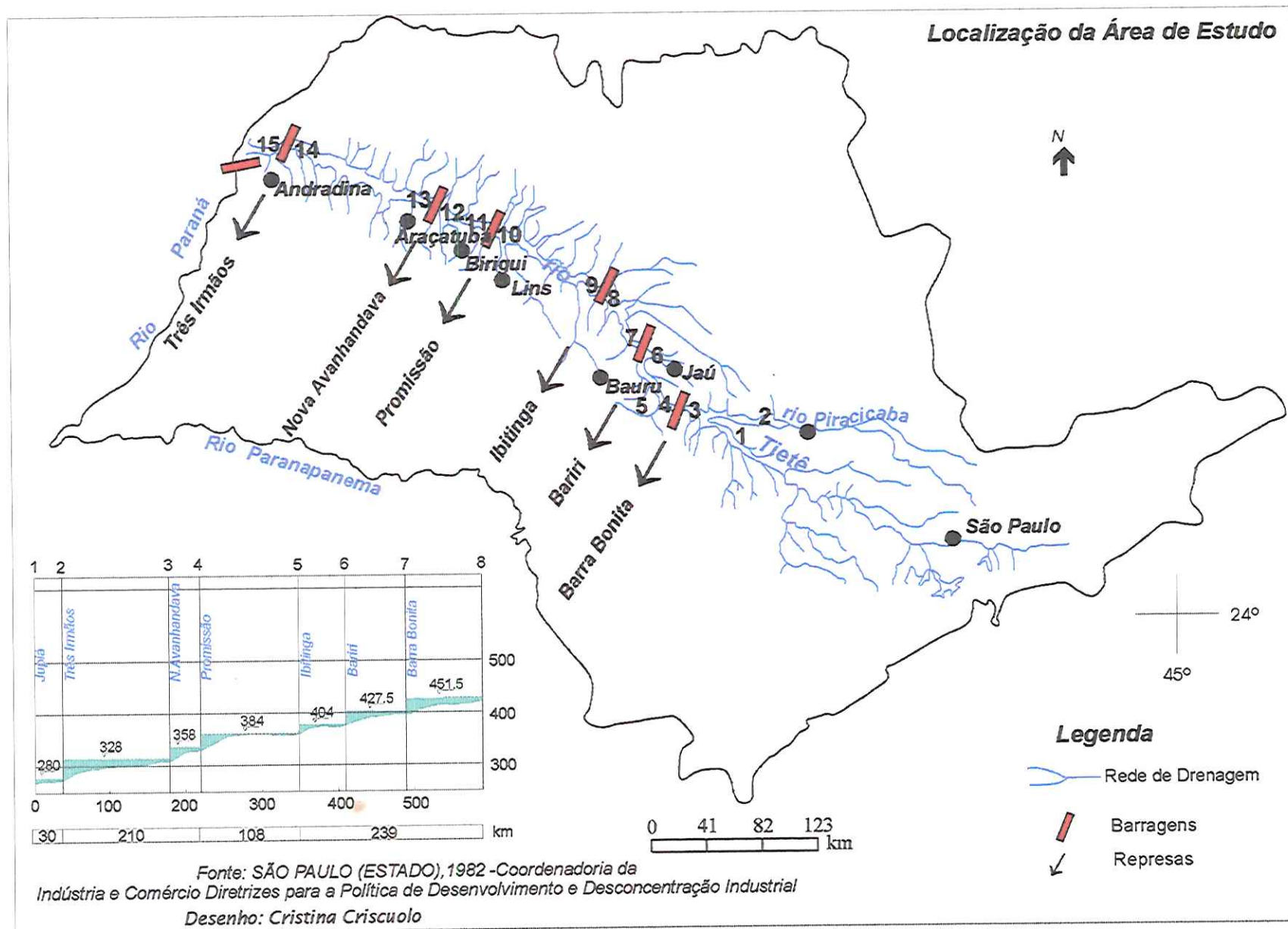


FIGURA 12 - Localização das estações de coleta nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP).

## 4.2 Variáveis climatológicas e hidrodinâmicas dos reservatórios

Os dados de precipitação, para o Estado de São Paulo, foram obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Os dados de vazão de cada reservatório foram obtidos junto à CESP, que realiza um monitoramento diário desse parâmetro e, com esses resultados, foi calculado o tempo de residência da água, através da equação:

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

onde:

Tr = tempo de residência (dias)

V = volume do reservatório

Q = vazão média defluente para cada período considerado (m<sup>3</sup>/s)

86400 = fator de conversão de segundos para dias

## 4.3 Análises físicas e químicas da água.

As amostras de água foram coletadas integrando-se a coluna d'água com uma bomba de sucção, as quais foram utilizadas para posterior determinação da concentração de nutrientes totais e dissolvidos, material em suspensão, clorofila-a e metais totais. Em cada estação de coleta foram obtidos os perfis de temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido, utilizando-se um multisensor de qualidade de água Horiba-modelo U-10. Nas estações de amostragem, à montante da barragem dos reservatórios, foram obtidos perfis, através da análise dessas variáveis em diversas profundidades do eixo vertical da coluna d'água. A distância entre os pontos foi de 0,5m até o fundo. Nas estações à jusante da barragem dos reservatórios, devido à forte correnteza, foram realizadas apenas três medidas de cada uma das variáveis acima mencionadas.

Os materiais e métodos utilizados nas coletas e no processamento das análises laboratoriais, para as caracterizações química e física do sistema, seguiram as recomendações dos autores mencionados na tabela a seguir:

TABELA 01 - Metodologias de análises das principais variáveis consideradas no presente estudo.

Variáveis	Símbolo	Unidade	Material/Método	Autor
Temperatura da água	T	°C	U-10 Horiba	-
Transparência da água	D.S.	m	Disco de Secchi	-
Oxigênio Dissolvido	O.D.	mg/L	U-10 Horiba	-
Material em Suspensão	M.S.T	mg/L	Técnica Gravimétrica	TUNDISI (1969) TEIXEIRA <i>et al.</i> (1978), e WETZEL & LIENKS (1991)
pH	pH	-	U-10 Horiba	-
Condutividade	Cond	µS/cm	U-10 Horiba	-
Nitrito	NO <sub>2</sub> -N	µg/L	Espectrofotometricamente	GOLTERMAN <i>et al.</i> (1978)
Nitrato	NO <sub>3</sub> -N	µg/L	Espectrofotometricamente	MACKERETH <i>et al.</i> (1978)
Amônio	NH <sub>4</sub> -N	µg/L	Espectrofotometricamente	KOROLEFF (1976)
Nitrogênio Org. Total	N.T.	mg/L	Espectrofotometricamente	GOLTERMAN <i>et al.</i> (1978)
Fosfato Total Dissolvido	P.T.D.	µg/L	Espectrofotometricamente	GOLTERMAN <i>et al.</i> (1978)
Fosfato Inorgânico Dissolvido	P.I.D	µg/L	Espectrofotometricamente	GOLTERMAN <i>et al.</i> (1978)
Silicato Reativo	SiO <sub>2</sub>	mg/L	Espectrofotometricamente	GOLTERMAN <i>et al.</i> (1978)
Fósforo Total	P.T.	µg/L	Espectrofotometricamente	APHA/WWW (1995)
Clorofila	Chl	µg/L	Espectrofotometricamente	NUSCH (1980)

Quanto à análise de metais, as amostras de águas foram fixadas com ácido nítrico concentrado (1,5mL/1000mL amostra) e conservadas em geladeira para posterior análise. A análise constou de aquecimento da amostras em béqueres colocados em placa aquecedora, evitando-se a fervura e a secagem completa. No decorrer do processo adicionou-se 5mL de ácido nítrico concentrado (APHA/WWW, 1995) e após a redução do volume (inferior a 25mL), a amostra fria foi transferida para balões de 100mL, completando-se o volume com água destilada. Este volume foi posteriormente colocado em frascos de vidro, devidamente lavados e tampados. As análises foram feitas por espectrofotometria por absorção atômica. A concentração, após a detecção, foi reconvertida segundo o volume original. O volume foi expresso em mg/L.

#### 4.3.1 Análise dos dados obtidos

##### 4.3.1.1 Índice de estado trófico

A partir de estudos realizados por CARLSON (1977), TOLEDO *et al.* (1983) propuseram um modelo simplificado para análise do índice de estado trófico em sistemas localizados nas regiões tropicais. As relações propostas por estes autores baseiam-se fundamentalmente na transformação da transparência da água e das concentrações de fósforo total, fosfato inorgânico e clorofila-a.

Considerando-se esta metodologia, foram analisados os índices de estado trófico dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, com o objetivo de avaliar as condições tróficas desses sistemas, a partir das seguintes equações:

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

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

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

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

onde:

S = leitura da transparência da água pelo disco de Secchi (m)

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

$\text{PO}_4$  = concentração de fosfato inorgânico ( $\mu\text{g/L}$ )

Cl = concentração de clorofila ( $\mu\text{g/L}$ )

A partir do índice de estado trófico, 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 bastante representativo para indicar o seu estado trófico. Uma maneira sugerida pelos autores para atenuar tal problema seria ponderar o IET médio, de forma a dar menos peso ao índice referente à profundidade alcançada pelo disco de Secchi, ao invés de eliminá-lo. Uma ponderação adequada seria:

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

Nos meses de outubro de 1999 e fevereiro de 2000, os índices de estado trófico foram calculados com base nos valores de fósforo total, fosfato dissolvido e clorofila-a encontradas nas amostras de coluna d'água integrada. Em maio e julho de 2000, realizou-se, também, o cálculo do índice de estado trófico com base nas concentrações de fósforo total, fosfato dissolvido e clorofila-a provenientes de amostras de água de superfície seguindo as recomendações de TOLEDO *et al.* (1983).

#### 4.4 Análise física e química do sedimento

A coleta das amostras de sedimento para análise de metais, matéria orgânica, granulometria e teores de fósforo total e de nitrogênio orgânico no sedimento foi realizada utilizando-se draga de Eckman-Birge. As amostras de sedimento foram



acondicionadas em potes plásticos e mantidas em isopor com gelo até a sua posterior utilização em laboratório, sendo então secas à temperatura ambiente.

A fração biodisponível de metais no sedimento, conforme metodologia descrita em TESSIER & CAMPBELL (1987), foi analisada colocando-se 3 gramas de sedimento pulverizado e 75mL de HCl 0,1M em erlenmeyer tampado (mantendo a proporção 1g de sedimento para 25mL de HCl 0,1M), o qual foi, posteriormente, agitado por 2 horas em mesa agitadora. Em seguida, filtrou-se com papel de filtro comum, transferindo para frascos de vidro, devidamente lavados e tampados, efetuando-se a detecção em espectrofotometria por absorção atômica. O resultado foi expresso em mg/Kg de sedimento seco.

Para análise do teor de matéria orgânica no sedimento foi utilizada a metodologia descrita em FONSECA (1997), que consistiu em transferir 10g de sedimento seco à estufa, a 100°C por 24 horas e depois ao incinerador, a 600°C por 2 horas. Através da diferença dos pesos seco do sedimento mantido em estufa e no incinerador, calculou-se as porcentagens de matéria orgânica e inorgânica.

Realizou-se análise granulométrica das amostras de sedimento, junto ao Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, baseando-se na norma da ABNT (1968).

O nitrogênio orgânico total foi determinado segundo o método Kjeldhal, como descrito em ESTEVES & CAMARGO (1982).

Para a obtenção da concentração de fósforo total, foi utilizada a metodologia descrita em ANDERSEN (1976), através do método colorimétrico.

## **4.5 Bioensaios de toxicidade**

### **4.5.1 Coleta das amostras da água e sedimento**

As amostras de água foram coletadas em galões de 5 litros, sendo transportadas em seguida para o laboratório e mantidas sob refrigeração até o início dos testes. As amostras de sedimento foram coletadas utilizando-se uma draga de Eckman, acondicionadas em potes plásticos e refrigeradas em isopor para serem

transportadas até o laboratório, sendo mantidas em geladeira, a 4°C, até o início dos testes.

#### 4.5.2 Manutenção, cultivo e testes de sensibilidade dos organismos-teste

##### 4.5.2.1 *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis*

Os exemplares de *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis* para o cultivo foram provenientes das culturas-estoque mantidas no Laboratório de Ecotoxicologia e Ecofisiologia de Organismos Aquáticos do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA - USP).

Os organismos foram mantidos em béqueres de 2000mL de capacidade com 2000mL de água de manutenção. A água de manutenção foi preparada misturando-se 1 parte de água natural, proveniente dos tanques de cultivo de zooplâncton localizado no campus da Universidade Federal de São Carlos, com 6 partes de água destilada. Antes de ser misturada, a água natural foi filtrada em rede de plâncton com malha de 20 µm e autoclavada a 120°C, por 20 minutos. Após a mistura, foi ajustada a dureza para a faixa requerida de 40 a 48mg/L de CaCO<sub>3</sub>, pH para a faixa de 7,2 e 7,6 e condutividade elétrica próxima a 160µS/cm de acordo com a Norma CETESB (1991a).

O ajuste da dureza foi obtido adicionando-se uma solução contendo 1,5 g.L<sup>-1</sup> de sulfato de cálcio (solução 1) e uma segunda solução, contendo 0,2 g.L<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, 4,8 g.L<sup>-1</sup> de bicarbonato de sódio e 6,1 g.L<sup>-1</sup> de sulfato de magnésio (solução 2), considerando que, para cada miligrama de dureza a ser aumentada, foi acrescentado 0,5mL da solução 1 e 0,25mL da solução 2 por litro de água a ser ajustado. A medida da dureza total foi realizada através da titulação por EDTA (CETESB, 1991a). O pH foi reajustado, quando necessário, com HCL 0,1 N ou NaOH 0,1N.

As trocas da água de manutenção foram realizadas três vezes por semana, filtrando-se a água de cultivo em rede de 20µm de abertura de malha.

No início de cada lote foram cultivados 60 indivíduos da espécie *Ceriodaphnia dubia* e 50 de *Daphnia similis*. A repicagem foi feita semanalmente, com indivíduos de idade em torno de 24 horas, com a finalidade de se manter lotes

de organismos com idades controladas. Os béqueres com os organismos foram mantidos em incubadora a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ , com fotoperíodo de 12 horas (claro/escuro), conforme metodologia descrita pelo IBAMA (1990) e CETESB (1991a).

#### 4.5.2.2 Alimentação dos organismos-teste

Como alimento para *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis* foi utilizada a alga *Selenastrum capricornutum*. O cultivo dessas algas foi realizado em meio W.C (GUILLARD & LORENZEN), o qual foi autoclavado por 20 minutos, a  $120^{\circ}\text{C}$ , em erlernmeyer de 2000mL de capacidade contendo 2000mL de meio. Após a inoculação, que partiu de uma concentração estimada em torno de  $1 \times 10^4$  células/mL, a cultura ficou sob iluminação (com fotoperíodo de 12 horas) e aeração constantes e temperatura controlada em  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ .

As suspensões algais, a serem utilizadas como alimento, foram preparadas após a contagem do número de células em Câmara de Neubauer, sob microscópio óptico, para verificação da densidade algal na cultura. Foram utilizadas como alimento, as culturas que apresentaram densidades em torno de  $5 \times 10^6$  ind/mL. A fim de evitar a presença de possíveis nutrientes do meio não aproveitáveis pelas algas ou seus metabólitos, foi desprezado o sobrenadante e ressuspenso o material precipitado em água de manutenção.

Outro alimento administrado foi o alimento composto, preparado com fermento biológico seco tipo Fleischmann<sup>®</sup> e ração para peixe (Vitormônio<sup>®</sup>). Pesou-se 0,25g de fermento biológico e diluiu-se em 50mL de água destilada, sendo posteriormente aguardado em frascos de plásticos etiquetados e permanecendo em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$  até o momento do uso.

Em relação ao preparado com a ração para peixe, adicionou-se 5g de vitormônio em 1000mL e manteve-se a solução recoberta com papel alumínio sob aeração contínua por uma semana. Após a aeração, deixou-se sedimentar por algumas horas, filtrou-se o sobrenadante em rede de plâncton de aproximadamente  $45\mu\text{m}$  e descartou-se o material sedimentado. Distribuiu-se em frascos de 30 a 50mL devidamente etiquetados e permaneceu em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$  até o momento do uso.

O alimento composto foi preparado misturando-se partes iguais de 25mL de ração para peixe e levedura, sendo utilizado diariamente 1mL/L deste preparado, junto com a suspensão algal.

#### **4.5.2.3 Teste de sensibilidade de *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis***

Como o controle das condições fisiológicas de clones de espécies utilizadas em testes de toxicidade é uma prática recomendada, foram realizados preliminarmente testes de sensibilidade com uma substância de referência, observando-se a imobilidade ou a mortalidade dos organismos quando expostos a diferentes concentrações da mesma.

Foram realizados testes de sensibilidade de *Daphnia similis* ao dicromato de potássio para avaliar a sensibilidade das culturas. Os organismos foram considerados saudáveis para o teste, quando o valor de CE(I)50;48H (Concentração Efetiva Inicial Média) situou-se entre 0,04 e 0,17mg/L de  $K_2Cr_2O_7$  (ZAGATTO, 1988).

Para a avaliação da sensibilidade de culturas de *Ceriodaphnia dubia* foi utilizado o cloreto de sódio (NaCl), como substância de referência. Os organismos foram considerados saudáveis para o teste, quando o valor de CE(I)50;48H situou-se entre 0,72 e 1,60mg/L de NaCl (CETESB, 1992).

#### **4.5.3 Bioensaios de toxicidade com amostras de água**

##### **4.5.3.1 Bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis***

Os bioensaios de toxicidade aguda foram conduzidos com amostras de água coletadas nos diferentes pontos de amostragem, sendo os organismos expostos à água sem diluição (CETESB, 1991a).

Para a realização dos testes, fêmeas ovígeras foram mantidas em culturas, em câmaras incubadoras (com temperatura de  $23^{\circ}C \pm 2$  e com fotoperíodo de 12 horas), e alimentadas conforme já citado anteriormente, sendo separadas no dia anterior aos testes, de forma a se obter neonatas com idade menor do que 24 horas.

Nos bioensaios foram utilizados 5 organismos, em 5 réplicas, em 5 copos de plástico contendo 10mL de água de cada local de amostragem. A duração do teste foi de 48 horas, efetuando-se, após este período, a contagem de organismos vivos. Algumas medidas como pH, condutividade e dureza da água testada foram realizadas no início e final dos bioensaios. Adotou-se o seguinte critério: a) não tóxico - quando a imobilidade esteve entre 0 e 10% dos organismos-teste; b) tóxico - quando causou imobilidade acima ou igual à 40% dos organismos e c) índice de toxicidade - quando a imobilidade situou-se no intervalo entre 10 e 40% dos organismos-teste (BARBOSA, 2000).

#### **4.5.3.2 Bioensaios de toxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia***

Quanto aos bioensaios de toxicidade crônica realizados com as amostras de água coletadas nas 15 estações, 1 neonata de *Ceriodaphnia dubia* (com idade menor do que 24 horas) foi utilizada, em 10 réplicas, em 10 copos de plástico contendo 15mL de água sem diluição, de cada local de coleta. A cada dois dias foram efetuadas trocas de água. A alimentação dos organismos foi a mesma adotada durante a manutenção, obedecendo-se as devidas proporções (CETESB, 1991b).

Os bioensaios de toxicidade foram realizados em temperaturas de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ , com fotoperíodo de 12 horas.

O bioensaio teve a duração de sete a dez dias, período necessário para a produção da 3ª ninhada, sendo registrado o número de neonatas produzidas ao longo do experimento. Os dados de longevidade foram obtidos acompanhando-se a mortalidade dos organismos até o final do experimento.

As variáveis pH, condutividade e dureza total foram obtidas no início, em cada troca de água e no final dos bioensaios.

#### **4.5.4 Bioensaio de toxicidade com amostras de sedimento**

##### **4.5.4.1 Bioensaio de toxicidade aguda com *Daphnia similis***

Os bioensaios de toxicidade foram realizados com as amostras de sedimento, segundo as recomendações de BURTON & MACPHERSON (1995), em que se utiliza a proporção 1:4 de sedimento/água de diluição.

A metodologia constituiu em pesar, no dia anterior à montagem dos testes, 50g de sedimento, adicionando-se posteriormente 200mL de água de manutenção. A preparação inicial é fundamental para que ocorra a sedimentação do material ressuspenso. Posteriormente, após 24 horas, foram introduzidos 10 organismos em cada recipiente, sendo utilizadas trélicas ou réplicas, dependendo da disponibilidade de organismos. Os bioensaios foram realizados em temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$  e fotoperíodo de 12 horas. O bioensaio teve a duração de 48 horas, sem renovação da água. Após este período realizou-se a contagem dos organismos vivos. De forma semelhante aos bioensaios de toxicidade com amostras de água, também foram realizadas as medidas iniciais e finais de pH, dureza e condutividade. Para a avaliação dos resultados, considerou-se o mesmo critério adotado para o bioensaio agudo com amostras de água.

#### 4.5.4.2 Bioensaio de toxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia*

A metodologia utilizada para a realização dos testes crônicos com o sedimento foi a descrita por BURTON & MACPHERSON (1995). Os bioensaios de toxicidade crônica foram preparados pesando-se 10g de sedimento e adicionando-se 40mL de água de manutenção. Após 24 horas, foi adicionado 1 organismo com 3 dias de idade, em copos plástico, com 10 réplicas. Dafínídeos nesta idade estão prontos para produzir sua primeira ninhada.

A renovação da água foi realizada a cada 2 dias, tomando-se o cuidado de não revolver o sedimento. Os organismos foram alimentados conforme já descrito no item referente à manutenção das culturas.

Os parâmetros de avaliação analisados nestes bioensaios foram a reprodução e a sobrevivência dos organismos. A duração do testes foi a do período necessário para a obtenção da 3ª ninhada, isto é, três reproduções sucessivas. O experimento foi realizado em temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$  e fotoperíodo de 12 horas.

Valores de pH, condutividade e dureza da água foram obtidos no início e final do bioensaio.

#### **4.6 Análise estatística**

##### **4.6.2 Análise estatística dos bioensaios**

Para a avaliação da sensibilidade dos organismos submetidos ao testes de toxicidade com uma substância de referência, foi utilizado o programa computacional Spearman-Kärber (HAMILTON, 1977).

Em relação aos resultados obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica, o número de neonatas produzidas por cada fêmea foi submetido a uma análise de normalidade e, em seguida, ao teste de Tukey (teste paramétrico), quando apresentaram uma distribuição normal e, quando não, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis (teste não-paramétrico), a fim de se verificar a ocorrência de diferenças significativas ou não, para cada amostra em relação aos controles. Para a aplicação destes testes, foi utilizado o programa computacional “Graph Pad InStat versão 3.00”(MOTULSKY,1995).

#### **4.7. Análise de agrupamento**

Para uma avaliação da similaridade entre todas as estações de coleta, foi realizada uma análise de agrupamento em função das variáveis físicas, químicas, biológicas e dados de toxicidade em relação à água e ao sedimento. Os resultados foram apresentados em forma de dendrograma. A metodologia é discutida em SOKAL & SNEAT (1977) e o programa utilizado foi o STATISTICA da StatSof, Inc.

Os dados obtidos na análise estatística foram apresentados na discussão dos resultados, complementando as demais análises realizadas.

## 5 - RESULTADOS

### 5.1.1 Dados climatológicos

Os dados de precipitação para o estado de São Paulo, no período de estudo, demonstraram a distinção entre um período de maior índice de pluviosidade, de outubro de 1999 a março de 2000 (60mm a 100mm), caracterizado como um período chuvoso, e os menores índices ocorridos entre os meses de abril a julho de 2000 (5mm a 50mm), caracterizado como um período seco (Figura 13 e Tabela 10 – em anexo).

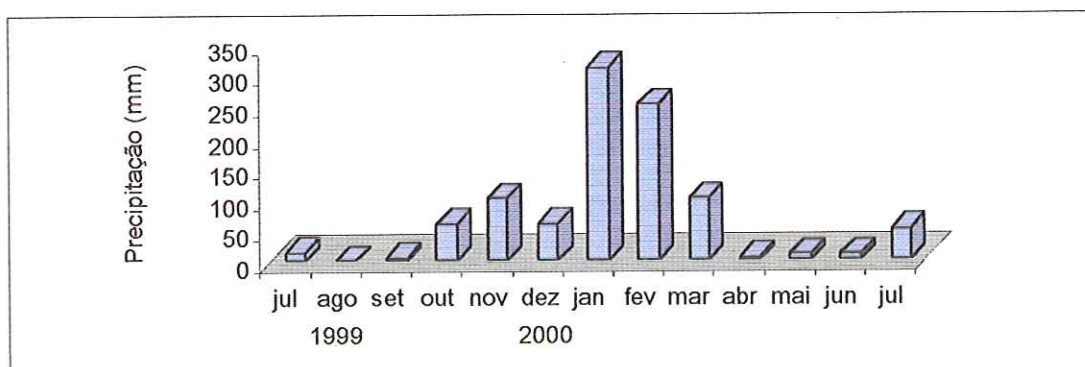


FIGURA 13 – Variação da precipitação no estado de São Paulo, no período de julho de 1999 a julho de 2000.

### 5.1.2 Dados hidrológicos

Na Figura 14 estão apresentados os dados hidrológicos dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), os quais são também apresentados na Tabela 11 (em anexo).

De um modo geral, as maiores vazões ocorreram no período chuvoso e as menores no período seco, mantendo uma relação inversa com o tempo de residência da água.



Durante o período de estudo, especialmente no mês de janeiro de 2000, foi observado para os reservatórios de Barra Bonita, Bariri, Promissão e Nova Avanhandava, os menores tempos de residência da água (92 dias, 13 dias, 119 dias e 38 dias, respectivamente) e também as maiores vazões defluentes médias ( $395\text{m}^3/\text{s}$ ,  $470\text{m}^3/\text{s}$ ,  $723\text{m}^3/\text{s}$  e  $661\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente). Para o reservatório de Ibitinga, o menor tempo de residência e a maior vazão foram registrados no mês de março de 2000 (19 dias e  $577\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente). Em relação ao reservatório de Três Irmãos, foi observado, no mês de abril de 2000, o menor tempo de retenção (144 dias), com uma vazão defluente média de  $1105\text{m}^3/\text{s}$ .

O maior tempo de residência da água foi registrado, no presente estudo, no mês de julho de 2000, para os reservatórios de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão (165 dias, 24 dias, 35 dias e 226 dias, respectivamente), com os menores valores de vazão defluente média ( $220\text{m}^3/\text{s}$ ,  $260\text{m}^3/\text{s}$ ,  $317\text{m}^3/\text{s}$  e  $380\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente). No reservatório de Nova Avanhandava registrou-se, no mês de junho de 2000, o maior tempo de residência e a menor vazão defluente média (77 dias e  $409\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente). No reservatório de Três Irmãos foi observado, no mês de dezembro de 1999, o maior tempo de residência e a menor vazão defluente média (392 dias e  $407,8\text{m}^3/\text{s}$ , respectivamente).

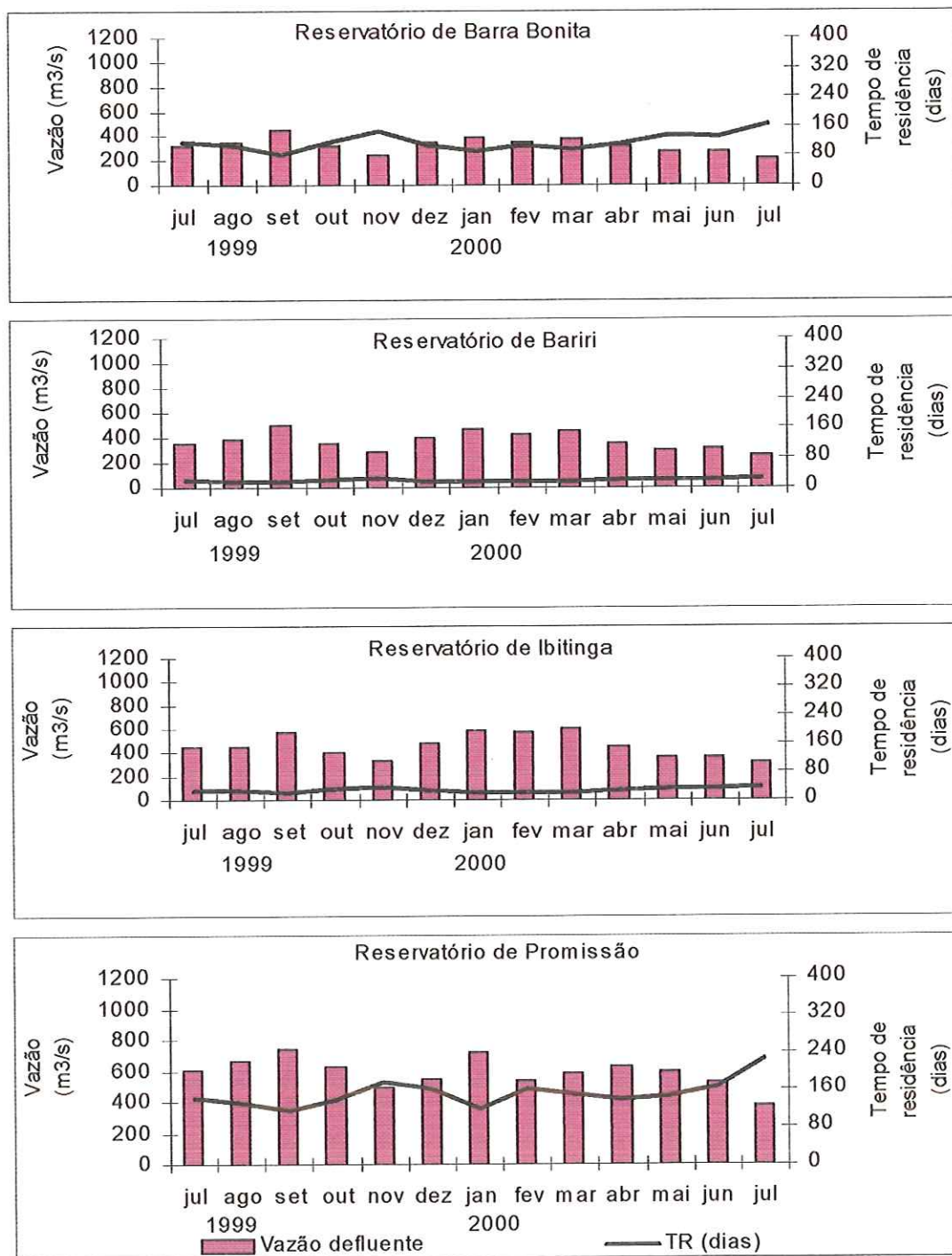


FIGURA 14 – Variação da vazão defluente média e tempo de residência médio da água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de julho de 1999 a julho de 2000.

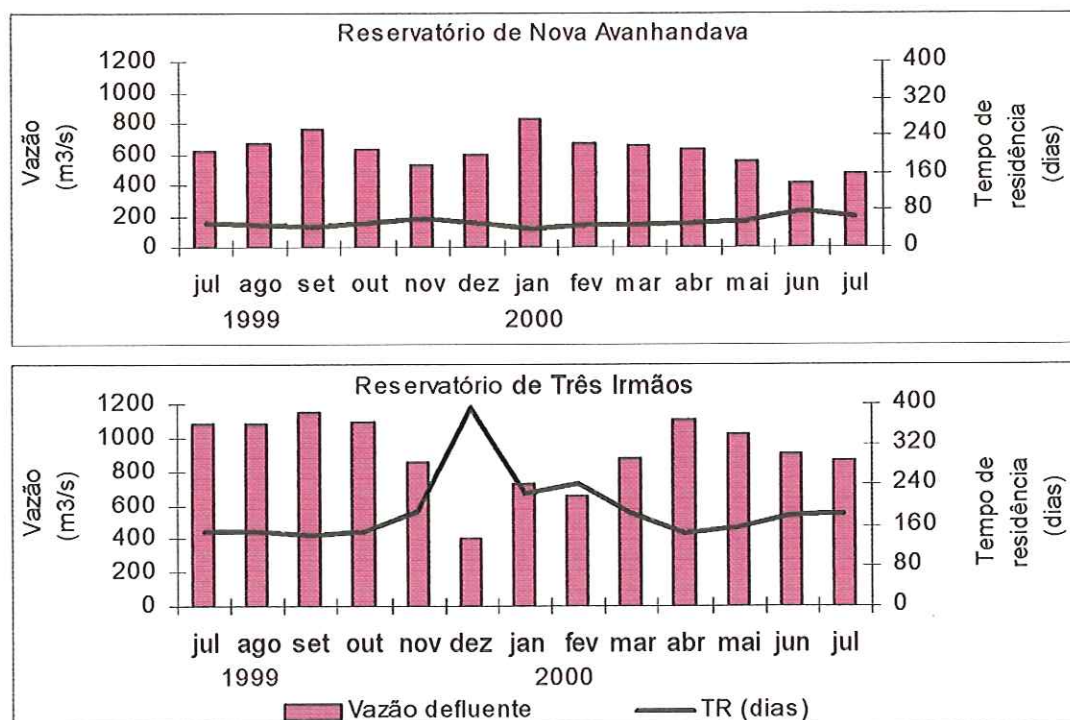


FIGURA 14 (cont) – Variação da vazão defluente média e tempo de residência médio da água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de julho de 1999 a julho de 2000.

## 5.2. Caracterização física, química e biológica (clorofila) da água

### 5.2.1 Transparência da água

Os resultados referentes à visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê podem ser observados na Figura 15 e nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 (em anexo).

A maior visibilidade do disco Secchi, para a maioria das estações amostradas, foi obtida no período seco, com um valor mínimo de 0,35m no rio Piracicaba e um valor máximo de 9,3m à montante da barragem de Três Irmãos. Em maio de 2000, os valores variaram de 1,1m no rio Piracicaba a 6,3m em Nova Avanhandava Jusante. No período chuvoso foram registrados os menores valores (variando de 0,1m à 3,5m) no rio Piracicaba e à montante e à jusante da barragem de Nova Avanhandava, respectivamente. Em outubro de 1999 os valores de visibilidade do disco de Secchi também foram reduzidos, variando de 0,5m (no rio Piracicaba) a 4,0m (em Promissão Montante, Três Irmãos Montante e Jusante).

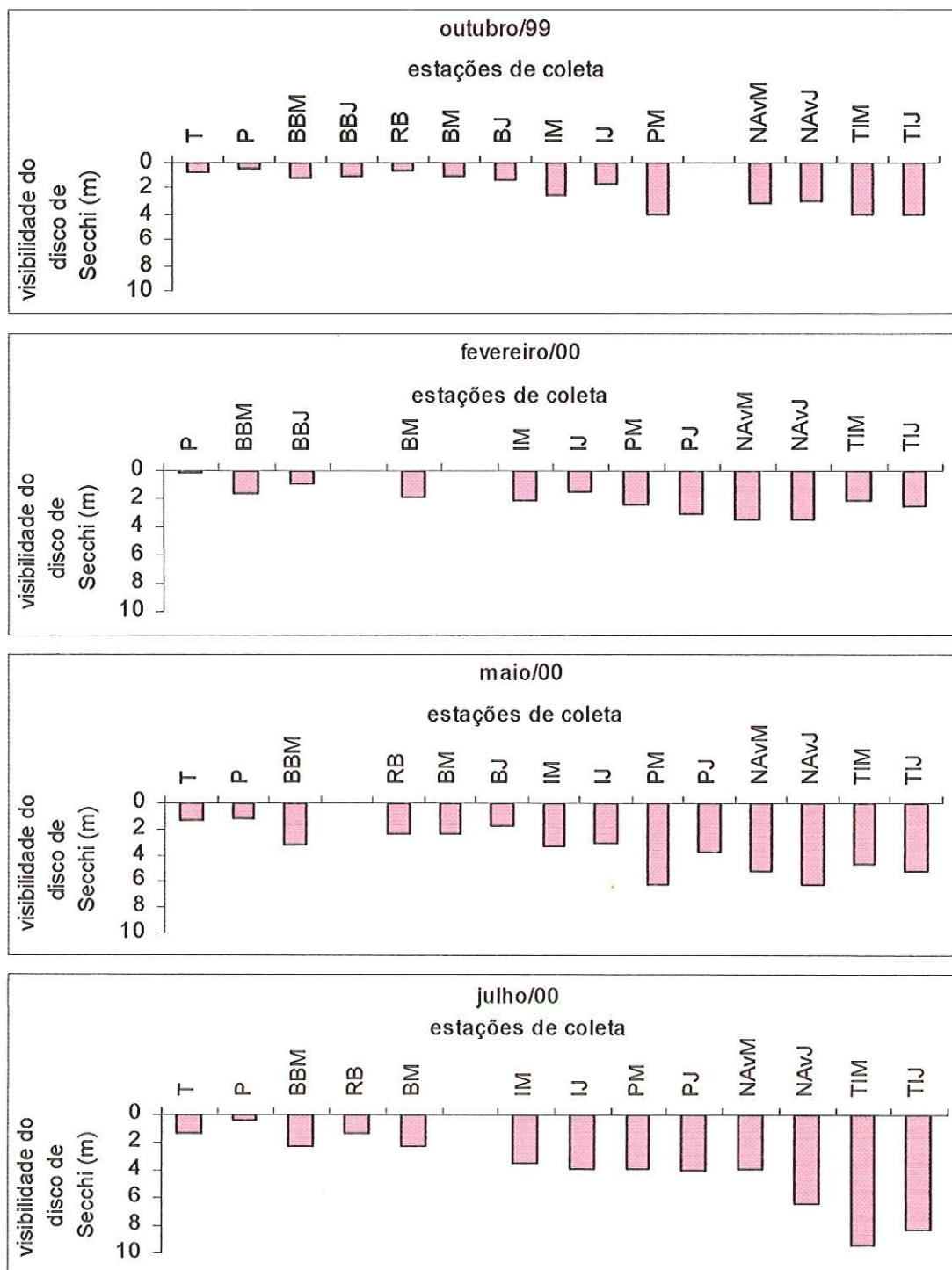


FIGURA 15 - Variação na visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.2.2 Temperatura e oxigênio dissolvido

Nas Figuras 16 e 17 estão apresentadas as variações espaciais e temporais dos valores de temperatura e os perfis de temperatura e oxigênio dissolvido (respectivamente) e na Figura 18, a variação dos valores de oxigênio dissolvido obtida nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, sendo estes valores também apresentados nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 (em anexo).

Os valores de temperatura da água demonstram a ocorrência de duas estações bem definidas durante o período de estudo. No período chuvoso (fevereiro) foram obtidas as maiores temperaturas, com um mínimo de 23,5°C no rio Bauru e um máximo de 31,8°C, em Três Irmãos Montante. No período seco (julho/00), o valor mínimo observado foi de 18,7°C no rio Piracicaba e o valor máximo registrado foi de 22,8°C, em Três Irmãos Montante e Jusante. Em maio/00, a temperatura mínima foi de 23,0°C no rio Piracicaba e a máxima foi de 27,1°C em Três Irmãos Montante. Em outubro/99, a temperatura mínima foi de 19,6°C em Barra Bonita Montante e a máxima obtida foi de 26,5°C, em Nova Avanhandava Montante

Analisando-se os perfis de temperatura, verifica-se que os valores mais elevados ocorreram nas camadas superficiais da água, sendo que em outubro/99 foram observadas variações máximas de temperatura (eixo vertical) de 6,2°C (Bariri Montante), 3,3°C (rio Bauru), 4,0°C (Bariri Jusante), 4,8°C (Ibitinga Montante) e 3,6°C (Nova Avanhandava Montante). Em fevereiro/00, as variações máximas de temperatura foram de 3,5°C (rio Bauru), 3,0°C (Bariri Jusante) e 4,5°C (Três Irmãos Montante). Em maio/00, a máxima variação observada foi de 1,6°C (Bariri Jusante) e em julho/00 a variação máxima foi de 2,7°C (rio Tietê).

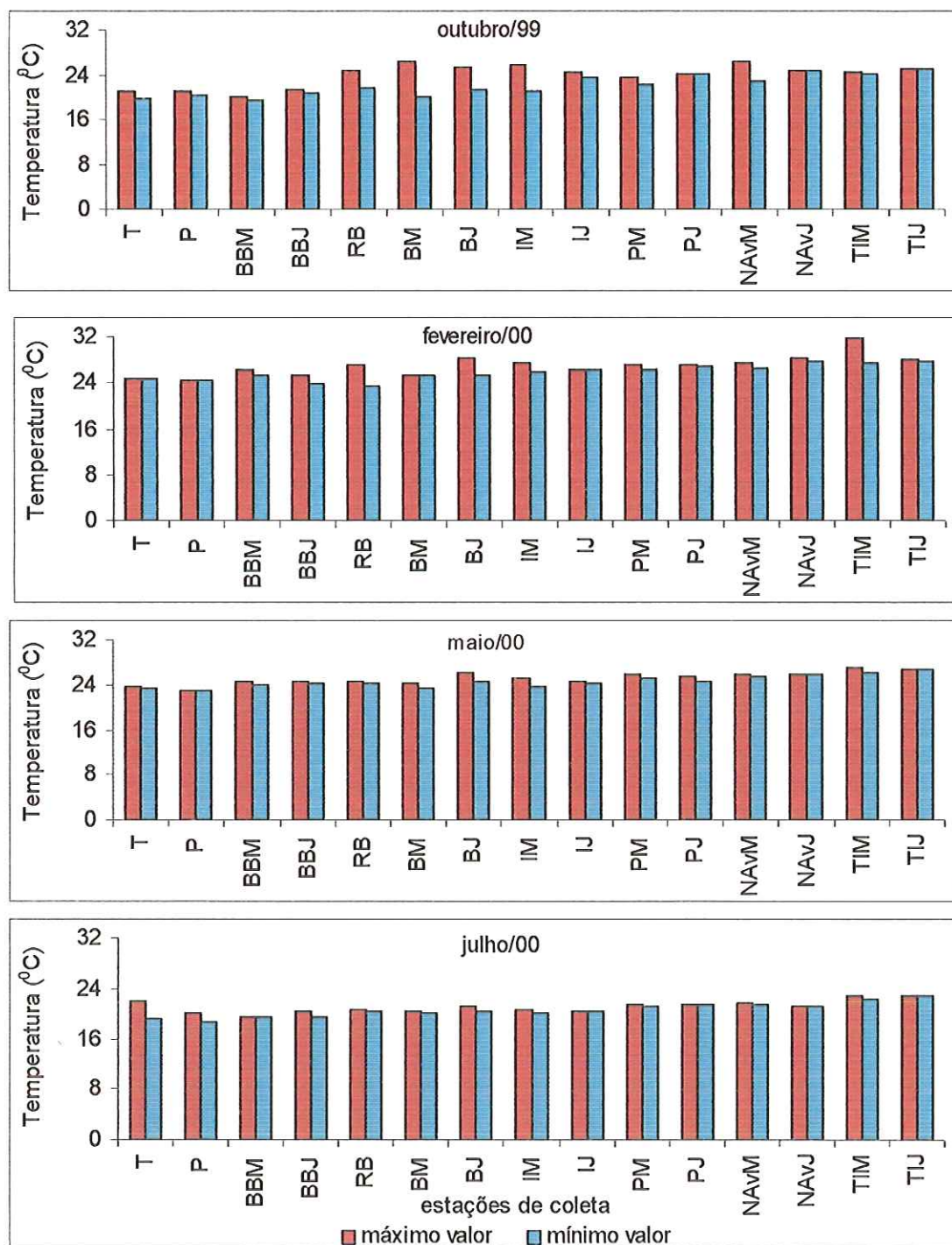


FIGURA 16 - Variação dos valores de temperatura na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

A estratificação térmica da coluna d'água, com o surgimento de regiões de termoclina, foi observada em outubro/99 para o rio Tietê e em fevereiro/00 para Promissão Montante (Figura 17), sendo que nas estações à jusante dos reservatórios, os valores de temperatura foram mais homogêneos.

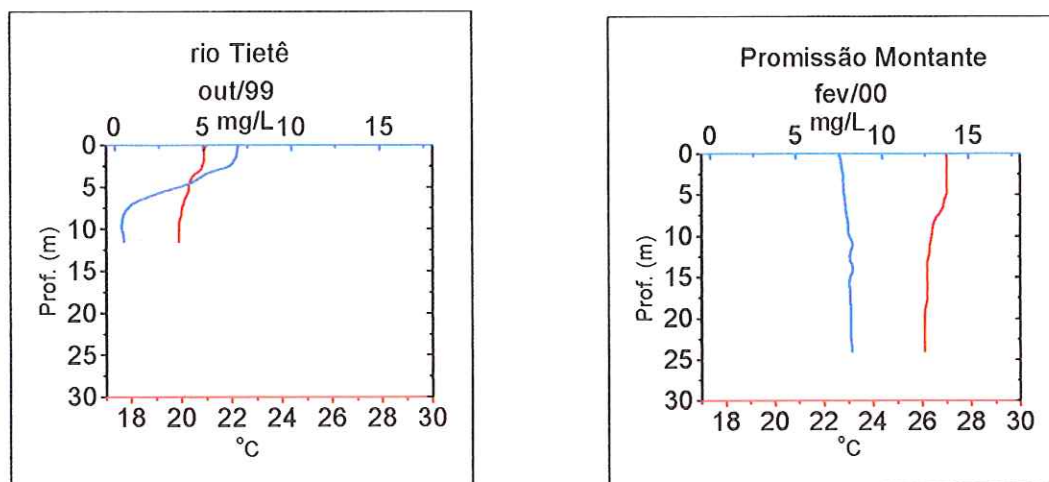


FIGURA 17 – Exemplo de perfis de temperatura e oxigênio dissolvido nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) com a ocorrência de regiões de termoclina, no período de estudo.

As concentrações de oxigênio dissolvido foram maiores em fevereiro e maio/00, para a maioria das estações de coleta. Em fevereiro, a concentração mínima de oxigênio dissolvido foi de 6,13mg/L (Três Irmãos Montante) e a máxima foi de 8,74mg/L (Bariri Jusante). Em maio/00, a concentração mínima foi de 6,62mg/L em Bariri Jusante e a máxima foi de 9,69mg/L em Nova Avanhandava Montante. Em julho/00, o valor mínimo foi de 0,1mg/L (rio Tietê) e o máximo obtido foi de 10,31mg/L em Ibitinga Montante. Em outubro/99, o valor mínimo foi de 0,1mg/L no rio Bauru e o valor máximo verificado foi de 13,69mg/L em Bariri Montante, verificando-se baixas concentrações de oxigênio dissolvido nas camadas mais profundas da coluna d'água nos rios Tietê (outubro/99 e julho/00), Bauru (outubro/99) e Piracicaba (julho/00) e em Barra Bonita Montante (julho/00), correspondendo ao período seco ou início do período chuvoso (FIGURA 18).

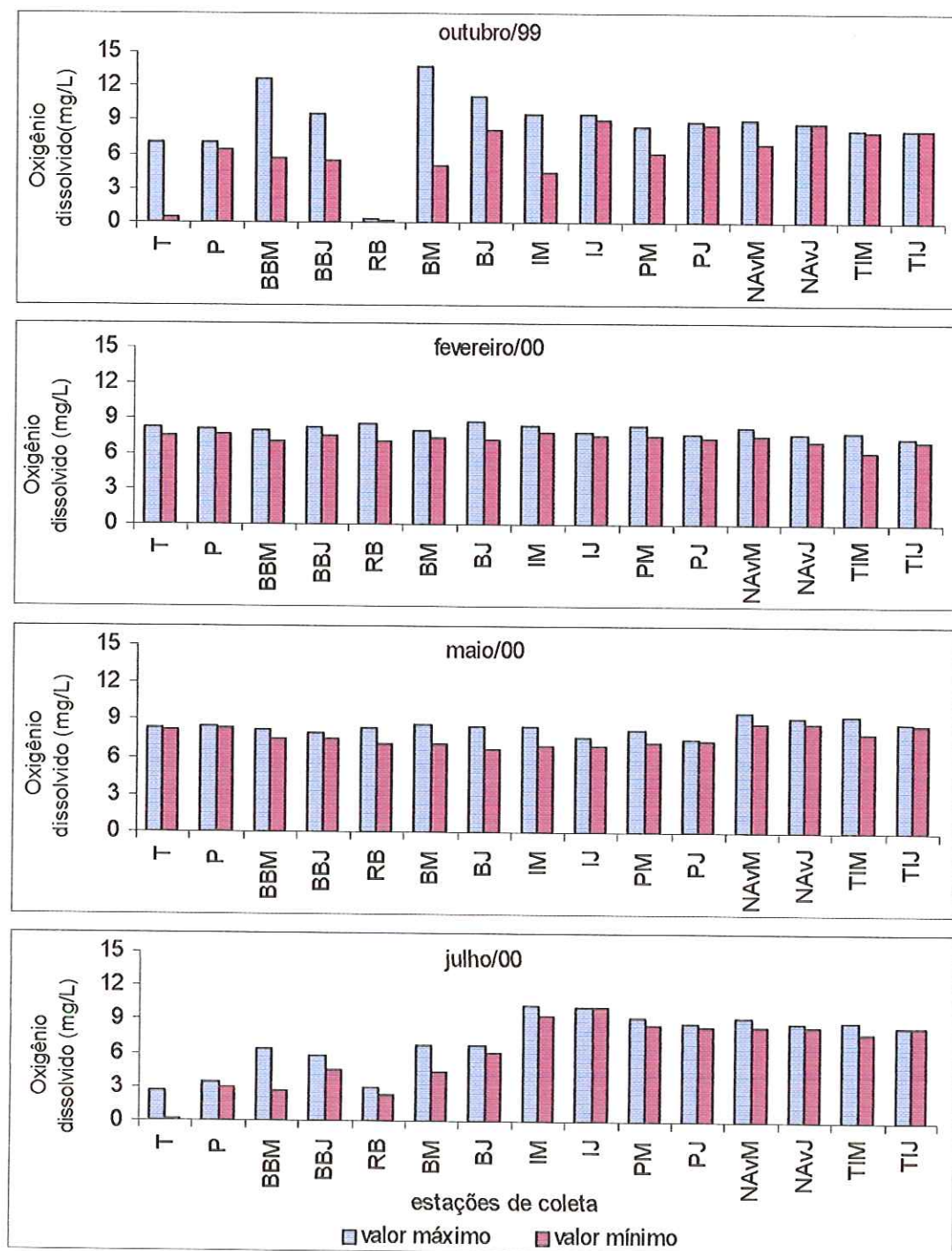


FIGURA 18 - Variação dos valores de oxigênio dissolvido na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).



### 5.2.3 pH e condutividade elétrica

Os resultados obtidos para pH e condutividade são apresentados nas Figuras 19 e 20, respectivamente, e nas Tabelas 12, 13, 14 e 15 (em anexo), verificando-se que os maiores valores obtidos de pH ocorreram em outubro/99, com um valor mínimo de 6,04 (Promissão Montante) e um valor máximo de 9,22 em Bariri Montante. Em fevereiro/00, foram verificados os menores valores de pH, variando de 5,52 a 8,12, em Ibitinga Jusante e Três Irmãos Montante, respectivamente. Em maio/00, os valores variaram de 5,86 (Ibitinga Montante) a 7,25 (Promissão Montante) e em julho/00, o valor mínimo foi de 5,96 (Bariri Jusante) e o máximo foi de 7,36 (Nova Avanhandava Montante).

Para a condutividade elétrica da água verificou-se valores mais elevados em julho/00, com um mínimo de 48 $\mu$ S/cm (Três Irmãos Jusante) e um máximo de 417 $\mu$ S/cm (rio Tietê). Os menores valores foram registrados no período chuvoso, com um valor mínimo de 58 $\mu$ S/cm em Três Irmãos Jusante e um valor máximo de 177 $\mu$ S/cm em Bariri Jusante. Em maio/00, os valores de condutividade variaram de 72 $\mu$ S/cm (no rio Piracicaba) a 188 $\mu$ S/cm (em Bariri Montante). Em outubro de 99, os valores variaram de 89 $\mu$ S/cm (Três Irmãos Jusante) a 312 $\mu$ S/cm (Barra Bonita Jusante).

Em relação aos valores de condutividade elétrica, em outubro/99 e julho/00 verificou-se uma redução significativa dos mesmos no sentido rio Tietê ou rio Piracicaba, para os reservatórios em cascata do sistema Tietê. A redução foi de 70,53% e 86,57% correspondendo, respectivamente, às coletas de outubro/99 e julho/00. Em fevereiro e maio/00, de uma maneira geral, houve um gradiente decrescente dos valores da condutividade ao longo dos reservatórios em cascata, embora alguns reservatórios intermediários tenham apresentados valores maiores em relação ao observado no rio Tietê, como pode ser observado em fevereiro/00, no reservatório de Ibitinga (174 $\mu$ S/cm), em relação ao valor obtido no rio Tietê (129 $\mu$ S/cm).



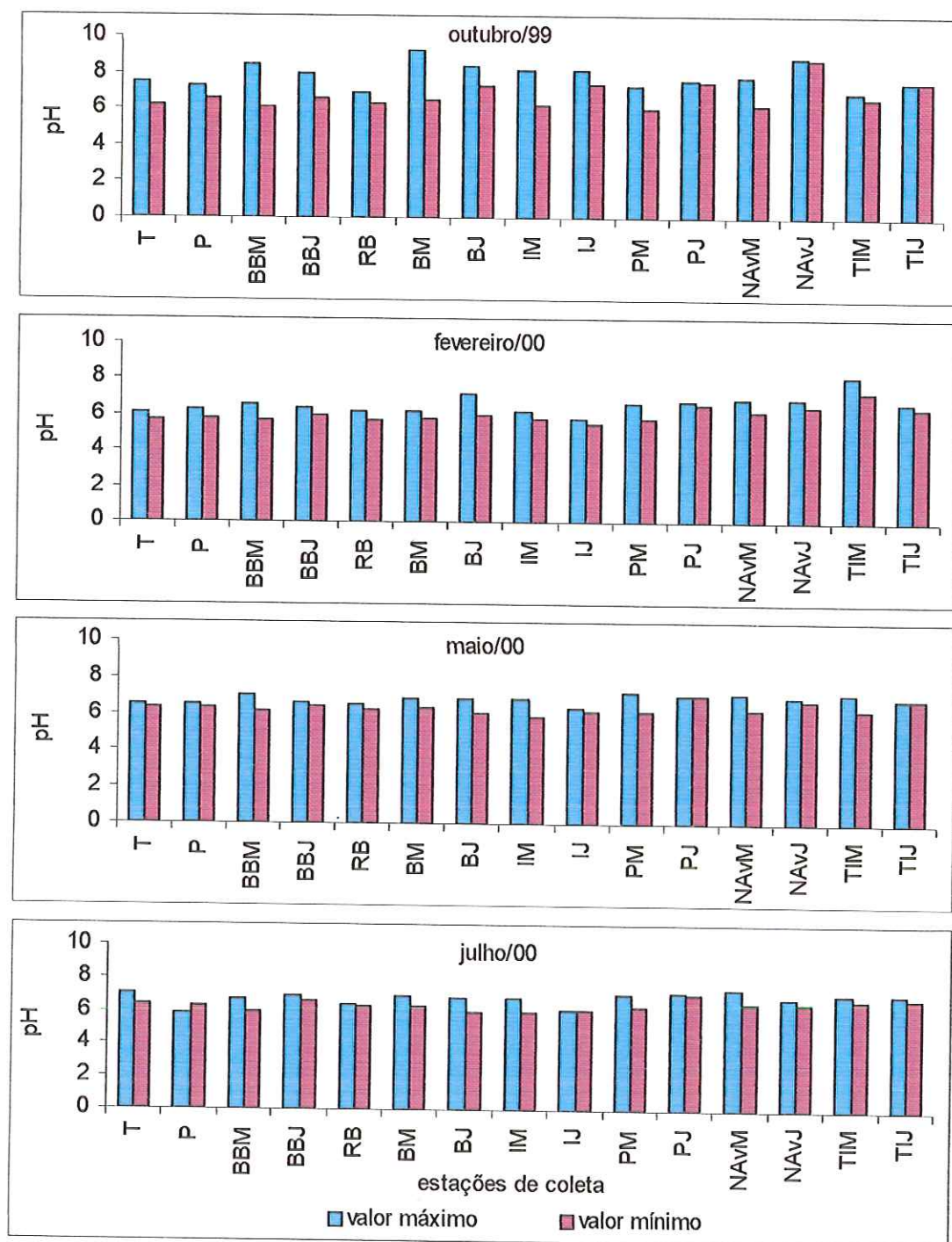


FIGURA 19 - Variação dos valores de pH na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

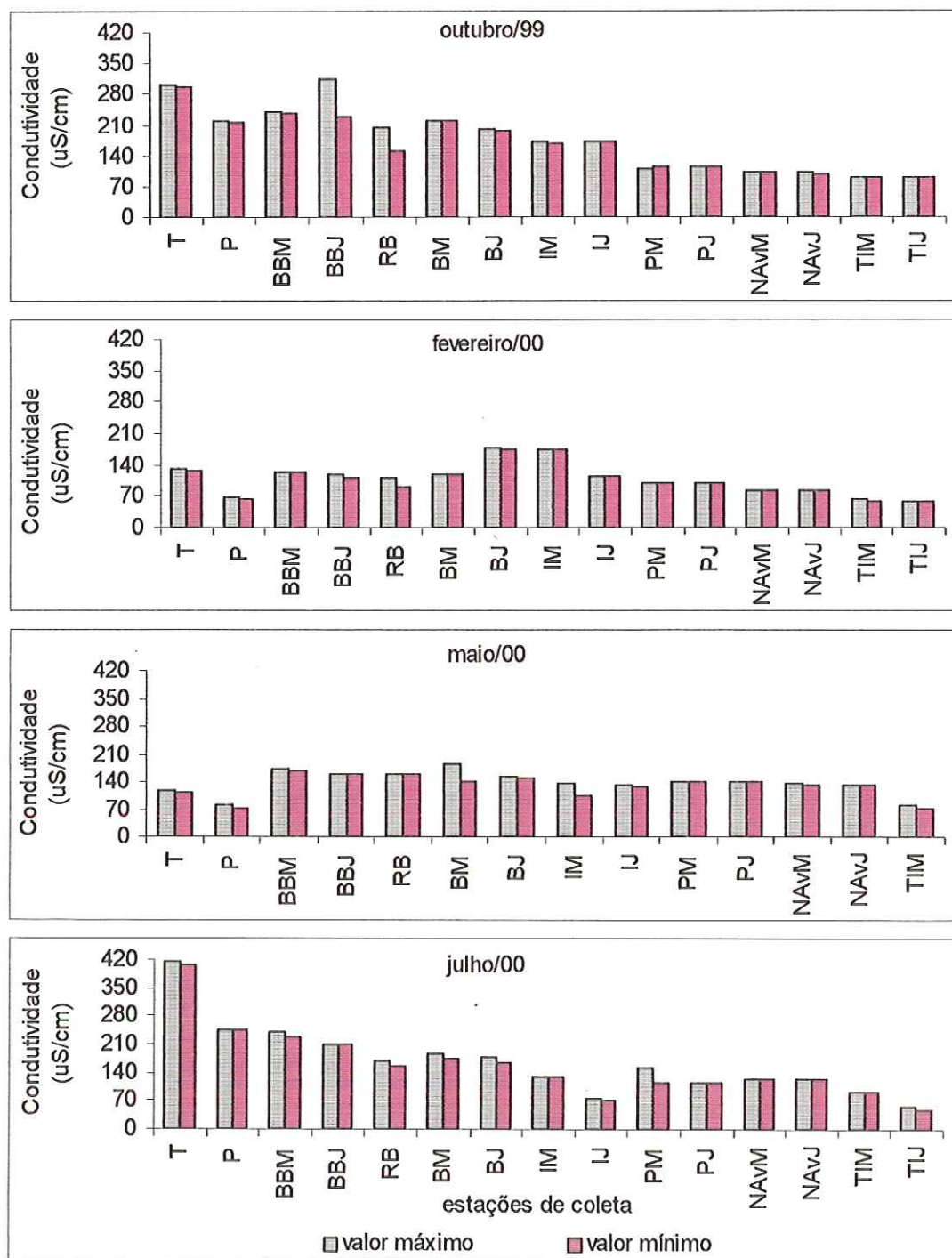


FIGURA 20 - Variação dos valores de condutividade na coluna d'água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

#### 5.2.4 Material em suspensão

A Figura 21 apresenta as variações espacial e temporal para as concentrações de material em suspensão total e a para as frações orgânica e inorgânica obtidas no presente estudo, sendo os resultados também apresentados nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 (em anexo).

Com os dados obtidos, verifica-se que no período chuvoso a quantidade de material em suspensão total foi maior em relação ao período seco (aproximadamente 7 vezes maior no rio Piracicaba e 2 vezes maior nos reservatórios de Barra Bonita à Três Irmãos). O valor mínimo obtido foi igual a 1,69mg/L em Três Irmãos Montante e o máximo, obtido no período chuvoso, foi igual a 53,12mg/L no rio Piracicaba. No período seco, os valores variaram de 0,55mg/L a 7,06mg/L, em Três Irmãos Jusante e rio Tietê, respectivamente. Em maio de 2000 obteve-se o valor mínimo, de 1mg/L em Nova Avanhandava Jusante e o máximo, no rio Tietê (5,73 mg/L). Em outubro de 1999, esses valores não foram obtidos devido a problemas metodológicos.

A concentração da matéria inorgânica foi mais elevada em maio de 2000 para a maioria das estações, com variações de 0,14mg/L (Promissão Montante) a 3,77mg/L (rio Piracicaba). No período seco, esta variação foi de 0,07mg/L (Promissão Jusante) a 5,02mg/L (rio Piracicaba) e no período chuvoso, a variação foi de 0,15mg/L (Nova Avanhandava Jusante) a 47,92mg/L (rio Piracicaba). Quanto ao material orgânico, as maiores concentrações ocorreram no período chuvoso, com variações de 1,30mg/L (Três Irmãos Jusante) a 5,20mg/L (rio Piracicaba), tendo sido as menores concentrações observadas no período seco, com valores de 0,38mg/L (em Três Irmãos Jusante) a 4,25mg/L (no rio Tietê). Em maio de 2000, as concentrações de matéria orgânica variaram de 0,24mg/L (Três Irmãos Jusante) a 2,98mg/L (rio Tietê).

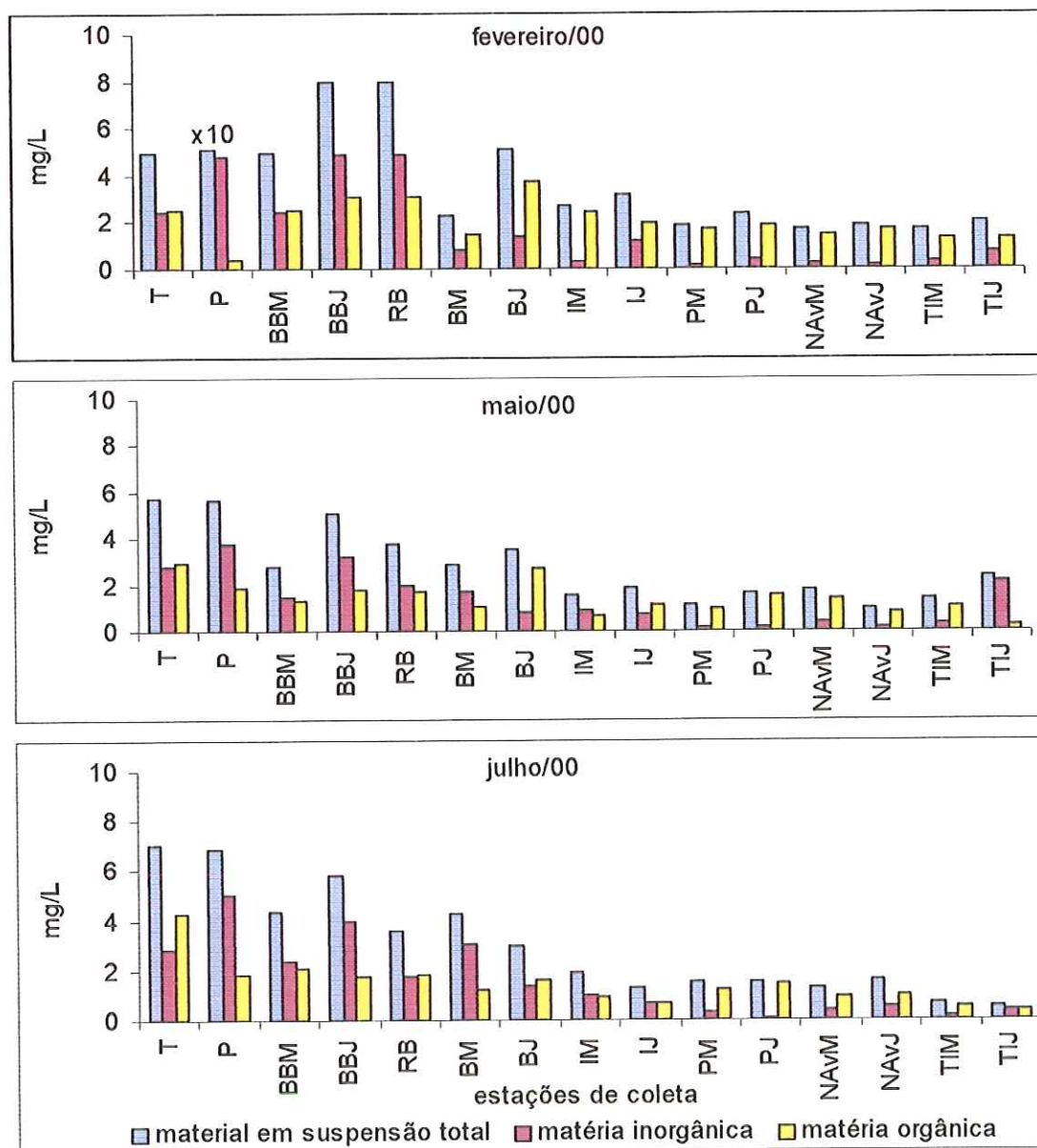


FIGURA 21 - Concentração de material em suspensão, matéria inorgânica e matéria orgânica nas amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

Os valores obtidos para material em suspensão total estão relacionados inversamente com aqueles obtidos para a visibilidade do disco de Secchi: maiores concentrações de material em suspensão no período chuvoso acarretaram menores valores de visibilidade do disco de Secchi (Figura 22).

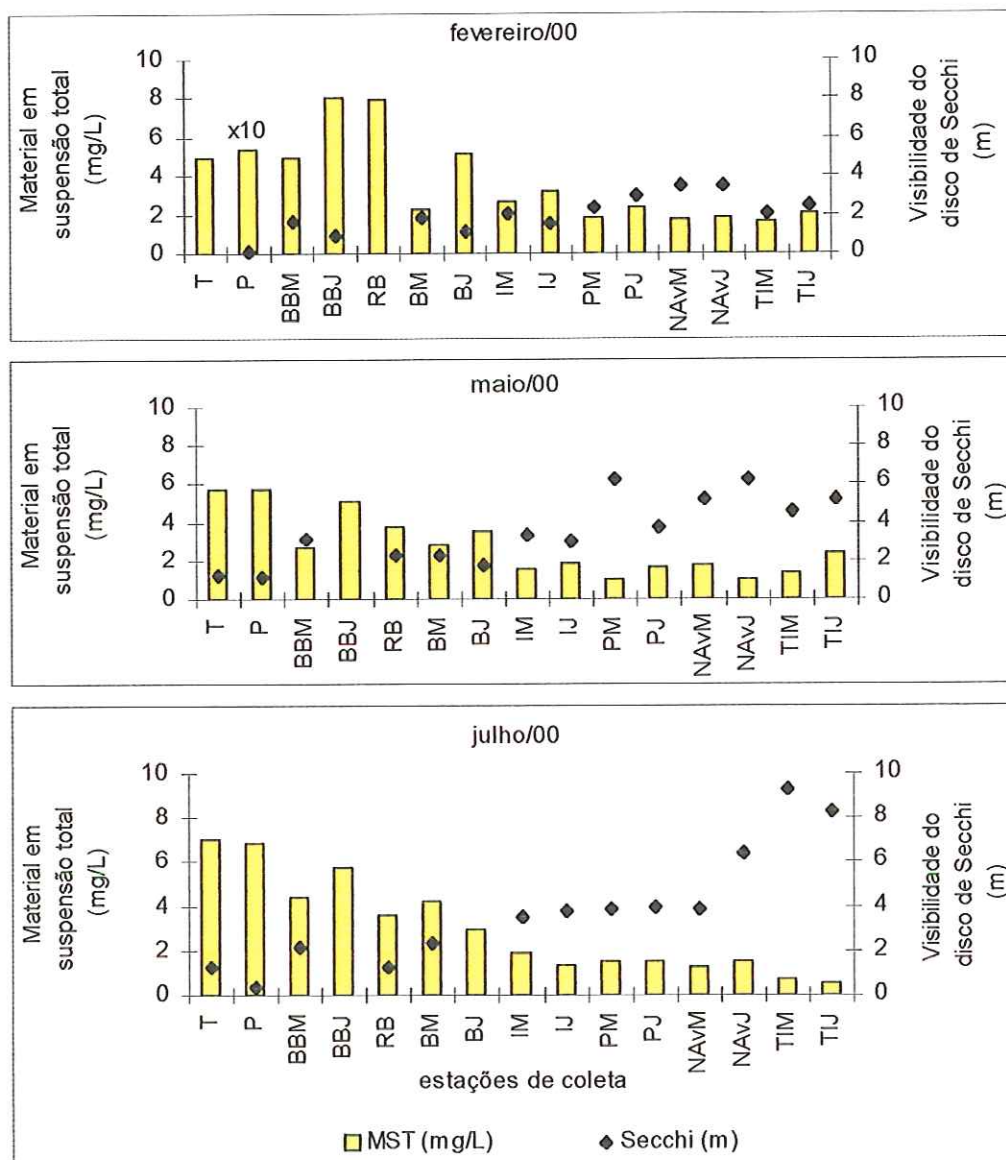


FIGURA 22 – Variação dos valores de material em suspensão total e visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.2.5 Clorofila-a total

Na Figura 23 estão apresentadas as concentrações de clorofila-a total obtidas no presente estudo, as quais são também apresentadas nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 (em anexo)

Em geral, as concentrações de clorofila foram maiores no período chuvoso, com valores variando de 2,23 $\mu\text{g/L}$  em Três Irmãos Montante a 27,9 $\mu\text{g/L}$  no rio Tietê e em Bariri Jusante. Em maio, o menor valor foi obtido em Barra Bonita Montante (1,22 $\mu\text{g/L}$ ) e o maior valor obtido foi em Bariri Jusante (16,39 $\mu\text{g/L}$ ). Em julho de 2000, o valor mínimo obtido foi de 3,49 $\mu\text{g/L}$  (Três Irmãos Montante) e o máximo foi de 40,45 $\mu\text{g/L}$  (rio Tietê). Em outubro de 1999 não foram obtidos os valores de clorofila por problemas metodológicos.

De forma semelhante ao material em suspensão e à condutividade, também verificou-se um decréscimo na concentração de clorofila no sentido reservatório de Barra Bonita ao reservatório de Três Irmãos, embora alguns reservatórios intermediários tenham apresentado concentrações semelhantes ou mais elevadas do que o primeiro do sistema, como foi observado em Bariri Jusante, que apresentou valores de clorofila em fevereiro/00 (27,9 $\mu\text{g/L}$ ), em maio (16,39 $\mu\text{g/L}$ ) e em julho/00 (22,45 $\mu\text{g/L}$ ) superiores aos obtidos à montante de Barra Bonita (21,2 $\mu\text{g/L}$  em fevereiro; 1,22 $\mu\text{g/L}$  em maio e 18,41 $\mu\text{g/L}$  em julho/00), indicando uma maior eutrofização daquele reservatório.

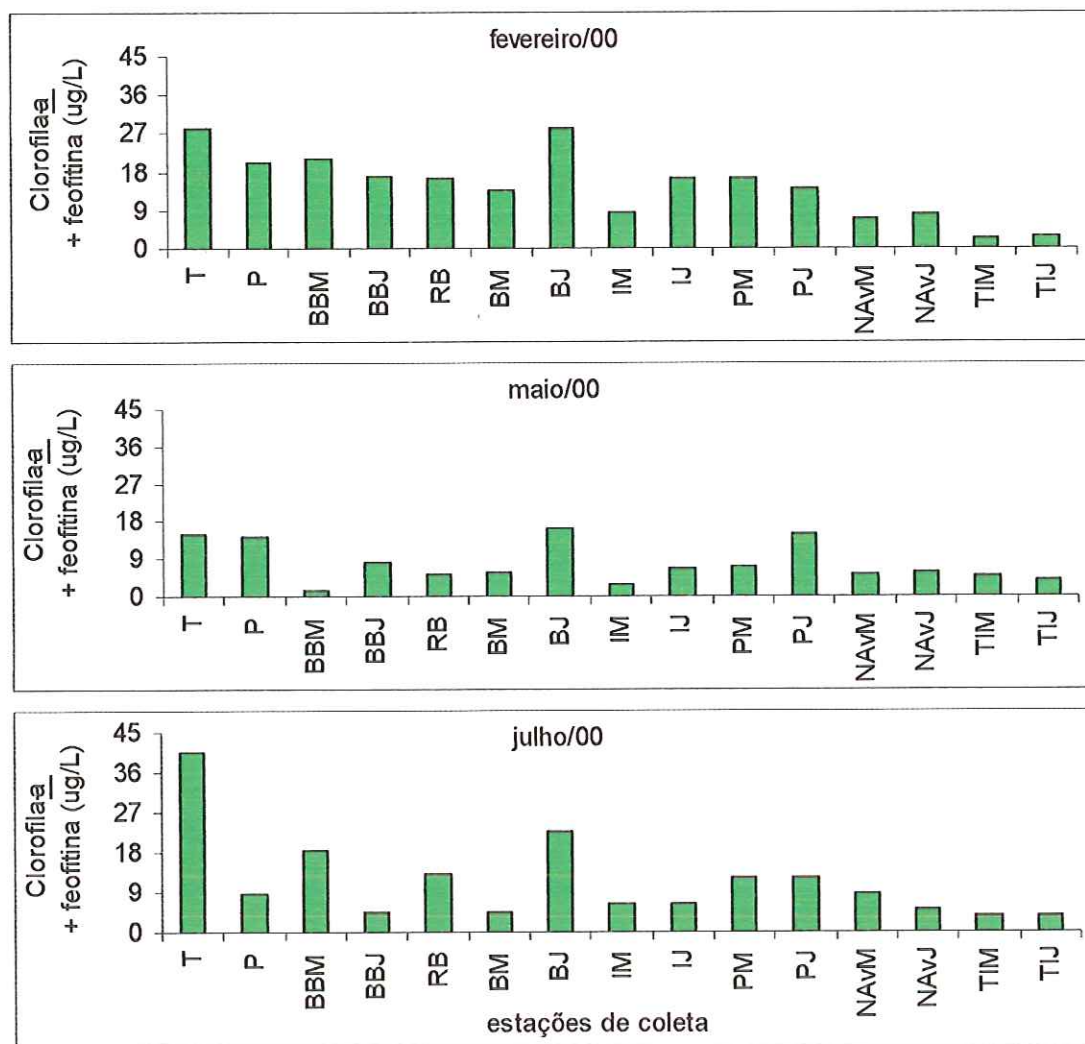


FIGURA 23 – Variação da concentração de clorofila-a mais feofitina nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).



### 5.2.6 Formas nitrogenadas

Nas Figuras 24 e 25 estão apresentadas as variações espaciais e temporais das concentrações de nitrogênio orgânico total e nitrato (respectivamente) e nas Figuras 26 e 27, as concentrações de nitrito e íon amônio (respectivamente), obtidas nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, sendo estes valores também apresentados nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 (em anexo).

Em todos os períodos amostrados verificou-se que no rio Tietê sempre foram obtidas as maiores concentrações de nitrogênio orgânico total, quando comparadas com as demais estações de coleta, sendo que, de um modo geral, as maiores concentrações foram obtidas em julho de 2000 (período seco), variando de 0,093mg/L a 5,32mg/L (Nova Avanhandava Montante e no rio Tietê, respectivamente). Em outubro de 1999, as concentrações variaram de 4,94mg/L no rio Tietê à 0,37mg/L em Três Irmãos Montante. As menores concentrações foram obtidas em fevereiro de 2000, com valores variando de 0,05mg/L (nos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos) à 1,77mg/L (no rio Tietê). Em maio/00, os valores variaram de 0,42mg/L (rio Bauru) à 1,96mg/L (rio Tietê). De um modo geral, não houve uma redução da concentração de nitrogênio orgânico total ao longo do reservatórios em cascata, sendo que alguns reservatórios intermediários apresentaram concentrações mais elevadas do que o primeiro reservatório do sistema em cascata, como foi observado em outubro/99, para os valores obtidos em Ibitinga Montante (4 vezes mais elevados aos valores obtidos em Barra Bonita) (Figura 24).

Para o nitrato, o mês em que se obteve as maiores concentrações, de um modo geral, foi julho de 2000, variando entre 277,03µg/L (jusante da barragem de Três Irmãos) a 2049,8µg/L (montante da barragem de Barra Bonita). No mês de outubro de 1999, foi registrado o valor mínimo de 155,36µg/L (Três Irmãos Jusante) e o valor máximo de 2680µg/L (Barra Bonita Montante). As concentrações menores foram obtidas no mês de fevereiro/00 para a maioria das estações amostradas, com concentrações variando entre 132,83µg/L e 746,30µg/L (montante da barragem de Três Irmãos e jusante da barragem de Barra Bonita, respectivamente). No mês de maio/00, as concentrações variaram de 290,57µg/L a 1492,4µg/L (Três Irmãos Montante e rio Tietê, respectivamente)(Figura 25).

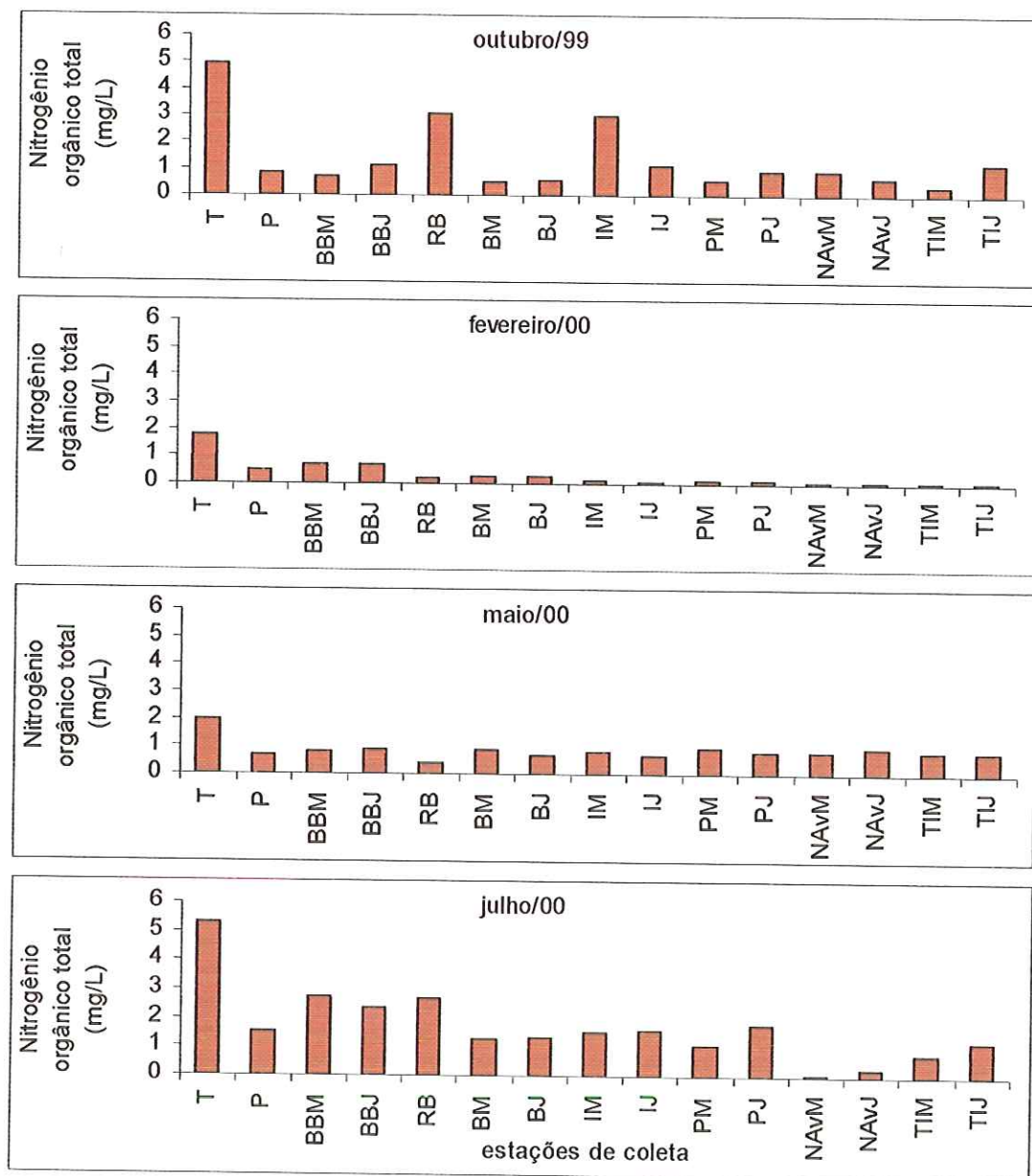


FIGURA 24 - Variação da concentração de nitrogênio orgânico total nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

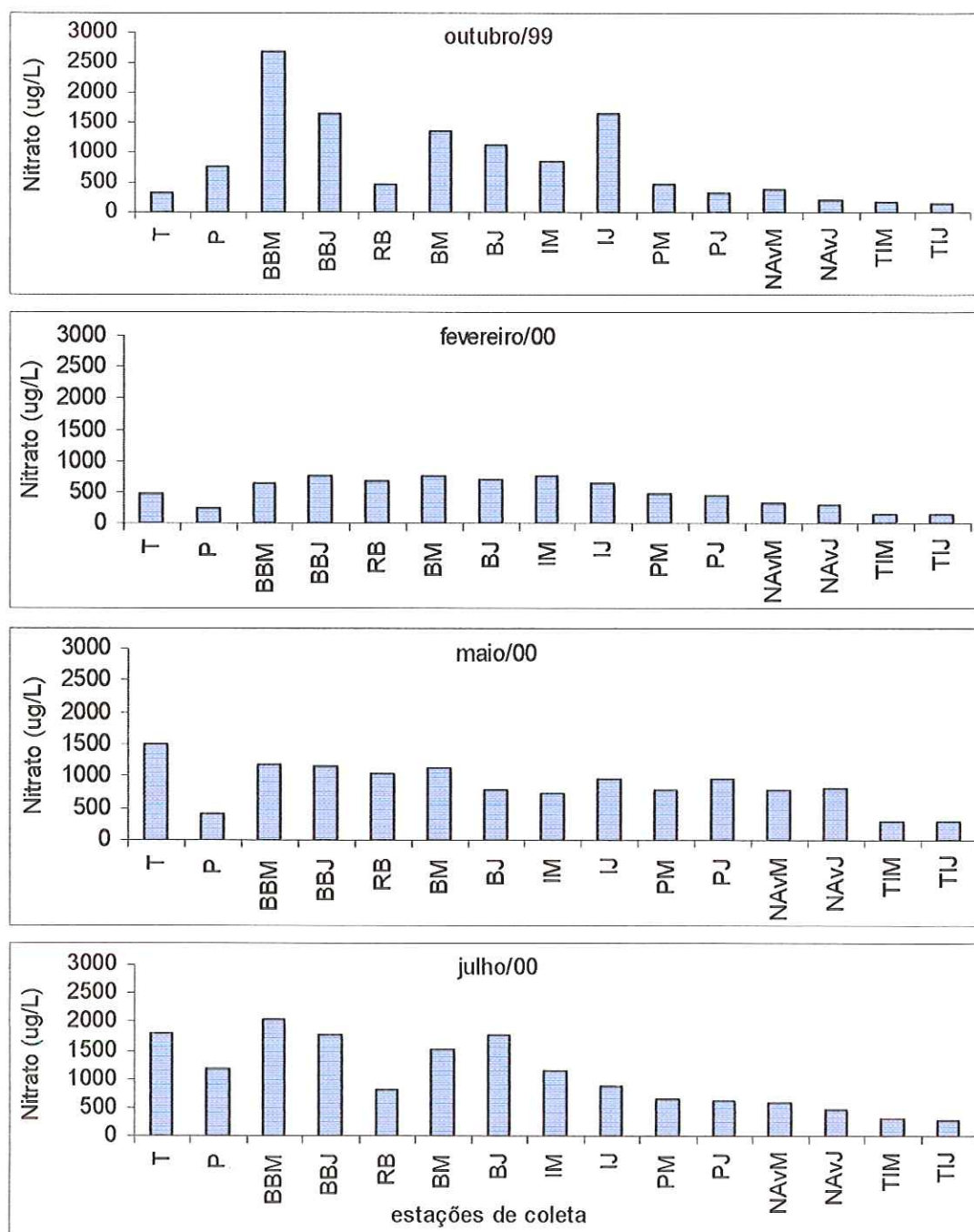


FIGURA 25 - Variação da concentração de nitrato nas amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

Em relação ao nitrito, as concentrações mais elevadas foram registradas no rio Tietê nos meses de outubro de 1999 ( $123,75\mu\text{g/L}$ ), em maio ( $262,91\mu\text{g/L}$ ) e em julho ( $244,74\mu\text{g/L}$ ) de 2000. As menores concentrações foram registradas em Três Irmãos Montante ( $2,89\mu\text{g/L}$  e  $2,31\mu\text{g/L}$  em out/99 e maio/00, respectivamente) e Três Irmãos Jusante ( $2,56\mu\text{g/L}$  e  $2,86\mu\text{g/L}$  em fevereiro e julho/00, respectivamente), sendo as menores concentrações, para a maioria das estações de coletas, registradas em maio de 2000. Ao longo dos reservatórios em cascata, observou-se, uma diminuição dos valores de nitrito, principalmente nos últimos reservatórios da cascata. Contudo, os valores de nitrito, em julho/00 para Bariri Montante, apresentaram-se 2 vezes mais elevados do que os valores de Barra Bonita Montante (Figura 26).

Em relação ao íon amônio, obteve-se no rio Tietê as maiores concentrações ( $2500,09\mu\text{g/L}$  em outubro/99;  $93,47\mu\text{g/L}$  em fevereiro/00;  $1519,20\mu\text{g/L}$  em maio/00 e  $2380,96\mu\text{g/L}$  em julho/00) durante todo o período de estudo em relação às demais estações. As menores concentrações foram obtidas em fevereiro de 2000, para a maioria das estações de coleta, com valor mínimo de  $0,91\mu\text{g/L}$  (Bariri Jusante). Baixas concentrações também foram registradas em Ibitinga Montante ( $1,19\mu\text{g/L}$ , outubro/99) e em Três Irmãos Montante ( $6,42\mu\text{g/L}$  e  $0,57\mu\text{g/L}$ , em maio e julho/00, respectivamente). Em geral, observou-se uma redução nas concentrações de íon amônio ao longo dos reservatórios em cascata, todavia alguns reservatórios intermediários apresentaram concentrações mais elevadas do que o primeiro reservatório do sistema em cascata, como observado à jusante da barragem de Bariri, em maio/00 (5 vezes mais elevados), quando comparados aos valores obtidos em Barra Bonita.

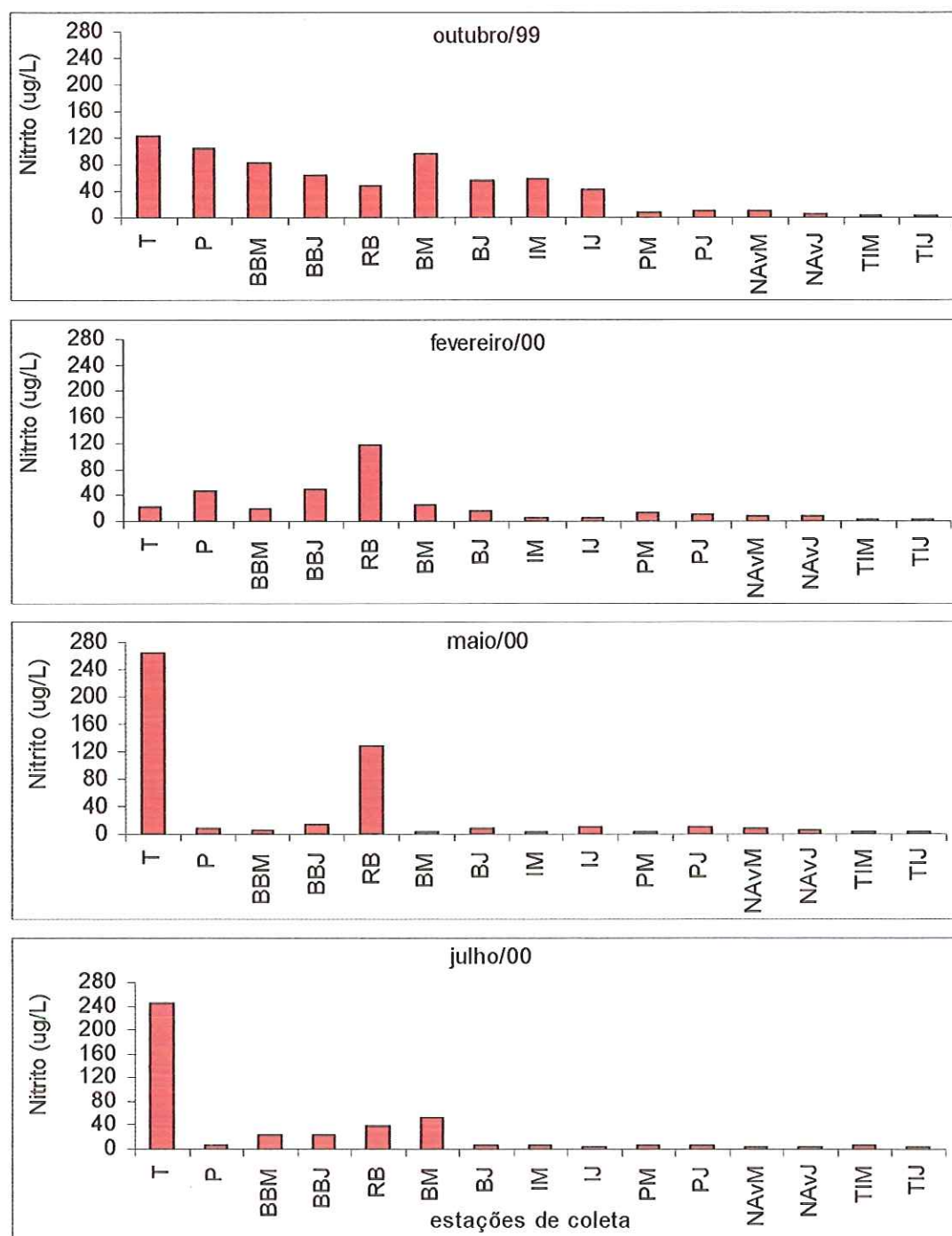


FIGURA 26 - Variação da concentração de nitrito nas amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

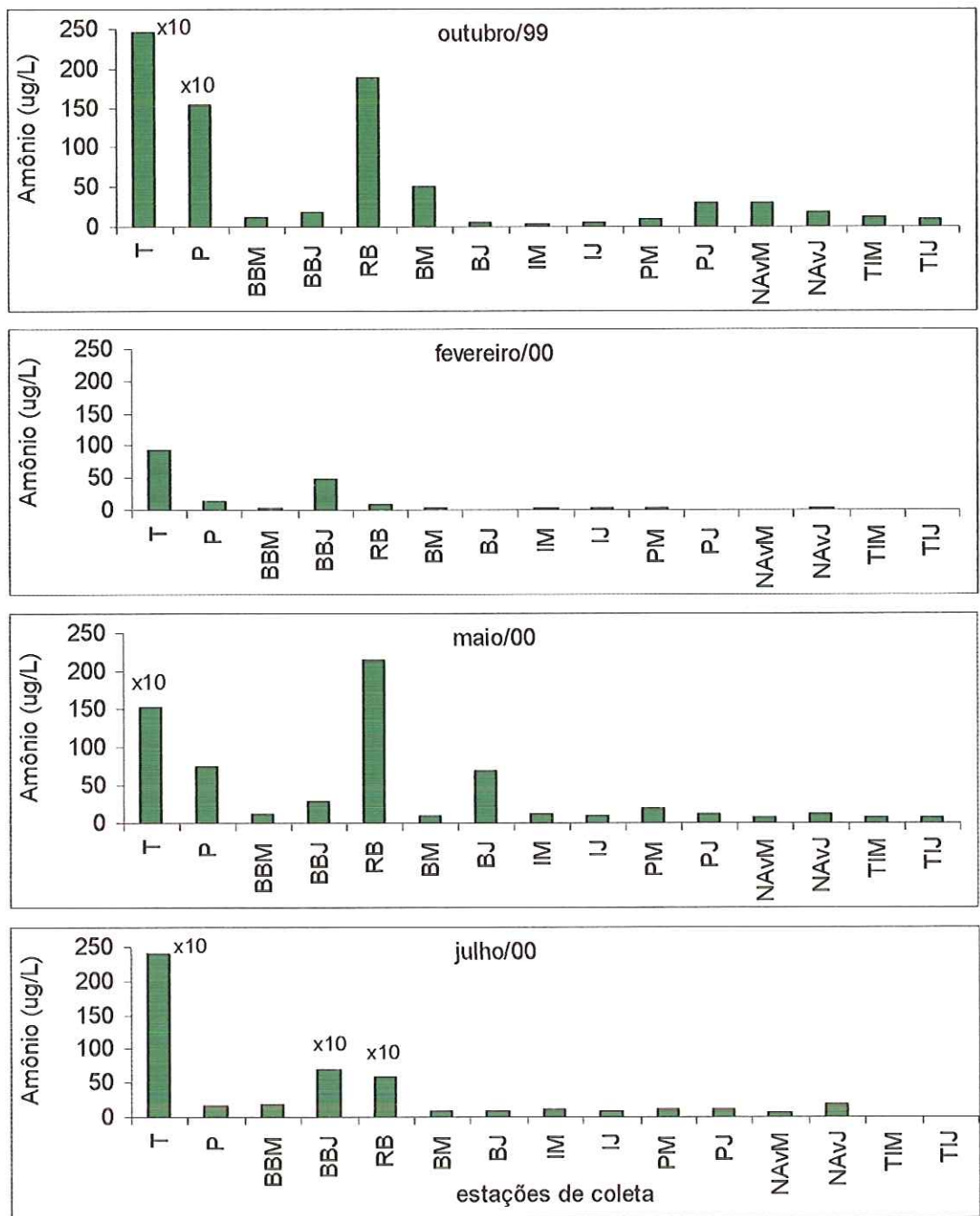


FIGURA 27 - Variação da concentração de amônio nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.2.7 Formas fosfatadas

Nas Figuras 28 e 29 estão apresentadas as variações espaciais e temporais das concentrações de fósforo total e fosfato total dissolvido (respectivamente) e na Figura 30, as concentrações de fosfato inorgânico, obtidas nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, sendo estes valores também apresentados nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 (em anexo).

Em geral, as maiores concentrações de fósforo total foram registradas no período chuvoso (fevereiro/00), com valores variando de 22,90µg/L a 227,15µg/L (Três Irmãos Montante e Barra Bonita Jusante, respectivamente). As menores concentrações, para a maioria das estações de coleta, ocorreram no mês de julho (período seco), variando de 8,98µg/L (Promissão Jusante) a 750,37µg/L (rio Piracicaba). Em outubro/99, as concentrações variaram de 23,12µg/L em Nova Avanhandava Montante a 196,48µg/L no rio Bauru. Em maio/00, a concentração mínima foi de 21,18µg/L (Nova Avanhandava Jusante) e a máxima registrada foi de 103,51µg/L (rio Tietê)

Em relação ao fosfato total dissolvido, as maiores concentrações foram observadas no período chuvoso, com valores variando de 3,60µg/L (Nova Avanhandava Montante) a 73,21µg/L (rio Tietê). Os menores valores foram registrados no período seco, com um valor mínimo de 1,22µg/L (em Promissão Jusante) e um máximo de 79,58µg/L (no rio Tietê). Em outubro/99 as concentrações variaram de 1,86µg/L, em Três Irmãos Montante, a 48,35µg/L, no rio Bauru. Em maio/00, o valor mínimo obtido foi em Três Irmãos Jusante (8,06µg/L) e o máximo, em Bariri Jusante (68,70µg/L).

De modo semelhante ao observado para as formas nitrogenadas, houve uma redução das formas fosfatadas ao longo do sistema em cascatas, porém alguns reservatórios intermediários apresentaram valores maiores, quando comparados ao primeiro do sistema em cascata. Tal fato pode ser observado para os valores de fosfato total dissolvido registrados em maio/00, em Bariri Jusante (3 vezes maiores) e em julho/00 em Nova Avanhandava Montante (2 vezes maiores), em relação aos obtidos em Barra Bonita.

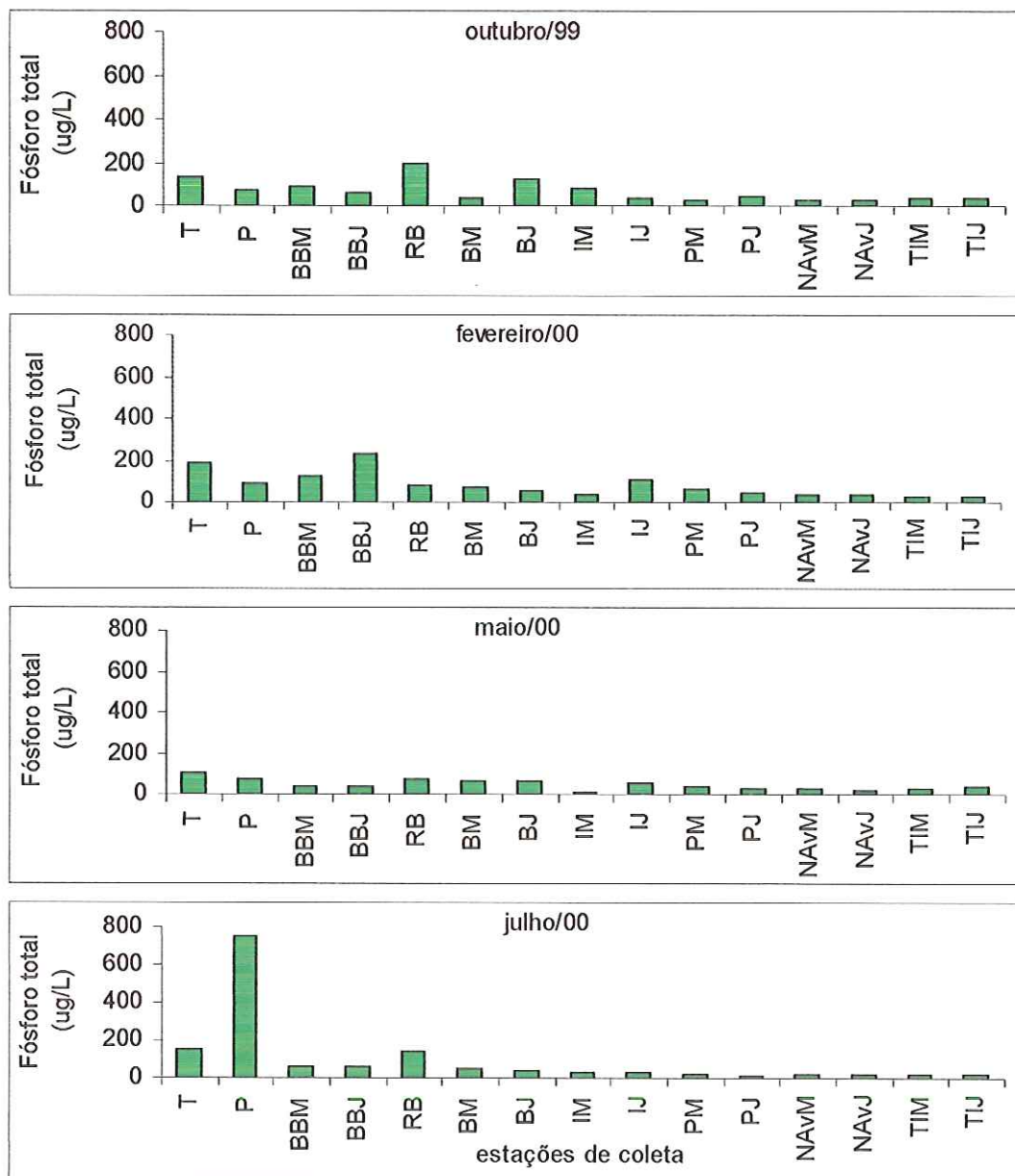


FIGURA 28 - Variação da concentração de fósforo total nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).



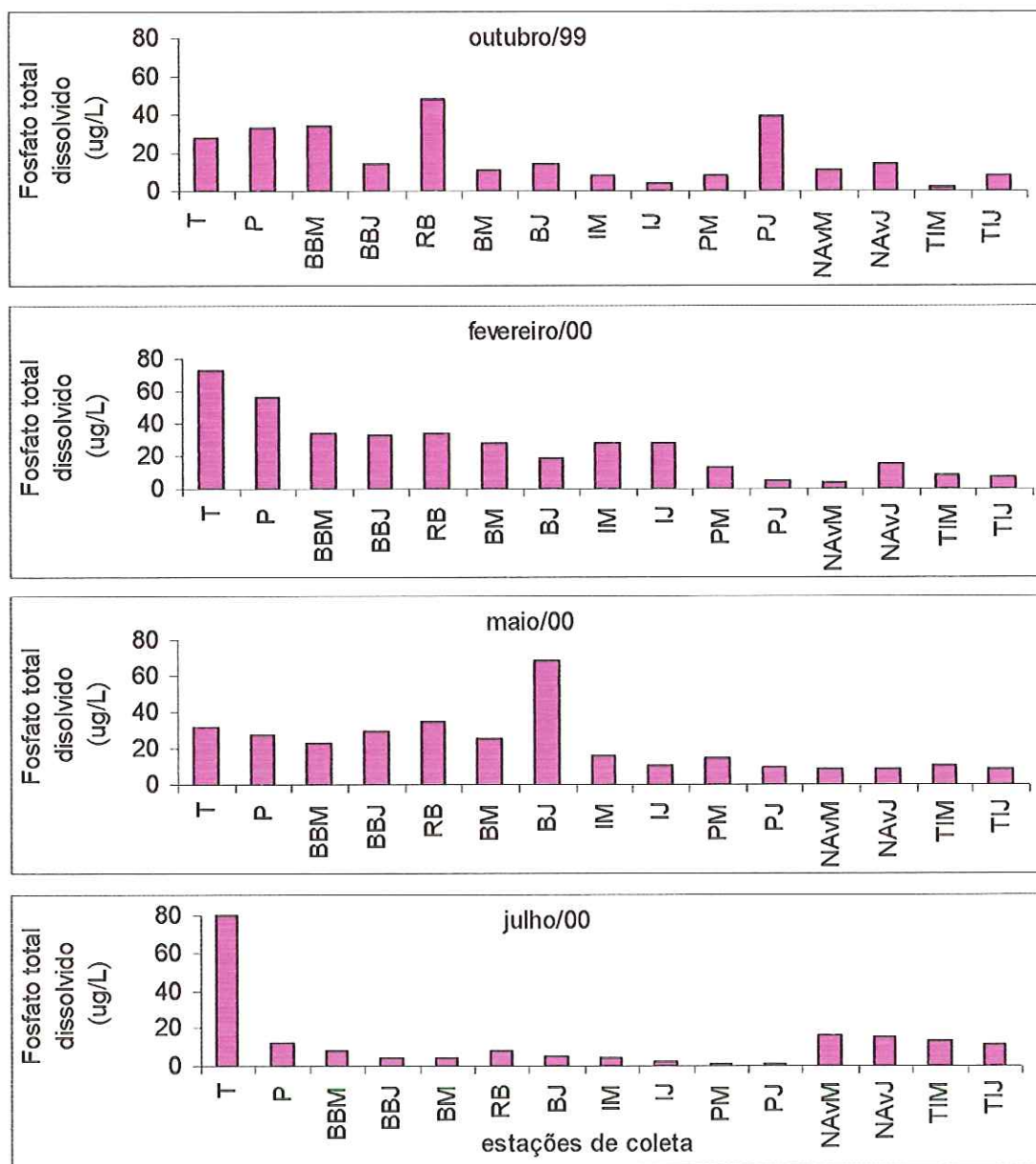


FIGURA 29 - Variação da concentração de fosfato total dissolvido nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avandhandava Montante), NAVJ (Nova Avandhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

Dentre as formas de fósforo analisadas, as menores concentrações foram obtidas para o fosfato inorgânico. As maiores concentrações deste nutriente foram observadas no período chuvoso, variando entre 2,60µg/L (Nova Avanhandava Montante) e 44,81µg/L (rio Piracicaba). No período seco ocorreram as menores concentrações (entre 0,50µg/L e 3,92µg/L, correspondendo a Promissão Montante e Barra Bonita Jusante, respectivamente). Em outubro/99, o valor mínimo foi de 0,88µg/L, em Três Irmãos Montante, e o valor máximo registrado foi de 48,35µg/L, no rio Bauru. Em maio/00 as concentrações variaram de 1,80µg/L a 49,93µg/L, correspondendo às estações de Nova Avanhandava Jusante e Bariri Jusante, respectivamente. De um modo geral, observou-se uma redução nas concentrações de fosfato inorgânico ao longo dos reservatórios em cascata, todavia alguns reservatórios intermediários apresentaram concentrações mais elevadas do que o primeiro reservatório do sistema em cascata, como observado em maio/00, à jusante da barragem do reservatório de Bariri (5 vezes maiores), quando comparado aos valores obtidos em Barra Bonita (Figura 30).

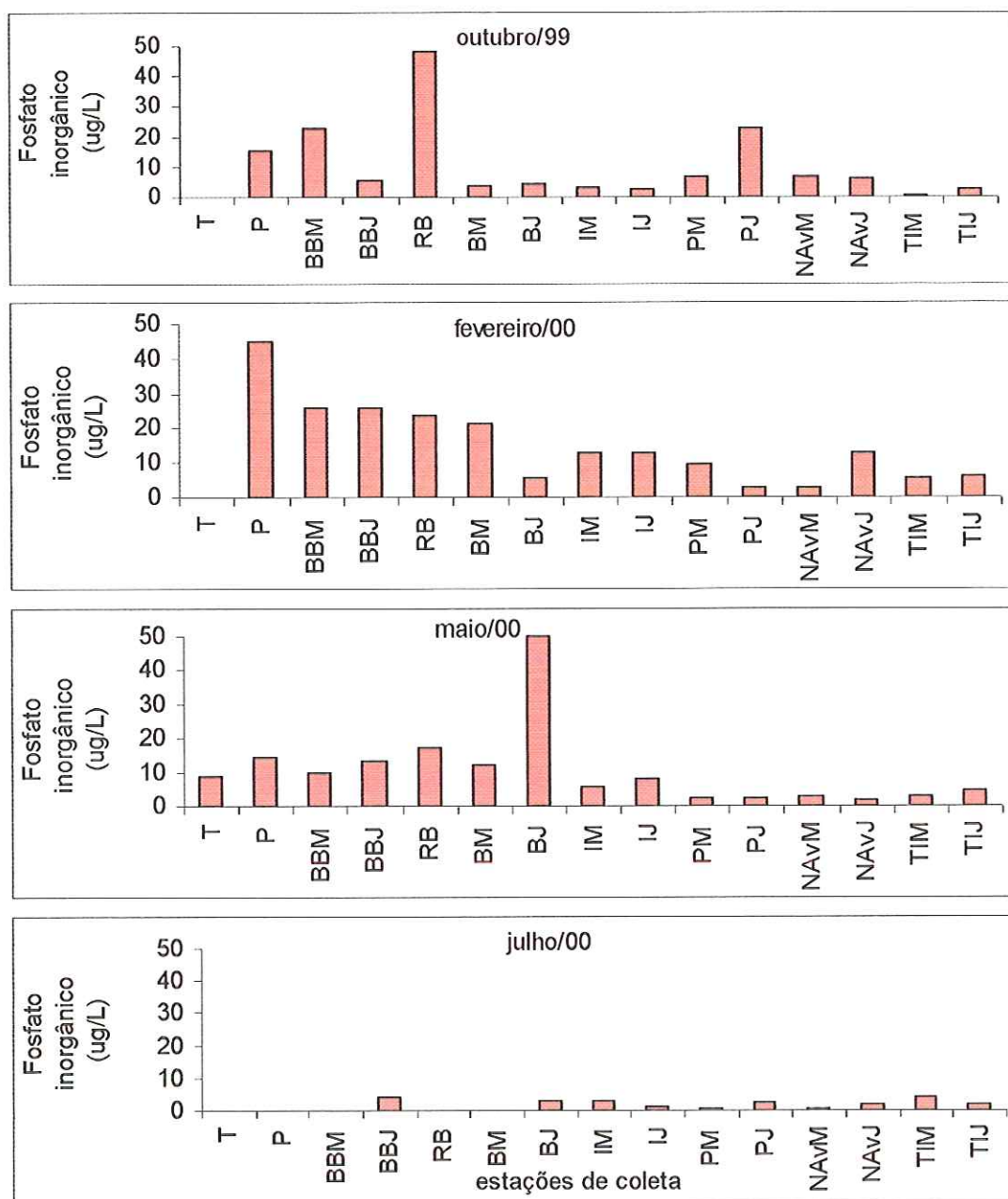


FIGURA 30 - Variação da concentração de fosfato inorgânico nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.2.8 Silicato

Na Figura 31 e nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 (em anexo) são apresentadas os valores obtidos para as concentrações de sílica durante o período de estudo, nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, verificando-se que, em geral, as concentrações foram maiores no período seco, com valores entre 4,84mg/L e 7,46mg/L, em Barra Bonita Montante e Promissão Montante, respectivamente. No período chuvoso, registrou-se para a maioria das estações de coleta as menores concentrações, variando de 3,19mg/L a 6,56mg/L, em Bariri Jusante à Três Irmãos Jusante, respectivamente. Em maio/00 as concentrações variaram de 4,48mg/L a 7,27mg/L, correspondendo às estações de Barra Bonita Jusante e Ibitinga Montante, respectivamente. Em outubro/99, o menor valor registrado foi de 2,09mg/L, em Barra Bonita Montante e o maior foi de 7,65mg/L em Nova Avanhandava Montante

Para os quatro períodos amostrados não verificou-se variações pronunciadas nas concentrações de sílica, por outro lado, verificou-se um aumento desse nutriente no último reservatório do sistema em cascata, de 253% em outubro/99, de 5,8% em fevereiro/00 e de 51% em maio/00, quando comparado ao primeiro reservatório do sistema.

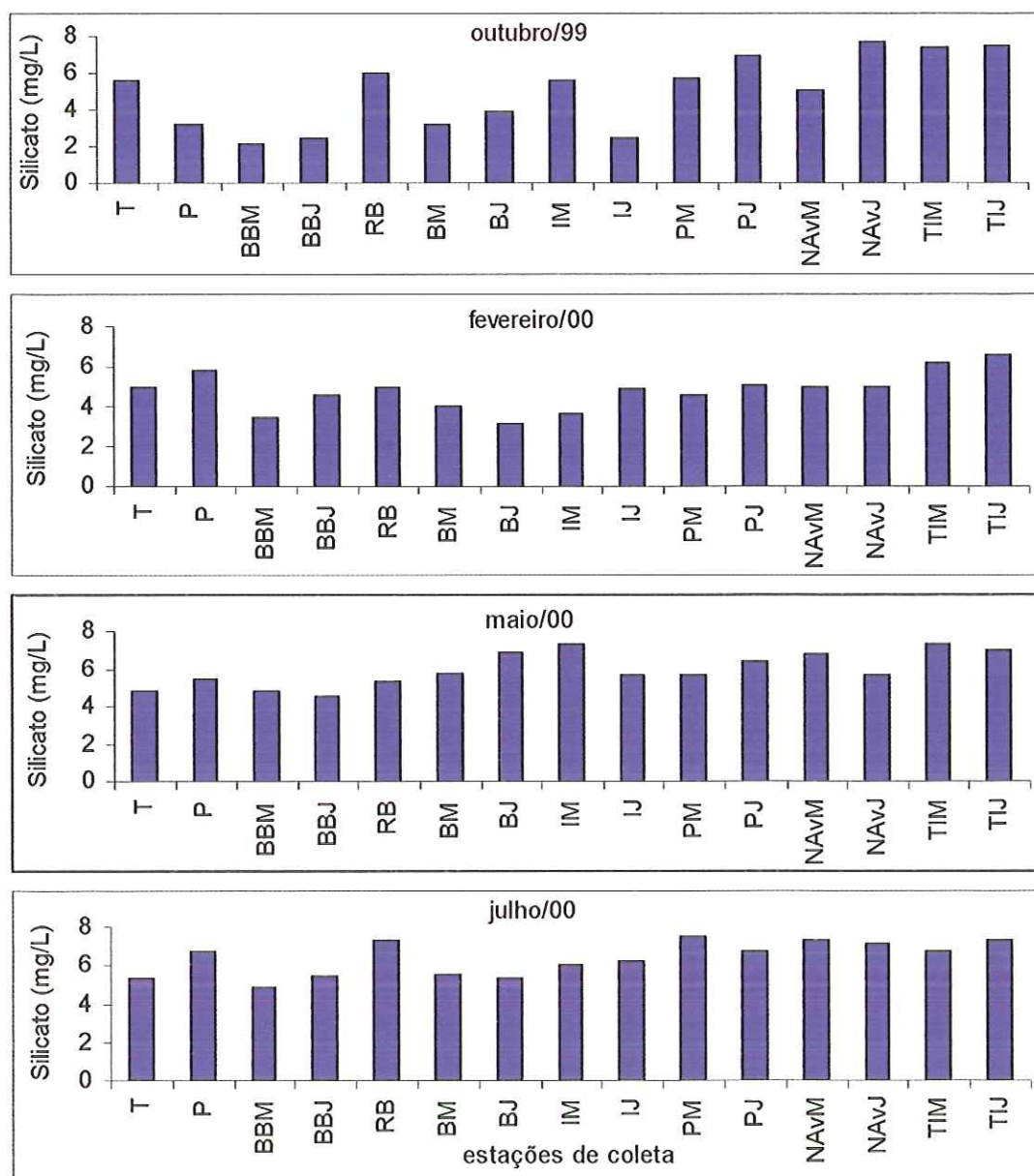


FIGURA 31 - Variação da concentração de silicato nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.2.9 Metais

Os resultados obtidos para as concentrações de metais na água do reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), encontram-se na Figura 32 e nas Tabelas 16, 17, 18 e 19 (em anexo).

Para o cádmio, os maiores valores foram registrados no mês de outubro, com concentrações variando de 0,005mg/L (Ibitinga Montante) a 0,039mg/L (rio Tietê). No mês de fevereiro/00 foram registrados os menores valores, com concentrações variando 0,002mg/L (rio Tietê e Bariri Montante) a 0,009mg/L (Barra Bonita Montante), não sendo detectado este metal no rios Piracicaba e Bauru, à jusante das barragens de Bariri e Promissão. Em maio, os valores variaram de 0,052mg/L (Nova Avanhandava Jusante) a 0,008mg/L (rio Tietê). Em julho/00, os valores variaram de 0,004mg/L (Ibitinga Montante) a 0,014mg/L (rio Piracicaba). Observa-se que as concentrações de cádmio, durante todo o período de estudo, estão acima do permitido pela resolução Conama 20/1986 para rios de classe 2.

Em relação ao cobalto, em fevereiro/00 as concentrações estiveram entre 0,002mg/L (Piracicaba) e 0,0061mg/L (Promissão Jusante). Em maio/00, apenas foram detectadas concentrações de cobalto no rio Piracicaba (0,006mg/L), Barra Bonita Montante (0,006mg/L), Promissão Montante (0,054mg/L) e Três Irmãos Montante (0,032mg/L). Em julho/00, o valor mínimo foi de 0,014mg/L (Três Irmãos Jusante) e o máximo foi de 0,096mg/L (Nova Avanhandava Montante).

Para o cromo, em outubro/99, os valores variaram de 0,025mg/L (rio Tietê) a 1,896 mg/L (Três Irmãos Montante), sendo que na maioria das estações não foi detectado este metal. Em fevereiro/00, somente detectou-se cromo no rio Piracicaba (0,0564mg/L). Em maio/00, a variação foi de 0,101mg/L (Barra Bonita Montante) a 0,250mg/L (Nova Avanhandava Jusante), sendo que todas as concentrações estavam acima do permitido pela resolução Conama 20/1986 para rios de classe 2. Em julho, apenas detectou-se cromo no rio Tietê (0,008mg/L).

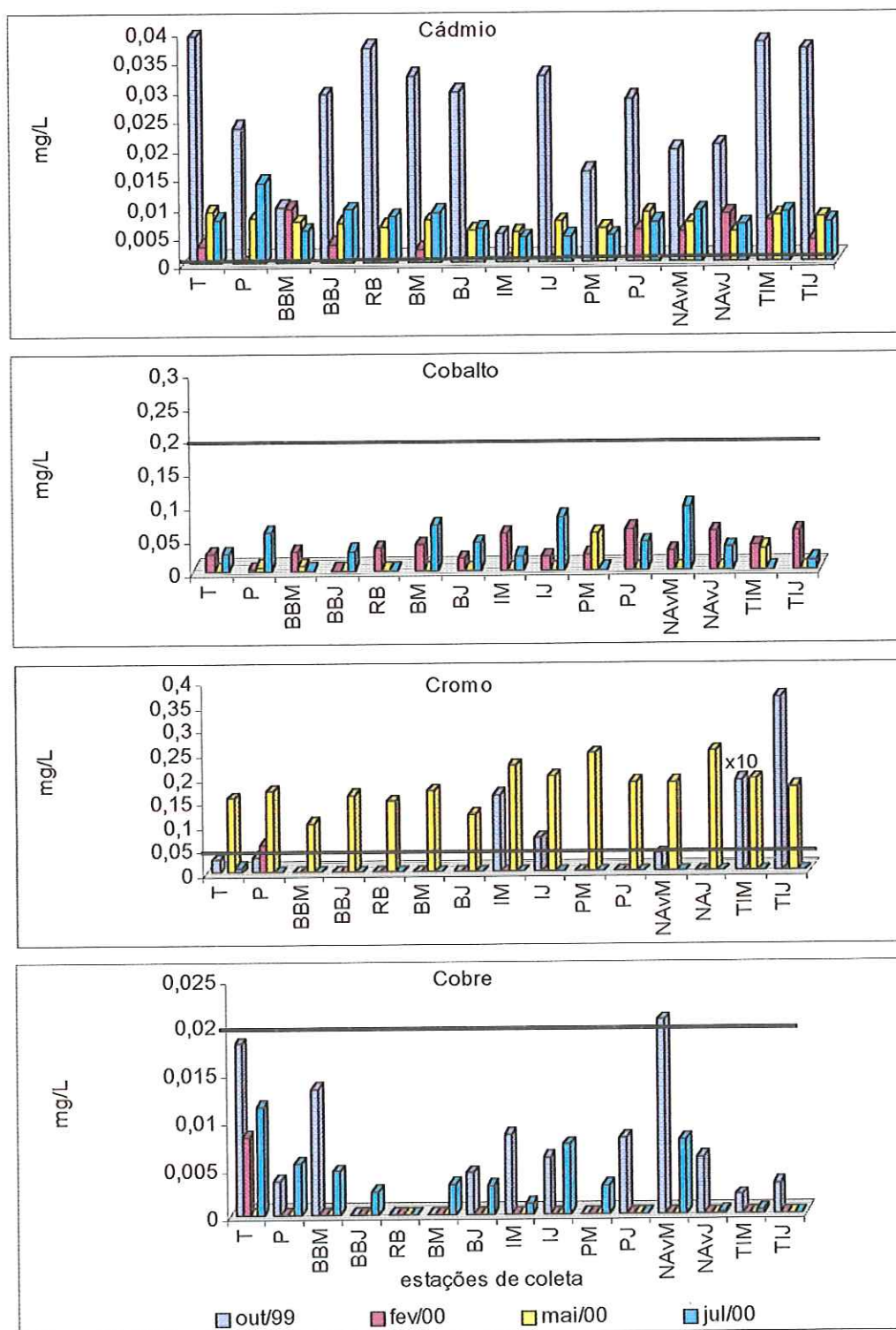


FIGURA 32 - Concentração de metais totais nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê no período de estudo e limites estabelecidos pela Resolução Conama 20/1986 para rios de classe 2 (—). T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

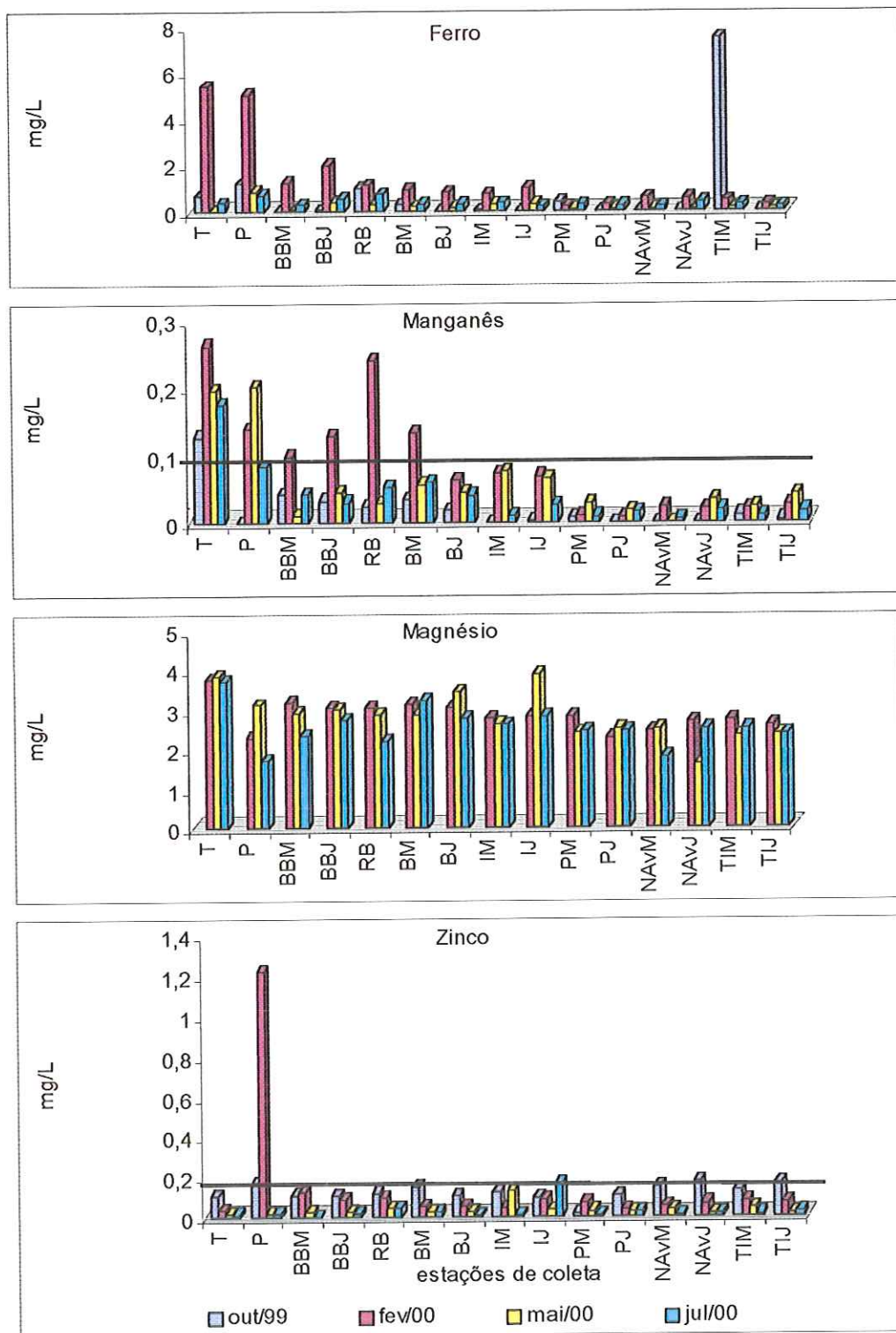


FIGURA 32(cont)-Concentração de metais totais nas amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê no período de estudo e limites estabelecidos pela Resolução Conama 20/1986 para rios de classe 2 (—). T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).



Para o cobre, em outubro/99, foram registrados os maiores valores, com concentrações variando de 0,002mg/L em Três Irmãos Montante a 0,02mg/L em Nova Avanhandava Montante (concentração acima do estabelecido pela resolução Conama20/1986 para rios de classe 2). Em fevereiro/00, detectou-se este metal apenas no rio Tietê (0,008mg/L) e em maio/00 não foi detectado cobre em nenhuma estação de coleta. Em julho/00, os valores variaram de 0,001mg/L (Ibitinga Montante) a 0,011mg/L (rio Tietê).

Em relação ao ferro, em outubro/99 os valores variaram entre 0,024mg/L (Bariri Jusante) e 7,501 mg/L (Três Irmãos Montante), não sendo detectado na maioria das estações de coleta. Em fevereiro/00, foram registrados os maiores valores, com concentrações variando de 0,202mg/L a 5,422mg/L (em Promissão Montante e no rio Tietê, respectivamente). Em maio/00, os valores variaram de 0,022mg/L (rio Tietê) a 0,861mg/L (rio Piracicaba) e em julho/00 de 0,190mg/L (Três Irmãos Jusante) a 0,747mg/L (rio Bauru).

Para o manganês, em outubro/99 a concentração mínima foi de 0,001mg/L (Ibitinga Jusante e Nova Avanhandava Montante) e a máxima foi de 0,125mg/L (rio Tietê). Em fevereiro/00, os valores variaram de 0,006mg/L (Promissão Jusante) a 0,260mg/L (rio Tietê), sendo que em maio variaram entre 0,010mg/L (Barra Bonita Montante) e 0,198mg/L (rio Piracicaba) e em julho/00 de 0,008mg/L (Promissão Montante) a 0,174mg/L (rio Tietê). Concentrações acima do limite estabelecido pela resolução Conama 20/1986, para rios de classe 2, foram detectadas para os rios Tietê (em todo o período de estudo), rio Piracicaba (em fevereiro, maio e julho/00), em Barra Bonita Montante e Jusante, rio Bauru e Bariri Montante, em fevereiro/00.

Para o magnésio, em fevereiro/00, a concentração mínima obtida foi de 2,256mg/L no rio Piracicaba e a máxima foi de 3,768mg/L no rio Tietê. Em maio/00, as concentrações variaram de 1,613mg/L (Nova Avanhandava Jusante) a 3,878mg/L (Promissão Montante) e em julho/00, o valor mínimo obtido foi de 1,696mg/L (rio Piracicaba) e o máximo foi de 3,695mg/L (rio Tietê).

Para o zinco, em outubro/99 as concentrações variaram de 0,098mg/L (Ibitinga Jusante) a 0,174mg/L (Nova Avanhandava Jusante). Em fevereiro/00, a concentração mínima foi de 0,0357mg/L no rio Tietê e a máxima de 1,215mg/L no rio Piracicaba (acima do limite permitido pela resolução Conama 20/1986 para rios

de classe 2), sendo que em maio/00 as concentrações variaram entre 0,014mg/L (Nova Avanhandava Montante) e 0,132mg/L (Ibitinga Montante). Em julho/00, o valor mínimo foi de 0,002mg/L (em Barra Bonita Montante) e o máximo foi de 0,043mg/L (no rio Bauru).

#### **5.2.10 Análise dos dados**

##### **5.2.10.1 Índice do estado trófico**

Os resultados obtidos na análise do estado trófico (IET) para valores de transparência da água, fósforo total, fosfato inorgânico e clorofila-*a* para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo, são apresentados nas Tabelas 20, 21, 22, 23, 24 e 25 (em anexo).

No período de outubro/99, em relação à transparência da água, os rios Tietê, Piracicaba e Bauru foram classificados como eutróficos, os reservatórios de Barra Bonita e Bariri, como mesotróficos e os reservatórios de Ibitinga a Três Irmãos, como oligotróficos. Os resultados obtidos para fósforo total classificaram os rios Tietê e Piracicaba e os reservatórios de Barra Bonita e Ibitinga, como eutróficos, os reservatórios de Bariri, Promissão e Três Irmãos, como mesotróficos e apenas Nova Avanhandava, como oligotrófico. Em relação ao fosfato inorgânico, classificou-se os rios Piracicaba e Bauru e Promissão Jusante como eutróficos, Barra Bonita Jusante, como mesotrófica e as demais estações de coleta, como oligotróficas. Não se realizou o cálculo do índice do estado trófico com base nos valores de clorofila, devido à falta desses dados decorrentes de problemas metodológicos (Tabela 20 – em anexo).

No período chuvoso (fevereiro/00), a análise do IET através dos resultados de transparência da água evidenciaram apenas uma estação como eutrófica (rio Piracicaba), quatro como mesotróficas (Barra Bonita Montante e Jusante, Bariri Montante e Ibitinga Jusante) e as demais estações, como oligotróficas. Pela análise do IET com base nos resultados de fósforo total, classificou-se as estações do rio Tietê ao reservatório de Promissão como eutróficas, e os reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos como mesotróficos. Com base nos valores de fosfato inorgânico, classificou-se as quatro estações como eutróficas (rios Piracicaba e Bauru, os reservatórios de Barra Bonita e Bariri), quatro como mesotróficas (Ibitinga

Montante e Jusante, Promissão Montante e Nova Avanhandava Jusante) e cinco como oligotróficas (Bariri Jusante, Promissão Jusante, Nova Avanhandava Montante, Três Irmãos Montante e Jusante). Pela análise do IET com base nos valores de clorofila, classificou-se três estações como mesotróficas (Ibitinga Montante, e à montante e à jusante dos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos), duas como oligotróficas (Três Irmãos Montante e Jusante) e as demais estações como eutróficas (Tabela 21 – em anexo).

A média ponderada desses índices, no período chuvoso, classificou o rio Piracicaba e o reservatório de Barra Bonita como eutróficos, como mesotróficas, as estações Bariri Montante, Ibitinga Montante e Jusante e como oligotróficos, os reservatórios de Promissão a Três Irmãos, evidenciando uma diminuição no grau de trofia ao longo da cascata dos reservatórios.

Em maio/00, a análise do IET através dos resultados de transparência da água evidenciaram que somente os rios Tietê e Piracicaba foram classificados como mesotróficos e os reservatórios de Barra Bonita a Três Irmãos, como oligotróficos. Em relação ao fósforo total, classificou-se como eutróficas seis estações (rios Tietê, Piracicaba e Bauru, Bariri Montante e Jusante e Ibitinga Jusante), cinco estações como mesotróficas (Barra Bonita Montante e Jusante, Promissão Montante e Jusante e Três Irmãos Jusante) e as demais, como oligotróficas (Ibitinga Montante, Nova Avanhandava Montante e Jusante e Três Irmãos Montante). Com base nos valores de fosfato inorgânico, foram classificadas três estações como eutróficas (rios Piracicaba e Bauru e Bariri Jusante), cinco estações como mesotróficas (rio Tietê, Barra Bonita Montante e Jusante, Bariri Montante e Ibitinga Jusante) e as demais estações como oligotróficas (Ibitinga Montante e de Promissão Montante à Três Irmãos Jusante). Com base nos valores de clorofila, quatro estações foram consideradas eutróficas (rios Tietê e Piracicaba, Bariri Jusante e Promissão Jusante), oito estações como mesotróficas (Barra Bonita Jusante à Bariri Montante, Ibitinga Jusante e Promissão Montante e Nova Avanhandava Montante à Três Irmãos Montante) e três estações como oligotróficas (Barra Bonita Montante, Ibitinga Montante e Três Irmãos Jusante) (Tabela 23 – em anexo).

A média ponderada desses índices, em maio/00, classificou o rios Tietê e Piracicaba e Bariri Jusante como eutróficos, Bariri Montante e Ibitinga Jusante como

mesotróficos e Barra Bonita Montante, Ibitinga Montante e os reservatórios de Promissão a Três Irmãos como oligotróficos.

No mês de maio/00, realizou-se a análise do IET através dos resultados obtidos para fósforo total, fosfato inorgânico e clorofila de amostras de água de superfície e tais resultados pouco diferiram dos valores de IET encontrados para amostras de água de coluna integrada (Tabela 22 – em anexo).

No período seco (julho/00), a análise do IET através dos resultados de transparência da água evidenciaram apenas uma estação como eutrófica (rio Piracicaba), três como mesotrófica (rio Tietê, rio Bauru e Bariri Jusante) e as demais estações como oligotróficas. Pela análise do IET com base nos resultados de fósforo total, classificou-se do rio Tietê a Barra Bonita Jusante como eutrófico, de Bariri Montante a Ibitinga Jusante como mesotrófico e de Promissão Montante a Três Irmãos Jusante como oligotróficos, observando-se uma diminuição no grau de trofia ao longo da cascata de reservatórios. Com base nos valores de fosfato inorgânico, classificou-se uma estação como mesotrófica (Barra Bonita Montante) e 10 estações como oligotróficas (rio Bauru e de Ibitinga Montante a Três Irmãos Jusante). Pela análise do IET com base nos valores de clorofila, classificou-se seis estações como eutróficas (rios Tietê e Bauru, e à montante e à jusante da barragem dos reservatórios de Bariri e Promissão), cinco estações como mesotróficas (rio Piracicaba, Barra Bonita Jusante, Bariri Montante, à montante e à jusante da barragem de Promissão e de Nova Avanhandava) e duas, como oligotróficas (Três Irmãos Montante e Jusante) (Tabela 25 – em anexo).

A média ponderada desses índices, no período seco, classificou o Bariri Jusante como mesotrófico e do reservatório de Promissão a Três Irmãos, como oligotróficos, evidenciando uma diminuição no grau de trofia ao longo da cascata dos reservatórios.

No mês de julho/00 também realizou-se a análise do IET através dos resultados obtidos para fósforo total, fosfato inorgânico e clorofila de amostras de água de superfície e tais resultados pouco diferiram dos valores de IET encontrados para amostras de água de coluna integrada (Tabela 24 - em anexo).

### 5.3. Caracterizações física e química do sedimento

#### 5.3.1 Granulometria e matéria orgânica

Os resultados obtidos na análise da granulometria e matéria orgânica no sedimento estão apresentados nas Tabelas 26, 27, 28 e 29 (em anexo). As Figuras 33, 34 e 35 apresentam os resultados para a granulometria do sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

No período chuvoso (fevereiro/00), as maiores porcentagens de argila foram encontradas nos sedimentos dos rios Tietê (70%) e Piracicaba (65%), enquanto que as mais elevadas porcentagens de silte foram verificadas nos sedimentos de Barra Bonita Montante (85%), à montante e à jusante da barragem de Bariri (51% e 66%, respectivamente), rio Bauru (69%), à montante e à jusante da barragem de Ibitinga (81% e 80%, respectivamente) e Promissão Montante (81%). As porcentagens mais elevadas de areia fina foram obtidas em Promissão Jusante (73%), Nova Avanhandava Montante (84%), e à montante e jusante da barragem de Três Irmãos (95%).

Em maio/00, as maiores porcentagens de argila foram novamente verificadas nos sedimentos dos rios Tietê (69%) e Piracicaba (50%) e em Barra Bonita Montante (57%), Bariri Montante (47%) e Ibitinga Montante (40%). Os maiores valores de silte foram observados em Barra Bonita Montante (35%), à montante e jusante de Ibitinga (24% e 29%, respectivamente), sendo que altos valores de areia fina foram obtidos em Barra Bonita Jusante (51%), Bariri Jusante (79%), à montante e à jusante da barragem de Promissão (70% e 77%, respectivamente) e à montante e à jusante da barragem de Três Irmãos (95%).

No período seco (julho/00), os maiores valores de argila foram encontrados nos rios Tietê e Bauru (60%), Bariri Montante (50%), rio Piracicaba e Barra Bonita Montante (46%). Para o silte registrou-se 30% (Barra Bonita Montante, Ibitinga Montante e Jusante), enquanto que altas porcentagens de areia fina foram observadas em Bariri Jusante (77%), Promissão Jusante (79%), à montante e à jusante da barragem de Nova Avanhandava (91% e 77%, respectivamente) e à montante e jusante da barragem de Três Irmãos (90 e 94%, respectivamente). Em outubro/99, esses dados não foram obtidos devido a problemas metodológicos.

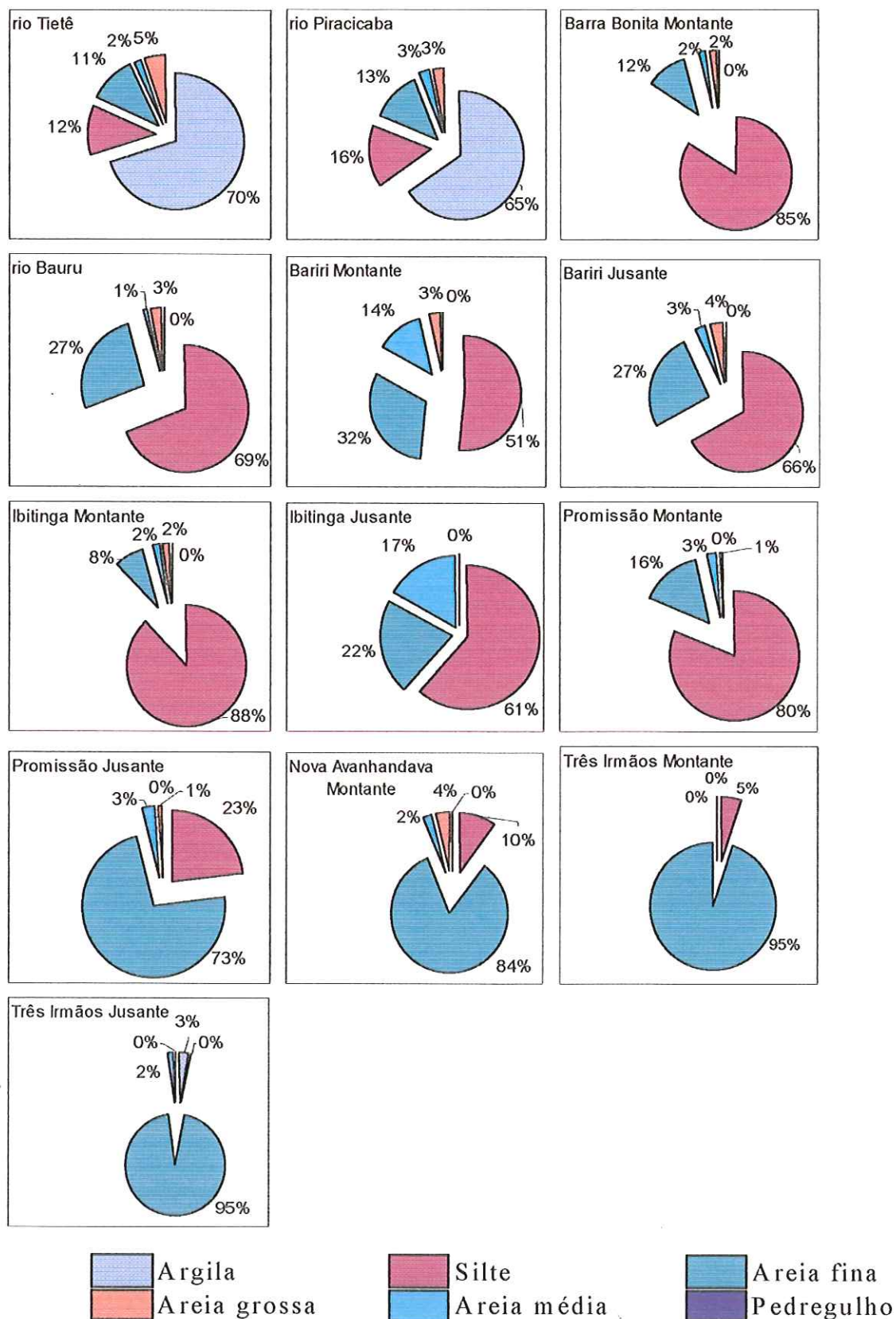


FIGURA 33 - Granulometria nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no mês de fevereiro de 2000

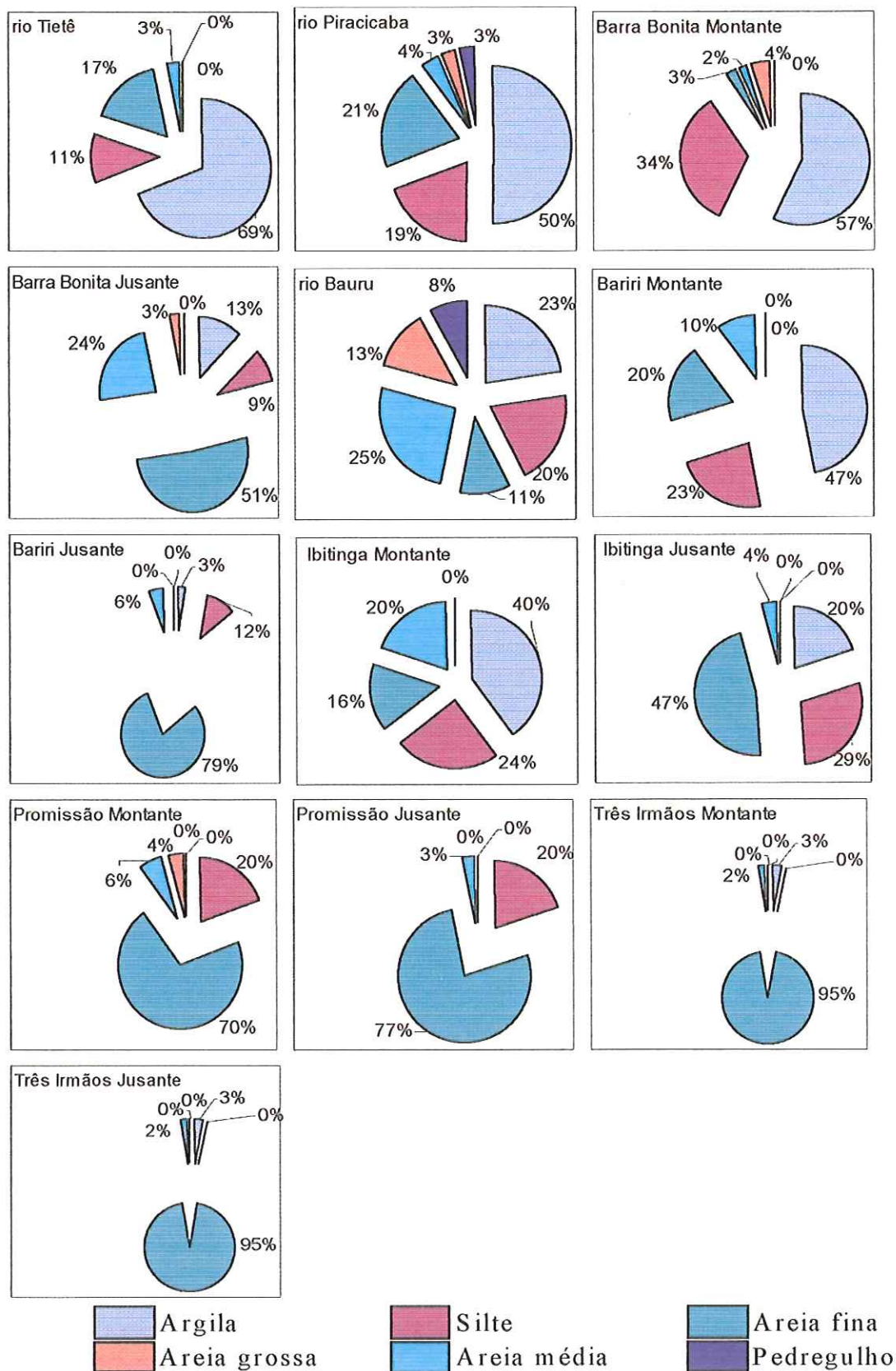


FIGURA 34 – Granulometria nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no mês de maio de 2000.

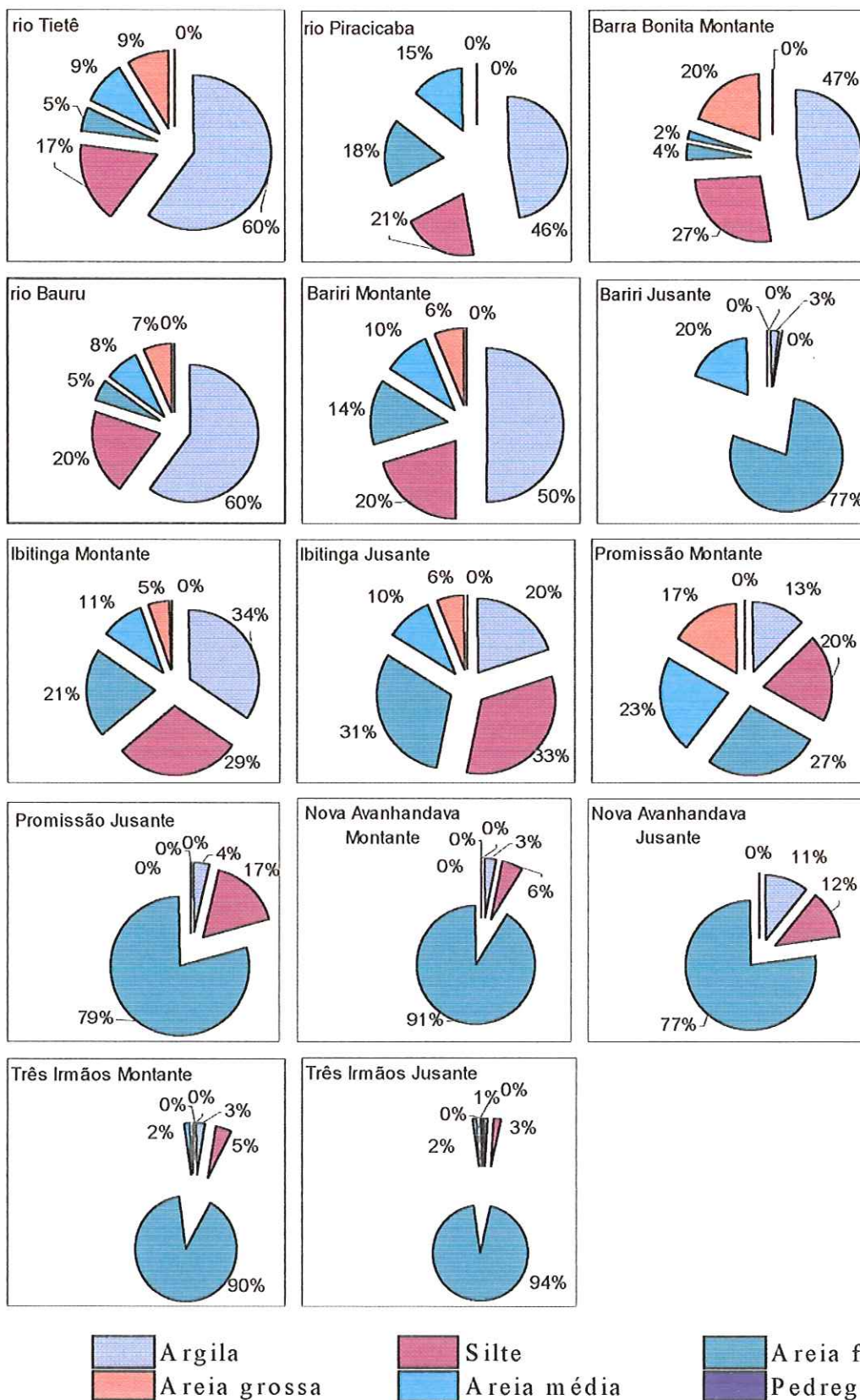


FIGURA 35 – Granulometria nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no mês julho de 2000.



Em relação à matéria orgânica presente no sedimento, verificou-se que em outubro/99 a menor porcentagem ocorreu em Bariri Jusante (2,17%) e a maior, no rio Bauru (15,45%). Em fevereiro/00, os valores variaram de 0,2% (em Bariri Jusante) à 14,45% (no rio Bauru). Em maio/00, a mínima porcentagem foi de 0,2% (em Nova Avanhandava Jusante) e a máxima foi de 16,03% (em Promissão Montante). Em julho/00, os valores variaram entre 0,5% (montante e jusante da barragem de Três Irmãos) e 16,73% (em Promissão Montante).

### **5.3.2 Nitrogênio orgânico**

A Figura 36 e a Tabelas 26, 27, 28 e 29 (em anexo) apresentam as porcentagens de nitrogênio no sedimento para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, verificando-se em outubro/99, na maioria das estações de coleta, os maiores valores, os quais variaram entre 3,68% e 45,96%, correspondendo a Nova Avanhandava Jusante e Nova Avanhandava Montante, respectivamente. Em fevereiro/00, o valor mínimo foi de 1,45% (em Três Irmãos Montante) e o máximo foi de 30,43% (em Barra Bonita Montante). Em maio/00, os valores variaram de 0,61% (em Três Irmãos Montante) à 42,76% (em Ibitinga Jusante). Em julho/00, o mínimo e máximo valor obtido foi de 0,98% e 44,38%, os quais ocorreram em Nova Avanhandava Montante Ibitinga Jusante, respectivamente.

De um modo geral, não se observou um gradiente decrescente ao longo dos reservatórios em cascata. No entanto, os menores valores, para os quatro períodos amostrados, foram registrados nos últimos reservatórios, os que foram construídos mais recentemente no sistema em cascata do rio Tietê.

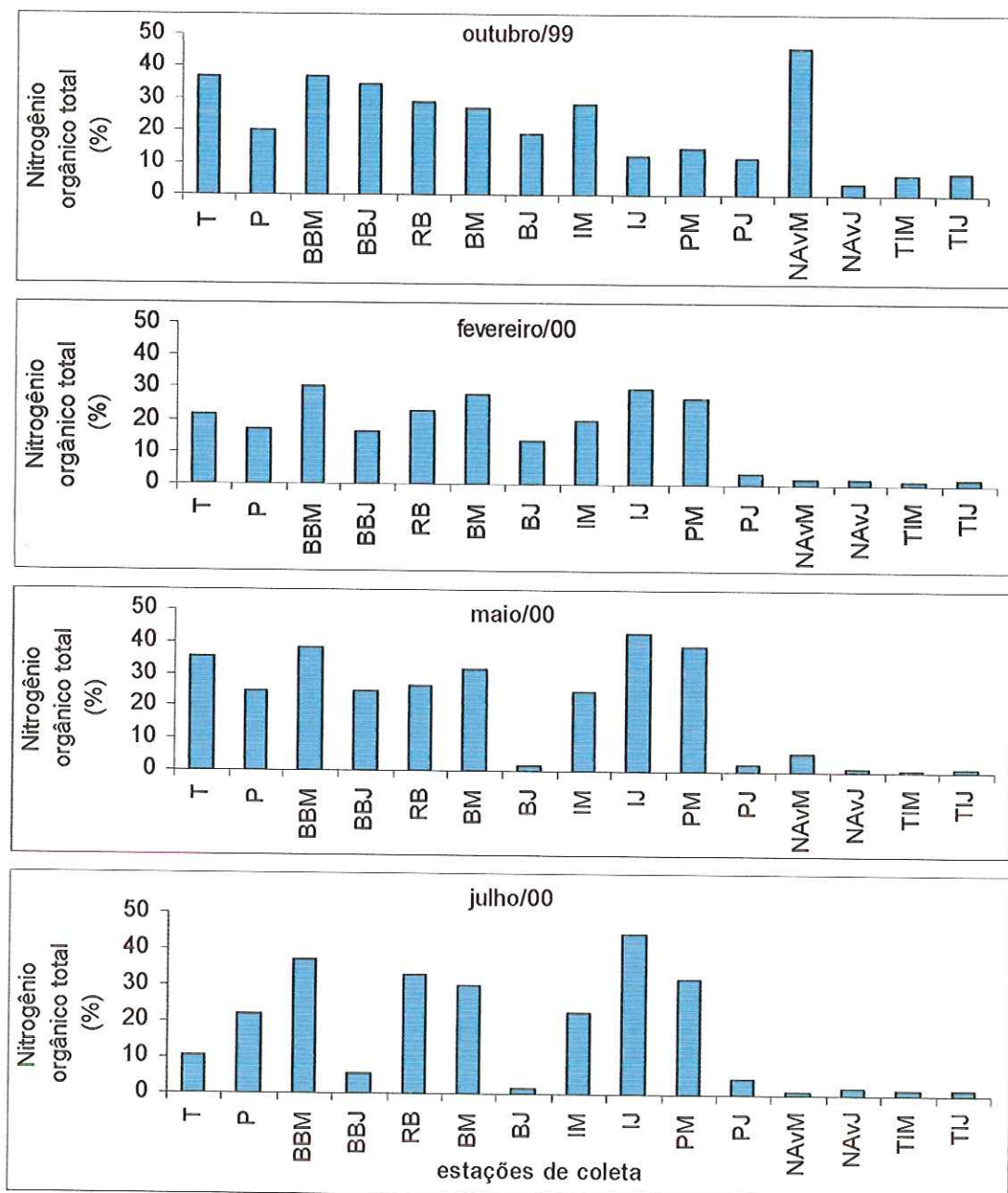


FIGURA 36 - Variação da porcentagem de nitrogênio orgânico total nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.3.3 Fósforo total

A Figura 37 e as Tabelas 26, 27, 28 e 29 (em anexo) apresentam os valores de fósforo total no sedimento os reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

Para a maioria das estações amostradas, foram verificadas as maiores concentrações de fósforo total em outubro/99, com concentrações variando de 19,43 $\mu\text{g/g}$  (Três Irmãos Montante) a 100,17 $\mu\text{g/g}$  (rio Tietê). Os menores valores foram verificados no período seco, com valores entre 2,80 $\mu\text{g/g}$  e 57,73 $\mu\text{g/g}$ , em Três Irmãos Montante e Bariri Montante, respectivamente. Em fevereiro/00, o valor mínimo foi de 2,52 $\mu\text{g/g}$  (em Três Irmãos Montante) e o máximo foi de 73,74 $\mu\text{g/g}$  (no rio Tietê). Em maio/00, os valores variaram de 1,36 $\mu\text{g/g}$  (Três Irmãos Montante) à 62,84 $\mu\text{g/g}$  (Barra Bonita Montante), sendo que em julho/00, os valores oscilaram entre 2,80 $\mu\text{g/g}$  (Três Irmãos Montante) e 57,73 $\mu\text{g/g}$  (Bariri Montante).

Como observado para os valores de nitrogênio total no sedimento, não se observou um gradiente decrescente ao longo dos reservatórios em cascata. No entanto os menores valores, para os quatro períodos amostrados, foram registrados nos últimos reservatórios.

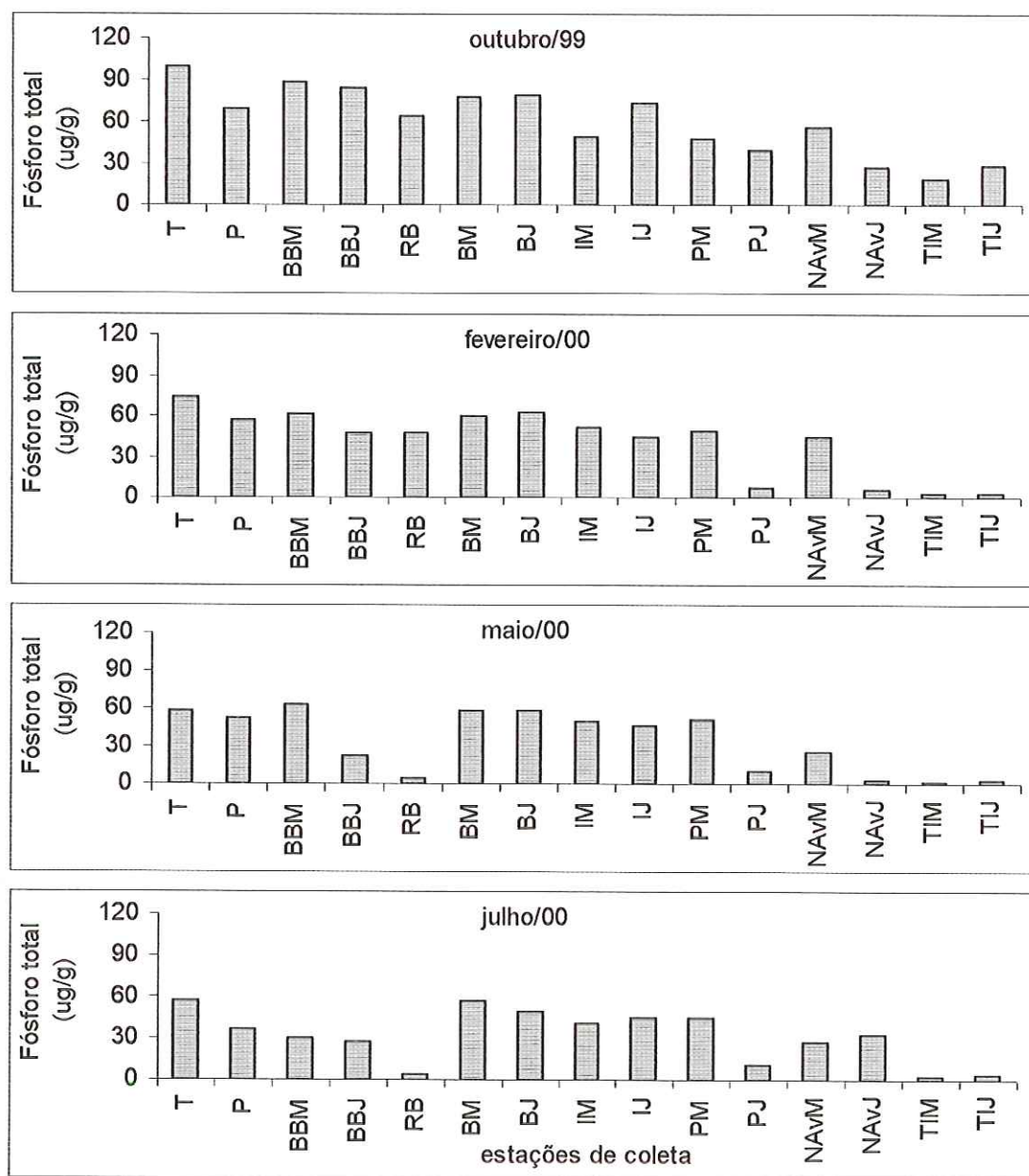


FIGURA 37 - Variação da concentração de fósforo total nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.3.4 Metais

Os resultados obtidos para as concentrações de metais biodisponíveis nas amostras de sedimento, nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), encontram-se na Figura 38 e nas Tabelas 26, 27, 28 e 29 (em anexo).

Para o cádmio, os maiores valores foram registrados no mês de julho/00, com concentrações variando de 1,67 mg/Kg (rio Tietê) a 5,00mg/Kg (rio Bauru e Três Irmãos Jusante). Em outubro/99, os valores variaram entre 0,20mg/Kg (Três Irmãos Jusante) e 2,00mg/Kg (Barra Bonita Jusante). No mês de fevereiro/00, as concentrações variaram de 0,40 mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 1,80 mg/Kg (Três Irmãos Montante) e em maio as concentrações variaram de 1,33mg/Kg (Três Irmãos Jusante) à 4,67 mg/Kg (rio Tietê).

Em relação ao cobalto, em outubro/99, verificou-se os menores valores, com concentrações variando de 0,80mg/Kg (Ibitinga Montante) a 23,20mg/Kg (rio Bauru). Em fevereiro/00, as concentrações oscilaram entre 2,40mg/Kg (Promissão Jusante) e 26,60mg/Kg (Nova Avanhandava Montante). Em maio/00, o valor mínimo foi de 5,00mg/Kg (Ibitinga Montante) e o máximo foi de 67,67mg/Kg (rio Tietê) e em julho/00, registrou-se os maiores valores, com concentrações entre 3,33mg/Kg (Três Irmãos Montante) e 61,33mg/Kg (rio Tietê e Barra Bonita Montante).

Para o cromo, em outubro/99, os valores estiveram compreendidos entre 4,40mg/Kg (Ibitinga Montante) e 74,00mg/Kg (Bariri Jusante). Em fevereiro/00, as concentrações variaram entre 4,40mg/Kg (Promissão Jusante) e 11,40mg/Kg (rio Piracicaba), sendo que os maiores valores foram detectados em maio, com concentrações variando de 4,33mg/Kg (rio Tietê) a 88,33mg/Kg (Três Irmãos Jusante). Em julho, apenas detectou-se cromo nos rios Tietê (11,67mg/Kg) e Piracicaba (6,33mg/Kg).

Para o cobre, em outubro/99, as concentrações variaram de 2,00mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 36,20mg/Kg (rio Bauru). Em fevereiro/00, o valor mínimo obtido foi de 0,8mg/Kg (Nova Avanhandava Montante e Jusante) e o máximo foi de 39,60mg/Kg (rio Bauru). Em maio/00, os valores oscilaram entre 3,00mg/Kg (Três Irmãos Montante) e 57,67mg/Kg (rio Tietê) e em julho/00 foram registradas as maiores concentrações, variando de 2,00mg/Kg (Três Irmãos Jusante) a 97,67mg/Kg (Bariri Montante).

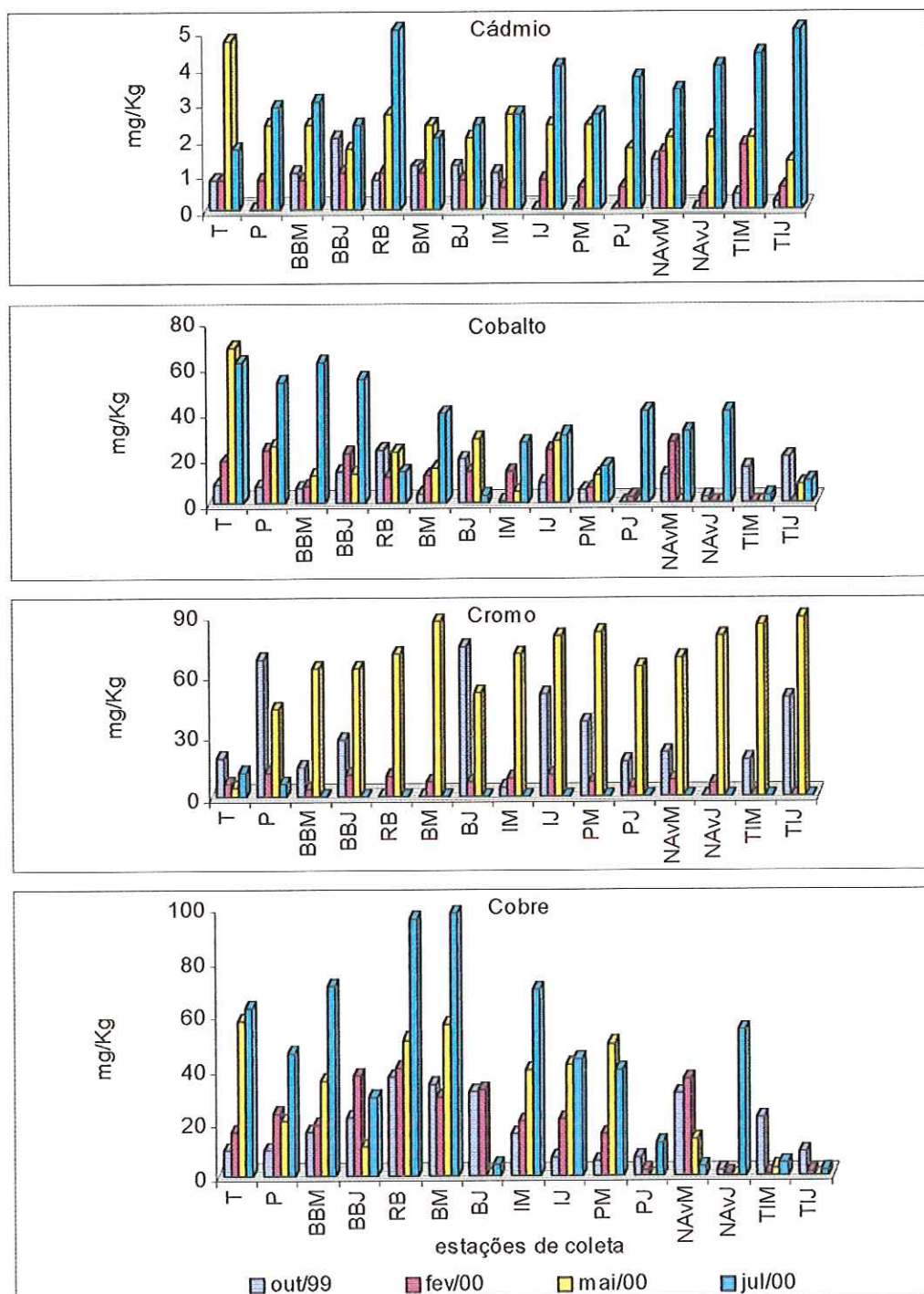


FIGURA 38 - Concentração de metais biodisponíveis nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

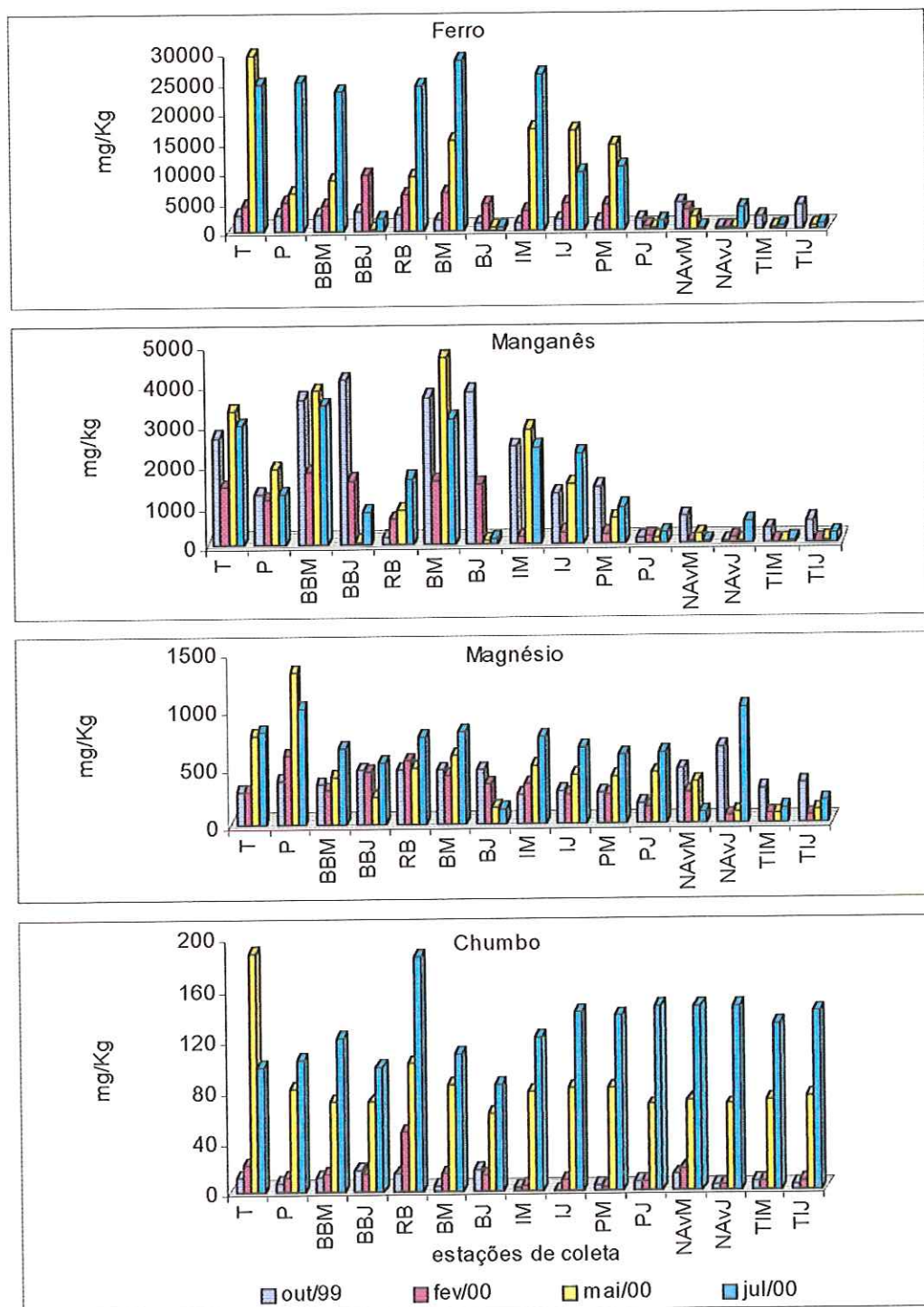


FIGURA 38 (cont) - Concentração de metais biodisponíveis nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

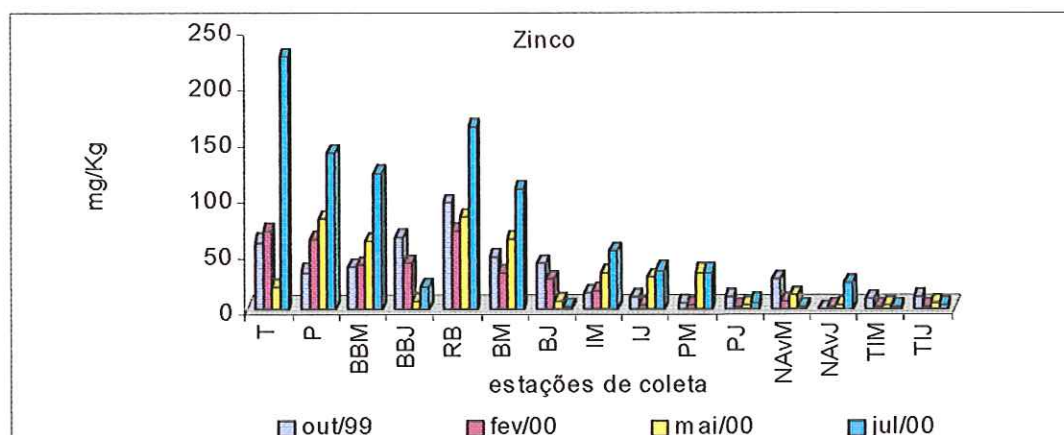


FIGURA 38 (cont) - Concentração de metal biodisponíveis nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

Em relação ao ferro, em outubro/99 registrou-se os menores valores, variando de 94,8mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 4537,6mg/Kg (Nova Avanhandava Montante). Em fevereiro/00, as concentrações variaram de 137,2mg/Kg a 9322,8mg/Kg, em Três Irmãos Montante e Barra Bonita Jusante, respectivamente. Em maio/00, os valores oscilaram de 94,67mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 29363,7mg/Kg (rio Tietê) e em julho/00, registrou-se os maiores valores, com concentrações variando de 179,0mg/Kg (Nova Avanhandava Montante) à 28198,4mg/Kg (Bariri Montante).

Para o manganês, em outubro/99 obteve-se os maiores valores, com concentrações variando de 43,20mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 4075,6mg/Kg (Barra Bonita Jusante). Em fevereiro/00, registrou-se os menores valores, com variação de 8,20mg/Kg (Três Irmãos Jusante) a 1778,0mg/Kg (Barra Bonita Montante). Em maio, os valores variaram entre 6,33mg/Kg (Três Irmãos Montante) e 4618,6mg/Kg (Bariri Montante) e em julho/00, o valor mínimo foi de 59,67mg/Kg (Três Irmãos Montante) e o máximo foi 3445,3mg/Kg (Barra Bonita Montante).



Para o magnésio, em outubro/99 a concentração mínima obtida foi de 173,64mg/Kg (Promissão Jusante) e a máxima foi de 660,80mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante). Em fevereiro/00, as concentrações variaram de 54,64mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 592,54mg/Kg (rio Piracicaba). No mês de maio/00, os valores oscilaram entre 82,93mg/Kg (Três Irmãos Montante) e 1320,1mg/Kg (rio Piracicaba) e em julho/00, o valor mínimo foi de 122,9mg/Kg (Nova Avanhandava Montante) e o máximo foi de 999,02mg/Kg (Nova Avanhandava Montante).

Em relação ao chumbo, em outubro/99 foram detectados os menores valores, com concentrações variando de 2,00mg/Kg (Ibitinga Montante) a 16,00mg/Kg (Barra Bonita Jusante e Bariri Jusante). Em fevereiro/00 os valores variaram entre 2,00mg/Kg (Promissão Montante) a 46,00mg/Kg (rio Bauru). Em maio/00, as concentrações oscilaram de 60,00mg/Kg (Bariri Jusante) a 186,66mg/Kg (rio Tietê) e em julho/00, a variação foi de 83,33mg/Kg (Bariri Jusante) a 183,33mg/Kg (rio Bauru).

Para o zinco, em outubro/99 as concentrações variaram de 0,24mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) a 94,06mg/Kg (rio Bauru). Em fevereiro/00, a concentração mínima foi de 1,20mg/Kg em Nova Avanhandava Jusante e a máxima de 69,14mg/Kg no rio Tietê. Em maio/00, os valores oscilaram entre 2,93mg/Kg (Nova Avanhandava Jusante) e 82,93mg/Kg (rio Bauru) e em julho/00 o valor mínimo foi de 1,60mg/Kg (em Três Irmãos Montante) e o máximo foi de 224,93mg/Kg (no rio Tietê).

#### **5.4 Estudos ecotoxicológicos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.**

##### **5.4.3 Teste de sensibilidade de *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia similis***

Os resultados obtidos nos testes de sensibilidade para *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia* estão apresentados nas Tabelas 02 e 03, respectivamente, verificando-se que os valores obtidos estão dentro dos limites aceitáveis, indicando uma condição satisfatória dos organismos-teste para a realização dos bioensaios de toxicidade.

Tabela 02 - Concentração efetiva inicial mediana CE(I)50; 48h, obtida em testes de sensibilidade ao dicromato de potássio para *Daphnia similis*.

Data	Valor da CE(I)50;48h	Limite de confiança	Valor de CE(I)50; 48h *
Outubro/99	0,13mg/L	0,02 – 0,14mg/L	0,04 – 0,17 mg/L
Fevereiro/00	0,05mg/L	0,05 – 0,06mg/L	
Maiο/00	0,07mg/L	0,06 – 0,09mg/L	
Julho/00	0,10mg/L	0,09 – 0,14mg/L	

\* (ZAGATTO,1988)

Tabela 03 - Concentração efetiva inicial mediana CE(I)50; 48h, obtida em testes de sensibilidade ao cloreto de sódio para *Ceriodaphnia dubia*.

Data	Valor da CE(I)50;48h	Limite de confiança	Valor de CE(I)50; 48h *
Outubro/99	1,61g/L	1,48 – 1,75g/L	0,72 - 1,60 g/L
Fevereiro/00	1,40g/L	1,29 – 1,75g/L	
Maiο/00	1,56g/L	1,51 – 1,81g/L	
Julho/00	1,43g/L	1,32 – 1,55g/L	

\* (CETESB,1992)

#### 5.4.2 Bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água

Os resultados obtidos com os bioensaios de toxicidade aguda com amostras de água realizados com *Daphnia similis* estão apresentados nas Tabelas 30, 31, 32 e 33 (em anexo) e na Figura 39.

Os bioensaios de toxicidade revelaram toxicidade aguda para *Daphnia similis*, quando expostas às amostras de água provenientes de Bariri Montante (50%, em outubro/99) e Bariri Jusante (60% e 100%, em outubro/99 e fevereiro/00 respectivamente), de Ibitinga Montante (70%, em outubro/99), Promissão Montante (90%, 60% e 100%, em outubro/99, maio/00 e julho/00 respectivamente), Promissão

Jusante (70% e 93%, em outubro/99 e julho/00 respectivamente), Nova Avanhandava Montante (100%, 90%, 100% e 80%, em outubro/99, fevereiro/00, maio/00 e julho/00 respectivamente), Nova Avanhandava Jusante (100%, 60% e 73%, em outubro/99, maio/00 e julho/00, respectivamente), Três Irmãos Montante (60%, em outubro/99) e Jusante (45%, em outubro/99).

Os resultados demonstraram que a maioria das amostras de água coletadas em outubro/99 causaram toxicidade aguda ou indícios de toxicidade para *Daphnia similis*, enquanto que apenas duas amostras (Bariri Jusante e Nova Avanhandava Montante, 100% e 90% respectivamente), coletadas no período chuvoso, causaram toxicidade aguda aos organismos-teste. Observou-se também que a água proveniente de Nova Avanhandava Montante causou efeito tóxico para os organismos-teste nos quatro períodos de coleta (100%, 90%, 100% e 80%, em outubro/99, fevereiro/00, maio/00 e julho/00 respectivamente). De forma contrária ao observado para diversas variáveis químicas, não se verificou um gradiente decrescente de toxicidade aguda ao longo da cascata de reservatórios, mas sim um aumento da toxicidade nos reservatórios localizados à jusante da barragem de Barra Bonita.

Em um primeiro momento, pensou-se em adotar, como controle ambiental, amostras de água provenientes do reservatório de Três Irmãos, mas como esta provocou toxicidade aguda para os organismos-teste, esta possibilidade foi descartada. Assim, no presente trabalho, apenas utilizou-se como controle a água utilizada no cultivo dos organismos-teste.

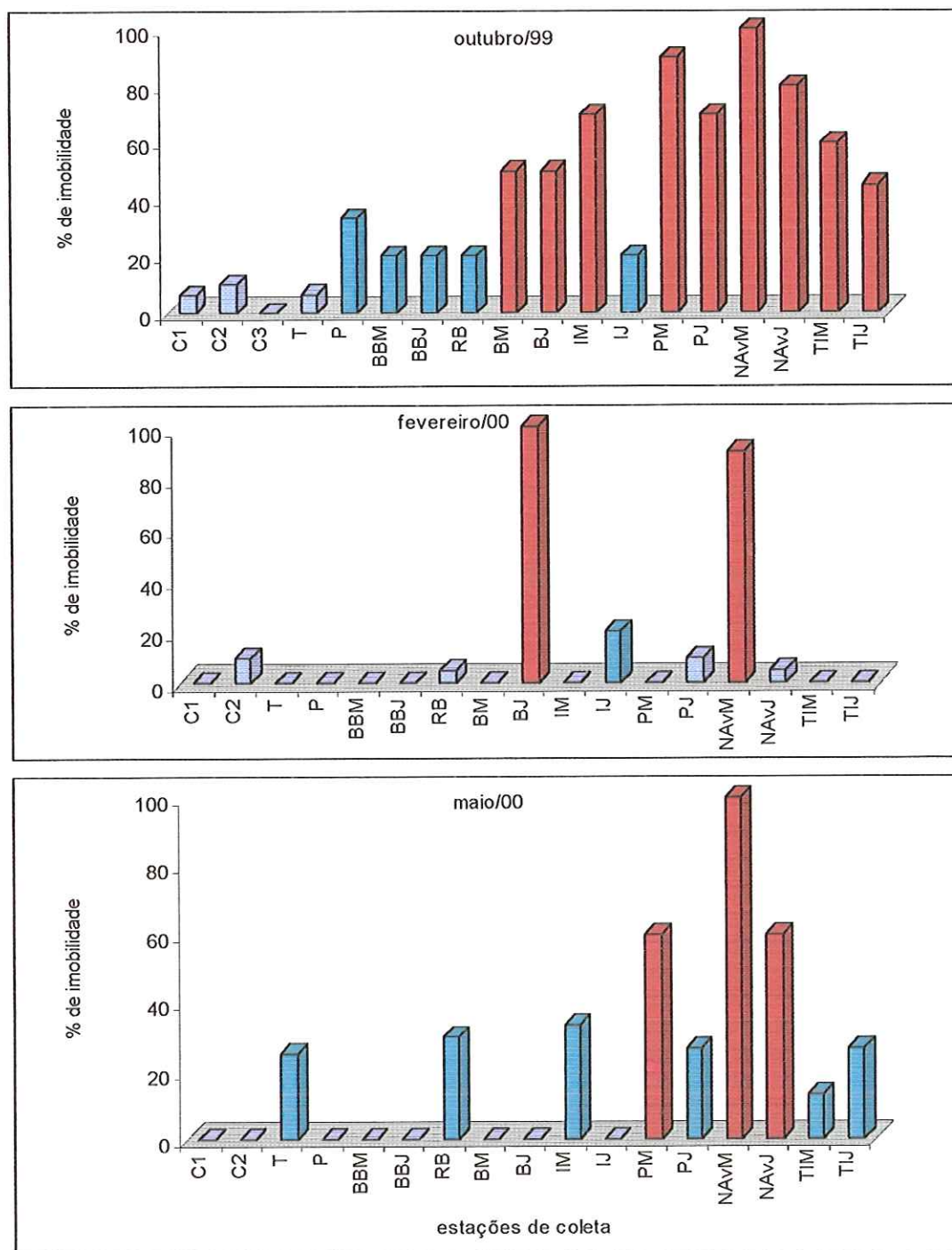


FIGURA 39 - Porcentagem de imobilidade de neonatas de *Daphnia similis* obtidas em bioensaios de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e índices de toxicidade, no período de estudo. ■ não tóxico (imobilidade  $\leq 10\%$ ) ■ índice de toxicidade ( $10\% < \text{imobilidade} < 40\%$ ) e ■ tóxico (imobilidade  $\geq 40\%$ ). C1 (Controle 1), C2 (Controle 2), C3 (Controle 3), T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NA<sub>v</sub>M (Nova Avanhandava Montante), NA<sub>v</sub>J (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

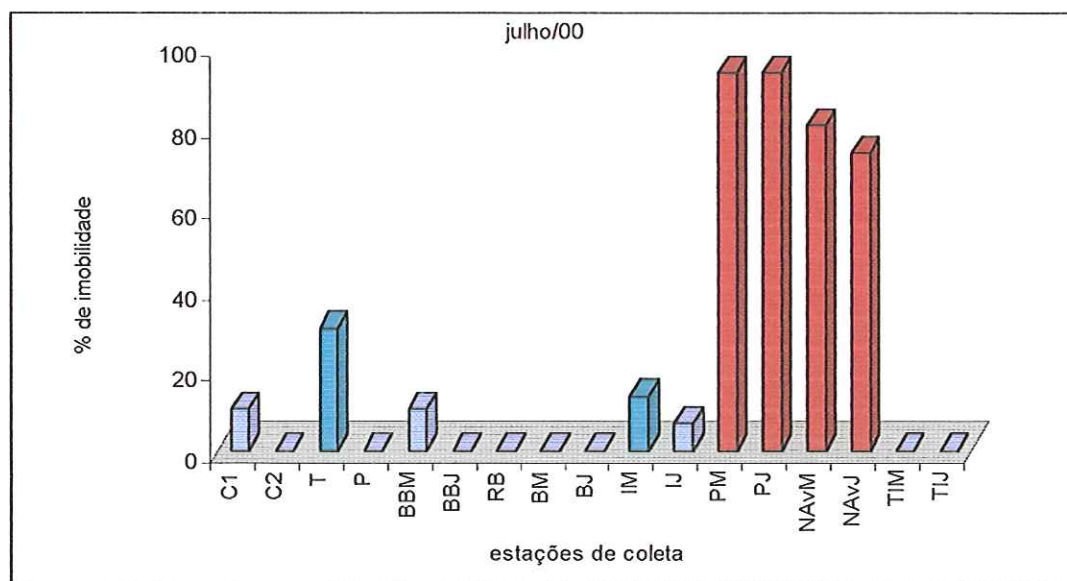


FIGURA 39 (cont) - Porcentagem de imobilidade de neonatas de *Daphnia similis* obtidas em bioensaios de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e índices de toxicidade no período de estudo. ■ não tóxico (imobilidade  $\leq 10\%$ ) ■ índice de toxicidade ( $10\% < \text{imobilidade} < 40\%$ ) e ■ tóxico (imobilidade  $\geq 40\%$ ). T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

### 5.4.3 Bioensaios de toxicidade crônica com amostras de água

Os resultados obtidos para os bioensaios de toxicidade crônica com amostras de água, realizados com *Ceriodaphnia dubia* são apresentados na Tabela 04, nas Tabelas 38, 39, 40 e 41 (em anexo) e na Figura 40.

No presente estudo foram realizados bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água provenientes de todas as estações de coleta, mesmo com aquelas que já haviam apresentado toxicidade aguda para *Daphnia similis*, com a finalidade de comparar os resultados obtidos em ambos os bioensaios. Verificou-se que apesar das amostras de água provenientes de algumas estações de coleta terem causado um efeito tóxico para *Daphnia similis*, as mesmas não causaram qualquer efeito agudo ou crônico em *Ceriodaphnia dubia*, como pode ser observado pela porcentagem de

imobilidade das neonatas de *Daphnia similis*, quando expostos às amostras de água provenientes da montante e jusante do reservatório de Bariri (50% e 60%, em outubro/99 respectivamente), Promissão Montante (60%, em maio/00), Promissão Jusante (90% e 93%, em outubro/99 e julho/00 respectivamente), Nova Avanhandava Montante (100%, 90%, 100% e 80%, em outubro/99, fevereiro/00, maio/00 e julho/00), Nova Avanhandava Jusante (80%, 73% e 60%, em outubro/99, maio/00 e julho/00 respectivamente), Três Irmãos Montante (60%, em outubro/99) e Três Irmãos Jusante (45%, em outubro/99).

As amostras de água que não apresentaram efeito agudo para *Daphnia similis* e sim efeito crônico para *Ceriodaphnia dubia*, como pode ser observado através da porcentagem de neonatas produzidas em relação ao controle, foram provenientes do rio Tietê (22%, 34% e 0%, em fevereiro/00, maio/00 e julho/00 respectivamente), rio Piracicaba (17% em fevereiro/00), Barra Bonita Montante (7% e 0% em fevereiro/00 e julho/00 respectivamente), Barra Bonita Jusante (8% em fevereiro/00), rio Bauru (24% em fevereiro/00), Bariri Montante (17% e 0% em fevereiro/00 e julho/00 respectivamente), Ibitinga Jusante (10% em outubro/99) e Promissão Montante (24% em fevereiro/00).

Os resultados indicaram que, no período chuvoso um maior número de amostras de água (rios Tietê, Piracicaba e Bauru, montante e jusante das barragens dos reservatórios de Barra Bonita e Bariri, montante das barragens dos reservatórios de Ibitinga e de Promissão) provocou efeito crônico em *Ceriodaphnia dubia*, enquanto que em maio/00, apenas uma amostra de água (rio Tietê) acarretou efeito crônico. De uma maneira geral, observou-se um gradiente decrescente da toxicidade crônica de Barra Bonita a Três Irmãos, de forma contrária ao obtido para os bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis*.

Tabela 04 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os dados de reprodução de *Ceriodaphnia dubia* em bioensaio de toxicidade crônica, quando expostas às amostras de água do Médio e Baixo Tietê (SP), durante o período de estudo.

Estações de coleta	Outubro/99	Fevereiro/00	Mai/00	Julho/00
Tietê	• (p>0,05)	✘ (p<0,05)	✘ (p<0,01)	✘ (p<0,01)
Piracicaba	• (p>0,05)	✘ (p<0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Barra Bonita Montante	• (p>0,05)	✘ (p<0,001)	• (p>0,05)	✘ (p<0,01)
Barra Bonita Jusante	• (p>0,05)	✘ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Rio Bauru	• (p>0,05)	✘ (p<0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Bariri Montante	• (p>0,05)	✘ (p<0,01)	• (p>0,05)	✘ (p<0,01)
Bariri Jusante	• (p>0,05)	✘ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Ibitinga Montante	✘ (p<0,05)	✘ (p<0,01)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Ibitinga Jusante	✘ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Promissão Montante	✘ (p<0,01)	✘ (p<0,01)	• (p>0,05)	✘ (p<0,01)
Promissão Jusante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Nova Avanhandava Montante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Nova Avanhandava Jusante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Três Irmãos Montante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Três Irmãos Jusante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)

• diferença não significativa em relação ao controle (p>0,05)

✘ diferença significativa em relação ao controle (p<0,05)

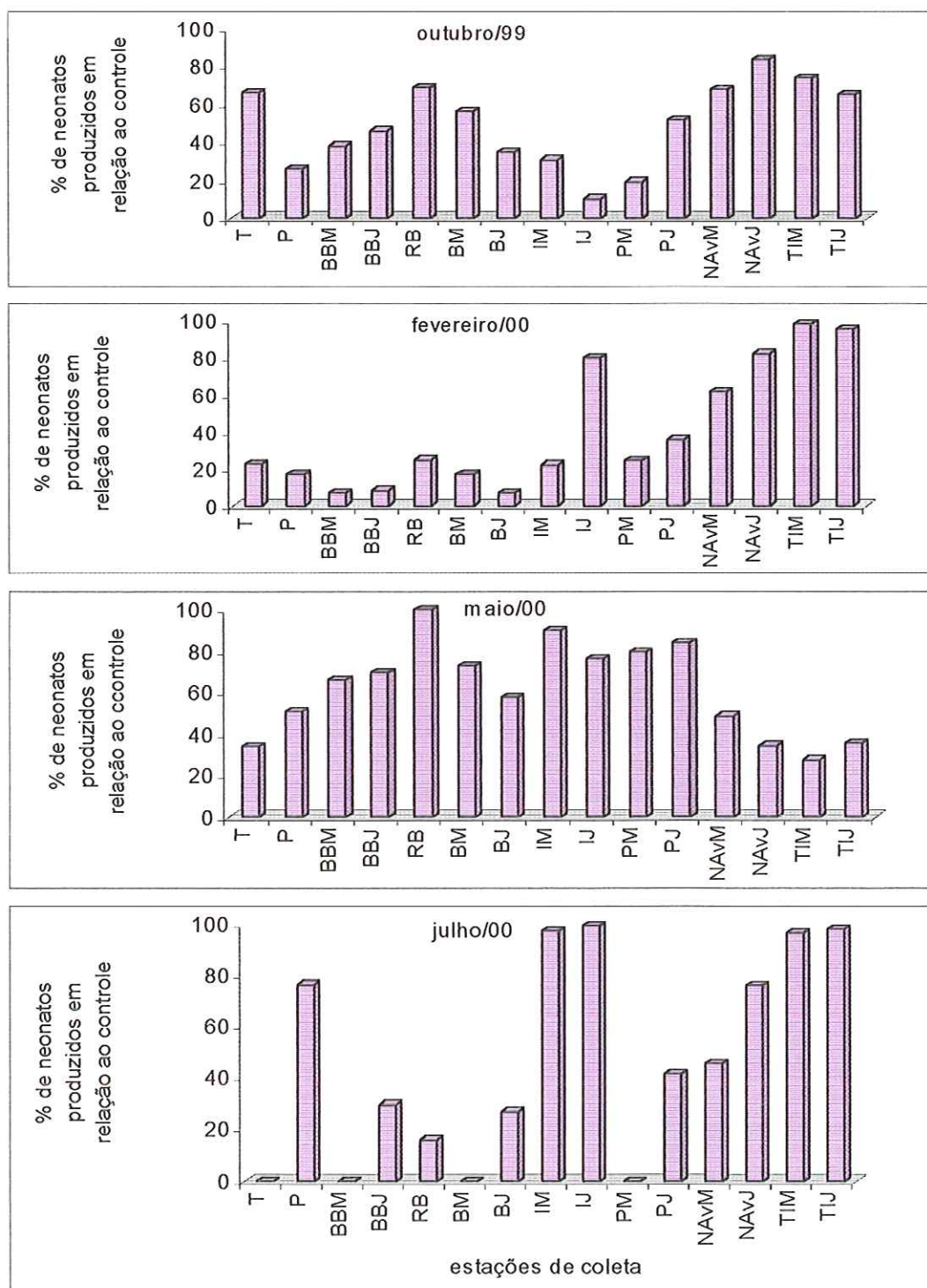


FIGURA 40 - Porcentagem de neonatas de *Ceriodaphnia dubia* produzidos em relação ao controle, durante bioensaio de toxicidade crônica com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), durante o período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).



#### 5.4.4 Bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento

Os resultados obtidos com os bioensaios de toxicidade aguda, com amostras de sedimento, utilizando-se *Daphnia similis*, são apresentados na Figura 41 e Tabelas 34, 35, 36 e 37 (em anexo).

Os bioensaios de toxicidade revelaram toxicidade aguda para *Daphnia similis*, quando expostas às amostras de sedimento provenientes de Ibitinga Jusante (70%, em fevereiro/00), Promissão Montante (50%, em fevereiro/00), Nova Avanhandava Montante (73%, em outubro/99) e Três Irmãos Montante (100%, em maio/00).

Indícios de toxicidade para os organismos-teste foram registrados em todas as amostras de sedimento em outubro/99 e na minoria das amostras coletadas em fevereiro, maio e julho/00. Comparando-se estes resultados com aqueles obtidos com amostras de água, parece haver uma maior toxicidade aguda para *Daphnia similis* relacionada com o compartimento água do que com as amostras de sedimento.

De forma semelhante ao obtido com as amostras de água, também não se observou um gradiente decrescente de toxicidade aguda para *Daphnia similis* ao longo da cascata de reservatórios.

Como observado para os bioensaios de toxicidade realizados com as amostras de água, não foi possível adotar como controle ambiental a amostra de água proveniente do reservatório de Três Irmãos, pois este apresentou toxicidade aguda para os organismos-teste. Assim, no presente trabalho, apenas utilizou-se como controle a água utilizada no cultivo dos organismos-teste.

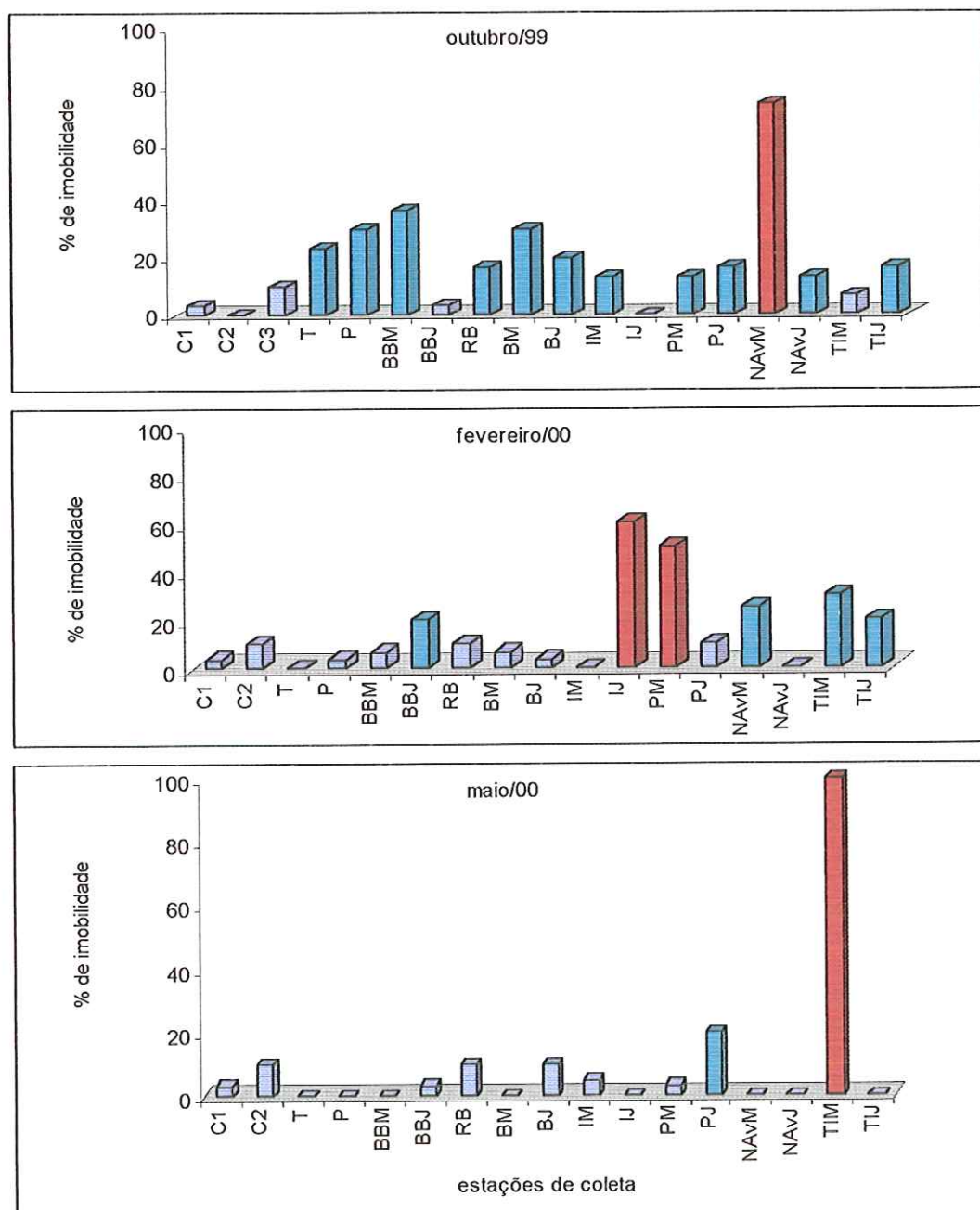


FIGURA 41 - Porcentagem de imobilidade de neonatas de *Daphnia similis* obtidas em bioensaios de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e índices de toxicidade, no período de estudo. ■ não tóxico (imobilidade  $\leq 10\%$ ) ■ índice de toxicidade ( $10\% < \text{imobilidade} < 40\%$ ) e ■ tóxico (imobilidade  $\geq 40\%$ ). C1 (Controle 1), C2 (Controle 2), C3 (Controle 3), T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

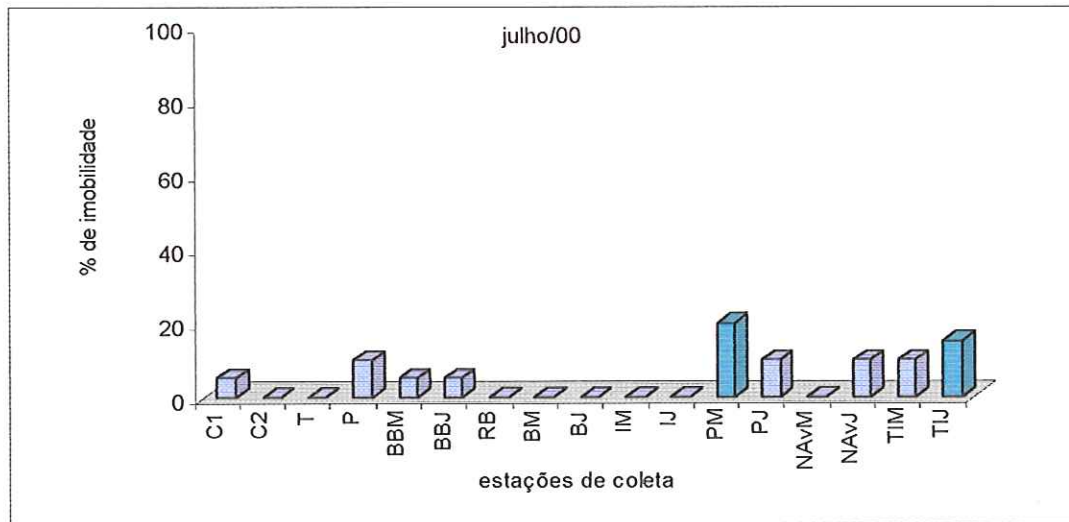


FIGURA 41 (cont) - Porcentagem de imobilidade de neonatas de *Daphnia similis* obtidas em bioensaios de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê e índices de toxicidade no período de estudo. ■ não tóxico (imobilidade  $\leq 10\%$ ) ■ indício de toxicidade ( $10\% < \text{imobilidade} < 40\%$ ) e ■ tóxico (imobilidade  $\geq 40\%$ ). T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

#### 5.4.5 Bioensaio de toxicidade crônica com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP).

Os resultados obtidos com os bioensaios de toxicidade crônica, realizadas com amostras de sedimento e com *Ceriodaphnia dubia*, estão apresentados na Tabela 05, na Figura 42 e nas Tabelas 42, 43, 44 e 45 (em anexo)

Foram realizados bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento provenientes de todas as estações de coleta, mesmo com aquelas que já haviam apresentado toxicidade aguda para *Daphnia similis*, a fim de se comparar os resultados obtidos em ambos os bioensaios. Como já anteriormente observado para as amostras de água, verificou-se, que apesar de algumas amostras de sedimento terem causado um efeito tóxico para *Daphnia similis*, as mesmas não causaram qualquer efeito crônico em *Ceriodaphnia dubia*, como pode ser observado para

Ibitinga Jusante (70%, em fevereiro/00), Promissão Montante (50%, em fevereiro/00) Nova Avanhandava Montante (73%, em outubro/99) e Três Irmãos Montante (100%, em maio/00).

As amostras de sedimento que não apresentaram efeito agudo para *Daphnia similis*, mas sim efeito crônico para *Ceriodaphnia dubia*, como pode ser observado pelo porcentagem de neonatas produzidas em relação ao controle, foram as provenientes do rio Tietê (0%, 6% e 14% em outubro/99 e fevereiro/00 e julho/00 respectivamente), Barra Bonita Montante (6%, 15% em fevereiro/00 e julho/00 respectivamente), Barra Bonita Jusante (13% e 2% em outubro/99 e fevereiro/00, respectivamente), rio Bauru (0% e 6% em outubro/99 e fevereiro/00, respectivamente), Bariri Montante (0% e 14% em outubro/99 e fevereiro/00, respectivamente), Bariri Jusante (3% e 23% em outubro/99 e fevereiro/00, respectivamente), Ibitinga Montante (8% e 10% em outubro/99 e fevereiro/00, respectivamente), Ibitinga Jusante (0% em outubro/99), Promissão Montante (0% em outubro/99) e Promissão Jusante (7% em outubro/99).

Os resultados indicaram que nos meses de outubro/99 e fevereiro/00 ocorreu um maior número de amostras de sedimento que provocaram efeito crônico em *Ceriodaphnia dubia*, sendo 9 amostras de sedimento em outubro/99 (rio Tietê, Barra Bonita Jusante, rio Bauru, montante e jusante da barragem dos reservatórios de Bariri, Ibitinga e Promissão) e 7 amostras em fevereiro/00 (rios Tietê e Bauru, montante e jusante da barragem dos reservatórios de Barra Bonita e Bariri, e Ibitinga Montante). Em julho/00, apenas duas amostras (rio Tietê e Barra Bonita Montante) e nenhuma em maio/00 provocaram efeito crônico. De uma maneira geral, como observado para o compartimento água, verificou-se um gradiente decrescente da toxicidade crônica para *Ceriodaphnia dubia* ao longo dos reservatórios em cascata.

Tabela 05 – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os dados de reprodução de *Ceriodaphnia dubia* em bioensaio de toxicidade crônica, quando expostas às amostras de sedimento do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo.

Estações de coleta	Outubro/99	Fevereiro/00	Mai/00	Julho/00
Tietê	✖ (p<0,001)	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	✖ (p<0,05)
Piracicaba	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Barra Bonita Montante	• (p>0,05)	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	✖ (p<0,01)
Barra Bonita Jusante	✖ (p<0,05)	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
rio Bauru	✖ (p<0,001)	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Bariri Montante	✖ (p<0,01)	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Bariri Jusante	✖ (p<0,05)	✖ (p<0,01)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Ibitinga Montante	✖ (p<0,01)	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Ibitinga Jusante	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Promissão Montante	✖ (p<0,001)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Promissão Jusante	✖ (p<0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Nova Avanhandava Montante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Nova Avanhandava Jusante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Três Irmãos Montante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)
Três Irmãos Jusante	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)	• (p>0,05)

• diferença não significativa em relação ao controle (p>0,05)

✖ diferença significativa em relação ao controle (p<0,05)

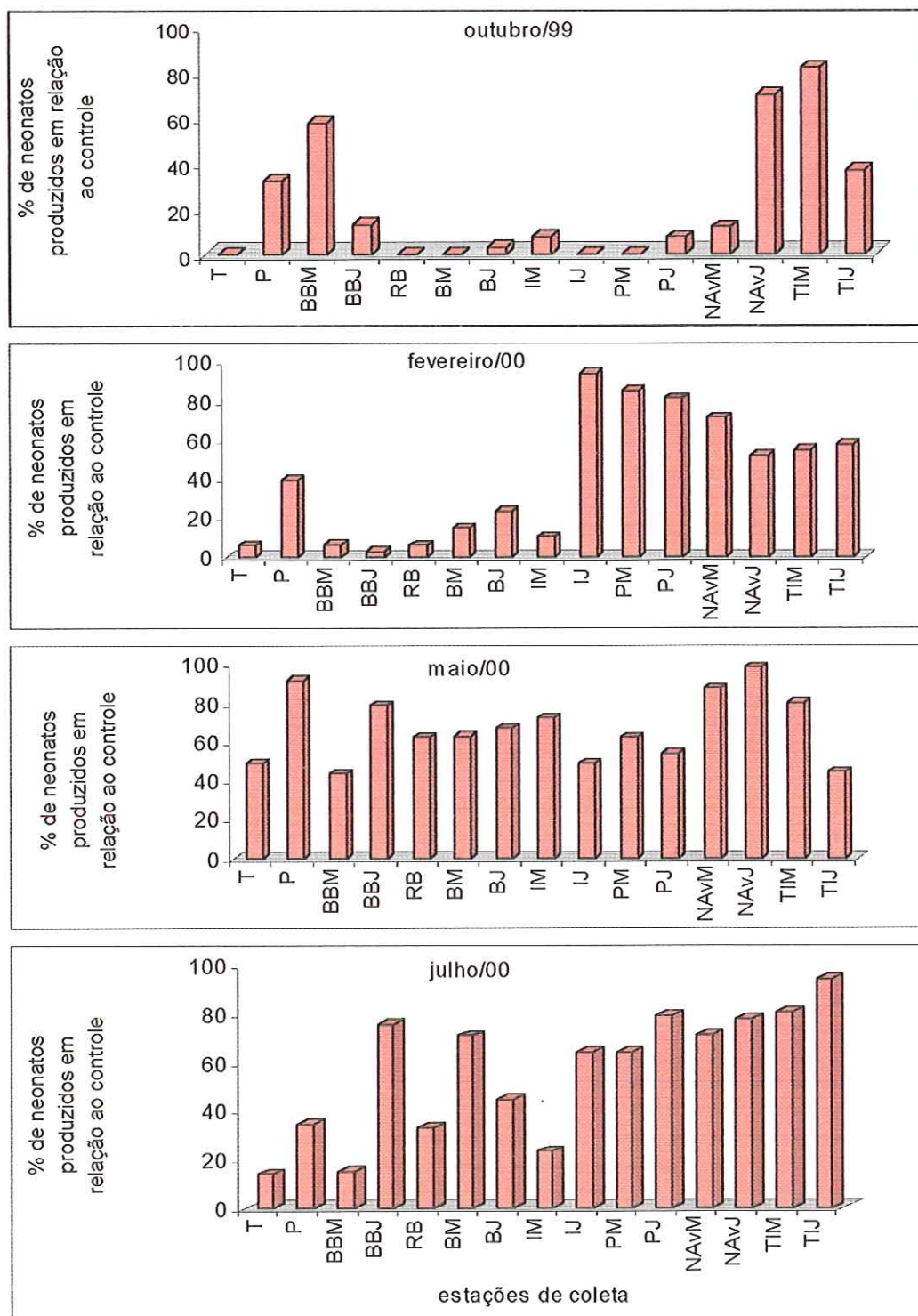


FIGURA 42 - Porcentagem de neonatas de *Ceriodaphnia dubia* produzidos em relação ao controle, durante bioensaio de toxicidade crônica com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante).

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 Caracterizações espacial e temporal das variáveis ambientais nos reservatórios do Médio e Baixo rio Tietê.

A caracterização ambiental de um reservatório é essencial ao conhecimento da estrutura e funcionamento deste ecossistema. Assim, os estudos conduzidos permitem a obtenção de dados científicos e de uso imediato, e a conseqüente introdução de medidas preventivas e corretivas, objetivando a melhoria da qualidade da água. Estes estudos, por outro lado, também tornam possível realizar prognósticos das alterações que possam ocorrer no sistema (CESP, 1998).

Reservatórios construídos em cascata, com o objetivo de gerar energia, são geralmente operados como unidades simples, mas em relação a sua caracterização limnológica, cada reservatório comporta-se como uma unidade, com características próprias, tais como: tempo de retenção, tributários e usos da bacia hidrográfica. Por outro lado, não se pode entender a limnologia de um dado reservatório em particular da cascata, sem entender os processos que estão ocorrendo na cadeia de reservatórios localizados cima dele (STRASKRABA, 1994).

De acordo com TUNDISI (1999), os principais componentes e funções de forças que estabelecem as condições de contorno no funcionamento do reservatório, e cujas medidas são essenciais, estão representados pelas características climatológicas da região, o tempo de residência da água e a posição do reservatório (uma vez que há efeitos à montante e à jusante de um reservatório sobre o outro). Outras condições estão relacionadas com as características técnicas de construção de represas, tais como altura da barragem, altura da tomada de água para as turbinas, número, posição e tipo de vertedouros e profundidade máxima na barragem.

O tempo de residência da água é considerado como um importante fator controlador das diferenças na qualidade da água em reservatórios (TUNDISI &

STRASKRABA, 1999) e está fortemente vinculado às operações das barragens para a produção de energia, as quais, por sua vez, dependem do ciclo hidrológico. Segundo NOGUEIRA (1991), o tempo de residência nos reservatórios afeta diretamente, entre outros, os seguintes processos: a) reciclagem e acúmulo de nutrientes no sedimento e na água; b) crescimento sustentado do fitoplâncton; c) crescimento e desenvolvimento de macrófitas aquáticas; d) concentração e acúmulo de elementos químicos nos reservatórios e e) o próprio estado trófico dos reservatórios. No presente trabalho, os menores valores de tempo de residência foram verificados em janeiro/00 para a maioria dos reservatórios em estudo, enquanto que os maiores valores foram encontrados em junho e julho/00, exceto para o reservatório de Três Irmãos (abril/00). Durante o período seco a vazão é reduzida aumentando o tempo de residência da água, resultando em um aumento da influência dos processos biológicos internos no funcionamento do reservatório, em detrimento da influência externa (material alóctone), cuja ação é mais intensa no período chuvoso.

Os índices elevados de precipitação desencadeiam uma série de processos que modificam as condições físicas e químicas do sistema. Nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, por exemplo, no período chuvoso (fevereiro/00), o aporte de material em suspensão proveniente dos rios Tietê e Piracicaba (fontes pontuais) e das margens dos reservatórios (fontes difusas) é superior ao observado no período seco (julho/00). Verifica-se, portanto, que a entrada de material produzida pela precipitação representa um pulso de nutrientes e de material inorgânico para dentro dos reservatórios, como apresentado por TUNDISI *et al.* (1991). Tal fato pode ainda ser verificado, avaliando-se os valores obtidos para a transparência da água e sua relação com os valores de material em suspensão, verificando-se que maiores concentrações de material em suspensão, no período chuvoso, acarretaram menores valores de visibilidade do disco de Secchi nos reservatórios, sendo que a redução da luz, verificada pelas medidas do disco de Secchi, esteve relacionada com o aumento da dispersão por material particulado suspenso (WETZEL, 1993).

Em relação à variação espacial, para os quatro períodos amostrados neste estudo, de uma maneira geral, observou-se um gradiente crescente da transparência da água ao longo da cascata de reservatórios. Isso também foi verificado por



TUNDISI *et al.* (1991) e GÜNTZEL (2000), para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP). Segundo STRASKRABA (1990), nos reservatórios superiores do sistema em cascata, a presença abundante de material em suspensão ocasiona uma atenuação da luz e, conseqüentemente, uma diminuição na visibilidade do disco de Secchi, o que não é verificado nos reservatórios inferiores, devido ao processo de sedimentação daquele material na parte superior do sistema.

De acordo com o tempo de residência, pode ocorrer uma maior ou menor sedimentação dos materiais orgânico e inorgânico que chegam através de entradas pontuais ou difusas. Além de maior carreamento de material alóctone no período chuvoso, deve-se também salientar a possibilidade de remoção e suspensão das matérias orgânica e inorgânica no sedimento devido ao aumento da intensidade do fluxo de água ocasionado pelas chuvas e vazão.

BARBOSA *et al.* (1999), ao avaliarem as represas do Médio e Baixo Tietê, no período chuvoso de 1999, obtiveram valores mais elevados de material em suspensão do que os obtidos no presente estudo. Os autores destacaram a alta concentração de material em suspensão no rio Tietê (144,2mg/L) e salientaram também a grande redução do material em suspensão observada nos reservatórios de Barra Bonita (18,2mg/L), seguida por Bariri (7,3mg/L), bem como nos outros reservatórios da cascata, com exceção de Nova Avanhandava (5,4mg/L) e Três Irmãos (6,2mg/L), os quais apresentaram um aumento nos valores em relação a Promissão (4,2mg/L), o reservatório anterior.

Nos reservatórios em cascata do baixo rio São Francisco, ROCHA *et al.* (2000) observaram uma sedimentação do material em suspensão nos compartimentos laterais do sistema, e não no canal principal, devido ao baixo tempo de retenção do sistema e ao aporte lateral que contrabalançam a perda por sedimentação.

DÉCAMPS *et al.* (1978), estudando as alterações na qualidade da água no rio Lot (França), após a construção de nove barragens em série, constataram mudanças no fluxo da água no rio, que ocasionaram um aumento na turbidez devido ao aumento do material em suspensão. Segundo os autores, devido as essas mudanças, vários minerais e partículas orgânicas (algas e detritos) ora são depositados ou ressuspensos. O fitoplâncton anteriormente presente nos reservatórios superiores encontrou condições favoráveis para o crescimento nos reservatórios inferiores,

como o excesso de nutrientes devido ao predomínio de atividades agrícolas na parte inferior, sendo que este crescimento chegou a atingir níveis considerados críticos para a qualidade da água.

Quanto à temperatura da água, de modo geral, verificou-se a presença de duas estações bem definidas durante o período de estudo: temperaturas mais elevadas no período chuvoso (verão) e menores temperaturas no período seco (inverno). Quanto aos perfis verticais obtidos, verificou-se que a temperatura da água se manteve mais elevada nas camadas superficiais. De acordo com ESTEVES (1988), nos corpos de água, devido à forte absorção da radiação no primeiro metro, deveria ocorrer abaixo desta camada uma queda brusca de temperatura. No entanto, tal fenômeno não ocorre devido a ação do vento que promove a redistribuição do calor por toda a massa de água.

No presente estudo, verificou-se a formação de termoclina em outubro/99 (rio Tietê) e em fevereiro/00 (Promissão Montante). No período chuvoso de 1998, BARBOSA *et al.* (1999) observaram uma forte estratificação no reservatório de Barra Bonita e termoclina secundária, na maioria dos demais reservatórios em cascata do rio Tietê. Segundo TUNDISI (1990), a estratificação em reservatórios depende de vários fatores: 1) aquecimento térmico a partir da radiação solar, 2) profundidade média e máxima do sistema, 3) efeito do vento na quebra da estratificação e no estabelecimento de padrões de mistura vertical e 4) altura da tomada de água para vertedouros e turbinas. Os reservatórios do Médio e Baixo Tietê são classificados como polimíticos (TUNDISI *et al.*, 1991), com circulações completas no inverno e verão, sendo que durante esses períodos podem ocorrer algumas estratificações, mas somente em curtos períodos de tempo, como observado no presente estudo. Uma estratificação permanente nesse sistema é improvável de ser estabelecida devido as suas características físicas (reservatórios pouco profundos e com baixo tempo de retenção), às rotinas operacionais da barragem e à própria ação do vento em função da falta de proteção nas margens do sistema, consequência do intenso desmatamento ocorrido.

THOMAZ *et al.* (1997), estudando a limnologia do reservatório de Segredo, segundo da série de quatro reservatórios do médio rio Iguaçu (Estado do Paraná), observaram que os padrões de estratificação variaram nas diferentes regiões do

reservatório, com estratificações permanentes mais próximas à barragem. Segundo os autores, o reservatório pode ser classificado como um sistema monomítico quente (circulação da coluna de água durante o inverno e estratificação durante os demais meses), o que estaria relacionado à morfometria do mesmo, que apresenta grande profundidade relativa à largura .

A concentração de gases dissolvidos na água é uma das variáveis ambientais mais importantes na dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos, sendo influenciada pelas alterações sazonais dos índices pluviométricos, temperatura, vazão e tempo de residência. Nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, as concentrações de oxigênio foram maiores em fevereiro e maio/00. As principais fontes de oxigênio dissolvido para a água são a atmosfera e a fotossíntese. De acordo com a classificação de Dillon & Rigler (1975), citado em STRASKRABA *et al.* (1993), a adequabilidade da água para o consumo, em relação à concentração de oxigênio, para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, foi considerada adequada (maior que 5mg/L). Verificou-se a ocorrência de baixas concentrações de oxigênio dissolvido nas camadas mais profundas no rio Tietê (outubro/99 e julho/00), rio Piracicaba (julho/00) e rio Bauru (outubro/99), indicando uma anoxia devido ao intenso processo de decomposição de matéria orgânica que, segundo ESTEVES (1988), é uma das principais causas da diminuição na concentração de oxigênio, juntamente com perdas para a atmosfera e oxidação de íons metálicos, como o ferro e manganês. A permanência de anoxia representa um fator negativo à qualidade da água, pois sob esta condição compostos químicos no sedimento tendem a ser liberados para a água, além de gases tóxicos, tais como metano e o gás sulfídrico (GUNNISON *et al.*, 1983).

Nenhum dos reservatórios estudados no presente trabalho apresentou anoxia nas camadas mais profundas, o que pode estar relacionado com a mistura completa das camadas superiores de água com maior concentração de oxigênio, e das camadas inferiores, com menor concentração. Porém, BARBOSA *et al.* (1999), no período chuvoso de 1998, verificaram a ocorrência de anoxia nos três primeiros reservatórios da cascata, entre 5 e 10m de profundidade, enquanto no reservatório de Promissão, o quarto da série, o hipolímnio ficou anóxico a 20m.

No reservatório do Segredo (rio Paraná), THOMAZ *et al.* (1997) verificaram a ocorrência de anoxia durante a maior parte do ano, quando o reservatório se encontrava estratificado termicamente. Segundo os autores, a presença de condições de anoxia pode ocasionar uma liberação de fósforo retido no sedimento, contribuindo para o processo de eutrofização do reservatório. SEVERI *et al.* (2000), avaliando as características limnológicas dos reservatórios em série do rio São Francisco, não detectaram a ocorrência de anoxia no fundo dos reservatórios, sendo que a amplitude de variação da concentração de oxigênio dissolvido foi de 5,9 a 8,0mg/L.

Apesar da solubilidade do oxigênio da água diminuir com o aumento da temperatura (WETZEL, 1993), pode ser observado no presente estudo que a influência desta variável no período chuvoso, caracterizado por apresentar os maiores valores de temperatura, não foi significativa. Este comportamento indica que a precipitação gerou alterações físicas e químicas, no ambiente tornando-se um fator relevante na disponibilidade de oxigênio.

Em relação ao pH, verificou-se que os menores valores foram registrados no período chuvoso. Valores de pH abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA 20/1986 para rios de classe 2, foram verificados em Piracicaba (5,86 em julho/00) e Bariri Jusante (5,51 e 5,96 em out/99 e jul/00, respectivamente). Ecossistemas aquáticos que apresentam valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos. Os organismos heterotróficos, durante os processos de decomposição e respiração, interferem no pH do meio, reduzindo-o. Isto ocorre devido à liberação de CO<sub>2</sub>, e conseqüentemente, a formação de ácido carbônico e íons hidrogênio ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ ). Além disso, a água da chuva é normalmente ácida (pH 5-6) e também pode interferir no pH dos ecossistemas aquáticos (ESTEVEZ, 1988).

A condutividade elétrica foi mais elevada no período seco e os menores valores foram obtidos no período chuvoso. A variação sazonal dessa variável está relacionada com a diluição das concentrações dos íons, devido ao aumento da intensidade da precipitação no período chuvoso, a qual ocasionou os menores valores de condutividade observados, sendo que este fenômeno não foi verificado no período seco. GÜNTZEL (2000) encontrou altos valores de condutividade no período chuvoso de 1998 para os mesmos reservatórios, relacionando tal fato a uma maior

entrada de nutrientes e sedimento para os reservatórios, com o conseqüente aumento na concentração dos íons dissolvidos na água. Quanto à distribuição espacial, no presente estudo, verificou-se, de um modo geral, uma alta concentração de íons no rio Tietê e nos dois primeiros reservatórios da cascata (Barra Bonita e Bariri) e sua deposição e consumo ao longo da cadeia de reservatórios em outubro/99 e julho/00, embora alguns reservatórios intermediários tenham apresentado valores mais elevados em relação aos observados no rio Tietê, em fevereiro e maio/00. No reservatório de Segredo (rio Paraná), THOMAZ *et al.* (1997) verificaram menores valores de condutividade elétrica nos meses de julho e agosto e maiores nos meses de janeiro, com valores oscilando entre 20 $\mu$ S/cm e 50 $\mu$ S/cm. Para os reservatórios em série do rio São Francisco, SEVERI *et al.* (2000) encontraram valores de condutividade variando de 62 $\mu$ S/cm a 74 $\mu$ S/cm.

A concentração de nutrientes também está relacionada com a condutividade. No presente trabalho, os nutrientes foram analisados nas formas nitrogenadas e fosfatadas. Segundo ESTEVES (1988), o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente a sua participação, juntamente com o fósforo, carbono e hidrogênio, na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa (WETZEL, 1993). As principais fontes de nitrogênio são: difusão atmosférica, esgotos e fertilizantes agrícolas. Além disso, o óxido nitroso proveniente de poluição industrial é fonte significativa em regiões de chuvas ácidas (ALLAN, 1995).

No presente estudo, as concentrações de nitrogênio orgânico total e nitrato, de um modo geral, foram maiores no período seco devido a maior retenção da água dentro dos reservatórios e conseqüentemente uma maior concentração das formas nitrogenadas, enquanto que as concentrações de nitrito e íon amônio foram elevadas no mês de outubro/99. No período chuvoso, obteve-se os menores valores para todas as formas nitrogenadas, evidenciando um efeito de diluição devido à entrada de águas, pelas chuvas, no sistema. Altas concentrações das formas nitrogenadas nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, no período de estudo, foram detectadas nos rios Tietê, Piracicaba e rio Bauru e nos primeiros reservatórios do sistema em cascata, mas também valores significativos foram observados ao longo da cadeia de reservatórios, como no reservatório de Ibitinga. O fato pode estar associado ao uso

do solo e às atividades desenvolvidas nas áreas de entorno. BARBOSA *et al.* (1999) destacaram a diminuição dos valores de nitrogênio do rio Tietê em relação ao reservatório de Barra Bonita e observaram uma diminuição das concentrações de nitrato, nitrito e íon amônio ao longo da cascata dos reservatórios.

Segundo MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (2000), a grande quantidade de nutrientes que ocorre no primeiro reservatório em série do rio Tietê, nem sempre adquire uma redução gradativa nos reservatórios subsequentes, isso porque cada reservatório apresenta particularidades com relação ao tamanho, volume de água represada, tempo de residência da água, tributários que recebem e uso da bacia hidrográfica em seu entorno.

TUNDISI *et al.* (1991), em um estudo realizado nos cinco reservatórios no médio rio Tietê, observaram uma redução nos valores de nitrato, a partir do primeiro reservatório da série, até o último deles. Os autores salientaram a importância dos fatores climatológicos, da vazão e do tempo de retenção no funcionamento desses reservatórios, bem como na concentração dos nutrientes.

O nitrato é normalmente a forma mais comum de nitrogênio presente em lagos e rios. A concentração e o padrão de suprimento do nitrato estão intimamente relacionados ao uso do solo (GOLDMAN & HORNE, 1994). Mudanças na vegetação natural da bacia de drenagem, causadas por remoção ou substituição da paisagem (de sistema natural para antrópico), contribuem para que a água da chuva lixivie os solos, carregando compostos nitrogenados para dentro do lago. Segundo MARGALEF (1983), este ingresso tende a aumentar por meio da agricultura e de despejos de esgotos industriais. TUNDISI (1988), em uma comparação do estado trófico de 23 reservatórios do estado de São Paulo, observou concentrações mais elevadas de nitrato nos reservatórios do rio Tietê, sendo que as maiores concentrações foram observadas no mês de maio, provavelmente em função de fontes agrícolas e de processamentos de cana-de-açúcar. Segundo BARBOSA *et al.* (1999), a área de entorno dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, constituídas anteriormente por extensas áreas de florestas, foram destinadas às plantações de café e nos dias atuais estão sendo ocupadas por áreas de plantação de cana-de-açúcar, contribuindo com um maior aporte de material para os sistemas.

O nitrito, fase intermediária entre a amônia e o nitrato e diretamente ligado à poluição orgânica, apresentou maiores concentrações em outubro/99, as quais foram detectadas, de um modo geral, nos rios Tietê e Piracicaba. Altos valores de íon amônio também foram verificados nos rios Tietê, Piracicaba e rio Bauru, evidenciando o grau de poluição desses sistemas. Segundo WETZEL (1993), a amônia está presente na água como íon amônio  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_4\text{OH}$  não dissociado, tornando-se altamente tóxica para muitos organismos. A proporção de  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NH}_4\text{OH}$  é dependente de dissociações dinâmicas determinadas pela temperatura e pH. De acordo com HUTCHINSON (1957), em pH igual a 6, a proporção de  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NH}_4\text{OH}$  é de 3000:1; para um pH igual a 7, a proporção é de 300:1; já para um pH igual a 8, essa proporção é igual a 30:1 e para um pH igual a 9,5 a proporção é de 1:1. No presente trabalho, de um modo geral, a proporção nas camadas superficiais pode ter sido de 3000:1, quando o pH esteve em torno de 7, com exceção de Bariri Montante, em outubro/99, cujo pH na superfície esteve próximo de 9,5, e a proporção pode ter sido de 1:1 e, dessa maneira, podendo provocar um efeito tóxico para organismos possivelmente presentes na água.

Em relação aos compostos fosfatados, verificou-se maiores concentrações no período chuvoso e as menores, no período seco. De um modo geral, as maiores concentrações foram observadas nos rios Tietê, Piracicaba e nos reservatórios de Barra Bonita até Promissão. A Resolução CONAMA 20/1986 estabelece um limite de  $25\mu\text{g/L}$  de fósforo total para rios de classe 2. Portanto, ao se comparar o valor estabelecido por lei com aqueles obtidos no presente trabalho, verifica-se que a maioria dos valores obtidos estiveram acima do limite estabelecido. Em outubro/99, os valores de fosfato total obtidos em todas as estações de coleta (exceto Nova Avanhandava Montante e Jusante) estiveram acima do permitido. Em fevereiro/00, todas os valores ultrapassaram o limite, exceto em Três Irmãos Montante. Em maio/00, o mesmo foi verificado, com exceção para Ibitinga Montante, Nova Avanhandava Jusante e Três Irmãos Montante e em julho/00, os valores de fósforo total acima do limite incluíram as estações de coleta do rio Tietê a Ibitinga Jusante

O fósforo é um elemento importante na realização de processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como o armazenamento de energia e estruturação da membrana celular. Na maioria das águas continentais, o fósforo é o

principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas. Todo fósforo presente em águas naturais encontra-se sob a forma de fosfato (ESTEVES, 1988).

Segundo o mesmo autor, o fosfato presente em ecossistemas tem origem de fontes naturais e artificiais. As fontes naturais representam as rochas da bacia de drenagem, material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição de organismos alóctone. As fontes artificiais de fosfato são: efluentes industriais, agrícolas, domésticos e material particulado de origem industrial contido na atmosfera (GOLDMAN & HORNE, 1994).

De acordo com TUNDISI (1988), os reservatórios do Médio e Baixo Tietê localizam-se em regiões de alta densidade populacional e atividades econômicas, sendo estas agrícolas e industriais em larga escala, as quais acabam se tornando fontes adicionais de nutrientes devido ao uso de fertilizantes.

O que faz os reservatórios em cascata limnologicamente específicos é o efeito que os reservatórios superiores têm sobre os inferiores (STRASKRABA *et al.*, 1993). Os reservatórios situados à jusante possuem fluxo mais rápido e tempo de residência da água mais curto. Os efeitos de acúmulo de nitrogênio e fósforo no primeiro reservatório à montante, e o curto tempo de residência nos reservatórios à jusante, podem resultar em baixas concentrações desses nutrientes nos últimos reservatórios. O efeito da diluição também é outro fator a ser considerado, assim, o primeiro reservatório tende a concentrar fósforo e nitrogênio no sedimento (TUNDISI, *op.cit.*).

HRBÁČEK & STRASKRABA (1976 *apud* STRASKRABA, *op.cit.*), estudando reservatórios situados em série na Tchecoslováquia, verificaram a redução de “blooms” de algas no reservatório de Slapy, após ser construído acima dele um outro reservatório. Segundo os autores, isso ocorreu devido à retenção de fósforo durante a passagem da água pelo reservatório superior e à redução da carga deste nutriente para o reservatório inferior, limitando o crescimento das algas.

No presente trabalho observou-se um gradiente decrescente de concentrações para as formas fosfatadas ao longo da cadeia de reservatórios, embora alguns valores mais altos tenham sido encontrados em reservatórios intermediários, quando comparados ao do primeiro sistema. Comparando a concentração de fósforo total da



água que entra nos reservatórios e comparando com aquela presente à jusante dos mesmos, observou-se uma redução significativa, como pode ser verificado nos reservatórios de Barra Bonita (38%, 56% e 87% em out/99, maio/00 e jul/00, respectivamente), Bariri (75% e 27% em fev/00 e jul/00, respectivamente), Ibitinga (71%, 12% e 39% em out/99, maio/00 e jul/00, respectivamente), Promissão (16%, 59%, 50%, 65% em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente), Nova Avanhandava (40%, 23%, 27% em out/99, fev/00 e maio/00, respectivamente) e Três Irmãos (14% em fev/00). Observou-se uma maior redução dos valores de fósforo total nos primeiros reservatórios da cascata. Por outro lado, um aumento na concentração deste nutriente também foi verificado: Barra Bonita (64% em fevereiro/00), Bariri (50% e 69%, em out/99 e maio/00, respectivamente), Ibitinga (46% em fev/00), Nova Avanhandava (100% em jul/00) e Três Irmãos (52%, 58% e 23%, em out/99, maio e jul/00, respectivamente)

A eficiência de retenção de fósforo por reservatórios parece depender tanto do tempo de retenção como da carga de fósforo presente, sendo que o processo de retenção tende a ser maior quando são maiores o tempo de retenção e a concentração do fósforo. STRASKRABA (1999) cita um exemplo, nos reservatórios da República Tcheca, onde houve tendência ao aumento da retenção do fósforo, conforme aumentava a concentração deste elemento. Segundo o autor, a capacidade dos reservatórios tropicais e temperados na retenção de componentes parece ser alta.

THOMAZ *et al.* (1997), estudando a limnologia do reservatório do Segredo, segundo da série de quatro reservatórios do médio rio Iguaçu (PR), observou que a água que entra no reservatório possui uma concentração média de fósforo total de 25µg/L, a qual foi reduzida para 16µg/L nas imediações da barragem. Segundo os autores, esse fenômeno atesta a capacidade que os reservatórios apresentam de acumular fósforo, o que os torna responsáveis pela redução do fosfato inorgânico registrada ao longo das cadeias de reservatórios da região sudeste do Brasil.

Os corpos de água situados no Estado de São Paulo recebem grandes cargas de fósforo oriundas de atividades agrícolas e industriais, resultando em elevada concentração de fósforo nos rios que não são represados (média anual de 283µg/L). Por outro lado, os grandes rios da bacia do Paraná possuem vários reservatórios onde o fósforo é precipitado e acumulado no sedimento. Este fato é sugerido pela redução

na concentração de fósforo obtida da água que sai do reservatório de Jupia, último da série de reservatórios situados nos rios Grande, Tietê e Paraná. O papel dos reservatórios é ainda evidenciado pela redução na concentração de fósforo no reservatório de Itaipu, onde a concentração de fósforo total é de 30µg/L à montante, e de apenas 18µg/L, à jusante (AGOSTINHO *et al*, 1995).

Em relação a não ocorrência de uma diminuição na concentração de fósforo total ao longo de todo o sistema em cascata no presente estudo, SANDES (1990) também verificou valores superiores de fósforo no reservatório de Bariri, quando comparou com os obtidos em Barra Bonita. Segundo o autor, a presença de cargas pontuais (resíduos domésticos e industriais) e difusas (fontes agrícolas) da bacia de drenagem, bem como as condições propícias à ressuspensão do sedimento teriam contribuí para tal fato. BARBOSA *et al.* (1999) observaram, para o período de fevereiro de 1999, altas concentrações de fósforo total no rio Tietê (284µg/L), bem como a ocorrência de uma diminuição deste nutriente no primeiro reservatório da série (62,8µg/L), seguida por um aumento no segundo reservatório (87,0µg/L) e por uma diminuição ao longo dos demais reservatórios.

Nos reservatórios em cascata do baixo rio São Francisco, ROCHA *et al.* (2000) observaram uma retenção dos nutrientes nos compartimentos laterais do sistema (braços correspondentes à entrada dos rios temporários), porém no corpo central isso não foi observado, devido ao baixo tempo de retenção e ao aporte de material. Segundo os autores, o comportamento do sistema como um todo é de conservar as características físicas, biológicas e químicas, não havendo visíveis alterações na água, do início e ao final da cascata, fato não observado para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

No rio Savannah (Georgia - USA), KIMMEL *et al.* (1988) constataram a redução na concentração de nutrientes no interior de três reservatórios construídos em série mas, ao mesmo tempo, um aumento na concentração dos nutrientes de um reservatório para o outro. Segundo os autores, a decomposição de matéria orgânica inundada, devido à recente construção do segundo reservatório da série, tem contribuído para este fato.

Em relação ao silicato, no presente trabalho, de um modo geral, observou-se uma concentração e distribuição semelhantes durante todo o período de estudo, mas

um aumento desse nutriente nos últimos reservatórios da cascata. Tal fato também foi observado por BARBOSA *et al.* (1999), que encontraram um aumento da sílica em direção inferior da cascata, sendo que tais valores excediam os níveis considerados como limitantes para o crescimento de diatomáceas.

De acordo com ALLAN (1995), o ciclo da sílica é simples: a principal forma dissolvida é o ácido silícico, que originado do desgaste das rochas e de cargas antropogênicas, é assimilado por diatomáceas para a formação de suas frústulas e liberado por dissolução química. De acordo com WETZEL (1993), o conteúdo de sílica em águas naturais é menos variável que muitos outros constituintes inorgânicos e a média mundial é de cerca de 13 mg/L, com pequenas variações entre os continentes.

Em relação à clorofila, no presente estudo, os maiores valores foram verificados no período chuvoso. Apesar de ter ocorrido um maior aporte de material para dentro dos reservatórios, reduzindo a atividade fotossintética pela atenuação de luz, como já anteriormente discutido com bases nos dados de material em suspensão e transparência da água, as maiores concentrações de clorofila encontradas no período chuvoso podem ser explicadas pela capacidade das algas realizarem a fotoadaptação compensatória (REYNOLDS, 1999). Muitas algas são capazes de alguma fotoadaptação compensatória, principalmente por aumento do conteúdo de massa específica de clorofila ou por acentuação de seus pigmentos acessórios, que as auxiliam a garantir que mais fótons sejam absorvidos sobre uma faixa mais ampla de comprimentos de onda, aumentando a capacidade fotossintética durante o curto período em que permanecem expostas à luz. A concentração de nutrientes como o fósforo, pode ser relacionada com a biomassa algal, sendo que os mais altos valores de fósforo foram também encontrados no período chuvoso.

Em relação à variação espacial, verificou-se um decréscimo na concentração de clorofila no sentido do reservatório de Barra Bonita ao de Três Irmãos, embora alguns reservatórios intermediários tenham apresentado concentrações mais elevadas do que o primeiro do sistema, evidenciando o processo de eutrofização à jusante do reservatório. Valores obtidos por BARBOSA *et al.* (1999), nos reservatórios do rio Tietê, no período chuvoso de 1999, apontam que as concentrações nos dois primeiros reservatórios da cascata (Barra Bonita e Bariri) elevaram-se em relação ao obtido no

rio Tietê, permanecendo igual em Ibitinga e mostrando um leve aumento nos demais reservatórios.

Na avaliação dos recursos hídricos, as características físicas e químicas do sedimento também devem ser consideradas porque podem influenciar as condições ambientais. No presente trabalho, a análise de granulometria demonstrou um predomínio de argila e silte nos rios Tietê e Piracicaba e nos reservatórios de Barra Bonita a Promissão, e de areia nos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos. Esses resultados podem estar relacionados às diferenças quanto às formações geológicas da bacia de drenagem do rio Tietê, que resultam em solos de textura mais argilosa na região onde se localizam os quatro primeiros reservatórios da série, e de solos mais arenosos nos trechos onde se situam os reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos (SÃO PAULO, 1981). Os freqüentes processos erosivos observados nos sistemas terrestres e as várias atividades das mineradoras têm aumentado significativamente a carga de argila dos corpos de água em diferentes regiões do Brasil (ESTEVES, 1988). De acordo com TUNDISI (2000), os grandes reservatórios implementados no Estado de São Paulo acarretaram, entre outros problemas ambientais, uma deflorestação excessiva (restam apenas 2% da cobertura vegetal original existente no início do século). Tal fato contribui, entre outros fatores, para o processo de assoreamento dos reservatórios, uma vez que estes caracterizam-se por serem sistemas com características cumulativas.

BHOWMIK & ADAMS (1989), neste sentido, constataram que após a construção de várias represas ao longo do rio Mississipi e rio Illionis (Estados Unidos), a aceleração do processo de sedimentação dentro dos corpos de água ocasionou alterações na profundidade relativa da água e no desenvolvimento de bancos de macrófitas. O desenvolvimento de macrófitas nos reservatórios do sistema Tietê também foi verificado, uma vez que bancos extensos de macrófitas foram observados nos primeiros reservatórios, principalmente as flutuantes, ocorrendo uma substituição pelas submersas nos reservatórios onde a penetração de luz é maior.

Segundo MARGALEF (1983), a sedimentação em reservatórios é um problema preocupante pois, na maioria das vezes, a vida útil dos mesmos é relativamente breve (cerca de 60 a 70 anos). O autor considera que o aporte de sedimento para dentro dos reservatórios depende da conservação dos solos e da

intensidade do processo erosivo, sendo preferível deixar a vegetação natural, ainda que seja escassa ou degradada. Além disso, deve-se considerar que o processo de sedimentação ocorre de forma diferenciada em cada reservatório, em função da morfometria do sistema, do tempo de retenção e do tipo de sedimento. Quando o sedimento chega ao reservatório, contém uma apreciável quantidade de material grosseiro ou finos coagulados, ocorrendo maior sedimentação na entrada, onde a capacidade de transporte é diminuída. Por isso, os materiais mais grossos são depositados no interior do reservatório. Porém, quando o sedimento é composto de matérias finas, a sedimentação é feita nas partes baixas do reservatório (VILLELA & PONCE, 1985).

Os valores de matéria orgânica presente no sedimento foram mais elevados nos rios Tietê, Piracicaba e Bauru e nos quatro primeiros reservatórios da cascata, com valores menores nos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos, reservatórios mais recentes no sistema. OLVERA-VIASCÁN *et al.* (1998), estudando o reservatório de Valle do Bravo (México), um ambiente eutrofizado, associaram a alta porcentagem de matéria orgânica do sedimento (18%) às atividades humanas na área de entorno e à entrada de material, através dos tributários. De acordo com UNGEMACH (1965), citado em ESTEVES (1988), o sedimento lacustre pode ser classificado em: 1) sedimento orgânico (nível de matéria orgânica maior do que 10%) e 2) sedimento inorgânico (nível de matéria orgânica menor do que 10%). Baseado nessa classificação, no presente trabalho, o sedimento dos rios Tietê, Piracicaba e Bauru e dos reservatórios de Barra Bonita à Promissão, são classificados como orgânicos, enquanto os dos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos podem ser classificados como inorgânicos.

Os valores de nitrogênio orgânico no sedimento foram maiores em outubro/99. No período de estudo, de um modo geral, os maiores valores foram observados nos rios Tietê e Piracicaba e nos reservatórios de Barra Bonita a Promissão, com uma redução nos dois últimos reservatórios da cascata. Observou-se também uma redução na porcentagem de nitrogênio no sedimento, no início do reservatório para a região à jusante, como pode ser observado para Barra Bonita (15%, 22% e 80%, em fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente), Bariri (45%, 20%, 92% e 74% em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente), Ibitinga (35% em

out/99), Promissão (44%, 89%, 94% e 90% em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00 respectivamente), Nova Avanhandava (69%, 50%, 60% e 60% em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente) e Três Irmãos (3%, 14%, 16% em fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente). Para alguns reservatórios, em determinadas estações de coleta, não ocorreu uma redução na concentração de nitrogênio no sedimento, mas sim um aumento desta concentração, como pode ser observado em Barra Bonita (18% em out/99), Ibitinga (128%, 214% e 2960%, em fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente) e Três Irmãos (90% em out/99).

Segundo ESTEVES (1988), a desnitrificação, que constitui na redução de nitrato a nitrogênio molecular, ocorre em condições anaeróbicas e no sedimento. Os valores de nitrogênio orgânico no sedimento obtidos no presente trabalho, se comparados com os valores obtidos por ESTEVES & CAMARGO (1982) nos reservatórios de Barra Bonita a Promissão, mostraram-se bastante elevados, sendo quase 60 a 100 vezes maiores do que aqueles verificados pelo autor. Segundo STRASKRABA (1999), o processo de acumulação de nitrogênio em sedimentos aquáticos necessita ser melhor investigado.

Em relação ao fósforo, sabe-se que sua troca entre a água e o sedimento é um dos fatores mais importantes do ciclo deste elemento nas águas naturais. No presente trabalho, os maiores valores de fósforo total no sedimento foram verificados em outubro/99. Como observado para os valores de fósforo total na água, verificou-se uma redução na concentração de fósforo total no sedimento, no início do reservatório para a região à jusante, como pode ser observado para Barra Bonita (1%, 28%, 60% e 42%, em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente), Bariri (7% em out/99), Ibitinga (7%, 29%, 19%, 7% em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente), Promissão (46%, 85%, 78% e 77% em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente) Nova Avanhandava (29%, 5% e 68% em out/99, fev/00 e maio/00 respectivamente) e Três Irmãos (51%, 7% e 87% em fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente).

Como observado para o nitrogênio orgânico, também ocorreu um aumento na concentração do fósforo total no sedimento em Bariri (33%, 161% e 79% em fev/00, maio/00 e jul/00), Nova Avanhandava (206% em jul/00) e Três Irmãos (4% em out/99). O reservatório de Promissão parece ser um grande retentor de fósforo total

na água e no sedimento, bem como de nitrogênio no sedimento, o que pode estar associado ao seu elevado tempo de retenção. Vários fatores físicos e químicos interferem na precipitação (imobilização) do íon fosfato no ambiente aquático, entre eles destacam-se a concentração do íon ferro, alumínio, sulfetos, pH e condições de oxidação-redução. A argila tem grande capacidade de adsorção ao fosfato pois esta, ao atingir o ecossistema aquático, pode, dependendo das condições do meio e das concentrações de ferro e alumínio, precipitar grandes quantidades de fosfato, reduzindo a concentração deste íon na água (ESTEVES, 1988).

ESTEVES & TOLENTINO. (1983), em uma caracterização do sedimento dos reservatórios do Estado de São Paulo, verificaram que a maioria destes que apresentaram os maiores valores de fósforo total também mostraram altos níveis de matéria orgânica e argila no sedimento. No presente trabalho, de um modo geral, isso também foi verificado. KURATA (1989), avaliando a qualidade da água no Lago Biwa (Japão), também verificou uma relação entre as partículas de menor tamanho (silte e argila) e os valores de fósforo total e nitrogênio total no sedimento.

Os reservatórios do Médio e Baixo Tietê encontram-se em uma ampla área do Estado de São Paulo, atravessando regiões com plantios de cana-de-açúcar, centros urbanos e áreas de pastagens, sendo que essas atividades acabam contribuindo para que substâncias tóxicas cheguem aos reservatórios, através de fontes pontuais ou difusas, sem considerar a elevada carga original trazida pelos rios Tietê e Piracicaba. Um dos grandes problemas relacionados à construção de reservatórios em cascata no Estado de São Paulo, segundo TUNDISI (1999), é a poluição das águas e o aumento da sua toxicidade.

Os poluentes aquáticos podem ser classificados: elementos-traços (metais pesados), radionucleicos, poluentes inorgânicos (nutrientes, acidez, alcalinidade em excesso) e poluentes orgânicos (herbicidas e pesticidas). Os metais são elementos de grande importância, pois muitos deles são essenciais, em baixos níveis, mas tóxicos em níveis elevados (MANAHAM, 1994). A maioria dos metais faz parte, embora em pequeníssimas concentrações, tanto da constituição da crosta terrestre como dos organismos, mas, com a intensa industrialização, a concentração desses elementos tem aumentado de maneira surpreendente, tornando-se uma das mais graves formas de poluição ambiental (ESTEVES, 1988). Uma vez lançados na água, uma grande

quantidade de metais é adicionado aos sedimentos aquáticos, o que representa uma ameaça aos organismos que aí vivem, e ao homem que, direta ou indiretamente, encontra-se em contato com a água e com os produtos oriundos deste ambiente contaminado (TOMAZZELI, 1999).

Comparando as concentrações médias de metais totais na água verificadas no presente trabalho, com aquelas obtidas por TONISSI (1999), no reservatório de Salto Grande (Americana-SP), um sistema impactado, observa-se valores de metais superiores nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, com exceção de cobre e ferro. PRINTES (1996) determinou, nas águas da região carbonífera do Baixo Jacuí (Rio Grande do Sul), valores superiores aos observados no presente estudo para o cobre, ferro, magnésio e zinco, sendo que o autor relacionou os altos níveis de magnésio, manganês e zinco à drenagem ácida das minas, que estão sendo responsáveis pela contaminação da água dessa região. SARMANI (1989), avaliando a qualidade da água do rio Langat (Malásia), detectou concentrações mais elevadas de cádmio e zinco, quando comparadas com as concentrações obtidas no presente estudo, bem como altos valores de arsênio, (0,2mg/L), verificando-se uma relação com o uso de herbicidas contendo arsênio em plantações ao longo do rio (Tabela 06).



TABELA 06 - Concentrações de metais totais em amostras de água de rios e represas.

Local	Metais totais (mg/L)							
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn
Rio Langat (Malásia) <sup>a</sup>	0,06	-	-	-	-	-	-	0,23
Rio Jacuí (RS) <sup>b</sup>	-	-	0,01	0,19	2,27	2,72	0,50	0,09
Rep. Salto Grande (SP) <sup>c</sup>	0,001	-	0,046	0,022	0,481	-	0,031	0,057
Rep. Barra Bonita (SP) <sup>d</sup>	0,005	0,008	0,025	0,004	0,390	0,047	2,100	0,063
Rep. Bariri (SP) <sup>d</sup>	0,005	0,02	0,042	ND	0,431	0,069	2,295	0,061
Rep. Ibitinga (SP) <sup>d</sup>	0,002	0,01	0,095	0,002	0,370	0,039	2,001	0,077
Rep. Promissão (SP) <sup>d</sup>	0,003	0,02	0,061	ND	0,238	0,013	1,920	0,031
Rep. Nova Avanhandava (SP) <sup>d</sup>	0,005	0,03	0,055	0,007	0,217	0,006	0,129	0,058
Rep. Três Irmãos (SP) <sup>d</sup>	0,006	0,01	0,095	ND	2,085	0,015	1,890	0,065

<sup>a</sup> SARMANI (1989), <sup>b</sup> PRINTES (1996), <sup>c</sup> TONISSI (1999) e <sup>d</sup> presente estudo (valores referentes as amostras de água obtidas nas estações a montante da barragem de cada reservatório). ND = não detectado

No presente trabalho, observou-se que as concentrações obtidas para cádmio (em todas as estações de coleta e em todos os períodos de amostragem), cromo (em maio/00, para todas as estações de coleta), cobre (em outubro/99, para Nova Avanhandava Montante) e zinco (em fevereiro/00, para o rio Piracicaba) estavam acima do permitido pela resolução Conama 20/1986 para rios de classe 2.

Segundo dados obtidos pela CETESB (1998), valores de metais totais na água, acima do permitido pela Resolução CONAMA 20/86 para rios de classe 2, foram também registrados nos rio Tietê (cádmio, cobre, cromo, chumbo e zinco) e nos reservatórios de Barra Bonita e Bariri (cádmio) e no reservatório de Três Irmãos (níquel). Segundo a CESP (1998), valores acima do limite permitido para mercúrio foram encontrados na água, no sedimento e em tecidos de peixes no reservatório de Barra Bonita.

De um modo geral, no presente estudo verificou-se maiores concentrações na água, de cádmio, cobre e zinco, em outubro/99, de magnésio e ferro, em fevereiro/00

e de cromo, em maio/00. Não se observou um gradiente decrescente das concentrações dos metais ao longo da cascata de reservatórios, mas sim um aumento dos valores de alguns metais do rio Tietê aos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos, como pode ser observado para o cromo em outubro/99, em Três Irmãos Montante (74 vezes maior) e para o cobalto em julho/00, em Nova Avanhandava Montante (4 vezes maior), em relação às concentrações obtidas no rio Tietê. Tal fato pode refletir que estes ecossistemas comportam-se diferentemente quanto à quantidade de metais na água, sendo que cada elemento deve sofrer interações distintas nos diferentes ambientes.

A fase estável de metais, na superfície da água, parece estar adsorvida a espécies. Importantes retentores de metais são os hidróxidos de ferro e manganês, carbonato, íons sulfeto, matéria orgânica e argila. Estudos realizados em rios mostram que os hidróxidos de ferro e de manganês são os principais retentores para o Cd, Zn e Ni e a fração orgânica é importante para a absorção de cobre e, em alguns casos, para a do chumbo (SALOMONS *et al.*, 1987). No presente trabalho, maiores concentrações de material em suspensão total e argila foram registrados nos rios Tietê e Piracicaba e nos primeiros reservatórios da cascata, o que poderia explicar os menores valores de certos metais (cromo) nessas estações de coleta, quando comparados aos valores obtidos nos últimos reservatórios. LITHNER *et al.* (2000), estudando a dinâmica de metais em um lago eutrófico e em um lago oligotrófico na Suíça, constataram o decréscimo na concentração de metais na coluna de água, no lago eutrófico. Segundo os autores, em condições eutróficas, há uma maior biomassa algal, aumento do fluxo de matéria orgânica particulada e, provavelmente, uma maior a maior retenção de metais. Condições de anoxia promovem a liberação de íons  $S^{-}$  do sedimento e o seqüestro de metais para este compartimento como sulfetos. Neste contexto, pode-se dizer que os rios Tietê e Piracicaba e o reservatório de Barra Bonita, considerados sistemas eutrofizados, poderiam estar retendo certos metais devido à maior quantidade de matéria particulada presente.

Nos estudos de poluição e efeitos de metais é importante reconhecer a fração móvel ou disponível deste elemento. É esta fração que será responsável pela contaminação de organismos bentônicos e da coluna d'água, o que pode, conseqüentemente, acarretar a bioacumulação e a biomagnificação (TONISSI, 1999).

Sedimentos são depósitos complexos de partículas inorgânicas, matéria orgânica e constituintes adsorvidos e dissolvidos; portanto, a caracterização físico-química destes sedimentos quanto ao seu perfil granulométrico, pH, quantidade de matéria orgânica e concentração de metais pesados são de grande importância para o conhecimento dos processos naturais ou antrópicos que ocorrem neste sistema (DA SILVA & SILVA, 1999).

De acordo com MOALLA *et al.* (1998), a concentração de metal fornece uma importante informação sobre o nível de poluição, desde que a formação ou a composição geoquímica seja conhecida. Para avaliar o impacto de poluentes no sedimento, a concentração de metais não é apenas suficiente, pois a forma química do metal no sedimento determina o seu comportamento e sua mobilidade no ambiente.

Comparando os valores dos metais biodisponíveis obtidos no presente estudo com as concentrações obtidas na Estação Ecológica de Jataí (um ecossistema considerado não poluído), observa-se que os valores das concentrações de cádmio, cobre, cobalto, manganês, chumbo e zinco são elevadas em todos os reservatórios (exceto em Três Irmãos para as concentrações de cobalto, cobre, manganês e zinco), demonstrando o alto grau de impactação do sistema e o potencial de liberação de substâncias tóxicas a partir do sedimento (Tabela 07).

As concentrações médias de metais biodisponíveis encontradas para os quatro períodos de coleta no presente trabalho, quando comparadas com os resultados obtidos por TONISSI (1999) para o reservatório de Salto Grande, Americana (SP), são maiores em todas as estações de coleta para o cádmio, cromo, ferro, chumbo, cobre, manganês (exceto nos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos para o cobre e o manganês) e apenas menores em relação ao zinco, como pode ser observado na Tabela 07.

ESTEVES *et al.* (1981), analisando o teor de metais no sedimento de quatro reservatórios do rio Tietê, através de extração com HCl 0,5N (extração branda), verificou valores mais elevados em Barra Bonita e Bariri, com relação ao Cd (0,77mg/Kg e 0,70mg/Kg), Pb (23,5mg/Kg e 27,2mg/Kg) e Zn (25,10mg/Kg e 30,80mg/Kg), respectivamente. O reservatório de Ibitinga apresentou valores mais elevados do que os de Barra Bonita em relação aos seguintes metais: Cu (28,3 mg/Kg

e 27,5 mg/Kg), Fe (17135,0 mg/Kg e 27866,7mg/Kg), Mn (474,0mg/Kg e 403,7mg/Kg) e Co (8,2mg/Kg e 6,7 mg/Kg).

As concentrações encontradas para metais biodisponíveis nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP) no presente trabalho, quando comparadas com aquelas obtidas por ESTEVES *et al.* (1981), demonstram um aumento nos valores, evidenciando o processo de deterioração destes reservatórios ao longo do tempo (Tabela 07). Segundo o autor, os níveis de metais encontrados no sedimento são devidos às alterações ocorridas no ambiente, apontando como causa de contaminação os esgotos domésticos, efluentes industriais e insumos agrícolas.

TABELA 07 - Comparação entre as concentrações de metais biodisponíveis na Estação Ecológica de Jataí e em algumas represas do estado de São Paulo.

Local	Concentração de metais biodisponíveis (mg/Kg)							
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Estação Ecológica de Jataí <sup>a</sup>	0,06	7,10	-	7,72	31,78	125,6	1,79	7,30
Rep. Salto Grande <sup>b</sup>	0,08	-	7,21	24,50	790,6	246,11	9,77	78,27
Rep. Barra Bonita								
1981 <sup>c</sup>	0,77	6,7	9,60	27,5	8.745,4	403,7	23,5	25,1
1999/2000 <sup>d</sup>	1,78	21,70	20,18	35,03	9.621,99	3.154,15	53,50	64,33
Rep. Bariri								
1981 <sup>c</sup>	0,70	16,10	14,00	60,70	27.866,7	626,0	27,20	30,8
1999/2000 <sup>d</sup>	1,63	17,48	23,35	54,22	12.754,31	3.227,58	51,85	62,01
Rep. Ibitinga								
1981 <sup>c</sup>	0,53	8,20	8,40	28,3	17.135,0	474,00	20,3	21,20
1999/2000 <sup>d</sup>	1,74	11,48	21,02	35,95	11.712,08	1.955,74	50,69	28,54
Rep. Promissão								
1981 <sup>c</sup>	0,10	1,30	2,00	21,80	10.847,5	60,00	6,01	2,60
1999/2000 <sup>d</sup>	1,40	9,89	31,10	27,33	7.528,96	788,93	55,67	18,56
Rep. Nova Avanhandava								
1981 <sup>c</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
1999/2000 <sup>d</sup>	2,08	17,45	24,57	20,66	2.445,65	237,82	60,33	11,62
Rep. Três Irmãos								
1981 <sup>c</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
1999/2000 <sup>d</sup>	2,13	4,68	25,75	7,46	613,57	108,13	53,00	3,82

<sup>a</sup> LIMA (1990), <sup>b</sup> TONISSI (1999), <sup>c</sup> ESTEVES *et al.* (1981) e <sup>d</sup> presente estudo

No presente estudo, os maiores valores médios de cádmio foram registrados no reservatórios de Três Irmãos e Nova Avanhandava (2,08mg/Kg e 2,13mg/Kg, respectivamente), cobalto no rio Tietê e Barra Bonita Jusante (38,70mg/Kg e 25,67mg/Kg, respectivamente), cobre no rio Bauru e em Bariri Montante (55,36mg/Kg e 54,22mg/Kg, respectivamente), cromo no rio Piracicaba e Ibitinga Jusante (35,22mg/Kg e 32,00mg/Kg, respectivamente), ferro no rio Tietê e em Bariri Montante (15.098,00mg/Kg e 12.754,31mg/Kg, respectivamente), manganês em Bariri Montante e Barra Bonita Montante (3.227,58mg/Kg e 3.154,15mg/Kg, respectivamente) e magnésio no rio Piracicaba e Bariri Montante (819,23mg/Kg e 568,08mg/Kg, respectivamente). Verificou-se valores mais elevados no rios Bauru e Tietê para o chumbo (85,83mg/Kg e 78,33mg/Kg, respectivamente) e zinco (102,34mg/Kg e 93,57mg/Kg, respectivamente). Observa-se que as maiores concentrações de metais biodisponíveis encontram-se nos rios Tietê, Piracicaba e Bauru, demonstrando a influência antrópica nesses rios e a conseqüência desta para a qualidade ambiental dos reservatórios do Médios e Baixo Tietê.

De um modo geral, no presente estudo verificou-se, maiores concentrações de cádmio, cobalto, cobre, magnésio e chumbo em julho/00, de cromo em maio/00 e magnésio, em outubro/99. Observou-se um gradiente decrescente das concentrações de ferro, manganês e zinco ao longo da cascata de reservatórios. Por outro lado, verificou-se um aumento dos valores de cádmio, cromo e chumbo do reservatório de Barra Bonita em direção aos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos, como pode ser observado para os valores de cádmio (aumento de 85% em Três Irmãos Montante, em julho/00), chumbo (aumento de 19% em Nova Avanhandava Montante, em julho/00) e cromo (aumento de 34% em maio/00, em Três Irmãos Montante), em relação às concentrações obtidas no reservatório de Barra Bonita. Tal fato pode estar relacionado com a presença de fontes de poluição difusas nos últimos reservatórios ou devido à questão da biodisponibilidade de metais.

Segundo NEWMAN & JAGOE (1994), a biodisponibilidade de metais é influenciada por fatores químicos, físicos e biológicos. Os fatores químicos incluem aqueles que influenciam a complexação, a precipitação, coprecipitação e adsorção química. Os fatores físicos incluem a temperatura, seqüestro de metais em uma fase sólida e regime deposicional ditado pelo movimento da água enquanto os fatores

biológicos abrangem as interações tróficas, tamanho e idade do organismo e características particulares da espécie. A grande classe de químicos que modificam a biodisponibilidade é a dos ligantes, que são ânions ou moléculas que formam compostos complexos com metais e possuem ações direta (seqüestro de metais por complexação) ou indireta (modificando a função de um órgão em um organismo para reter metais). Também é importante a análise do conteúdo de sulfetos volatilizáveis por ácidos (AVS) de sedimentos, pois tem-se observado o seu controle sobre a biodisponibilidade de certos metais (ADAMS, 1995). Baixas concentrações de oxigênio dissolvido, e conseqüentemente valores baixos ou negativos do potencial redox, propiciam maior liberação de compostos metálicos do sedimento e o íon  $S^{2-}$  é o principal agente que reduz a biodisponibilidade neste tipo de sedimento.

As baixas concentrações de alguns metais (cádmio, cromo e chumbo) encontradas no reservatório de Barra Bonita, em relação aos últimos reservatórios do sistema em cascata, podem demonstrar a possibilidade de que o primeiro reservatório e seus principais rios formadores não apresentem características químicas e dinâmicas propícias à liberação de metais do sedimento. Sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido, como aquelas observadas nos rios Tietê e Piracicaba (em outubro/99 e julho/00), os sulfetos desempenham um importante papel na biodisponibilidade e toxicidade de metais, formando compostos com metais de baixa disponibilidade (Di TORO *et al.*, 1990).

Além disso, observa-se o predomínio da frações argila e silte em relação à areia nos primeiros reservatórios da cascata, o que poderia resultar em uma maior existência de sítios de ligação aos metais, bem como a maior porcentagem de matéria orgânica. Como resultado de uma grande razão entre área superficial e volume, os sedimentos de textura fina (com maiores porcentagens de argila e silte) possuem maior capacidade de reter químicos, quando comparados com os de textura mais grossa, que possuem menos sítios de ligação para metais (RAND *et al.*, 1995) e tal fato acaba influenciando o conteúdo de metais e contaminantes em rios e reservatórios (WALLING & MOOREHEAD, 1989). De acordo com MANAHAM (1994), cádmio, chumbo e zinco tendem a ser altamente retidos pela argila.

POPE (1998) verificou, ao longo do reservatório de Cheney (Kansas, Estados Unidos), variações nas concentrações de metais no sedimento relacionadas às

características granulométricas. Segundo o autor, a área próxima à barragem, região mais profunda e menos suscetível à ressuspensão do sedimento pela ação do vento, apresentava uma maior porcentagem de argila que continha uma alta concentração de metais incorporados em sua matriz mineral ou retida em sua superfície.

A metodologia adotada no presente trabalho, foi a de extração com HCl 0,1M e de acordo com ESTEVES *et al.* (1981), o ácido clorídrico diluído é um agente extrator fraco, que dissolve os metais que foram precipitados, adsorvidos e complexados ao sedimento, atacando de modo desprezível os silicatos. COOPER & MORSE (1998) ressaltam que nem todos os sulfetos metálicos são solúveis em HCl diluído, o que acarretaria a não extração de metais associados a esta espécie.

Em relação ao grau de trofia, de um modo geral, ao longo da cascata de reservatórios do Médio e Baixo Tietê, observou-se uma diminuição do grau de trofia em relação a todas as variáveis (transparência da água, fósforo total, fosfato inorgânico e clorofila-a), o que pode estar relacionado aos processos de retenção de material suspenso e de nutrientes nos primeiros reservatórios da cascata e ao uso e ocupação da área de entorno dos reservatórios. Contudo, verificou-se valores superiores do índice de estado trófico em alguns reservatórios intermediários, no mês de maio de 2000, quando comparados ao do primeiro reservatório da série, como pode ser observado em Bariri Jusante (estado trófico médio igual à 60), em relação a Barra Bonita Montante (estado trófico igual à 42) (Figura 43).

Em relação à variação sazonal, no período chuvoso, devido ao maior aporte de material para dentro do sistema e a maior liberação de nutrientes através da remoção pelo fluxo, por processos biológicos ou químicos, as condições eutróficas e mesotróficas foram mais elevadas em comparação ao período seco. No período seco, o menor fluxo d'água e o maior tempo de residência (ocasionados pelos menores índices pluviométricos) favoreceram a sedimentação do material que chega ao reservatório, verificando-se a predominância de condições mesotróficas e oligotróficas. (Figura 43).

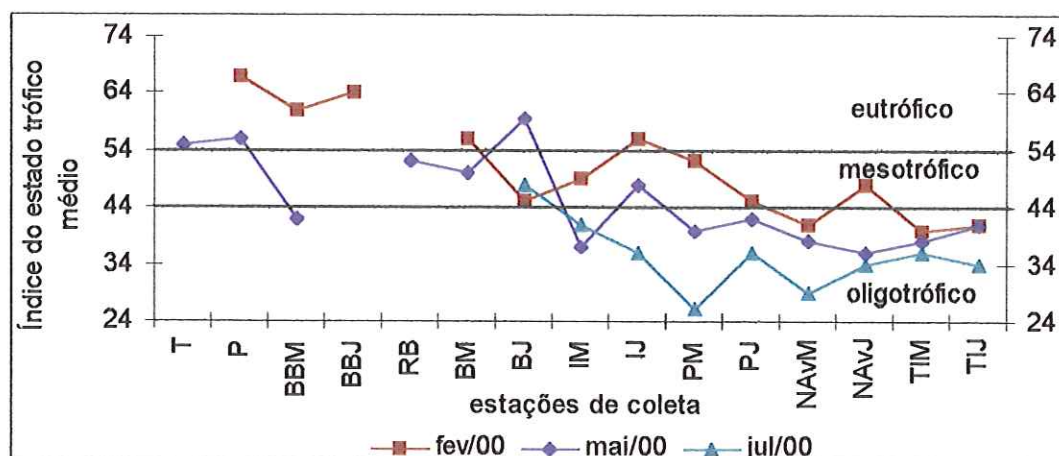


FIGURA 43 – Variação no grau de trofia dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), no período de estudo. T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), RB (rio Bauru), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TUNDISI (1988), ao analisarem o estado trófico dos reservatórios do rio Tietê por meio do índice de CARLSON (1977), classificaram como eutróficos os reservatórios de Barra Bonita a Nova Avanhandava, com base nos valores obtidos para clorofila e condutividade, e os reservatórios de Barra Bonita, Bariri e Ibitinga foram classificados como mesotróficos e Promissão e Nova Avanhandava, como oligotróficos, em relação aos valores de fosfato inorgânico.

De acordo com o autor, a eutrofização dos reservatórios do Estado de São Paulo tem várias causas: a) esgotos domésticos, como resultado do aumento da população urbana (fontes pontuais) dos grandes e pequenos centros urbanos; b) entrada de materiais advindos de regiões rurais (fontes difusas), que resultam dos esgotos domésticos e de propriedades rurais de pequeno porte, bem como de materiais das terras agrícolas (fontes pontuais e não pontuais como fertilizantes orgânicos e inorgânicos); c) águas residuárias sem tratamento, oriundas de pequenos centros urbanos e rurais; d) entradas atmosféricas de áreas próximas às regiões industrializadas e e) descargas industriais (fontes pontuais).

Comparando os índices de estado trófico, baseados nos parâmetros fosfato inorgânico e clorofila-a, obtidos para os reservatórios do rio Tietê, em 1979, com os



do presente estudo, observa-se um aumento da eutrofização nos reservatórios de Barra Bonita a Promissão, e a manutenção da condição trófica no reservatório de Nova Avanhandava, após 20 anos. BARBOSA *et al.* (1999) relatam também o aumento da eutrofização nesses reservatórios e, segundo os autores, o esgoto não tratado da cidade de São Paulo é a maior fonte de carga orgânica para o reservatório de Barra Bonita, sendo um exemplo claro do aumento daquele processo na bacia do rio Tietê. Verifica-se também que os elevados índices de precipitação e o curto tempo de retenção, como anteriormente já citado, representam um pulso forte de nutrientes e de material em suspensão para dentro dos sistemas e, conseqüentemente, aumentam o excesso de nutrientes levando ao desenvolvimento de condições eutróficas (Tabela 08).

TABELA 08 – Índices de estado trófico para os valores de fosfato inorgânico e clorofila-*a* das represas em cascata do rio Tietê (SP) em estações localizadas à montante da barragem, nos períodos chuvosos e seco em 1979/1980 e 1999/2000.

Represas	Período chuvoso				Período seco			
	IET (PO <sub>4</sub> )		IET (Clorofila- <i>a</i> )		IET (PO <sub>4</sub> )		IET (Clorofila- <i>a</i> )	
	<sup>a</sup> 1979/ 1980	<sup>b</sup> 1999/ 2000	<sup>a</sup> 1979/ 1980	<sup>b</sup> 1999/ 2000	<sup>a</sup> 1979/ 1980	<sup>b</sup> 1999/ 2000	<sup>a</sup> 1979/ 1980	<sup>b</sup> 1999/ 2000
Barra Bonita	42 (O)	63 (E)	-	61 (E)	23 (O)	-	-	60 (E)
Bariri	42 (O)	60 (E)	50 (M)	57 (E)	42 (O)	-	31 (O)	46 (M)
Ibitinga	39 (O)	53 (M)	54 (M)	52 (M)	43 (O)	32 (O)	31 (O)	49 (M)
Promissão	32 (O)	48 (M)	49 (M)	58 (E)	36 (O)	19 (O)	49 (M)	56 (E)
Nova Avanhandava	39 (O)	29 (O)	48 (M)	50 (M)	38 (O)	20 (O)	54 (M)	52 (M)
Três Irmãos	-	40 (O)	-	39 (O)	-	35 (O)	-	36 (O)

<sup>a</sup>GÜNTZEL (2000), <sup>b</sup> presente estudo, E (eutrófico), M (mesotrófico) e O (oligotrófico)

Comparando os índices de estado trófico dos reservatórios em cascata do rio Tietê com os valores obtidos para outros reservatórios do Estado de São Paulo, verifica-se que os reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê estão em estado avançado de eutrofização, bem como o reservatório do rio Atibaia e os do rio

Paranapanema (Tabela 09). TUNDISI (1988) constatou que os reservatórios do rio Tietê são os mais eutróficos, seguidos pelos reservatórios do rio Grande e Paranapanema.

TABELA 09 - Valores obtidos para os índices de estado trófico em relação aos valores de fosfato inorgânico e clorofila-*a* das represas dos rios Tietê, Paranapanema, Paraná e Atibaia.

rios e represas	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila)	ET
rio Tietê				
Represa de Barra Bonita <sup>a</sup>	57	E	54	E
Represa de Bariri <sup>a</sup>	46	M	50	M
Represa de Ibitinga <sup>a</sup>	39	O	47	M
Represa de Promissão <sup>a</sup>	34	O	55	E
Represa de Nova Avanhandava <sup>a</sup>	24	O	51	M
Represa de Três Irmãos <sup>a</sup>	24	O	42	O
rio Paraná				
Represa de Ilha Solteira <sup>b</sup>	50	M	21	O
Represa de Jupia <sup>b</sup>	40	O	33	O
rio Paranapanema				
Represa de Jurumirim <sup>b</sup>	52	M	18	O
Represa de Capivara <sup>b</sup>	49	M	30	O
rio Atibaia				
Represa de Salto Grande <sup>c</sup>	61	E	49	M

<sup>a</sup> presente estudo, <sup>b</sup> CESP (1998), <sup>c</sup> ZANATA (1999), E (eutrófico), M (mesotrófico) e O (oligotrófico)

As represas em cascatas sofrem o permanente efeito da eutrofização, a partir de fontes pontuais e não pontuais, e o aporte contínuo de fósforo e nitrogênio favorece a permanência de *blooms* de algas cianofíceas e a proliferação de imensos bancos de macrófitas. Segundo STRASKRABA (1994), o segundo reservatório em uma série receberá uma carga substancialmente reduzida de fósforo e de outros nutrientes, devido ao processo de sedimentação, o que levaria a melhoria da qualidade da água, durante a passagem da mesma através da cascata de reservatórios.

BARBOSA *et al.* (1999) demonstraram que o primeiro reservatório do rio Tietê (Barra Bonita) funciona com um acumulador de consideráveis cargas de nutrientes, contribuindo, dessa maneira, para uma melhoria na qualidade da água dos reservatórios inferiores da cascata. Outro fator importante a se considerar é o ano de construção dos reservatórios, o que faz com que a história de cada sistema seja diferenciada no tempo e no espaço. Sendo assim, os reservatórios podem ser considerados como fragmentos em diferentes estágios de eutrofização artificial (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 1990).

De acordo com SMITH *et al.* (1999) e TUNDISI *et al.* (1999), os efeitos mais comuns da eutrofização em lagos e reservatórios são: 1) aumento da concentração de nitrogênio e fósforo na água e no sedimento, 2) o aumento de biomassa de fitoplâncton e perifiton de água doce, 3) elevação do pH e redução da concentração de oxigênio dissolvido na água, 4) mudanças na composição de espécies de fitoplâncton para taxa que podem produzir substâncias tóxicas, 5) redução da transparência da água, 6) desenvolvimento de macrófitas, 7) decréscimo do valor estético dos corpos d'água, com a redução do valor econômico de propriedades próximas a lagos, rios e represas eutrofizadas, 8) possíveis riscos de saúde na água de abastecimento, devido ao aumento das doenças de veiculação hídrica, 9) alterações na composição de espécies de peixes para espécies menos desejáveis e aumento da probabilidade de mortandade de peixes e 10) aumento dos custos para o tratamento de água.

O desenvolvimento de macrófitas nos reservatórios do sistema Tietê também foi verificado, uma vez que bancos extensos de macrófitas foram observados nos primeiros reservatórios, principalmente as flutuantes, ocorrendo uma substituição pelas submersas nos reservatórios onde a penetração de luz é maior.

A despeito da importância ecológica das macrófitas aquáticas, seu crescimento excessivo é indesejável, por comprometer os usos múltiplos dos ecossistemas aquáticos. Em reservatórios, os maiores problemas decorrentes da colonização por macrófitas podem estar associados à utilização da água para o consumo humano, recreação, aumento de evapotranspiração, problemas de saúde pública e, mais recentemente, à produção de energia hidrelétrica, devidos aos danos causados aos equipamentos de geração de energia. O posicionamento de

reservatórios em cascatas faz com que os primeiros reservatórios funcionem como bancos de nódulos ativos de macrófitas para os últimos. Como os últimos geralmente apresentam maior penetração de luz, podem suportar desenvolvimento maciço de macrófitas submersas, como tem sido constatado em alguns reservatórios do rio São Francisco e do sistema Tietê (THOMAZ & BINI, 1999).

Ainda segundo os autores, além dos reservatórios posicionados em série, outros ecossistemas aquáticos localizados à jusante desses reservatórios também apresentam alterações de sua flora aquática. A constante liberação de nódulos botânicos das espécies *Egeria najas*, *Egeria densa* e *Potamogeton pusillus* dos últimos reservatórios dos rios Tietê e Paraná tem acarretado o desenvolvimento dessas espécies na planície de inundação do alto rio Paraná, localizado a 250Km de distância do reservatório de Jupia.

## **6.2. Estudos ecotoxicológicos nos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê .**

### **6.2.1 Avaliação da qualidade da água**

A água doce é elemento essencial ao consumo humano, ao desenvolvimento de suas atividades industriais e agrícolas e à manutenção de todos os processos estruturais e organizacionais dos ecossistemas (REBOUÇAS, 1999). No entanto, a contínua interferência das atividades humanas nos sistemas aquáticos continentais produziu impactos diretos e indiretos, com conseqüências para a qualidade da água em lagos, rios e reservatórios. Atualmente, a qualidade da água em reservatórios é um tema central para o gerenciamento dos ecossistemas, estimulando o aprimoramento do monitoramento, a elaboração de um banco de dados, a aplicação de modelos ecológicos e matemáticos e a implementação de sistema de suporte para o controle efetivo da qualidade da água (STRASKRABA & TUNDISI, 1999). Neste sentido, diversos programas de avaliação da qualidade da água foram implementados, incluindo-se métodos de análises química, física e biológica.

Segundo BURTON (1999), em tempos passados, a avaliação da qualidade da água era feita através de métodos tradicionais como a determinação da concentração

de químicos totais ou, em poucos casos, do levantamento de índices de comunidade biológica, como a diversidade e a abundância. Contudo, a avaliação precisa de um ambiente é algo complexo e o melhor meio de realizá-la é através de uma abordagem que integre dados físicos e químicos, comunidades biológicas e informações ecotoxicológicas sobre a água e o sedimento, através de testes *in situ* e laboratoriais. Segundo o autor, a abordagem integrada é necessária porque os ecossistemas tendem a ser muito complexos e esta complexidade afeta o destino e o efeito dos contaminantes, como por exemplo, a dureza, o conteúdo de carbono orgânico total, os sulfetos ácidos voláteis, afetando a biodisponibilidade de metais e a toxicidade aos organismos.

Dentro deste contexto, no presente trabalho, realizou-se bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis* e crônico com *Ceriodaphnia dubia*, em paralelo às análises físicas e químicas de amostras de água e de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, com o objetivo de auxiliar na avaliação da qualidade ambiental destes ecossistemas e de fornecer informações que contribuam para a escolha de medidas de manejo e recuperação dos mesmos, considerando-se, neste processo de avaliação, que os reservatórios em estudo fazem parte de um sistema construído em cascata, o que representa uma particularidade a mais na avaliação destes sistemas.

Estudos desenvolvidos em reservatórios em cascata da Espanha (ARMENGOL, 1977 e MARGALEF, 1983) e na república Tcheca (STRASKRABA, 1994) demonstram que neste padrão de construção, espera-se, na maioria das vezes, uma melhoria crescente da qualidade da água, com o primeiro reservatório apresentando-se mais eutrófico que os demais, devido a sua capacidade de reter materiais provenientes dos principais tributários. De um modo geral, para os bioensaios agudos realizados com *Daphnia similis* não foi observada uma melhoria na qualidade da água ao longo dos reservatórios em cascata, pois ocorreu efeito agudo nos organismos-teste, quando expostos às amostras de água proveniente dos reservatórios localizados à jusante de Barra Bonita (Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos) (Figura 44).

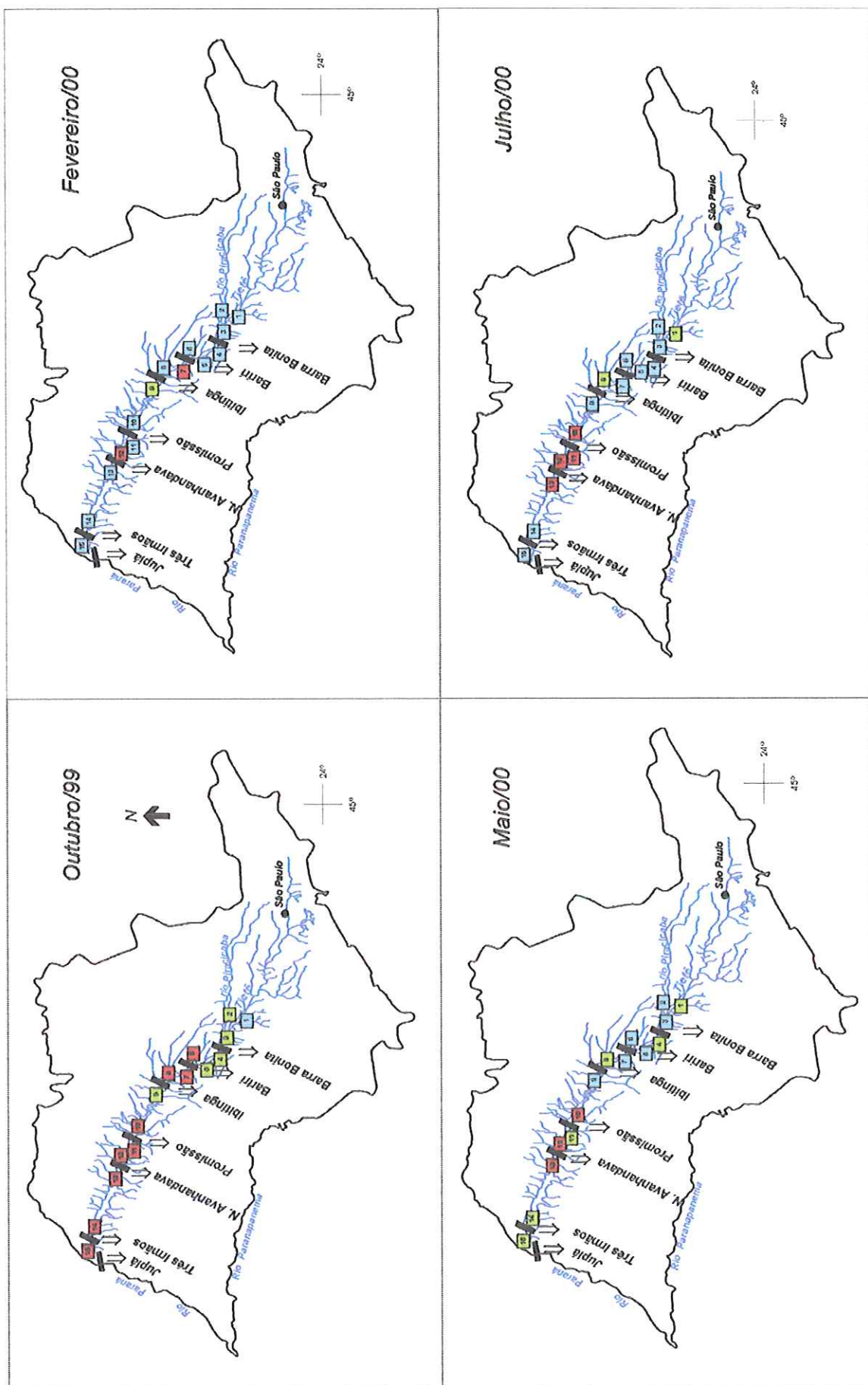


FIGURA 44 – Toxicidade para *Daphnia similis* quando exposta à amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), durante o período de estudo. ■ Não tóxico, ■ início de toxicidade e ■ tóxico

Os resultados obtidos nos bioensaios de toxicidade aguda parecem indicar um efeito da dureza da água na sobrevivência dos organismos-teste, sendo que os menores valores de dureza, na maioria dos casos, foram registrados nas amostras de água que acarretaram efeito agudo a *Daphnia similis*. Tal fato pode ser observado para a amostra de água proveniente de Bariri Jusante (36mg/L CaCO<sub>3</sub> em fev/00), Ibitinga Montante (38mg/L CaCO<sub>3</sub> em out/99), Promissão Montante (26mg/L CaCO<sub>3</sub> em out/99), Promissão Jusante (34mg/L CaCO<sub>3</sub> e 38mg/L CaCO<sub>3</sub>, em out/99 e jul/00, respectivamente), Nova Avanhandava Montante (34mg/L CaCO<sub>3</sub>, 24mg/L CaCO<sub>3</sub>, 38mg/L CaCO<sub>3</sub> e 36mg/L CaCO<sub>3</sub>, em out/99, fev/00, maio/00 e jul/00, respectivamente), Nova Avanhandava Jusante (32mg/L CaCO<sub>3</sub> em out/99 e jul/00, respectivamente) e Três Irmãos Montante e Jusante (28mg/L CaCO<sub>3</sub> em out/99).

A dureza é uma característica das águas naturais, vinculada à presença de sais alcalino-terrosos dissolvidos, sendo que os principais elementos que conferem a dureza são o cálcio e o magnésio. A toxicidade observada para *Daphnia similis* pode ser atribuída ao estresse sofrido pelos organismos, ao terem sido expostos a amostras de água com teores de dureza menores do que aqueles que foram mantidos na água de cultivo (média de 45mg/L CaCO<sub>3</sub>). ARAGÃO & BURATINI (2000), analisando a dureza da água de rios e reservatórios do Estado de São Paulo, classificaram estas como “moles” e recomendaram a utilização de água com dureza variando entre 40 e 48mg/L CaCO<sub>3</sub> para o cultivo de organismos destinados à realização de bioensaios de toxicidade para agentes químicos dispostos em águas do Estado de São Paulo. Segundo os autores, em estudos ecotoxicológicos a dureza da água pode constituir um fator modificador de alguns poluentes químicos, principalmente metais, sendo que muitos deles tornam-se mais tóxicos em águas moles. Assim, a dureza da água de cultivo dos organismos-teste deve ser similar a das amostras testadas, pois diferenças significativas entre estas podem influenciar os resultados dos bioensaios de toxicidade.

RATTNER & HEATH (1995) também relatam que dureza da água afeta substancialmente a toxicidade de certos metais, sendo que a observação mais comum é que os metais são mais tóxicos em águas menos duras e que o efeito da dureza varia com o metal, tornando-se mais efetivo para o cádmio, enquanto que cobre e zinco são menos afetados.

Em relação aos valores de metais encontrados na água dos reservatórios, concentrações acima do limite da resolução CONAMA 20/1986 para rios de classe 2 foram registradas para o cádmio (0,001mg/L), em todas as estações de coleta, sendo que a faixa de sensibilidade estabelecida para *Daphnia pulex* para este metal é de uma CL50 entre 0,007 e 0,3mg/L (INGERSOLL & WINNER, 1982), concentrações próximas ou superiores às encontradas no presente trabalho. Valores acima do estabelecido pela resolução também foram registrados para o cromo, em outubro/99 e maio/00 (maiores do que 0,05mg/L), sendo que o valor da CE50 estabelecido para *Daphnia magna* para este metal é de 0,41mg/L (SECCO *et al*, 1998). Para o zinco, valores acima ou próximos do limite permitido (0,18mg/L) foram registrados em outubro/99 e fevereiro/00 e a faixa de sensibilidade estabelecida pela USEPA (FONSECA, 1997) para *Daphnia magna*, é de 0,1 a 0,5 mg/L, valores próximos dos encontrados no presente trabalho. Tais valores poderiam ter contribuído para a toxicidade aguda observada em *Daphnia similis*.

Segundo COONEY (1995), a presença de materiais suspenso e dissolvido na superfície da água podem mascarar a toxicidade de alguns poluentes. De acordo com o autor, os metais na água são comumente analisados por espectrometria de absorção atômica e tais medidas podem, às vezes, não coincidir com as respostas dos bioensaios toxicológicos, os quais podem expressar toxicidade equivalente a concentrações de metais muito menores, devido à complexação desses elementos. No presente trabalho, os maiores valores de material em suspensão total foram obtidos, de uma maneira geral, para os rios Tietê, Piracicaba e para os primeiros reservatórios da cascata. A maior quantidade de material em suspensão total poderia ter impedido a disponibilidade de certos metais e de outros contaminantes para *Daphnia similis* e, conseqüentemente, estes não provocariam efeito tóxico nesses organismos.

Outra importante classe de contaminantes presente nos ecossistemas são os contaminantes orgânicos persistentes, como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), dioxinas e pesticidas organoclorados, não avaliados no presente trabalho. CÁCERES *et al*. (1987), analisando amostras de água de 38 reservatórios de 7 bacias hidrográficas do Estado de São Paulo (rios Paranapanema, Paraná, Ribeira do Iguape, Tietê, Paraíba, Pardo e Grande), encontraram resíduos de BHC e DDT (pesticidas organoclorados) presentes em todas elas. De acordo com os autores, na



área da grande São Paulo, os valores médios de resíduos (2ppb) foram altos devido à grande atividade agrícola ao redor da região. Contudo, estes valores são reduzidos pela metade na região central do Estado de São Paulo até o reservatório de Barra Bonita, sugerindo a sedimentação desses resíduos como um efeito do longo tempo de retenção da água ao longo dos sucessivos reservatórios do rio Tietê. Ainda segundo os autores, essa situação é preocupante e, devido ao incremento das atividades agrícolas com o passar dos tempos, poderá ocorrer ainda um aumento no nível desses resíduos na água dos rios e reservatórios do Estado de São Paulo.

De acordo com LARSSON *et al.* (2000), há vários estudos demonstrando uma forte interação entre a eutrofização e a retenção de poluentes orgânicos persistentes (POP's) pela biota aquática. Segundo os autores, em lagos eutróficos, devido ao excesso de nutrientes, há uma grande biomassa de fitoplâncton causando uma retenção dos POP's e uma maior sedimentação destes poluentes em contraste a um lago oligotrófico, onde a transferência de POP's pela cadeia alimentar é a via mais importante. Dessa forma, nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê, poluentes orgânicos, possivelmente presentes, não estariam totalmente disponíveis nas águas dos rios Tietê, Piracicaba e do primeiro reservatório da cascata (Barra Bonita), sistemas considerados eutrofizados, ao contrário dos reservatórios à jusante (mesotróficos e oligotróficos).

Em relação aos resultados obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia*, estes configuraram um padrão diferente do observado para os bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis*, verificando-se toxicidade em ordem decrescente (Barra Bonita a Três Irmãos) na maioria dos períodos de amostragem. Verificou-se que o maior número das amostras de água coletadas no período de outubro/99 e fevereiro/00, provocou efeito crônico nos organismos-teste. Isso pode estar relacionado à maior entrada de material para dentro dos reservatórios, como evidenciado pelos maiores valores de material em suspensão total, menores valores de visibilidade do disco de Secchi e maiores valores de formas fosfatadas registrados no período chuvoso.

Em alguns casos, o efeito crônico nos organismos-teste pode ser atribuído aos altos valores de condutividade e baixa dureza da água, como foi observado nas amostras de água do rio Tietê (258 $\mu$ S/cm em maio/00), rio Piracicaba (26mg/L de

CaCO<sub>3</sub> em fev/00), Bariri Jusante (36mg/L CaCO<sub>3</sub> em fev/00), Ibitinga Montante (38mg/L CaCO<sub>3</sub> e 36mg/L CaCO<sub>3</sub> em out/99 e fev/00, respectivamente), Ibitinga Jusante (367µS/cm em out/99) e Promissão Montante (28mg/L CaCO<sub>3</sub> e 34mg/L CaCO<sub>3</sub> out/99 e fev/00, respectivamente).

Como anteriormente citado, concentrações próximas ou acima dos limites da resolução CONAMA 20/1986 para rios de classe 2, em relação a certos metais (cádmio, cromo, cobre e zinco) foram registradas nas amostras de água dos reservatórios e isso poderia ser responsável pela toxicidade crônica observada nessas estações. Como exemplo, pode-se verificar que a amostra de água proveniente do rio Piracicaba em fevereiro/00, acarretou efeito crônico em *Ceriodaphnia dubia*. Isso poderia estar relacionado ao teor de zinco encontrado (1,21mg/L).

Geralmente, a toxicidade aguda de um contaminante sobre *Daphnia similis* é determinada na ausência de partículas em suspensão (durante o teste agudo não é fornecido alimento), enquanto que os testes crônicos implicam em alimentação dos organismos. É bem conhecida a capacidade das partículas em suspensão estabelecerem ligações com compostos químicos através da adsorção, então é colocada a hipótese de que esta pode ser uma fonte prontamente acessível de contaminantes, uma vez que estes compostos podem ser rapidamente liberados nas condições de acidez do trato digestivo desses organismos (IAV, 2000).

FONSECA (1997), utilizando as espécies *Ceriodaphnia silvestrii* (espécie nativa) e *Daphnia similis* na avaliação da qualidade água da bacia do rio Piracicaba, também verificou diferença de sensibilidade entre as espécies testadas, quando expostas a uma amostra de água com elevado teor de zinco. Segundo o autor nenhum efeito foi observado para *Daphnia similis*, enquanto efeito crônico foi registrado para *Ceriodaphnia silvestrii*. PRINTES (1996), avaliando a toxicidade aguda para *Daphnia similis* e crônica para *Ceriodaphnia dubia*, das águas superficiais da região carbonífera do Baixo rio Jacuí (RS), verificou, em algumas estações, toxicidade aguda para *Daphnia similis* e ausência de toxicidade crônica para *Ceriodaphnia dubia*, quando expostas à mesma amostra de água. Segundo o autor, as espécies diferem em sua susceptibilidade às substâncias tóxicas, a qual depende de fatores como metabolismo, fatores genéticos e outros ligados à dieta. COWGILL (1987) afirma que em bioensaios de toxicidade com zooplâncton, a sensibilidade dos

organismos-teste pode ser afetada pelas suas próprias características (estado nutricional, estágio de vida e saúde), e dessa maneira, alterar os resultados dos bioensaios de toxicidade (COONEY, 1995).

BURTON & MACPHERSON (1995) salientam que os agentes tóxicos não afetam os mesmos processos metabólicos e acabam resultando em diferentes efeitos, por isso é importante a escolha de um parâmetro apropriado de avaliação (sobrevivência, reprodução e/ou crescimento), bem como a escolha de organismos-teste pertencentes a diferentes níveis tróficos.

Além disso, a toxicidade de uma amostra de água nem sempre depende de uma única espécie química, mas sim da interação de diferentes espécies e condições físicas e químicas da qual podem resultar em atenuação ou, ao contrário, sinergismo, reduzindo ou acentuando os efeitos tóxicos individuais (BRANCO, 1999).

A CETESB, iniciou em 1974, a operação da rede de monitoramento da qualidade das águas interiores (rios e reservatórios), que tem possibilitado o conhecimento adequado das condições dos principais cursos d'água do Estado de São Paulo. Atualmente, esse monitoramento é realizado em 135 estações de amostragem distribuídas ao longo de 22 unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (URGRIs). Para simplificar o processo de divulgação dos dados de qualidade das águas, tem sido usado o Índice de Qualidade das Águas (IQA), baseado em nove variáveis (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total, turbidez). A partir dos valores observados para essas nove variáveis, a qualidade dos corpos d'água é classificada em: ótima, boa, aceitável, ruim e péssima.

De acordo com a CETESB (2000), a qualidade da água, no período de novembro/99 à julho/00, para os reservatórios do Médio e Baixo Tietê, foi a seguinte: no rio Tietê foi considerada ruim, para o rio Piracicaba esteve entre boa e ótima, para o reservatório de Barra Bonita (ponto de amostragem localizado à 300m da barragem) esteve entre ruim e péssima, no reservatório de Bariri (ponto de amostragem à jusante da barragem de Barra Bonita) esteve entre aceitável e boa, para o reservatório de Ibitinga foi considerada boa e nos reservatório de Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos variou entre boa e ótima. Baseados nesses dados, observa-se uma crescente melhoria da qualidade da água ao longo da cascata de

reservatórios, como foi verificado, no presente trabalho, para os resultados obtidos nos bioensaios de crônicos realizados com *Ceriodaphnia dubia*.

No relatório da CETESB, para o ano de 1997, os dados de toxicidade a organismos aquáticos foram verificados no rio Tietê, reservatórios de Bariri, Ibitinga, Nova Avanhandava e Três Irmãos. Os valores de fósforo total, fenol e alguns metais (cádmio e níquel) estiveram acima do limite da Resolução CONAMA 20/1986 para rios de classe 2, no rio Tietê e nos reservatórios de Barra Bonita e Bariri. No reservatório de Ibitinga, apenas o cádmio esteve acima do limite, enquanto os fenóis estiveram acima dos limites legais nos reservatório de Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos.

Nos reservatórios em cascata no rio Volga (Rússia), segundo AVAKYAN (1998), os metais (cobre e zinco) e fenóis excederam as concentrações máximas permitidas em quase todos os reservatórios. Segundo o autor, a contaminação das águas nas bacias da Rússia e de outros países, é causada pela abundância de indústrias, transporte de produtos (petróleo) e descarga de efluentes municipais e agrícolas, e nenhuma melhoria da qualidade da água ocorrerá até que o uso dos corpos d'água como receptáculos de águas residuárias não tratadas seja suspenso.

### **6.2.2 Avaliação da qualidade do sedimento**

O significativo papel que o sedimento desempenha no ecossistema aquático é bem conhecido. Além de fornecer habitat para muitos organismos aquáticos, serve como uma fonte e um depósito de materiais orgânicos e inorgânicos. A maioria da decomposição de materiais alóctone e autóctone ocorre no sedimento. Muitos compostos químicos de origem antropogênica (pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e hidrocarbonetos clorados) tendem a ser retidos no sedimento. Dessa maneira, o sedimento acumula concentrações relativamente altas de contaminantes, que podem ou não estar biologicamente disponíveis (BURTON & MACPHERSON, 1995; INGERSSOL, 1995).

A toxicidade de metais e de outros poluentes no sedimento e sua disponibilidade aos organismos são importantes na determinação dos efeitos ambientais destes compostos nos sistemas aquáticos. Muitos compostos orgânicos

interagem com o material suspenso nos corpos d'água e acabam sendo depositados nos sedimentos de lagos e represas. Este é um exemplo de um fenômeno largamente responsável pela presença de herbicidas em sedimentos contaminados, que contêm partículas de solos erodidos provenientes de atividades agrícolas (MANAHAM, 1994).

Como citado por Zullig, em 1956 (BAUDO, 1989), "o sedimento pode ser considerado uma resposta das condições do sistema aquático e sua composição é parte da história do corpo d'água em que eles originaram, refletindo não somente as características químicas da área drenada, mas também a influência do homem nos ciclos geoquímicos naturais e também nas mudanças nas características físicas e biológicas do meio aquático".

O aumento das atividades agrícolas e industriais, o uso e o despejo intensivos dos agrotóxicos e substâncias tóxicas em geral, nos ecossistemas aquáticos, têm acarretado a contaminação dos sedimentos dos rios, represas e lagoas marginais (TUNDISI *et al.*, 1999).

GOLOSOV & VINOGRADOVA (1994) citam um exemplo dos reservatórios em série do rio Volga (Rússia), que acumulam no sedimento poluentes provenientes de áreas cultiváveis e de regiões industriais (química, metalúrgica e têxtil). De acordo com os autores, a poluição originada de uma área cultivada é relativamente pequena e freqüentemente é difícil sua identificação e quantificação, mas o efeito da poluição de numerosas áreas resulta em uma diminuição geral da qualidade da água. Exceto os poluentes tradicionais da água (pesticidas e metais), o isótopo  $^{137}\text{Cs}$  tornou-se um dos maiores poluentes na parte européia da Rússia, após o incidente de Chernobyl, e são encontrados em altos níveis em zonas de sedimentação dos reservatórios.

Os grandes reservatórios construídos no Estado de São Paulo representam o último passo no processo de ocupação do solo deste estado. Atualmente, a área inundada é de  $1.500\text{Km}^2$ , representando aproximadamente 5% da superfície total do estado. Esse padrão de construção de reservatórios proporcionou o desenvolvimento agrícola e o estímulo para investimentos em larga escala em tecnologia, agricultura e indústria, mas também acarretou problemas como deflorestação extensiva,

eutrofização devido aos dejetos oriundos das diversas atividades desenvolvidas, sedimentação e contaminação (TUNDISI, 2000).

Segundo INGERSSOL (1995), historicamente, a avaliação da qualidade do sedimento limitava-se à caracterização química, contudo, apenas a quantificação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos não forneciam informações que avaliassem adequadamente o potencial dos efeitos adversos decorrentes das interações entre esses elementos e a disponibilidade dos mesmos aos organismos. Para um melhor entendimento desses processos e para gerar mais dados que auxiliem na avaliação da qualidade dos sedimentos, passou-se a realizar bioensaios de toxicidade com amostras de sedimentos.

No presente trabalho, foram realizados bioensaios de toxicidades aguda e crônica com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP). Os bioensaios de toxicidade com *Daphnia similis*, em relação às amostras de sedimento, demonstraram toxicidade aguda para o sedimento de algumas estações localizadas à jusante do reservatório de Barra Bonita, como observado para os resultados obtidos com amostras de água, o que não seria inicialmente esperado, se considerarmos que em um sistema de reservatórios em cascata é prevista, na maioria das vezes, uma melhoria na qualidade ambiental ao longo dos reservatórios. Apesar de terem sido verificadas altas concentrações de metais biodisponíveis nos sedimentos provenientes dos rios Tietê e Piracicaba e nos primeiros reservatórios em cascata do sistema Tietê, efeitos agudos aos organismos-teste não foram registrados nessas estações (Figura 45).

ESPÍNDOLA *et al.* (1998), avaliando a qualidade ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana-SP), encontrou toxicidade aguda para *Daphnia similis* em amostras de sedimento provenientes de locais que não apresentaram as maiores concentrações de metais totais. Segundo os autores, os bioensaios de toxicidade refletem o efeito sinérgico de todas as substâncias geradas no sistema, mostrando que a característica química isolada pode não garantir a preservação e a manutenção da biota aquática, uma vez que os mecanismos e processos de funcionamento do sistema são diferenciados nas escalas temporal e espacial.

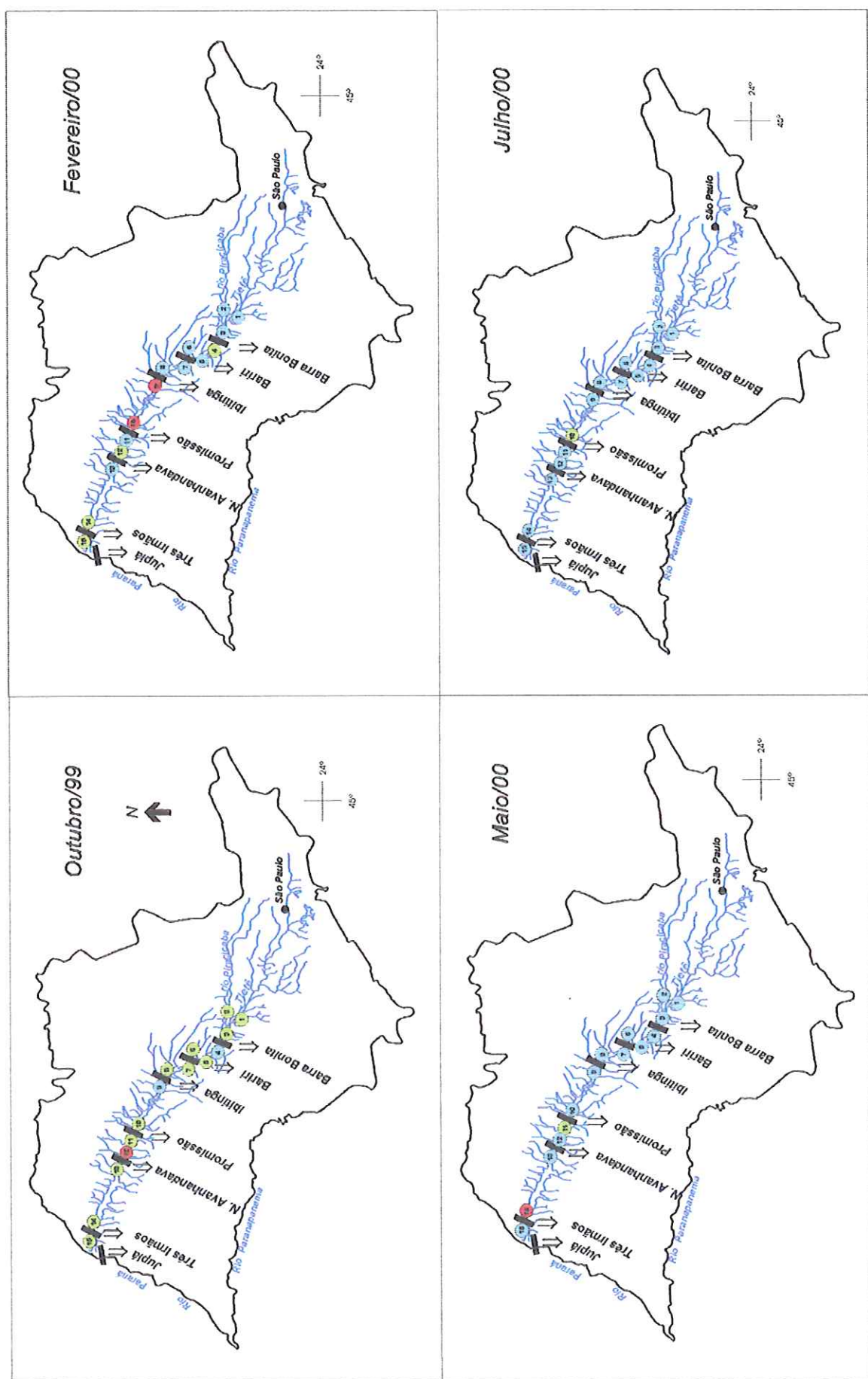


FIGURA 45 – Toxicidade para *Daphnia similis* quando exposta à amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), durante o período de estudo. ■ Não tóxico, ■ início de toxicidade e ■ tóxico.

Quando um organismo está exposto a um conjunto de substâncias, pode existir uma combinação das mesmas e essa combinação pode ser antagônica, sinérgica ou aditiva, dependendo da substância e do ambiente em questão (FONSECA, 1997). PASCOE & EDWARDS (1989) salientam que um poluente raramente está sozinho e que sua toxicidade pode ser modificada pela presença simultânea de outros tóxicos. Há estudos que demonstram que alguns pesticidas interagem sinérgicamente e muitas dessas interações parecem ser refletidas em sua toxicidade.

No presente estudo, o efeito tóxico agudo registrado para os organismos-teste pode ser relacionado também aos baixos valores de dureza e pH medidos no final dos bioensaios de toxicidade aguda, em algumas das estações que provocaram efeito agudo para os organismos-teste. Como pode ser verificado em outubro/99, para Nova Avanhadava Montante (pH igual a 6,08 e dureza de 24mg/L CaCO<sub>3</sub>), em fevereiro/00, para Ibitinga Jusante (20mg/L CaCO<sub>3</sub>) e Promissão Montante (18mg/L CaCO<sub>3</sub>). Como já anteriormente discutido para a água, a dureza pode ter sido um fator estressante para os organismos-teste e, além disso, os metais estão em uma ordem de magnitude mais letal em água menos duras (SPRAGUE, 1985).

WIEDERKOLM & DAVE (1989), avaliando a qualidade do sedimento de lagos poluídos na Suécia, detectaram toxicidade aguda para *Daphnia magna*. Os autores também verificaram uma diminuição nos valores de pH no final do experimento e relacionaram os baixos valores de pH a uma maior solubilidade de metais presentes nas amostras de sedimento. Os autores recomendam uma especial atenção aos mecanismos que regulam a toxicidade do sedimento, evitando o seu potencial aparentemente tóxico que, às vezes, não corresponde às condições ambientais.

Em relação aos bioensaios crônicos com *Ceriodaphnia dubia*, estes revelaram toxicidade em uma ordem decrescente no sentido do reservatório de Barra Bonita ao de Três Irmãos, como observado para os bioensaios de toxicidade crônica realizados com amostras de água, ou seja, os bioensaios de toxicidade crônica revelaram possíveis locais de contaminação por substâncias tóxicas, que não foram identificados pelos bioensaios de toxicidade aguda.



A toxicidade crônica observada para *Ceriodaphnia dubia*, para a maioria das amostras de sedimento, também pode ser relacionada aos baixos valores de pH e dureza medidos no final dos bioensaios, nas amostras que apresentaram efeito crônico aos organismos-teste, como foi observado em outubro/99 para o rio Tietê (pH igual a 4,73 e dureza de 16mg/L CaCO<sub>3</sub>), Barra Bonita Jusante (pH igual a 6,50 e dureza de 32mg/L CaCO<sub>3</sub>), Bariri Montante (pH igual a 6,01 e dureza de 22mg/L CaCO<sub>3</sub>), rio Bauru (pH igual a 6,07 e dureza de 24mg/L CaCO<sub>3</sub>), Ibitinga Jusante (pH igual a 6,07 e dureza de 34mg/L CaCO<sub>3</sub>), Promissão Montante (dureza de 28mg/L CaCO<sub>3</sub>) e Promissão Montante (pH igual a 6,07 e dureza de 26mg/L CaCO<sub>3</sub>). Como também ocorrido em fevereiro/00, para o rio Tietê (pH igual a 5,00 e dureza de 22mg/L CaCO<sub>3</sub>), Barra Bonita Montante (pH igual a 4,94 e dureza de 32mg/L CaCO<sub>3</sub>), Barra Bonita Jusante (pH igual a 5,67), Bariri Montante (pH igual a 5,12 e dureza de 28mg/L CaCO<sub>3</sub>), rio Bauru (pH igual a 5,15 e dureza de 28mg/L CaCO<sub>3</sub>), Bariri Jusante (pH igual a 6,20 e dureza de 34mg/L CaCO<sub>3</sub>) e Ibitinga Montante (pH igual a 5,95 e dureza de 38mg/L CaCO<sub>3</sub>). Do mesmo modo, em julho/00, para o rio Tietê (pH igual a 5,20 e dureza de 0mg/L CaCO<sub>3</sub>) e Barra Bonita Montante (pH igual a 5,18 e dureza de 0mg/L CaCO<sub>3</sub>).

PRINTES (1996) observou toxicidade crônica para *Ceriodaphnia dubia* quando expostas às amostras de sedimento da região carbonífera do rio Jacuí (RS) e também relacionou o efeito crônico aos baixos valores de pH obtidos no final dos bioensaios de toxicidade. Segundo o autor, efeitos de baixos valores de pH têm sido relacionados à diminuição da capacidade reprodutiva de zooplâncton. Além disso, o baixo pH poderia ter contribuído para uma maior solubilidade de metais associados ao sedimento. De acordo com KEATING *et al.* (1996), a mudança do pH em bioensaios de toxicidade pode afetar a fisiologia dos organismos-teste ou da toxicidade do material a ser testado e gerar uma nova condição que não corresponda às condições encontradas no ambiente.

O pH pode ter um efeito importante na toxicidade de uma amostra, uma vez que mudanças no pH afetam a solubilidade, polaridade, estabilidade e especiação de compostos, modificando a sua biodisponibilidade e sua toxicidade (COONEY, 1995). De acordo com SPARLING (1995), altas concentrações de íons H<sup>+</sup> podem ter um efeito tóxico nos organismos aquáticos, uma vez que certos metais como o

cádmio, chumbo e alumínio podem ser mobilizados e se tornarem mais tóxicos em pH reduzido. Crustáceos são, frequentemente, os invertebrados mais sensíveis à acidificação.

SILVÉRIO (1999) também verificou uma associação entre os baixos valores de pH, monitorados nos testes com amostras de sedimento do reservatório de Barra Bonita, e os baixos números de neonatas produzidas pelas fêmeas de *Ceriodaphnia dubia*. Segundo o autor, o decréscimo do pH poderia ter causado efeitos subletais nos organismos, devido à ocorrência de sinergismo entre a redução do pH e o aumento na concentração de metais biodisponíveis nos sedimentos. Os tratos intestinais dos organismos aquáticos são um meio com características ácido-redutoras, que extraem os metais ingeridos juntamente com partículas do sedimento, decorrendo daí sua toxicidade (MOZETO, 1999).

FRACÁCIO (2001) realizou bioensaios de toxicidade crônica com amostras de sedimento dos reservatórios em cascata do Médio e Baixo Tietê utilizando como organismos-teste larvas pré-eclodidas de *Danio rerio*. O autor observou uma diminuição da toxicidade ao longo dos reservatórios em cascata, como verificado no presente trabalho para os resultados com os bioensaios de toxicidade crônica com *Ceriodaphnia dubia*, diferindo dos resultados com os bioensaios de toxicidade aguda com *Daphnia similis*. Segundo COONEY (1995), há uma real diferença de sensibilidade entre diferentes grupos de organismos e muitos autores têm sugerido que poluentes devem ser testados com algas, com um ou mais grupos de invertebrados, bem como com peixes, para obter o mais completo quadro da toxicidade. Neste sentido, REISH (1988) investigou a toxicidade de seis metais (Cr, Cu, Hg e Zn) para cladóceros, poliquetas e peixes e concluiu que nenhuma das espécies foi mais sensível a todos os contaminantes.

MELLETTI (1997), avaliando a qualidade do sedimento da bacia do rio Piracicaba, verificou indício de toxicidade a uma espécie de peixe (*Prochilodus scrofa*) em uma estação de coleta (captação de Piracicaba), o qual não foi observado para *Ceriodaphnia silvestrii* e *Daphnia similis*, quando expostas à mesma amostra por FONSECA (1997). Os autores atribuíram esse resultado à diferença de sensibilidade entre as espécies testadas.

No presente trabalho foram encontradas altas concentrações de metais biodisponíveis, principalmente cádmio, ferro, cobre, chumbo e manganês. Metais são uma classe de contaminantes importantes nos sedimentos aquáticos. Concentrações de cádmio, cobre, níquel, chumbo e outros elementos estão sendo encontrados em sedimentos afetados pelas atividades humanas, em níveis mais elevados do que aqueles presentes na crosta terrestre. Consideráveis dúvidas existem, contudo, sobre a fração do metal que causa risco ecológico à biota aquática, porque a fração biodisponível do metal no sedimento não é indicada somente pela sua concentração em peso seco. Assim, até mesmo em concentrações de metais que excedam os níveis conhecidos, a sua biodisponibilidade poderá ser mínima e sua toxicidade reduzida (ANKLEY *et al.*, 1996).

A extração de metais pesados dos sedimentos com HCl 0,1M, utilizada no presente estudo, é um método que remove a fração dos metais potencialmente biodisponíveis para os organismos aquáticos. Este método tem produzido resultados que apresentam correlações satisfatórias com os bioensaios de toxicidade apesar da restrição levantada por COOPER & MORSE (1998) de que nem todos os sulfetos metálicos são solúveis em HCl diluído e de que há um ataque nulo à matriz silicato ESTEVES *et al.* (1981).

CHAPMAN *et al.* (1998) alertam que durante a coleta, transporte e estocagem das amostras de sedimento, variáveis como pH, condutividade, oxigênio dissolvido, conteúdo de sulfetos volatilizáveis por ácidos e potencial redox são alterados. Estes fatores e outros como tamanho da partícula e o conteúdo de matéria orgânica são importantes controladores da biodisponibilidade dos químicos nos sedimentos. Portanto, a manipulação dessas amostras pode alterar a sua toxicidade. Neste caso, avaliações da toxicidade *in situ* reduzem as incertezas associadas com experimentos em laboratório (BURTON, 1999).

PEREIRA *et al.* (1999) realizaram bioensaios de toxicidade com o sedimento de um reservatório localizado no sul de Portugal, impactado pela atividade de uma antiga mina de extração de cobre. Os autores utilizaram espécies padronizadas (*Daphnia magna* e *Ceriodaphnia dubia*) e espécies de zooplâncton locais, realizando bioensaios de toxicidade *in situ* e no laboratório. Segundos os autores, houve boa concordância com os resultados dos bioensaios *in situ* e no laboratório e com o uso

de espécies padronizadas e espécies locais, contudo a mortalidade tendeu ser maior nos testes realizados *in situ*. Os autores ainda comentam que os ensaios *in situ* expõem os organismos às condições reais dos agentes perturbadores e evitam os artefatos inerentes à coleta, armazenamento e manipulação das amostras.

### **6.3 Avaliação da qualidade ambiental dos reservatórios em cascata do Médio e Baixo rio Tietê.**

Coincidentemente com o aumento da demanda de água, cresceram também as preocupações com qualidade da mesma. Um progresso em relação ao interesse da conservação da qualidade dos corpos hídricos é registrado ao longo das décadas, inicialmente enfocando os efeitos do excesso de nutrientes e os impactos da eutrofização, durante os anos 70 e as preocupações recentes com respeito a acidificação, contaminação por metais pesados e poluentes orgânicos (KENNEDY, 1999).

Os rios são utilizados para despejos de resíduos industriais e domésticos e, evidentemente, as represas construídas ao longo deles estão também sujeitas a uma deterioração da qualidade de suas águas. Por outro lado, reservatórios são pontos de referência no sistema fluvial, já que a sua evolução, mudanças na qualidade hídrica com possível eutrofização e as alterações na flora e fauna aquática refletem atos de gerenciamento das áreas de mananciais e dos usos do sistema terrestre. Isso, em conjunto com os mecanismos intrínsecos do funcionamento dos reservatórios (tempo de retenção, circulação, padrão de estratificação), faz surgir um padrão ambiental com repostas que retratam as condições ecológicas, sociais e econômicas (TUNDISI, 2000).

De acordo com KOHLHEPP (1999), o Brasil é um dos países que apresenta maiores usinas hidroelétricas em escala mundial, sendo de grande importância para o desenvolvimento industrial. As barragens e os imensos reservatórios foram implementados em diferentes sistemas ecológicos, tais como nas florestas tropicais, nas zonas áridas ou regiões densamente povoadas do país. A construção de grandes represas hidrelétricas, atualmente, concentra-se na região sudeste do país. O rio Paraná, incluindo suas fontes, o rio Grande e o rio Paraíba (e seus tributários), rio Tietê (São Paulo), rio Paranapanema (São Paulo/Paraná) e rio Iguaçu (Paraná),



fornece aproximadamente 70% da capacidade de energia hidrelétrica instalada no país.

O padrão de aproveitamento de um rio em reservatórios em cascata é comum nos grandes rios do território brasileiro. O grande sistema de reservatórios das regiões sudeste e sul foi construído ao longo dos últimos 30 anos, como consequência do incremento da demanda de energia elétrica. Quando se analisa esse sistema de reservatórios em relação ao desenvolvimento econômico, crescimento populacional e situação geográfica, fica clara a razão pela qual esse grande ecossistema artificial é um indicador da forma de utilização desses recursos (TUNDISI, 2000).

Os impactos na construção de represas estão relacionados ao tamanho, volume, tempo de retenção do reservatório, localização geográfica e localização no *continuum* do rio. Os principais impactos detectados são: 1) inundação de áreas agricultáveis; 2) perda de vegetação e fauna terrestres; 3) interferência na migração de peixes; 4) mudanças hidrológicas à jusante da represa; 5) alterações na fauna do rio; 6) interferência no transporte de sedimentos; 7) aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica e problemas de saúde pública; 8) perdas de heranças históricas e culturais e usos tradicionais da terra e 9) perdas da biodiversidades terrestre e aquática (TUNDISI *et al.*, 1999).

Em um sistema de rios não perturbados existe um gradiente contínuo de condições físicas da cabeceira à foz, que produz respostas das populações bióticas na forma de ajustes aos padrões de alocação, transporte, utilização e estocagem de matéria orgânica. Contudo, a construção de um reservatório ao longo do comprimento de um rio interromperiam tais condições. A existência de reservatórios ao longo do rio poderia mudar tais condições, alterando o critério básico do conceito de contínuo (VANOTTE *et al.*, 1980).

BARBOSA *et al.* (1999) observaram a presença de um outro “*continuum*” ao longo do sistema de reservatórios do rio Tietê, onde os processos biológicos, dentro de qualquer um dos reservatórios, eram influenciados por mudanças ocorridas no reservatório anterior. Os autores também salientaram que há diferenças ao longo da cascata de reservatórios e que essas diferenças estão relacionadas às características de funcionamento e à diversidade das atividades sócio-econômicas desenvolvidas na

bacia. Assim, cada reservatório do Médio e Baixo Tietê tem o seu ciclo próprio que depende de fatores intrínsecos de funcionamento, de sua construção e da influência humana, o que não os enquadraria no conceito de “*river continuum*” MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (2000).

As características heterogêneas em relação às variáveis ambientais, nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê podem também ser comprovadas através da análise estatística dos dados obtidos. Com base na análise de agrupamento, realizada em função dos dados físicos, químicos, biológicos e bioensaios de toxicidade com amostras de água e sedimento, para cada período de coleta, foi possível identificar compartimentos distintos ao longo da cascata de reservatórios. Verificou-se que há regiões com maior similaridade entre si (reservatórios de Barra Bonita à Nova Avanhandava) e outras com menor similaridade (rio Tietê e reservatório de Três Irmãos).

A Figura 46 representa a análise de similaridade obtida para o mês de outubro/99, quando evidenciou-se a formação de dois grupos distintos. O primeiro é constituído pelos rios Tietê, Piracicaba e Bauru e o segundo composto por dois subgrupos: um primeiro formado pelos reservatórios de Barra Bonita à Nova Avanhandava e um segundo formado pelo reservatório de Três Irmãos.

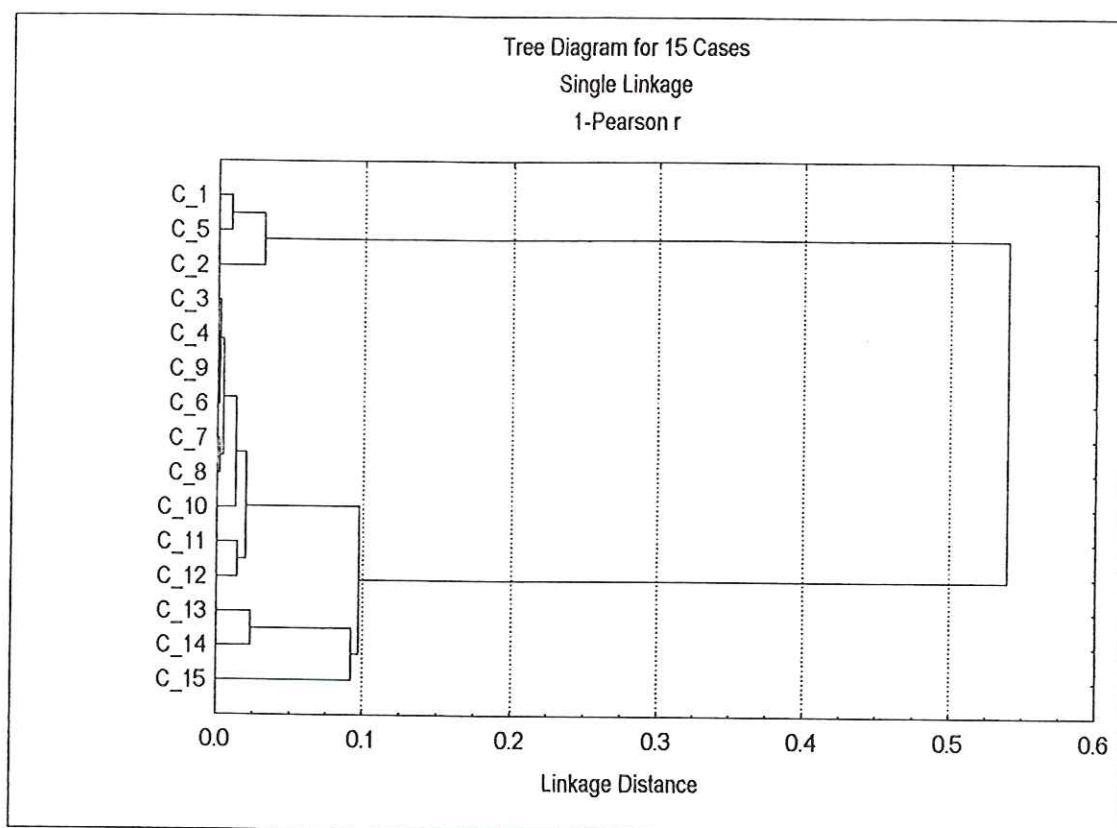


FIGURA 46 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em outubro/99. C1 (rio Tietê), C2 (rio Piracicaba), C3 (Barra Bonita Montante), C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante) e C15 (Três Irmãos Jusante).

Na estação chuvosa (fevereiro/00), a análise estatística revelou a existência de um grupo formado pelo reservatório de Três Irmãos e um segundo grupo englobando as demais estações de coleta. Este segundo grupo abrange 1 ponto isolado (rio Piracicaba) e um subgrupo maior que, por sua vez, é composto por pontos isolados (rios Tietê e Nova Avanhandava Jusante) e subgrupos menores (reservatórios de Barra Bonita à Ibitinga e reservatório de Promissão e Nova Avanhandava), como demonstrado na Figura 47.

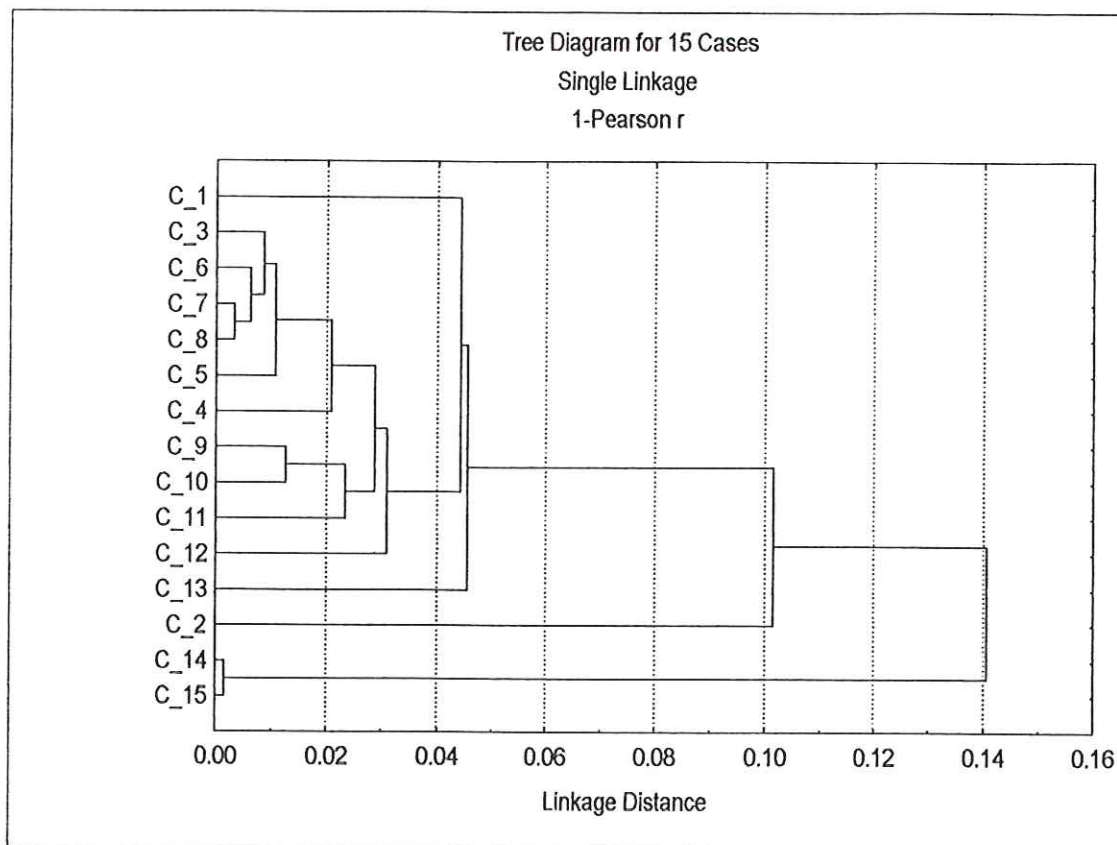


FIGURA 47 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em fevereiro/00. C1 (rio Tietê), C2 (rio Piracicaba), C3 (Barra Bonita Montante), C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante) e C15 (Três Irmãos Jusante).

Em maio/00, a análise revelou um ponto isolado (rio Tietê) de um grupo maior formado pelas demais estações de coleta, sendo este subdividido em um ponto isolado (rio Piracicaba), em um subgrupo formado pelos reservatórios de Barra Bonita a Nova Avanhandava e um outro subgrupo, formado pelo reservatório de Três Irmãos (Figura 48).



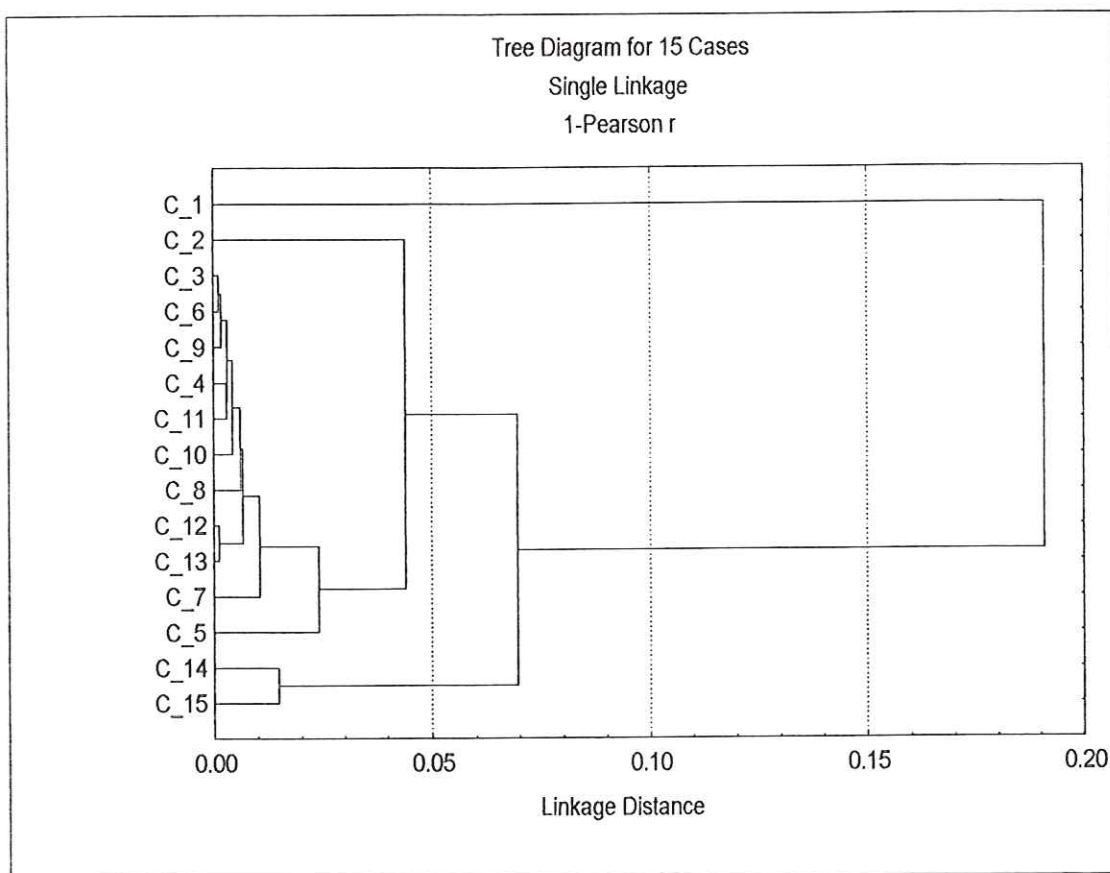


FIGURA 48 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em maio/00. C1 (rio Tietê), C2 (rio Piracicaba), C3 (Barra Bonita Montante), C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante) e C15 (Três Irmãos Jusante).

No período seco (julho/00), a análise de agrupamento evidenciou a ocorrência de um ponto isolado (rio Piracicaba) e um único grupo com as demais estações de coleta. Este grupo maior é composto por 3 subgrupos: o primeiro englobando os rios Tietê e Bauru e à jusante da barragem de Barra Bonita; o segundo formado por Barra Bonita Montante e os reservatórios de Bariri a Nova Avanhandava, e o terceiro com o reservatório de Três Irmãos (Figura 49).

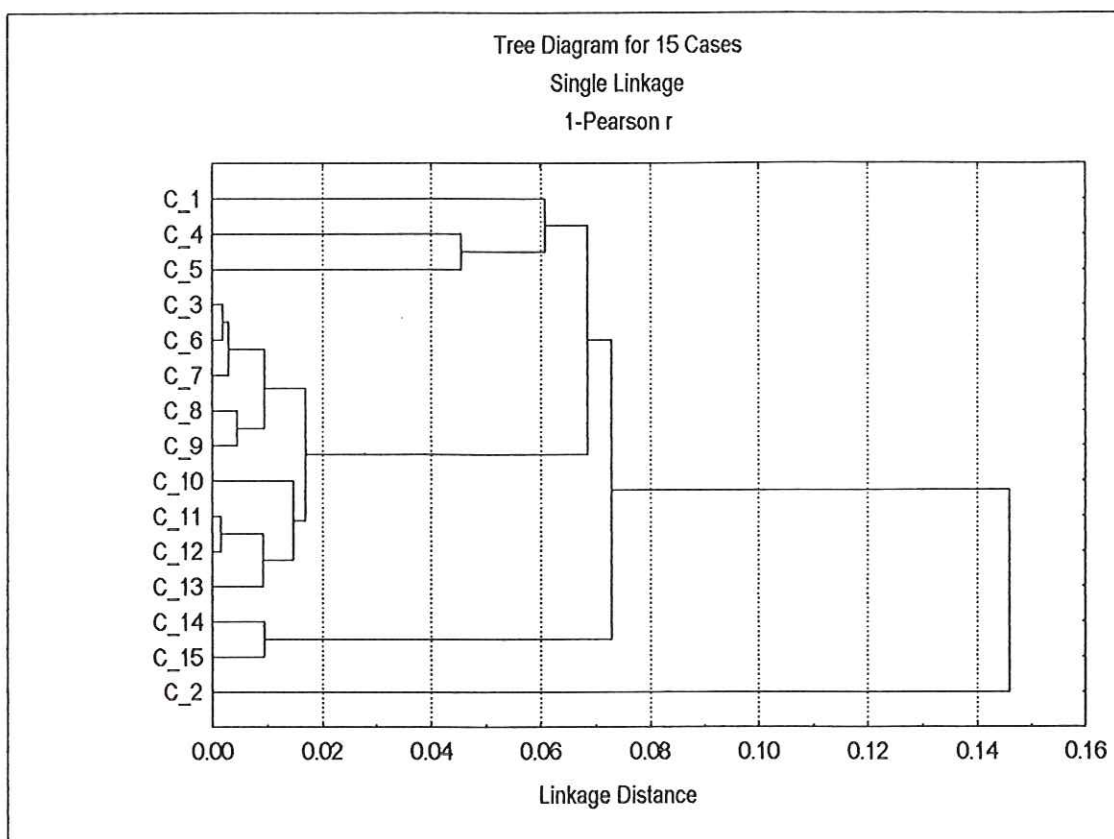


FIGURA 49 – Análise de agrupamento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê em julho/00. C1 (rio Tietê), C2 (rio Piracicaba), C3 (Barra Bonita Montante), C4 (Barra Bonita Jusante), C5 (rio Bauru), C6 (Bariri Montante), C7 (Bariri Jusante), C8 (Ibitinga Montante), C9 (Ibitinga Jusante), C10 (Promissão Montante), C11 (Promissão Jusante), C12 (Nova Avanhandava Montante), C13 (Nova Avanhandava Jusante), C14 (Três Irmãos Montante) e C15 (Três Irmãos Jusante).

De um modo geral, pode-se afirmar que a formação de compartimentos distintos entre os reservatórios sugere a existência de um gradiente crescente de melhoria da qualidade da água ao longo da cascata de reservatórios.

A composição química da água em reservatórios depende da natureza hidrogeológica da bacia hidrográfica, da química da água do rio, do processo químico dentro do reservatório, após o estabelecimento do nível da água e do uso do solo (TUNDISI *et al.*, 1993). Como os reservatórios são parte de uma bacia hidrográfica, detectam todos os efeitos das atividades antropogênicas na mesma, recebendo contribuições de diferentes origens, que não só contribuem com resíduos de atividades humanas (quando for o caso), como também de diferentes áreas geológicas, as quais também contribuem com o tipo de sedimento e a concentração

de íons. Neste sentido, um reservatório apresenta características próprias e constitui-se num centro coletor de eventos que ocorrem em seu entorno.

A Bacia do Médio Tietê, onde estão inseridos os reservatórios de Barra Bonita a Promissão, tende a ser afetada por enorme aporte de materiais de origens industrial e agrícola, além do desflorestamento, assoreamento e toxicidade o que, certamente, deve refletir na qualidade ambiental desses sistemas. Além dos impactos ambientais decorrentes do crescimento regional, o primeiro reservatório da série sofre, ainda, os impactos dos processos à montante ao receber os dejetos oriundos da cidade de São Paulo e do rio Piracicaba. Em contrapartida, a menor pressão demográfica, o menor número de indústrias e o predomínio de áreas agrícolas na Bacia do Baixo Tietê, diminui os impactos na qualidade ambiental, ainda que permaneçam aqueles causados pela atividade agrícola.

Além disso, é preciso destacar o processo de retenção de materiais que ocorre ao longo dos reservatórios, o que contribui para a melhoria da qualidade da água. De acordo com a CESP (1998), o tempo de residência dos reservatórios do rio Tietê permite a decantação do material em suspensão e a reciclagem dos nutrientes, o que faz com que a água oriunda da grande São Paulo, tóxica e anóxica, chegue a sua foz, no rio Paraná, sem restrições para usos múltiplos.

É preciso salientar que, apesar de ter sido suposta uma melhoria na qualidade ambiental ao longo da série de reservatórios, foi detectada toxicidade aguda nas amostras de água e sedimento provenientes dos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos. De acordo com BERTOLLETI (1990), algumas situações dificultam a previsão da toxicidade nas amostras de água e sedimento como: 1) a presença de outras substâncias que podem ter provocado a toxicidade nos organismos-teste e que não foram detectadas analiticamente, 2) a biodisponibilidade de uma substância, principalmente metais, que podem interferir na intensidade do efeito tóxico, 3) a interação de várias substâncias presentes, que podem produzir efeitos aditivos, antagônicos e mesmos sinérgicos nos organismos-teste. Segundo o autor, os bioensaios de toxicidade devem ser considerados uma análise indispensável, pois fundamentam-se na utilização de organismos vivos, que podem melhor responder aos desequilíbrios que eventualmente ocorram no ecossistemas aquáticos.

No presente trabalho foi possível verificar o adiantado estado de eutrofização do reservatório de Barra Bonita e uma tendência à eutrofização nos reservatórios de Bariri a Promissão, bem como elevados níveis de metais e toxicidade na água e sedimento desses reservatórios. Diante deste quadro, faz-se necessário a tomada de medidas que visem a recuperação e conservação desses sistemas.

De acordo com TUNDISI *et al.* (1999), os vastos recursos hídricos do Brasil têm um grande significado ecológico, econômico e social. Portanto, o gerenciamento, conservação e recuperação desses sistemas é de fundamental importância com reflexos na economia, na área social e nos usos dos sistemas aquáticos.

No entanto, a recuperação de represas, rios, lagos e áreas alagadas demanda um conjunto de ações integradas que envolvem a bacia hidrográfica, o ecossistema aquático e seus componentes físicos, químicos e biológicos e tem as seguintes etapas definidas:

- diagnóstico inicial do sistema e seu estágio de contaminação ou degradação;

- diagnósticos dos custos e perdas envolvidas com o processo de degradação e a depreciação em propriedades, perda de biodiversidade e perdas de processos;

- avaliação das alternativas para a recuperação e custos de recuperação

Assim, o gerenciamento torna-se muito complexo, dependente de uma forte base de dados e do desenvolvimento de mecanismos de transferência de conhecimento básico científico para uma real aplicação. O gerenciamento de ecossistemas aquáticos continentais requer contínuas ações interativas e integradoras que envolvem os seguintes aspectos:

- gerenciamento das bacias hidrográficas e seus principais componentes: solo, vegetação, controle de fontes pontuais e não pontuais de fósforo e nitrogênio;

- gerenciamento *in situ* do sistema aquático e medidas adequadas para a conservação, proteção e recuperação;

- elaboração de novas metodologias adequadas a cada sistema, compreendendo as seguintes etapas: monitoramento, uso e tratamento dos resultados, banco de dados, modelagem ecológica e implementação de suporte à decisão com base nesses dados.

## 7. CONCLUSÕES

⇒ As altas concentrações das formas nitrogenadas e fosfatadas nos rios Tietê, Piracicaba e no reservatório de Barra Bonita evidenciam o impacto por dejetos industriais e domésticos, permitindo a classificação de tais sistemas como eutróficos em relação aos demais reservatórios, onde verificou-se, de modo geral, uma redução dos nutrientes, principalmente nos dois últimos (Nova Avanhandava e Três Irmãos).

⇒ No período chuvoso, o efeito do fluxo d'água sobre a qualidade da água dos reservatórios é mais nítido, devido ao aumento do carreamento de material alóctone proveniente da bacia hidrográfica, fazendo com que os sistemas recebam maior quantidade de nutrientes e de material em suspensão, ocorrendo, assim, uma alteração do grau de trofia.

⇒ No período seco, o carreamento de material para os reservatórios é menor devido à diminuição dos índices pluviométricos, o que, aliado ao maior tempo de retenção da água, permite maior taxa de sedimentação do material, contribuindo para um predomínio das condições mesotróficas e oligotróficas.

⇒ As concentrações de cádmio, manganês e cromo na coluna d'água apresentam-se elevadas em comparação aos limites estabelecido pela resolução CONAMA 20/1986 para rios de classe 2, principalmente para os rios Tietê e Piracicaba e para os primeiros reservatórios. Contudo, houve um aumento das concentrações de cromo e cobalto ao longo da cascata de reservatórios, indicando que estes ecossistemas comportam-se diferentemente quanto à quantidade de metais na água e que cada elemento deve sofrer interações distintas nos diferentes ambientes.

⇒ A fração biodisponível de metais foi elevada e demonstrou um aumento ao longo dos anos, evidenciando o processo de deterioração pelo qual vêm passando esses reservatórios.

⇒ Os resultados obtidos dos bioensaios de toxicidade aguda realizados com água e sedimento para *Daphnia similis* demonstraram um aumento da toxicidade ao longo dos reservatórios em cascata, ao contrário do observado em bioensaios de toxicidade crônica para *Ceriodaphnia dubia*, evidenciando assim não somente diferença de sensibilidade entre as espécies, mas também a influência de fatores como pH, dureza e material suspenso na biodisponibilidade de poluentes.

⇒ As análises de agrupamento realizadas em função dos dados físicos, químicos, biológicos e de bioensaios de toxicidade realizados com amostras de água e sedimento, para cada período de coleta, revelaram a existência de compartimentos distintos ao longo da cascata de reservatórios, verificando-se que há regiões com maior similaridade entre si (reservatórios de Barra Bonita a Nova Avanhandava) e outras, com menor similaridade (rio Tietê e reservatório de Três Irmãos). Dessa maneira, é suposta uma melhoria na qualidade ambiental ao longo dos reservatórios, devido ao processo de retenção de material e as atividades desenvolvidas na área de entorno dos reservatórios. Contudo, foi detectada toxicidade nas amostras de água e sedimento nos reservatórios de Nova Avanhandava e Três Irmãos, demonstrando a importância do uso de bioensaios de toxicidade para uma melhor avaliação das condições ambientais.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, W.J.; KIMERLE R.; BARNETT JÚNIOR, J.W. (1992). Sediment Quality and Aquatic Life Assessment. *Environ. Scien. and Tecnol.*, v.26, n.10, p.1865-1873.
- ADAMS, W.J. (1995). Aquatic Toxicology Testing Methods In: HOFFMAN, D. J.; RATTNER, B.A.; BURTON, G.A.J.; CAIRNS, J.J., eds. *Handbook of Ecotoxicology*. 1-ed, London, Lewis Publishers. Cap. 3, p.25-46.
- AGOSTINHO, A.A.; VAZZOLER, A.E.A.M.; THOMAZ, S.M. (1995). The High River Parana Basin: Limnological and Ichthyological Aspects. In: TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M.; MATSUMURA-TUNDISI, T., eds. *Limnology in Brazil*. Rio de Janeiro, ABC/SBL, p.59-103.
- ALLAN, J.D. (1995). *Stream ecology: structure and function of running waters*. London, Chapman & Hall. 338p.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION; WATER CONTROL FEDERATION (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. New York.
- ANDERSEN, J.M (1976). An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Water Resources*, v.10, p.329-331.
- ANKLEY, G.T.; Di TORO.; D.M.; HANSEN, D.J.; BERRY, W.J. (1996). Assessing the ecological risk of metals in sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.15, n.12, p.2053-2055.
- ARAGÃO, M.A; BURATINI, S.V. (2000). Caracterização da dureza das águas superficiais do estado de São Paulo. In: VI Encontro de Ecotoxicologia. "Ecotoxicologia e Desenvolvimento Sustentável: Perspectivas para o século XXI", São Carlos, 2000. *Resumos*. São Paulo. USP. p.126.
- ARANHA, F.J (1990). *Influências de fatores hidráulicos na composição e biomassa do fitoplâncton em curtos períodos de tempo, na Represa de Barra Bonita, (Médio Tietê, S.P)*. São Carlos.150 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- ARMENGOL, J. (1977). Tipologia dos embalses espanhóis. In: Seminario sobre medio ambiental y embalses. *Anais*. Montevideu. Tomo I. p 3-6.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1968). MB 32 – Análise Granulométrica de Solos. Método Brasileiro. 7p.
- AVAKYAN, A.B. (1998). Volga-Kama cascade reservoir and their optimal use. *Lake e Reservoir: Research and Management*, v.3, p.113-121.
- BARBOSA, F.A.R.; PADISÁK, J., ESPÍNDOLA, E.G.L.; 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., eds. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Rio de Janeiro, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. p.425-437.
- BARBOSA, R.M. (2000). *Avaliação do impacto de lodo de estações de tratamento de água à biota aquática através de estudos ecotoxicológicos*. São Carlos. 200p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BAUDO, R. (1989). Uncertainty in description of sediment chemical composition. *Hydrobiol, Sediment/Water Interaction*, v.176/177, p.441-448.
- BERNARDES, H.M. (1995). *Estudo do Comportamento Estrutural da Caixa Espiral de uma turbina tipo Kaplan por modelo físico e método numérico*. 132 p. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BERTOLETTI, E. (1990). Toxicidade e concentração de agentes tóxicos em efluentes industriais. *Ciência e Cultura*, v.42, p.271-277.
- BHOWMIK, N.G.; ADAMS, R.J. (1989). Sucessional changes in habitat caused by sedimentation in nagation pools. *Hydrobiol, Sediment/Water Interactions*. v.176/177, p. 17-27.
- BOLTON, P.W.; CURRIE, J.C.; TERVET, D.J.; WELSH, W.T., (1978). An index to improve water quality classification. *Water Pollution Control*, v.77, n.2, p.271-280.
- BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C.M (1999). Monitoramento da Quantidade e Qualidade das Águas. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G., orgs. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo, Escrituras. Cap.19, p.637-651.
- BRANCO, S.M. (1991). A Água e o Homem. In: PORTO, R.L.L., org. *Hidrologia Ambiental* Coleção ABRH de Recursos Hídricos. São Paulo, EDUSP/AERH, v.3, 620p.



- BRANCO, S.M. (1999). A Água, Meio Ambiente e Saúde. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G., orgs. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo, Escrituras. Cap.7, p.227-247.
- BRANCO, S.M.; ROCHA A.A. (1977). *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*. São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 185p.
- BROWN, R.M.; McCLELLAND, N.; DEININGER, R.A. TOZER, R.G. (1970). An index to improve water quality index-do we dare? *Water & Sewage Works*, p.339-343.
- BURTON, G.A.Jr. (1991). Assessing the toxicity of freshwater sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.10, p.1585-1627.
- BURTON, G.A.Jr.; SCOTT, K.J. (1992). Sediment Toxicity Evaluations: their niche in ecological assessments. *Environ.Sci.Technol*, v.26, n.11, p.2068-2975.
- BURTON, G.A.Jr. (1999). Realistic assessment of ecotoxicity using traditional and novel approaches. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, v.2, p 1-8.
- BURTON, G A.Jr.; MACPHERSON, C.(1995). Sediment toxicity testing issues and methods. In: HOFFMAN, D.J.; RATTNER, G.A.; BURTON, G.A.Jr.; CAIRNS, Jr., eds. *Handbook of Ecotoxicology*, Lewis Publishers, Boca Raton Fl. Cap.5, p.70-103.
- CÁCERES, O.; TUNDISI, J.G.; CASTELLAN,, O.A.M (1987). Residues of organochloric pesticides in reservoirs in São Paulo State. *Ciência e Cultura*, v.39 n.3, p.259-264.
- CAIRNS J.Jr.; ALBAUGH, D.W.; BUSEY, F.; CHANAY, M.D. (1968). The sequential comparison index-a simplified method for non biologists to estimate relative differences in biological diversity in stream pollution studies. In: FORNASARO *et al* (1981). Aplicação de índices biológicos numéricos para a avaliação da qualidade ambiental. II Seminário Regional de Ecologia. *Anais*. São Carlos – SP.
- CALHEIROS, D.F. (1993). *Ecotoxicologia de compostos organoclorados persistentes em um ecossistema eutrófico: Represa de Barra Bonita*. São Carlos. 198p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CALIJURI, M.C. (1988). *Respostas fisioecológicas da comunidade zooplanctônica e fatores ecológicos em ecossistemas com diferentes estágios de eutrofização*. São Carlos. 293p Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CALOW, P. (1993). General Principles In: CALOW, P., ed. *Handbook of Ecotoxicology*. Blackwell Science. Ltda, Oxford, Cap.1.

- CARLSON, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol and Oceanogr.*, v.22, n.2, p.361-369.
- CHALAR-MARQUISÁ, G. (1998). *Sedimentação e fluxo vertical de nutrientes em 2 reservatórios de distintos estados tróficos (reservatório do Broa e de Barra Bonita)*. São Carlos.151p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CHAPMAN, P.M.; WANG, F.; JANSSEN, C.; PERSOONE, G. (1998). Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. *Can.J.Fish.Aquat.Sci*, v.55, p.2221-2243.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1997). Hidrovia Tietê-Paraná; Hidrovia do Mercosul: Um rio de negócios./CESP. São Paulo. Mapas (Série Divulgação e Informação, 206). 25p.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (1998). Conservação e Manejo nos Reservatórios. *Limnologia. Ictiologia. Pesca*. 163p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1991a). Água e Teste de Toxicidade Aguda com *Daphnia similis* Claus, 1876 (Cladocera, Crustacea). *Norma Técnica L5.018.CETESB*, São Paulo.33p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1991b). Água e Teste de Toxicidade Crônica utilizando *Ceriodaphnia dubia* Richard, 1894 (Cladocera, Crustacea). *Norma Técnica L5.022.CETESB*, São Paulo.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (1992). “Água – Método de avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos (série didática).
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (1998). *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo*. 244 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (2000). Qualidade da água de rios e reservatórios. <http://www.cetesb.sp.gov.br>. (20.02.2001).
- COONEY, J.D (1995). Freshwater test. In: RAND, G.M, ed. *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment*. Washington, Taylor & Francis. Cap.2, p.71-98.
- COOPER, D.C.; MORSE, J.W. (1998). Extractability of metal sulfide minerals in acid solutions. Applications to environmental studies of trace metal contamination within anox sediments. *Environ. Sci. Technol*, v.32, p.1076-1078.

- COWGILL, U.M. (1987). Critical analysis of factors affecting the sensitivity of zooplankton and the reproducibility of toxicity test results. *Wat.Res.*, v.21, n.12, p.1453-1462.
- DA SILVA, M. R.; SILVA, E. (1999). Teores de metais pesados e caracterização de sedimentos de superfície no Rio Itajaí-Açú e seus afluentes na região de Blumenau: um estudo preliminar. *Revista de estudos ambientais*, v.1, n.2, p.95-107.
- DE FILLIPO, R. (1986). *Ciclo sazonal do fitoplâncton fatores climáticos e hidrológicos na represa de Barra Bonita São Paulo*. São Carlos. 90p. Universidade Federal de São Carlos.
- DE FILLIPO, R.; GOMES, E.L.; LENZ-CÉSAR, J.; SOARES C.B.P., MENEZES, C.F.S. (1999). As alterações na Qualidade da Água durante o Enchimento do Reservatório de UHE Serra da Mesa-GO. In: HENRY, R., ed. *Ecologia de Reservatórios*. Botucatu, FUNDIBIO FAPESP. Cap.11, p.321-346
- DE OLIVEIRA, H.T.(1993). *Avaliação das condições limnológicas de um compartimento (braço do Capivari) e sua interação com o reservatório de Barra Bonita*. São Carlos. 327p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
- DÉCAMPS, H.; CAPBLANCQ, J.; CASANOVA, H.; TOURENQ, J.N. (1978) Hydrobiology of some Regulated Rivers in the Southwest of France. In: WARD, J.; STANFORD, J.A., eds. *The Ecology of Regulated Streams*. New York. Plenum Press. Cap11, p.321-346.
- DERISIO, J.C (1992) *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. Imprensa Oficial do Estado S.A. IMESP. 1 ed. 201p.
- Di TORO, D.M., MAHONY, T.D., HANSEN, D.J., SCOTT, K.J., HICKS, M.B., MAYR, S.M., REDMOND, M.S. (1990). Toxicity of cadmium in sediments. The role of acid volatile sulfide. *Environ. Toxicol.Chem*, v.9, p.1487-1502.
- DIAZ-GAVILAN, R.A. (1990). *Flutuações nictimerais dos fatores ecológicos da Represa de Barra Bonita. (Médio Tietê, S.P)*. 150p. São Carlos. - Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos.
- ESPÍNDOLA, E.L.G. (1994). *Dinâmica da associação congênica da espécie de *Notodiaptomus* (Copepoda, Calanoida) no reservatório de Barra Bonita*. 363p. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ESPÍNDOLA, E.L.G.; PASCOAL, C.M.R.B.; TONISSI, F.B.; MAGALHÃES, R. (1998). Avaliação ecotoxicológica de sedimento como uma instrumento de controle para a qualidade da água do reservatório de Salto Grande

- (Americana/SP). Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. Águas de Lindóia, SP. *Anais*. v.4, p.99-111.
- ESPÍNDOLA, E.L.G.; ROCHA, O.; RIETZLER, A.; CALIJURI, M.C.; MATSUMURA –TUNDISI, T.; TUNDISI, J.G.; BARBOSA F.A.R (1999). Limnologia comparada dos reservatórios em cascata do Médio Tietê (SP): uma análise temporal. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA. Florianópolis, 1999. *Caderno de Resumos*. UFSC, v.1, p.233.
- ESTEVES, F.A.; FERREIRA, J.R.; PESSEDA, L.C.R.; MORTATTI, J. (1981). Análises preliminares sobre o teor e a distribuição de metais em sedimentos de represas do Estado de São Paulo. In: II Seminário Regional de Ecologia. São Carlos, 1981. *Anais*, UFSCar, p.323-342.
- ESTEVES, F.A.; CAMARGO, A.F.M. (1982). Caracterização de sedimentos de 17 reservatórios do estado de São Paulo com base no teor de feopigmentos, carbono orgânico e nitrogênio orgânico. *Ciência e Cultura*, v.34, n.5, p.669-674.
- ESTEVES, F.A.; TOLENTINO, M. (1983). Identificação e caracterização de alguns grupos de represas do estado de São Paulo com base na composição química dos seus sedimentos. *Ciência e Cultura*, v.38, n.3, p.540-545.
- ESTEVES, F. A. (1988). *Fundamentos da Limnologia*. Rio de Janeiro. Interciências FINEP. 602p.
- FONSECA, A.L. (1997). *Avaliação da qualidade da água na Bacia do Rio Piracicaba através de testes de toxicidade com invertebrados*. São Carlos. 211p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FRACÁCIO, R. (2001). *Utilização de bioensaios ecotoxicológicos com Danio rerio (Cypriniformes, Cyprinidae) para a avaliação da qualidade do sedimento em reservatórios do rio Tietê (SP)*. São Carlos. 240p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GENTIL, J.G. (1984). *Estudo limnológico comparado de cinco reservatório do Estado de São Paulo, localizado em diferentes sistemas hidrográficos*. São Carlos. 269p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos.
- GHERARDI-GOLDSTEIN, E. (1988). Testes de toxicidade de efluentes industriais. *Ambiente*, v.2, n.1, p.33-38.
- GIESY, J.P.; HOKE, R.A. (1989). Freshwater sediment toxicity bioassessment; rationale for species selection and test design. *J. Great Lakes Res.*, v.15, n.4, p.539-569.
- GIESY, J.P.; ROSIU, C.J.; GRANEY, R.L. (1990). Benthic invertebrate bioassays with toxic sediment and pore water. *Environ.Toxicol.Chemist.*, v.9, p.233-248.

- GOLDMAN, C.R; HORNE, A.J. (1994). *Limnology*. New York, McGraw-Hill. 464p.
- GOLOSOV, V.N.; VINOGRADOVA, N.N (1994). Some sedimentation and water quality problems of the Volga River reservoirs. In: *Reservoir safety and environmental: proceedings of the eighth conference of the British Dam Society Held at the University of Exeter*. London, Thomas Telford, p.91-99
- GOLTERMAN, H.L; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, R (1978). *Methods for physical and chemical analysis of freshwater*. 2 ed. IBP. Oxford, Handbook, 8, Blackwell. Science. Publishers.
- GOVONI, S.H. (1994). *Eutrofização da Represa de Barra Bonita e comportamento da comunidade fitoplanctônica* São Carlos. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GUCHTEN, C. VAN.; LEEUWEN, C.J (1988). Sediment Pollution. In: KRUIJ, H.A.M.; ZWART, D., eds. *Manual on aquatic ecotoxicology*. 1 ed. London, Kluwer Academic Publishers. p.180-189.
- GUNNISON, D.; CHEN R.L.; BRANNON, J.M. (1983). Relationship of materials in flooded soils and sediment to the water quality of reservoir-I. Oxygen consumption rates. *Water Res.* v.17, n.11, p.1609-1617.
- GUILLARD, R.R.L; LORENZEN, C.J (1972). Yellow-green algae with chlorophyll. *J.Phycol.*n.8, v.1, p10-14
- GÜNTZEL, A.M. (2000). *Variações espaço-temporais da comunidade zooplanctônica nos reservatórios do médio e baixo rio Tietê/Paraná*. São Carlos. 445p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos.
- HAMILTON, M.; RUSSO, R.C.; THURSTON, R.V. (1977). Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. *Environ. Sci. Tech.*, v.11, n.7, p.714-719.
- HENRY, R. (1986). O crescimento potencial do fitoplâncton de Barra Bonita (Rio Tietê): uma comparação sazonal dos efeitos de enriquecimento artificial em amostras de seus tributários. *Ciência e Cultura*. v.38, n.9, p.1553-1564.
- HENRY, R.; SIMÃO.; C.A (1981). Aspectos sazonais de limitação potencial por N, P e Fe no fitoplâncton da represa de Barra Bonita (Rio Tietê, SP). *Ver.Bras.Biol.* v.48, n.1, p.1-14.
- HOFFMAN, D.J.; HATTNER, B.A.; BURTON, G.A. J.; CAIRNS, J.J. (1995). Introduction. In: HOFFMAN, D. J.; HATTNER, B. A.; BURTON, G. A. J.; CAIRNS, J. J., eds. *Handbook of Ecotoxicology*. 1 ed, London, Lewis Publishers. Cap.1, p.1-10.

- HUTCHINSON, G.E. (1957). *A treatise on limnology V.II. Geography, Physics and Chemistry*. New York; John Wiley & Sons. 1015p.
- IBAMA (1990). *Manual de Testes para a Avaliação da Ecotoxicidade da Agentes Químicos*. Brasília.
- INGERSSOL, C.G. (1995). Sediment test. In: RAND, G.M., ed. *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment*. Washington, Taylor & Francis. Cap.8, p.103-131.
- INGERSSOL, C.G.; WINNER, R.W. (1982). Effect on *Daphnia pulex* of daily pulse exposure to copper or cadmium. *Environ.Toxicol.Chem*, v.1, p.321-327
- INSTITUTO DO AMBIENTE E VIDA (2000). A biodisponibilidade de contaminantes para os organismos filtradores, *Daphnia magna*: o papel das partículas em suspensão. <http://www.uc.pt/iav> (10.02.01).
- JUREIDINI, P.A.; CHINEZ, S.J.; AGUIDO, E.G. (1983). Medições da produção primária em 3 reservatórios do Estado de São Paulo. *Ciência e Cultura*, v.35, n.9, p.1341-1346.
- JUREIDINI, P.A. (1987). *A ecologia e a poluição na Represa de Barra Bonita no Estado de São Paulo*. 192p. Botucatu.. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista.
- KEATING, K.I.; CAFFREY, P.B.; DAGBUSAN, B.C. (1996). Buffers in *Daphnia* cultures and bioassays. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.15, n.3, p.348-352.
- KENNEDY, R. H. (1999). Reservoir Design and Operation. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M., ed. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*, Rio de Janeiro, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. p.1-28.
- KIMMEL, B.L.; SØBALLE, D.M.; ADAMS, S.M.; PALUMBO, A.V.; FORD C.J.; BEVELHIMER, M.S. (1988). Effects of a new reservoir on organic matter production and processing in a multiple impoundment series. *Verh. Internat.Verein.Limnol*, v.23, p.985-994.
- KOHLEPP, G. (1999). Grandes barragens no Brasil: problemas ecológicos e sócio-econômicos. *Revista de estudos ambientais*, v.1, n.1, p.50-61.
- KOROLEFF, F (1976). Determination of nutrientes. In: GRASSHOFF, K., ed. *Methods of seawater analysis*. Verlag. Chemie. Weinheim, p.117-181
- KURATA, A. (1989). The effect of low water levels on the water quality of Lake Biwa. *Hydrobiol, Sediment/Water Interactions*, v.176/177, p.29-38.

- LARSSON, P.; ANDERSSON, A.; BROMAN, D.; NORDBÄCK, J.; LUNDBERG, E. (2000). Persistent organic pollutants (POPs) in pelagic systems. *Ambio*, v.29, n.4-5, p.202-209.
- LEGISLAÇÃO AMBIENTAL BRASILEIRA. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA 20/1986.
- LIMA, N.R.W. (1990). Análises dos níveis de metais pesados no sistema hídrico da Estação Ecológica de Jataí, SP. *Acta Limno. Bras*, v.3, Tomo 2, p.1001-1022.
- LITHNER, G.; BORG, H.; EK, J.; FRÖBERG, E.; HOLM, K.; JOHANSSON, A.M.; KÄRRHAGE, P.; SÖDERSTRÖM, M. (2000). The Turnover of Metals in a Eutrophic and Oligotrophic Lake in Sweden. *Ambio*, v.29, n.4-5, p.217-229.
- MACKERETH, S.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.S (1978). *Water analysis: some revised methods for limnologists*, (Freshwater Biological Association Scientific Publication, 36), Kendal: Titus Wilson & Sons Ltda, 117p.
- MANAHAM, S.E. (1994). *Environmental Chemistry*. 6 ed. Lewis Publishers. 811p.
- MARGALEF, R. (1983). *Limnologia*. Barcelona, Omega. S.A 1010p.
- MATSUMURA –TUNDISI, T.; HINO, K.; CLARO, S. (1981). Limnological studies at 23 reservoir in southern part of Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limn.*, v.21, p.1040–1047.
- MATSUMURA–TUNDISI, T.; TUNDISI, J.G.; ABE, D.S.; LUZIA, A.P.; RAEDER, L.F. (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, 2000. *Resumos*. São Paulo, UFSCar-USP, p.40.
- MELETTI, P.C. (1997). *Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Piracicaba através de testes de toxicidade aguda com peixes*. São Carlos. 148p. Dissertação (Mestrado). - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MOALLA, S.M.N.; AWADALLAH, R.M.; RASHED, M.N.; SOLTAN, M.E. (1998). Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hydrobiol*, v.364, p.31-40.
- MOTULSKY, H. (1995). *Intuitive Biostatic*. New York. Oxford University Press.
- MOZETO, A.A (1999). Sedimentos e particulados lacustres: amostragens e análises biogeoquímicas. Laboratório de Biogeoquímica Ambiental – Departamento de Química. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. *Apostila*. 24p.

- NEWNAM, M.C.; JAGOE, C.H (1994). Ligands and Bioavailability of Metals in Aquatic Environments. In: HAMELINK, J.L.; LANDRUM, P.F.; BERGMAN, H.L.; BENSON, W.H., eds. *Bioavailability, Physical, Chemical and Biological Interactions*. SETAC special publication. Lewis Publisher. Cap.1, p.39-62
- NOGUEIRA, V.P.Q. (1991) Qualidade da Água em Lagos e Reservatórios. In: PORTO, R.L.L., org. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo, ABRH/Edusp. Cap.2, p.166-190.
- NUSCH, E.A. (1980). Comparation of different methods for chorophyll and phaeopigments determination. *Arch. Fur. Hydrobiol.*, v.14, p. 14-36.
- OLVERA-VIASCÁN, V.; BRAVO-INCLÁN, L.; SÁNCHEZ-CHÁVEZ, J. (1998). Aquatic ecology and management assessment in Valle de Bravo reservoir and its watershed. *Environmental Pollution*, v.10, p.277-290.
- PARAGUASSÚ, A.B.; GALDOLFI, N.; LANDIM, P.M.B.L. (1988) Considerações sobre o assoreamento do reservatório de Álvaro de S. Lima (Bariri). In: TUNDISI, J.G., ed. *Limnologia e Manejo de Represas. Série: Monografia em Limnologia*. v.I, p 165-205.
- PASCOE, D.; EDWARDS, R.W (1989). Single species toxicity tests. In: BOUDOU, A.; RIBEYRE, F., eds. *Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies*. Florida. Boca Raton. v. II, Cap.2.1, p.93-126.
- PEREIRA, A.M.M.; SOARES, A.M.V.M.; GONÇALVES, F.; RIBEIRO, R. (1999). Test chambers and test procedures for in situ toxicity testing with zooplankton. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v.18, n. 9, p.1956-1964.
- PERSONE, G.; JANSSEN, C.R. (1993). Freshwater invertebrate toxicity test. In: CALOW, P., ed. *Handbook of Ecotoxicology*. Blackwell Science. Ltda, Oxford, Cap.4.
- POPE, L.M. (1998). Watershed Trend Analysis and Water-Quality Assessment Using Bottom-Sediment Cores From Cheney Reservoir, South-Central Kansas. *U.S.Geology Survey*. <http://www.usgs.gov>. (10.02.01).
- PORTO, M.F.A. (1991). Estabelecimento de parâmetros de controle de poluição. In: PORTO, R.L.L., org. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo, ABRH/Edusp. Cap.3, p.375-389.
- PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F (1971) Assesmente of surface water of pollution. *Water Research*, v.5, p.741-751.
- PRINTES, L.B (1996). *Biomonitoramento de Ambientes Aquáticos da Microrregião Carbonífera do Baixo Jacuí RS, através de Testes de Toxicidade com Cladoceros e Implementação de Cultivos e Definição de Faixa de Sensibilidade de *Hyalella**



- azteca (Crustacea: Amphipoda) ao Cloreto de Sódio (NaCl)*. 251p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- RAMOS, M.L.L.C.; GOLDSTEIN, E.G.; LOMBARDI, C.C.; ZAGATTO, P.A (1986). Estudos sobre a fertilidade potencial das águas do reservatório de Barra Bonita. *Acta Limnológica Brasileira*. v.1, p.155-178.
- RAND, G.M; WELLS, P.G.; McCARTY, L.S (1995). Introduction to Aquatic Toxicology. In: RAND, G.M., ed. *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment*. Washington, Taylor & Francis. Cap.1, p.3-66.
- RATTNER, B.A.; HEATH, A.C (1995). Environmental factors affecting contaminant toxicity in aquactic and terrestrial vertebrates. In: HOFFMAN, D.J.; RATTNER, B.A.; BURTON, G.A.J.; CAIRNS, J.J., eds. *Handbook of Ecotoxicology*. 1 ed, London, Lewis Publishers. Cap.22, p.519-546.
- REBOUÇAS, A.C. (1999). Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G., orgs. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo, Escrituras. Cap.1, p.1-30.
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (1999). Apresentação In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G., org. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo. Escrituras.
- REISH, D.J. (1988). The use of toxicity testing in marine environmental research. In: SOULE, D.F; KLEPPER, G.S, ed. *Marine organisms as indicators*. New York, Springer Verlag. Cap.10, p.231-245
- REYNOLDS, C. S. (1999). Phytoplankton Assemblages in Reservoir. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M., ed. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Rio de Janeiro, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. p.439-456.
- REYNOLDSON, T. B.; DAY, K. E. (1993). Freshwater Sediments. In: CALOW, P (1993). *Handbook of Ecotoxicology*. Oxford. Blackwell Science Publishers. v.1. Cap.6, p.83-100
- RIETZLER, A.C. (1995). *Alimentação, ciclo de vida e análise da coexistência de espécies de Cyclopoida na represa de Barra Bonita, São Paulo*. São Carlos. 385 p Tese (Doutorado). - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E.L.G., REIS, R.; SEVERI, W. (2000). Aspectos Estruturais e Funcionais das Cascatas de Reservatórios do Baixo rio 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, 2000. *Resumos*. São Paulo, UFSCar-USP, p 40.
- RODRIGUES, M.H (1999). *Análise da comunidade bentônica nos reservatórios do rio Tietê : avaliação dos efeitos da fragmentação artificial do rio, da qualidade da água e sedimento*. Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada). 31p.
- SAGGIO, A.A (1992). *Estudo de eutrofização do reservatório de Barra Bonita (rio Tietê – S.P) através de simulação numérica*. São Carlos. 105p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SALOMONS, W.; ROOIJ, N. M.; KERDIJK, H.; BRIL, J. (1987). Sediments as a source for contaminants? *Hydrobiol*, v.149, p.13-30.
- SANDES, M.A.L. (1990). *Flutuações e Fatores Ecológicos, Composição e Biomassa do Fitoplâncton em Curto Período de Tempo no reservatório de Álvaro de Souza Lima (Bariri, S.P)*. São Carlos. 111p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, S. C. D (1996). *Alguns aspectos do ciclo do fósforo e eutrofização de Barra Bonita, S.P*. São Carlos. 100p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SÃO PAULO (1981). *Mapa geológico do estado de São Paulo*. v. I e II. Mapa color. São Paulo. Publicação IPT. 92p.
- SÃO PAULO (ESTADO) (1982). Coordenadoria da Indústria e do Comércio. Diretrizes para a Política de Desenvolvimento e Desconcentração Industrial. Governo do Estado de São Paulo.133p.
- SARMANI, S.B. (1989). The determination of heavy metals in water, materials suspended and sediments from Langat River, Malaysia. *Hydrobiol. Sediment/Water Interactions*, v.176/177, p.411-417.
- SECO, J.I.G.; FERNÁNDEZ, C.P.; VALE, J.F.P (1998). Evaluation de la ecotoxicidad aguda de metales pesados com *Daphnia magna* Straus. *Ecotoxicology and Environmental Restoration*, v.1, p. 3-12.
- SEVERI, W.; REIS, R.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E.L.G. (2000). Características Limnológicas de Reservatórios do Submédio rio São Francisco. 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, 2000. *Resumos*. São Paulo. UFSCar-USP. p.42.
- SPARLING, D.W. (1995). Acid Deposition: A review of biological effects. In:

- HOFFMAN, D.J.; RATTNER, B.A.; BURTON, G.A.J., CAIRNS, J.J., eds. *Handbook of Ecotoxicology* 1 ed, London, Lewis Publishers. Cap.14, p.301-329.
- SPRAGUE, J.B. (1985). Factors that modify toxicity. In: RAND, G.M., PETROCELLI, S.R., eds. *Fundamentals of Aquatic Toxicology*. Washington, Hemisphere, p.123-163.
- SILVÉRIO, P.F. (1999). *Partição, Biodisponibilidade e Toxicidade de metais pesados a organismos bentônicos em sedimento*. São Carlos. 78p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos.
- SMITH, D.G (1989). A new form of water quality index for rivers and streams. *Wat. Sci. Tech.*, v.21, n.2, p. 123-127.
- SMITH, D.G (1990). A better water quality indexing system for rivers and streams. *Wat. Res.*, v.24, n.10, p.1237-1244.
- SMITH, V.H; TILMAN, G.D.; NEKOLA, J.C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, v.100, p.179-196.
- SOKAL, R.R; SNEATH, P.H.A. (1963). *Principles of Numerical Taxonomy*. San Francisco. W.H.Freeman and Co. 359p.
- SOLOMON, K.R (2000). Ecotoxicology and environmental risk and assessment. In: VI Encontro de Ecotoxicologia. "Ecotoxicologia e Desenvolvimento Sustentável: Perspectivas para o século XXI", São Carlos, 2000. *Resumos*. São Paulo. USP p.25.
- SORIANO, S.J.A. (1997). *Distribuição espacial e temporal de invertebrados bentônicos da Represa de Barra Bonita, (S.P)*. 149p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos.
- STRASKRABA, M. (1990). Limnological particularities of multiple reservoir series. *Arch.Hydrobiol.Beih.*, v.33, p.677-678.
- STRASKRABA, M (1994). Vltava cascade as teaching grounds for reservoir limnology. *Wat.Sci.Tech*, v.30, p.289-297.
- STRASKRABA, M. (1999). Retention Time as a Key Variable of Reservoir Limnology. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M., eds. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications*. Rio de Janeiro, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers. p.385-410.
- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A (1993). State the art of reservoir limnology and water management. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G.; DUNCAN, A., eds. *Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher. Cap.13, p.213-288.

- STRASKRABA, M.; TUNDISI, J.G. (1999). *Reservoir water quality management*. (Guidelines of Lakes Management Handbbook vol 9). Japão, ILEC/UNEP. 229p.
- TEIXEIRA, C.; TUNDISI, J.G.; KUTTNER, M.B. (1965). Plankton studies in a mangrove. II. The standing – stock and some ecological factors. *Bol. Inst. Oceanogr.*, v. 24, p.23-41
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C. (1987). Partitioning of trace metals in sediments: Relationships with bioavailability., Ecological Effects of In Situ Sediment Contaminants. *Hidrobiol.*, v.149, p.43-51
- THOMAZ, S.D.; BINI, L.M; ALBERTINI, S.M. (1997). Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO;A.A; GOMES, L.C., eds. *Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo*. Maringá, EDUEM. Cap.2, p.19-37.
- THOMAZ, S.D.; BINI, L.M. (1999). A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo da represa de Itaipu. In: HENRY, R., ed. *Ecologia de Reservatórios*. Botucatu. FUNDIBIO FAPESP. Cap.19. p.599-625
- TOLEDO, A.P.;TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983). Aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: 12<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais Camboriú* (SC).
- TOMAZZELI, A.C. (1999). *Biomonitoramento de metais pesados em duas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, utilizando como monitor biológico *Anodontites trapesialis* (LAMARCK, 1819)*. 64p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear, Universidade de São Paulo.
- TONISSI, F.B. (1999). *Avaliação ecotoxicológica do reservatório de Salto Grande, Americana (SP), como subsídio para a análise ambiental da qualidade do sistema*. São Carlos. 137p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J.G. (1969). *Produção primária, “standing stock” e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar da Cananéia*. São Paulo, 131 p. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- TUNDISI, J.G. (1981). Typology of reservoirs in southern Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limm.*, v.21, p.1031–1081.
- 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. Monografia em limnologia*. São Carlos, USP/EESC/CRHEA. v.I, p1-76.

- TUNDISI, J.G. (1990). Distribuição espacial, seqüência temporal e ciclo sazonal do fitoplâncton em represas: fatores limitantes e controladores. *Revista Brasileira de Biologia*, v.50, n.4, p.937-955.
- TUNDISI, J.G. (1999). Reservatórios como Sistemas Complexos: Teoria, Aplicações e Perspectivas para Usos Múltiplos. In: HENRY, R., ed. *Ecologia de Reservatórios*. Botucatu. FUNDIBIO FAPESP. Cap.1, p.19-38
- TUNDISI, J.G. (2000). Gerenciamento de Reservatórios. In: JØRGENSEN, S.E.; VOLLENWEIDER, R.A., ed. *Princípios para o gerenciamento de lagos*. Trad. por Dino Vannuci. São Carlos. Cap.10, p.139-152.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA –TUNDISI (1990). Limnology and eutrophication of Barra Bonita Reservoir, S.Paulo, Southern Brazil. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limn.* v.33, p.661–678.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA –TUNDISI, T.; CALIJURI, M.C.; NOVO, E.M.L (1991). Comparative limnology of five reservoirs in the middle Tietê River, S.Paulo State. *Verh. Internat. Verein. Limn.*, v.24, p.1489–1496.
- 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., eds. *Reservoir limnology and water quality management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher. Cap.2.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA –TUNDISI, T, ROCHA, O. (1999). Limnologia de Águas Interiores. Impactos, Conservação e Recuperação de Ecossistemas Aquáticos. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G., orgs. *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo. Escrituras. Cap.6, p.195–225
- VALENTE, J.P.S.; PADILHA, P.M.; SILVA, A.M.M. (1997). Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. *Eclética Química*, v.22, p.1-15.
- VANOTTE, R.L.; MINSHALL, K.W.; CUMMINS, J.; SEDELL, R.; CUSHING, C.E. (1980). The river continuum concept. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.*, v.37, p.130-137.
- VIEIRA M.S. (1996). *Avaliação limnológica de Ibitinga (Rio Tietê Superior – SP) e suas interações com a Bacia Hidrográfica, com base em parâmetros físicos e químicos do sedimento e água*. São Paulo. 179p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.
- VILLELA, S.H. (1992). *Avaliação Sócio-Econômica de Impactos Ambientais devido à Implantação e Operação da Usina Hidrelétrica de ‘Três Irmãos’, no rio Tietê – Aplicação de “Modelo Interpretativo da Inserção Regional de UHEs”, Elaborado pela Eletrobrás*. 124p. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- VILLELA, S.M; PONCE, R.J.C (1985). Boletim de Hidráulica e Saneamento Assoreamento de Reservatórios. Boletim nº 8. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 30p
- ZAGATTO, P.A., GOLDSTEIN, E.G., BERTOLETTI, E., LOMBARDI, C.C., MARTINS, M.H.R.B. (1985). Ensaio biológicos com organismos aquáticos: toxicidade de águas e sedimento de rios da região de Cubatão. In: 13<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maceió. 1985. *Anais.*, p 1-11.
- ZAGATTO, P.A. (1988). Sensibilidade de *Daphnia similis*: controle e qualidade de culturas. *Ambiente*, v.2, n.2, p.79-83.
- ZAGATTO, P.A.; LORENZETTI, M.L.; LAMPARELLI, M.C.; SALVADOR, M.E.; MENEGON, N.JR.; BERTOLETTI, E. (1999). Aperfeiçoamento dos índices de qualidade das águas. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA.. Florianópolis, 1999. *Caderno de Resumo*. Santa Catarina, UFSC. v.1, p.2.
- ZAGATTO, P.A. (1999). Mini – curso: Ecotoxicologia Aquática. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA. Florianópolis, 1999. *Apostila*. Santa Catarina, UFSC.
- WALLING, D.E.; MOOREHEAD, P.W. (1989). The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. *Hydrobiol. Sediments/Water Interactions*, v.176/177, p.125-149.
- WETZEL, R.G. (1993). *Limnologia*. Trad. por Maria José Boavida. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 919p.
- WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. (1991). *Limnological. Analysis*. New York, Springer Verlag, 391p
- WIEDERKOLM, T.; DAVE, G. (1989). Toxicity of metal polluted sediments to *Daphnia magna* and *Tubifex tubifex*. *Hydrobiol. Sediments/Water Interactions* v.176/177, p.411-417.
- ZANATA, L.H. (1999). *Heterogeneidade espacial do reservatório de Salto Grande (Americana/SP), com ênfase na distribuição da comunidade das populações de cladocera*. 203p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

## ANEXOS

TABELA 10- Médias mensais de precipitação no período de julho de 1999 a julho de 2000.

Mês (ano)	Precipitação (mm)
julho (1999)	10
agosto (1999)	0
setembro (1999)	70
outubro (1999)	60
novembro (1999)	100
dezembro (1999)	60
janeiro (2000)	310
fevereiro (2000)	250
março (2000)	100
abril (2000)	5
maio (2000)	10
junho (2000)	5
julho (2000)	50

TABELA 11 - Valores mensais de vazão defluente média e tempo de residência da água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

	Meses	Vazão defluente (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de residência (dias)
Reservatório de Barra Bonita	Julho (1999)	317	114
	Agosto (1999)	348	104
	Setembro (1999)	453	80
	Outubro (1999)	320	113
	Novembro (1999)	250	145
	Dezembro (1999)	350	103
	Janeiro (2000)	395	91
	Fevereiro (2000)	341	106
	Março (2000)	395	95
	Abril (2000)	321	113
	Maio (2000)	268	135
	Junho (2000)	275	131
	Julho (2000)	220	164
	Reservatório de Bariri	Julho (1999)	364
Agosto (1999)		389	16
Setembro (1999)		504	12
Outubro (1999)		357	17
Novembro (1999)		285	22
Dezembro (1999)		405	15
Janeiro (2000)		470	13
Fevereiro (2000)		423	14
Março (2000)		456	14
Abril (2000)		364	17
Maio (2000)		302	21
Junho (2000)		310	20
Julho (2000)		260	24



TABELA 11 (cont) - Valores mensais de vazão e tempo de residência da água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê.

	Meses	Vazão defluente (m <sup>3</sup> /s)	Tempo de residência (dias)
Reservatório de Ibitinga	Julho (1999)	448	25
	Agosto (1999)	454	25
	Setembro (1999)	568	20
	Outubro (1999)	403	28
	Novembro (1999)	332	34
	Dezembro (1999)	480	23
	Janeiro (2000)	580	19
	Fevereiro (2000)	577	19
	Março (2000)	607	18
	Abril (2000)	443	25
	Maio (2000)	375	30
	Junho (2000)	359	31
	Julho (2000)	317	35
	Reservatório de Promissão	Julho (1999)	606
Agosto (1999)		668	128
Setembro (1999)		745	115
Outubro (1999)		624	137
Novembro (1999)		492	174
Dezembro (1999)		543	158
Janeiro (2000)		723	118
Fevereiro (2000)		532	161
Março (2000)		581	147
Abril (2000)		624	137
Maio (2000)		593	144
Junho (2000)		523	164
Julho (2000)		380	225
Reservatório de Nova Avanhandava		Julho (1999)	619
	Agosto (1999)	669	47
	Setembro (1999)	756	41
	Outubro (1999)	636	49
	Novembro (1999)	523	60
	Dezembro (1999)	600	52
	Janeiro (2000)	826	38
	Fevereiro (2000)	670	46
	Março (2000)	661	47
	Abril (2000)	635	49
	Maio (2000)	552	57
	Junho (2000)	409	76
	Julho (2000)	481	65
	Reservatório de Três Irmãos	Julho (1999)	1082,5
Agosto (1999)		1086,7	146
Setembro (1999)		1151,6	138
Outubro (1999)		1095,4	145
Novembro (1999)		851,4	187
Dezembro (1999)		407,8	391
Janeiro (2000)		726,4	219
Fevereiro (2000)		658,8	182
Março (2000)		8757,0	155
Abril (2000)		1104,7	144
Maio (2000)		1025,8	147
Junho (2000)		901,4	177
Julho (2000)		865,5	184

TABELA 12 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água e visibilidade do disco de Secchi obtidos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro de 1999.

Estações	pH		Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ )		Temperatura		Secchi (m)
	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	
T	7,51	6,22	302	297	7,05	0,52	21,0	19,9	0,8
P	7,29	6,63	221	218	7,04	6,34	21	20,4	0,5
BBM	8,47	6,16	241	234	12,73	5,63	20,0	19,6	1,2
BBJ	7,95	6,60	312	228	9,48	5,46	21,3	20,6	1,10
RB	6,86	6,28	202	151	0,37	0,01	24,8	21,5	0,6
BM	9,22	6,46	220	211	13,69	4,98	26,3	20,1	1,10
BJ	8,34	7,33	200	197	11,08	8,14	25,3	21,1	1,30
IM	8,15	6,22	170	168	9,57	4,43	25,8	21,0	2,5
IJ	8,11	7,35	171	170	9,52	9,03	24,5	23,45	1,70
PM	7,28	6,04	114	112	8,42	6,15	23,4	22,3	4,0
PJ	7,57	7,51	113	113	8,62	8,87	24,2	24,2	-
NAV <sub>M</sub>	7,79	6,21	102	101	9,06	6,89	26,5	22,9	3,0
NAV <sub>J</sub>	7,57	7,54	100	99	8,82	8,70	24,7	24,7	3,0
TIM	6,89	6,60	91	90	8,12	7,94	24,4	24,3	4,0
TIJ	7,49	7,48	89	89	8,19	8,12	25	25	4,0

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Barra Bonita Montante), BJ (Barra Bonita Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAV<sub>M</sub> (Nova Avanhandava Montante), NAV<sub>J</sub> (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 13 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água e visibilidade do disco de Secchi obtidos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro de 2000.

Estações	pH		Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ )		Temperatura		Secchi (m)
	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	
T	6,08	5,72	129	126	8,19	7,55	24,8	24,7	-
P	6,27	5,75	66	62	8,17	7,58	24,5	24,3	0,1
BBM	6,53	5,72	122	121	7,95	7,11	26,2	25,4	1,60
BBJ	6,37	5,94	119	112	8,28	7,52	25,2	23,9	0,9
RB	6,18	5,72	110	90	8,51	7,05	27,0	23,5	-
BM	6,20	5,74	119	118	8,02	7,32	25,2	25,3	1,9
BJ	7,16	5,96	177	175	8,74	7,16	28,3	25,3	1,10
IM	6,22	5,79	176	174	8,43	7,75	27,4	26,0	2,10
IJ	5,75	5,52	116	116	7,85	7,49	26,2	26,1	1,50
PM	6,64	5,82	101	100	8,40	7,53	27,0	26,1	2,35
PJ	6,78	6,55	99	98	7,41	7,65	27,0	26,5	3,0
NAvM	6,82	6,16	83	82	8,18	7,56	27,3	26,5	3,5
NAvJ	6,87	6,51	83	83	7,64	7,06	28,3	27,8	3,5
TIM	7,23	6,12	64	60	7,82	6,13	31,8	27,3	-
TIJ	6,68	6,37	59	58	7,31	7,05	27,9	27,8	2,5

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 14 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água e visibilidade do disco de Secchi obtidos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio de 2000.

Estações	pH		Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		Oxigênio dissolvido ( $\text{mg}/\text{L}$ )		Temperatura		Secchi (m)
	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	
T	6,58	6,33	119	112	8,29	8,15	23,7	23,4	1,30
P	6,54	6,39	80	72	8,51	8,39	23	23	1,10
BBM	7,01	6,20	173	166	8,26	7,54	24,5	23,8	3,15
BBJ	6,60	6,45	160	157	7,99	7,51	24,5	24,3	-
RB	6,58	6,25	158	156	8,37	7,15	8,37	7,14	2,30
BM	6,83	6,30	188	141	8,57	7,13	24,3	23,2	2,30
BJ	6,84	6,07	153	151	8,42	6,62	26,1	24,5	1,80
IM	6,80	5,86	134	103	8,45	6,91	25,1	23,7	3,35
IJ	6,35	6,13	130	126	7,63	6,98	24,4	24,3	3,0
PM	7,25	6,20	141	140	8,15	7,20	25,7	25,5	6,20
PJ	7,05	7,03	141	141	7,41	7,65	27,0	26,9	3,5
NAV M	7,08	6,28	134	130	9,69	8,73	25,9	25,4	5,20
NAV J	6,96	6,72	131	130	9,16	8,83	25,8	25,8	6,30
TIM	7,08	6,22	80	74	9,30	7,87	27,1	26,2	4,60
TIJ	6,82	6,79	81	81	8,84	8,61	26,7	26,6	5,20

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Barra Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAV M (Nova Avanhandava Montante), NAV J (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 15 - Valores máximos e mínimos de pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura da água e visibilidade do disco de Secchi obtidos nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho de 2000.

Estações	pH		Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )		Oxigênio dissolvido (mg/L)		Temperatura		Secchi (m)
	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	
T	6,98	6,37	417	407	2,71	0,07	22,0	19,3	1,30
P	5,86	6,26	246	245	2,90	3,48	20,0	18,7	0,35
BBM	6,75	6,00	243	227	6,33	2,73	19,5	19,4	2,20
BBJ	6,92	6,62	1219	209	5,77	4,49	20,4	19,4	-
RB	6,38	6,24	171	158	3,01	2,42	20,6	20,2	1,30
BM	6,31	6,92	18	174	6,73	4,44	20,4	20,1	2,30
BJ	6,84	5,96	177	166	6,75	6,07	21,2	20,4	-
IM	6,78	5,98	130	128	10,31	9,40	20,5	20,1	3,50
BJ	6,06	6,10	74	72	10,10	10,08	20,3	20,3	3,80
PM	6,97	6,23	115	114	9,18	8,52	21,4	21,2	3,90
PJ	7,18	7,06	115	115	8,72	8,50	21,5	21,5	4,00
NAvM	7,36	6,43	124	123	9,16	8,49	21,6	21,3	3,90
NAvJ	6,80	6,43	123	123	8,71	8,44	21,2	21,2	6,40
TIM	7,06	6,69	95	92	8,89	7,88	22,3	22,8	9,30
TIJ	7,03	6,84	56	48	8,49	8,36	22,8	22,7	8,30

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 16 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro de 1999.

Parâmetros	Unidades	Estações Conama 20	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAvM	NAvJ	TIM	TIJ
pH	-	6,0-9,0	7,51	7,29	8,47	7,95	6,86	9,21	7,92	7,14	8,05	7,14	7,57	7,79	7,54	6,60	7,48
Cond	µS/cm	5	300	221	239	228	155	219	200	168	170	116	113	101	99	90	89
OD	mg/L		7,05	7,04	12,73	9,48	0,37	13,12	9,99	8,90	9,52	8,19	8,62	9,02	8,82	8,12	8,19
Temp	°C		21	21	23,3	21,3	24,8	26,3	25,3	25,8	24,5	23,4	24,2	26,5	24,7	24,4	25
Dureza	mg/L		52	30	42	42	38	44	40	38	40	26	36	34	36	28	26
Cádmio	mg/L	0,001	<b>0,039</b>	<b>0,023</b>	<b>0,01</b>	<b>0,029</b>	<b>0,036</b>	<b>0,032</b>	<b>0,029</b>	<b>0,005</b>	<b>0,032</b>	<b>0,016</b>	<b>0,028</b>	<b>0,019</b>	<b>0,02</b>	<b>0,038</b>	<b>0,036</b>
Cobalto	mg/L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo	mg/L	0,05	0,025	0,032	ND	ND	ND	ND	ND	0,16	0,07	ND	ND	0,036	ND	1,896	0,361
Cobre	mg/L	0,02	0,018	<b>0,036</b>	0,013	ND	ND	ND	0,004	0,008	0,020	0,006	ND	0,008	0,020	0,002	0,003
Ferro	mg/L		0,672	1,182	ND	0,054	1,000	0,269	0,024	0,067	ND	0,384	ND	ND	ND	7,501	ND
Manganês	mg/L	0,1	<b>0,125</b>	ND	0,041	0,032	0,023	0,034	0,018	ND	0,001	0,007	ND	0,001	ND	0,010	0,003
Magnésio	mg/L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco	mg/L	0,18	0,104	0,164	0,108	0,104	0,117	0,144	0,105	0,124	0,098	0,018	0,105	0,147	0,174	0,132	0,163
N total	mg/L		4,94	0,84	0,70	1,12	3,08	0,46	0,56	2,48	1,12	0,56	0,93	0,93	0,60	0,37	1,16
NO <sub>3</sub>	µg/L	10000	335,64	777,95	2680,08	1656,10	472,63	1349,2	1125,5	840,71	1642,10	463,58	320,59	396,07	218,22	164,79	155,36
NO <sub>2</sub>	µg/L	1000	123,75	102,95	83,12	64,20	48,52	97,20	54,74	58,43	42,92	8,87	10,26	10,94	6,15	2,84	3,62
NH <sub>4</sub>	µg/L		2450,09	1532,50	10,58	17,44	1876,70	51,43	4,05	1,19	4,14	9,40	28,76	30,52	18,68	10,70	8,42
SiO <sub>4</sub>	mg/L		5,60	3,13	2,09	2,37	6,00	3,12	3,89	5,57	2,47	5,72	6,91	5,10	7,65	7,39	7,47
P total	µg/L	25	<b>130,41</b>	<b>69,60</b>	<b>90,54</b>	<b>62,13</b>	<b>196,48</b>	<b>38,40</b>	<b>123,47</b>	<b>81,75</b>	<b>35,30</b>	<b>28,54</b>	<b>40,91</b>	<b>23,12</b>	<b>24,48</b>	<b>39,10</b>	<b>37,20</b>
PO <sub>4</sub> total	µg/L		27,90	32,54	34,02	13,96	48,35	11,35	13,91	7,60	4,40	7,61	39,15	11,20	14,19	1,86	8,25
PO <sub>4</sub> inorg	µg/L		♣	15,14	22,93	5,26	48,35	4,01	4,49	2,90	2,47	6,73	22,63	6,67	6,21	0,88	2,41
MST	mg/L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSI	mg/L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MSO	mg/L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorofila-a	µg/L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ND = Não detectado. ♣ = concentrações superiores as de fosfato total dissolvido. Valores em negrito representam medidas superiores ao limite máximo permitido pelo CONAMA 20/1986 para rios de classe 2

TABELA 17 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro de 2000.

Parâmetros	Unidades	Estações	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAVM	NAVJ	TIM	TIJ
pH	-	Conama 20	6,08	6,27	6,53	6,37	6,18	6,20	7,13	6,22	5,52	6,63	6,78	6,82	6,86	7,23	6,68
Cond	µS/cm	6,0-9,0	126	62	122	119	106	119	175	176	116	100	98	82	82	61	58
OD	mg/L	5	7,55	7,58	7,11	7,83	7,05	7,32	7,16	7,75	7,49	7,53	7,41	7,56	7,06	6,13	7,05
Temp	°C		24,8	24,3	26,2	25,2	27,0	25,2	28,3	26,4	26,1	27,0	26,9	27,3	28,3	31,8	27,9
Dureza	mg/L		61	20	40	52	52	52	36	32	34	30	30	26	32	22	30
Cádmio	mg/L	0,001	0,002	ND	0,009	0,016	ND	0,011	ND	0,001	ND	ND	0,027	0,026	0,041	0,035	0,019
Cobalto	mg/L	0,2	0,025	0,002	0,028	ND	0,033	0,039	0,017	0,056	0,019	0,022	0,061	0,028	0,057	0,036	0,057
Cromo	mg/L	0,05	ND	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	mg/L	0,02	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L		5,423	5,056	1,228	2,015	1,136	0,933	0,798	0,728	1,026	0,202	0,286	0,582	0,559	0,439	0,280
Manganês	mg/L	0,1	0,260	0,136	0,096	0,126	0,238	0,152	0,062	0,071	0,068	0,009	0,006	0,022	0,902	0,012	0,028
Magnésio	mg/L		3,768	2,256	3,160	3,047	3,048	3,123	3,044	2,756	2,831	2,800	2,254	2,442	2,658	2,746	2,502
Zinco	mg/L	0,18	0,035	1,215	0,119	0,085	0,096	0,052	0,005	0,043	0,083	0,069	0,036	0,047	0,064	0,075	0,069
Ntotal	mg/L		1,77	0,47	0,65	0,70	0,23	0,28	0,28	0,14	0,09	0,14	0,14	0,09	0,05	0,05	0,05
NO <sub>3</sub>	µg/L	10000	456,88	236,123	629,78	746,30	683,72	744,94	712,92	745,45	640,54	468,92	425,81	312,34	282,99	132,83	139,30
NO <sub>2</sub>	µg/L	1000	21,41	46,56	17,70	48,92	116,58	24,08	15,54	4,18	6,23	13,23	12,03	7,99	8,21	3,00	2,56
NH <sub>4</sub>	µg/L		93,47	14,10	2,32	48,92	8,01	2,53	0,91	2,45	3,33	1,65	0,95	1,22	3,77	1,03	1,23
SiO <sub>4</sub>	mg/L		5,00	5,85	3,44	4,60	4,92	3,99	3,19	3,61	4,88	4,54	5,08	5,00	4,96	6,19	6,56
P total	µg/L	25	189,49	86,96	121,52	227,15	76,10	69,81	56,13	56,43	113,48	64,23	42,10	32,84	32,33	22,90	27,62
PO <sub>4</sub> total	µg/L		73,21	56,99	34,63	32,43	33,69	28,52	18,32	28,70	27,70	12,52	5,22	3,60	14,80	7,66	6,94
PO <sub>4</sub> inorg	µg/L		*	44,81	26,10	25,90	23,56	21,20	5,45	13,01	12,78	9,52	3,00	2,60	12,79	5,42	5,93
MST	mg/L		14,20	53,12	5,00	7,99	7,95	2,29	5,13	2,7	3,16	1,85	2,32	1,74	1,88	1,69	2,05
MSO	mg/L		10,36	5,20	2,56	3,09	2,89	1,46	3,73	2,40	1,97	1,69	1,88	1,49	1,73	1,32	1,30
MSI	mg/L		3,84	47,92	2,44	4,90	5,06	0,83	1,41	0,3	1,18	0,16	0,44	0,25	0,15	0,36	0,75
Clorofila-a	µg/L		27,9	21,20	17,01	8,19	16,12	13,39	16,39	8,37	16,18	16,18	13,95	7,25	8,09	2,23	2,65

ND = Não detectado. \* = concentrações superiores as de fosfato total dissolvido. Valores em negrito representam medidas superiores ao limite máximo permitido pelo CONAMA 20/1986 para rios de classe 2.

TABELA 18 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio de 2000.

Parâmetros	Unidades	Estações Conama 20	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAvM	NAvJ	TIM	TIJ
pH	-	6,0-9,0	6,33	6,54	7,01	6,60	6,58	6,30	6,84	6,30	6,13	7,25	7,03	7,08	6,96	7,08	6,79
Cond	µS/cm		122	72	167	160	156	158	152	128	130	140	141	130	130	80	81
OD	mg/L	5	8,15	8,39	7,54	7,51	7,14	7,13	6,62	6,91	6,98	7,20	7,29	8,73	8,83	7,87	8,61
Temp	°C		23,4	23,0	24,5	24,5	24,5	24,3	26,1	25,1	24,4	25,7	25,4	25,9	25,8	27,1	26,7
Dureza	mg/L		56	34	38	40	40	38	38	40	40	38	30	38	44	30	42
Cádmio	mg/L	0,001	0,009	0,007	0,007	0,007	0,006	0,007	0,005	0,005	0,007	0,006	0,008	0,006	0,005	0,008	0,007
Cobalto	mg/L	0,2	ND	0,006	0,006	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,054	ND	ND	ND	0,032	ND
Cromo	mg/L	0,05	0,154	0,169	0,101	0,158	0,146	0,169	0,119	0,220	0,198	0,245	0,184	0,184	0,250	0,191	0,175
Cobre	mg/L	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	mg/L		0,028	0,861	0,070	0,411	0,300	0,193	0,16	0,317	0,334	0,073	0,078	0,091	0,049	0,133	0,114
Manganês	mg/L	0,1	0,194	0,198	0,010	0,043	0,028	0,055	0,043	0,075	0,065	0,027	0,018	ND	0,033	0,022	0,040
Magnésio	mg/L		3,852	3,101	2,894	0,300	2,867	2,857	3,442	2,634	3,879	2,427	2,480	2,485	1,613	2,337	2,373
Zinco	mg/L	0,18	0,017	0,015	0,022	0,023	0,044	0,027	0,025	0,132	0,030	0,029	0,023	0,030	0,014	0,044	0,017
N total	mg/L		9,96	0,65	0,79	0,88	0,42	0,88	0,70	0,84	0,70	0,98	0,79	0,79	0,93	0,79	0,79
NO <sub>3</sub>	µg/L	10000	1492,40	391,97	1187,10	1153,40	1036,20	1125,6	770,33	728,56	942,10	768,38	945,48	774,77	796,30	290,57	292,58
NO <sub>2</sub>	µg/L	1000	262,91	7,53	6,15	12,63	128,04	2,67	7,96	3,99	10,69	2,74	10,46	7,15	5,38	2,31	2,76
NH <sub>4</sub>	µg/L		1519,20	73,76	13,00	28,48	213,69	8,54	69,56	10,92	9,54	18,23	10,83	8,07	10,99	6,42	7,55
SiO <sub>4</sub>	mg/L		4,86	5,47	4,79	4,48	5,32	5,77	5,88	7,27	5,62	5,66	6,40	6,75	5,63	7,25	6,96
P total	µg/L	25	103,51	76,42	37,67	39,13	70,37	63,01	66,09	9,67	57,85	40,61	28,92	26,28	21,18	24,14	33,37
PO <sub>4</sub> total	µg/L		32,10	27,80	23,65	29,32	34,44	25,65	68,70	16,21	10,40	14,27	8,99	8,20	8,61	10,87	8,06
PO <sub>4</sub> inorg	µg/L		8,64	14,51	9,59	13,04	17,02	11,90	49,93	5,78	7,99	2,03	2,31	2,62	1,80	2,94	4,36
MST	mg/L		5,73	5,68	2,75	5,06	3,79	2,83	3,51	1,59	1,89	1,15	1,66	1,82	1,00	1,36	2,38
MSO	mg/L		2,98	1,91	1,30	1,83	1,81	1,10	2,70	0,69	1,12	1,01	1,53	1,41	0,82	1,05	0,24
MSI	mg/L		1,81	3,77	1,45	3,22	1,98	1,73	0,81	0,89	0,77	0,14	0,13	0,41	0,18	0,31	2,14
Clorofila - a	µg/L		15,07	14,51	1,22	8,19	5,40	5,58	16,39	2,79	6,70	6,97	14,78	5,44	5,58	4,74	3,91

ND = Não detectado. Valores em negrito representam medidas superiores ao limite máximo permitido pelo CONAMA 20/86 para rios de classe 2.



TABELA 19 - Valores de pH, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de metais totais, nutrientes, material em suspensão e clorofila-a das amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho de 2000.

Parâmetros	Unidades	Estações	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAVJ	TIM	TIJ
pH	-	Conama 20	6,98	5,86	6,00	6,92	6,38	6,92	5,96	6,78	6,10	6,97	7,06	7,35	7,06	6,84
Cond	µS/cm	6,0-9,0	407	246	227	219	171	174	177	128	73	114	115	123	95	56
OD	mg/L	5	2,71	3,48	5,46	5,77	2,73	6,73	6,67	9,40	10,10	8,52	8,50	8,49	7,88	8,36
Temp	°C		22	18,7	19,4	20,4	20,2	20,4	20,4	20,5	20,3	21,4	21,5	21,6	22,8	22,7
Dureza	mg/L		60	42	50	48	40	38	40	40	40	40	38	36	30	34
Cádmio	mg/L	0,001	0,007	0,014	0,005	0,009	0,008	0,009	0,006	0,004	0,004	0,005	0,007	0,009	0,008	0,007
Cobalto	mg/L	0,2	0,025	0,057	ND	0,029	ND	0,068	0,041	0,021	0,08	ND	0,042	0,096	ND	0,014
Cromo	mg/L	0,05	0,008	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	mg/L	0,02	0,011	0,005	0,005	0,002	0,001	0,003	0,003	0,001	0,007	0,003	ND	0,008	ND	ND
Ferro	mg/L		0,352	0,720	0,262	0,562	0,747	0,332	0,323	0,367	0,213	0,293	0,226	0,198	0,267	0,190
Manganês	mg/L	0,1	0,174	0,082	0,418	0,029	0,050	0,059	0,039	0,011	0,026	0,008	0,015	0,064	0,019	0,016
Magnésio	mg/L		3,695	1,696	2,342	2,714	2,168	3,201	2,752	2,612	2,804	2,450	2,436	1,769	2,504	2,356
Zinco	mg/L	0,18	0,012	0,015	0,002	0,014	0,043	0,021	0,009	0,011	0,167	0,010	0,0223	0,009	0,017	0,025
N total	mg/L		5,32	1,52	2,75	2,33	2,70	1,30	1,31	1,54	1,59	1,07	1,77	0,093	0,23	1,21
NO <sub>3</sub>	µg/L	10000	1795,70	1187,30	2049,80	1751,30	815,65	1512,80	1749,10	1149,10	859,62	638,45	603,39	599,09	471,35	277,03
NO <sub>2</sub>	µg/L	1000	244,74	6,28	24,07	23,25	37,95	54,40	6,56	6,03	4,36	5,44	4,80	3,81	3,33	2,86
NH <sub>4</sub>	µg/L		2389,60	16,05	17,56	680,69	593,32	9,30	7,08	10,62	9,02	10,85	10,40	6,31	18,61	1,10
SiO <sub>4</sub>	mg/L		5,33	6,68	4,84	5,40	7,34	5,53	5,29	6,03	6,26	7,46	6,69	7,29	7,12	7,32
P total	µg/L	25	148,67	750,37	57,34	58,97	139,17	48,11	42,148	30,58	26,07	17,47	8,48	18,21	18,02	22,24
PO <sub>4</sub> total	µg/L		79,58	12,33	7,62	4,06	8,57	4,46	4,80	3,66	2,33	1,45	1,22	15,82	14,83	11,24
PO <sub>4</sub> inorg	µg/L		♣	♣	♣	3,92	♣	♣	2,84	3,11	1,16	0,50	2,19	0,77	1,52	1,54
MST	mg/L		7,06	6,87	4,38	5,77	3,57	4,27	2,95	1,88	1,31	1,56	1,55	1,28	1,57	0,55
MSO	mg/L		4,25	1,85	2,04	1,77	1,82	1,20	1,59	0,92	0,66	1,23	1,48	0,90	1,02	0,38
MSI	mg/L		2,81	5,02	2,34	4,00	1,75	3,07	1,36	0,96	0,65	0,33	0,07	0,38	0,55	0,17
Clorofila-a	µg/L		40,45	8,37	18,41	8,92	13,11	4,60	22,45	6,27	6,41	12,27	12,13	8,50	4,74	3,77

ND = Não detectado. ♣ = concentrações superiores as de fosfato total dissolvido. Valores em negrito representam medidas superiores ao limite máximo permitido pelo CONAMA 20/1986 para rios de classe 2.

TABELA 20 - Índice do estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, calculado com amostra de água de coluna integrada

Estações de coleta	IET (Secchi)	ET	IET (P total)	ET	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila-a)	ET	IET (M)	ET (M)
T	54	e	67	e	♣	-	*	*	-	-
P	61	e	58	E	55	e	*	*	-	-
BBM	48	m	62	E	61	e	*	*	-	-
BBJ	49	m	56	E	40	o	*	*	-	-
RB	58	e	73	E	72	e	*	*	-	-
BM	49	m	49	M	36	o	*	*	-	-
BJ	47	m	66	E	37	o	*	*	-	-
IM	38	o	60	E	31	o	*	*	-	-
IJ	43	o	48	M	29	o	*	*	-	-
PM	31	o	45	M	43	o	*	*	-	-
PJ	-	-	50	M	61	e	*	*	-	-
NAvM	34	o	42	O	43	o	*	*	-	-
NAvJ	35	o	43	o	42	o	*	*	-	-
TIM	31	o	50	m	14	o	*	*	-	-
TIJ	31	o	49	m	28	o	*	*	-	-

e = eutrófico, m = mesotrófico e o = oligotrófico

\* não foram obtidos os valores de clorofila por problemas metodológicos.

♣ concentrações superiores as de fosfato total dissolvido

TABELA 21 - Índice do estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, calculado com amostra de água de coluna integrada.

Estações de coleta	IET (Secchi)	ET	IET (P total)	ET	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila-a)	ET	IET (M)	ET (M)
T	-	-	72	e	♣	-	64	e	-	-
P	84	e	61	e	70	e	61	e	67	e
BBM	44	m	66	e	63	e	61	e	61	e
BBJ	52	m	75	e	63	e	59	e	64	e
RB	-	-	58	e	61	e	58	e	-	-
BM	42	m	59	e	60	e	57	e	56	e
BJ	49	m	55	e	40	o	64	e	52	m
IM	40	o	49	m	53	m	52	m	49	m
IJ	45	m	64	e	52	m	58	e	56	e
PM	38	o	57	e	48	m	58	e	52	m
PJ	35	o	51	m	31	o	57	e	45	m
NAVM	33	o	47	m	29	o	50	m	41	o
NAVJ	33	o	47	m	52	m	52	m	48	m
TIM	40	o	42	o	40	o	39	o	40	o
TIJ	38	o	45	m	41	o	40	o	41	o

e = eutrófico, m = mesotrófico e o = oligotrófico

♣ concentrações superiores as de fosfato total dissolvido

TABELA 22 - Índice do estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, realizado com amostra de água de superfície.

Estações de coleta	IET (Secchi)	ET	IET (P total)	ET	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila-a)	ET	IET (M)	ET
T	47	m	62	e	39	o	60	e	53	m
P	49	m	64	e	59	e	53	m	57	e
BBM	34	o	52	m	39	o	64	e	49	m
BBJ	-	-	55	e	52	m	61	e	-	-
RB	39	o	56	e	59	e	48	m	52	e
BM	39	o	56	e	42	m	49	m	47	m
BJ	42	o	50	m	72	e	59	e	58	e
IM	33	o	47	m	41	m	58	e	47	m
IJ	35	o	55	e	43	m	50	m	47	m
PM	24	o	42	o	26	o	49	m	37	o
PJ	32	o	45	m	28	o	58	e	42	o
NAvM	27	o	48	m	23	o	49	m	38	o
NAvJ	24	o	41	o	24	o	48	m	36	o
TIM	29	o	43	o	30	o	57	e	41	o
TIJ	27	o	42	o	26	o	44	o	36	o

e = eutrófico, m = mesotrófico e o = oligotrófico

TABELA 23 - Índice do estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, realizado com as amostras de água de coluna integrada.

Estações de coleta	IET (Secchi)	ET	IET (P total)	ET	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila-a)	ET	IET (M)	ET (M)
T	47	m	64	e	47	m	58	e	55	e
P	49	m	59	e	54	e	57	e	56	e
BBM	34	o	49	m	48	m	33	o	42	o
BBJ	-	-	50	m	53	m	52	m	-	-
RB	39	o	58	e	57	e	47	m	52	m
BM	39	o	56	e	51	m	48	m	50	m
BJ	42	o	57	e	72	e	59	e	60	e
IM	33	o	29	o	41	o	41	o	37	o
IJ	35	o	55	e	46	m	50	m	48	m
PM	24	o	50	m	26	o	50	m	40	o
PJ	32	o	45	m	28	o	58	e	42	o
NAvM	27	o	44	o	30	o	48	m	38	o
NAvJ	24	o	41	o	24	o	48	m	36	o
TIM	29	o	43	o	31	o	46	m	38	o
TIJ	27	o	47	m	37	o	44	o	41	o

e = eutrófico, m = mesotrófico e o = oligotrófico

TABELA 24 Índice do estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, calculados com amostras de água de superfície.

Estações de coleta	IET (Secchi)	ET	IET (P total)	ET	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila-a)	ET	IET (M)	ET (M)
T	47	m	85	e	♣	-	77	e	-	-
P	66	e	92	e	♣	-	52	m	-	-
BBM	39	o	55	e	49	m	53	m	50	m
BBJ	-	-	56	e	14	o	46	m	33	o
RB	47	m	78	e	38	o	56	e	56	e
BM	39	o	47	m	♣	-	57	e	-	-
BJ	51	m	51	m	♣	-	62	e	-	-
IM	33	o	42	m	3	o	50	m	32	o
IJ	32	o	44	m	18	o	49	m	36	o
PM	31	o	34	o	13	o	56	e	34	o
PJ	31	o	28	o	-5	o	56	e	27	o
NAvM	31	o	38	o	30	o	52	o	39	o
NAvJ	24	o	38	o	22	o	49	o	35	o
TIM	19	o	38	o	27	o	43	o	34	o
TIJ	20	o	41	o	22	o	43	o	33	o

e = eutrófico, m = mesotrófico e o = oligotrófico

♣ concentrações superiores as de fosfato total dissolvido

TABELA 25 Índice do estado trófico (IET) e estado trófico (ET) dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, calculados com amostras de água de coluna integrada.

Estações de coleta	IET (Secchi)	ET	IET (P total)	ET	IET (PO <sub>4</sub> )	ET	IET (Clorofila-a)	ET	IET (M)	ET (M)
T	47	m	69	e	♣	-	68	e	-	-
P	66	e	92	e	♣	-	52	m	-	-
BBM	39	o	55	e	♣	-	60	e	-	-
BBJ	-	-	56	e	35	o	46	m	-	-
RB	47	m	68	e	♣	-	56	e	-	-
BM	39	o	53	m	♣	-	46	m	-	-
BJ	51	m	51	m	31	o	62	e	48	m
IM	33	o	46	m	32	o	49	m	41	o
IJ	32	o	44	o	18	o	49	m	36	o
PM	31	o	38	o	-19	o	56	e	26	o
PJ	31	o	28	o	27	o	56	e	36	o
NAvM	31	o	39	o	-5	o	52	m	29	o
NAvJ	24	o	38	o	22	o	46	m	34	o
TIM	19	o	38	o	35	o	43	o	36	o
TIJ	20	o	41	o	22	o	44	o	34	o

e = eutrófico, m = mesotrófico e o = oligotrófico

♣ concentrações superiores as de fosfato total dissolvido

TABELA 26 - Valores de matéria orgânica, matéria inorgânica, granulometria, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro de 1999.

Parâmetros	Estações	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAV <sub>M</sub>	NAV <sub>J</sub>	TIM	TIJ
	Unidades															
M.O	%	13,30	11,89	12,59	13,98	15,45	13,39	8,68	6,06	12,99	8,19	5,39	3,17	2,31	2,94	3,16
M.I	%	86,30	88,11	87,41	86,02	84,55	86,61	1,32	93,94	87,01	1,81	94,61	6,83	1,69	7,06	6,84
Argila	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silte	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arcia fina	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arcia média	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arcia grossa	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pedregulho	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio	mg/kg	0,80	ND	1,00	2,00	0,80	1,20	1,20	1,00	ND	ND	ND	1,40	ND	0,40	0,20
Cobalto	mg/kg	7,80	7,00	6,40	13,80	23,20	3,80	19,20	0,80	8,80	5,60	ND	12,20	2,00	15,40	20,20
Cromo	mg/kg	18,60	67,60	13,80	27,80	ND	ND	74,00	4,40	50,40	36,80	16,40	21,80	ND	18,00	48,80
Cobre	mg/kg	9,20	9,40	16,00	21,80	36,20	34,00	31,00	15,40	7,00	5,20	7,00	30,40	2,00	21,40	9,00
Ferro	mg/kg	2715,2	2502,0	2699,4	3082,4	2699,4	1673,0	1097,6	970,4	1608,4	1409,8	1721,2	4537,6	94,80	1928,4	3910,6
Manganês	mg/kg	2660,0	1259,6	3604,0	4075,6	159,60	3646,0	3776,6	2422,6	1227,6	1396,8	116,20	659,60	43,20	354	552,6
Magnésio	mg/kg	276,40	371,74	343,78	474,92	464,46	463,80	472,52	248,54	276,88	267,02	173,64	463,58	660,82	302,48	342,46
Chumbo	mg/kg	10,00	6,00	10,00	16,00	14,00	3,40	16,00	2,00	ND	4,00	6,00	12,00	4,00	6,00	4,00
Zinco	mg/kg	59,78	32,98	36,90	64,56	94,06	46,94	40,42	14,96	11,50	5,02	10,34	26,12	0,24	9,12	11,48
N total	%	36,68	20,02	36,68	34,53	28,60	27,21	18,99	28,09	12,32	14,47	11,76	45,96	3,68	6,49	7,00
P total	µg/g	100,17	70,11	88,42	85,19	64,02	77,64	78,80	49,49	73,03	47,53	39,98	55,71	27,70	19,43	28,95

ND = Não detectado.

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Barri Montante), BJ (Barri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAV<sub>M</sub> (Nova Avanhandava Montante), NAV<sub>J</sub> (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 27 - Valores de matéria orgânica, matéria inorgânica, granulometria, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro de 2000.

Parâmetros	Estações	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAVJ	TIM	TIJ
	Unidades														
M.O	%	13,92	10,92	12,70	7,89	15,34	14,35	11,54	9,99	11,13	12,06	0,70	12,80	0,10	0,30
M.I	%	86,08	89,08	87,30	92,11	84,65	85,65	88,45	90,01	88,87	87,94	99,30	87,20	99,70	99,50
Argila	%	70	65	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Silte	%	12	16	85	-	66	51	70	88	72	81	23	84	-	0
Arcia fina	%	11	13	12	-	28	32	24	8	26	16	73	10	-	95
Arcia média	%	2	3	2	-	3	14	3	2	2	2,5	3	2	-	2
Arcia grossa	%	5	3	1	-	1	3	2	2	0	0,5	1	4	-	0
Pedregulho	%	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0
Cádmio	mg/kg	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	0,80	0,60	0,60	1,60	0,40	1,80
Cobalto	mg/kg	18,00	23,00	7,40	21,20	11,40	11,80	13,40	13,80	23,40	6,60	2,40	26,60	ND	ND
Cromo	mg/kg	6,20	11,40	3,60	10,40	9,80	6,40	6,80	9,00	10,80	6,60	4,40	7,80	5,60	ND
Cobre	mg/kg	16,00	22,80	18,80	37,20	39,60	29,00	32,00	20,40	21,00	15,80	1,80	35,60	0,80	1,20
Ferro	mg/kg	4042,4	4698,4	4226,0	9322,8	5872,8	6090,0	4530,8	3045,0	4405,0	4147,6	582,20	3216,0	224,00	137,20
Manganês	mg/kg	1426,4	1106,6	1778,0	1585,0	605,00	1544,4	1473,8	180,40	283,40	238,20	172,20	41,00	106,80	8,20
Magnésio	mg/kg	282,82	592,54	291,60	451,24	541,00	421,96	343,74	345,58	253,46	253,46	136,76	271,36	54,64	58,76
Chumbo	mg/kg	20,00	10,00	14,00	14,00	46,00	14,00	12,00	4,00	8,00	2,00	6,00	16,00	4,00	6,00
Zinco	mg/kg	68,14	62,94	38,46	41,42	69,02	31,54	26,60	16,58	3,44	3,26	2,04	6,56	1,20	1,34
N total	%	21,79	16,75	30,43	16,33	22,59	28,00	13,11	19,93	29,91	26,50	3,22	1,49	1,59	1,54
P total	µg/g	73,75	57,69	62,84	47,17	47,82	60,65	63,05	51,32	44,97	48,34	6,54	45,01	6,20	3,03

ND = Não detectado.

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Barra Bonita Montante), BJ (Barra Bonita Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAVM (Nova Avanhandava Montante), NAVJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 28 - Valores de matéria orgânica, matéria inorgânica, granulometria, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento nos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio de 2000.

Parâmetros	Estações	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAV <sub>M</sub>	NAV <sub>J</sub>	TIM	TIJ
M.O	%	13,44	12,69	13,07	1,93	14,39	13,59	0,50	11,20	14,17	16,03	1,95	2,37	0,20	0,40	0,30
M.I	%	86,56	87,30	86,93	98,07	85,61	86,41	99,50	88,80	85,83	83,97	98,05	97,63	99,80	99,60	99,70
Argila	%	69	50	58	13	23	47	2	40	20	0	0	-	-	3	3
Silte	%	11	19	35	9	20	23	12	24	29	20	20	-	-	0	0
Arcia fina	%	17	21	3	51	11	20	79	16	47	70	77	-	-	95	95
Arcia média	%	3	4	2	25	26	10	6	20	4	6	3	-	-	2	2
Arcia grossa	%	0	3	4	1	13	0	0	0	0	4	0	-	-	0	0
Pedregulho	%	0	3	0	0	8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0
Cádmio	mg/kg	4,67	2,33	2,33	1,67	2,67	2,33	2,00	2,67	2,33	2,33	1,67	2,00	2,00	2,00	1,33
Cobalto	mg/kg	67,67	25,00	11,67	13,00	22,00	15,00	27,67	5,00	27,00	11,67	ND	ND	ND	ND	7,67
Cromo	mg/kg	4,33	42,67	63,33	63,00	70,67	87,00	51,00	70,67	79,67	81,00	64,33	68,67	79,67	85,00	88,33
Cobre	mg/kg	57,67	20,00	35,006	11,00	50,33	56,33	ND	39,33	41,33	49,00	ND	13,33	ND	3,00	ND
Ferro	mg/kg	29363,7	6093,3	8259,9	209,33	8958,6	15055,8	458,7	16961,2	16485,2	14102,	190,7	1849,9	94,67	59,33	464,33
Manganês	mg/kg	3315,9	1866,6	3789,3	56,33	825,66	4618,6	62,67	2834,6	1482,6	613,3	116,0	203,33	19,00	6,33	56,00
Magnésio	mg/kg	764,7	1320,1	409,43	234,1	480,0	591,7	134,4	504,3	417,7	400,3	444,6	353,3	91,9	82,9	104,9
Chumbo	mg/kg	186,66	80,00	70,00	70,00	100,00	83,33	60,00	76,67	80,00	80,00	66,67	70,00	66,67	70,00	73,37
Zinco	mg/kg	20,41	79,97	60,27	7,07	82,93	62,77	6,30	31,50	28,17	32,99	3,79	11,59	29,33	3,03	4,97
N total	%	36,61	24,73	38,13	24,78	26,27	31,59	1,91	24,55	42,76	38,97	2,47	5,88	0,98	0,61	1,12
P total	µg/g	58,33	52,64	62,84	22,11	5,12	59,20	57,99	48,96	46,64	50,83	9,98	25,63	3,12	1,36	3,34

ND= Não detectado.

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Barra Bonita Montante), BJ (Barra Bonita Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PJ (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAV<sub>M</sub> (Nova Avanhandava Montante), NAV<sub>J</sub> (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)

TABELA 29 - Valores de matéria orgânica, matéria inorgânica, granulometria, concentração de metais biodisponíveis e nutrientes nas amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho de 2000.

Parâmetros	Estações	T	P	BBM	BBJ	RB	BM	BJ	IM	IJ	PM	PJ	NAvM	NAvJ	TIM	TIJ
	Unidades															
M.O	%	13,56	11,47	12,49	2,32	14,82	13,51	0,30	10,49	13,65	16,74	4,07	5,83	5,83	0,50	0,50
M.I	%	86,44	88,53	87,51	97,68	85,18	86,49	99,70	89,51	86,35	83,26	95,93	94,17	94,17	99,50	99,50
Argila	%	60	47	27	0	60	50	3	35	20	13	3	3	11	3	1
Silte	%	17	21	47	13	20	20	0	30	33	20	17	6	20	5	3
Arcia fina	%	5	18	4	73	5	14	77	21	31	27	80	91	78	90	94
Arcia média	%	9	15	2	10	8	10	20	11	10	23	0	0	2	2	2
Arcia grossa	%	9	0	20	4	7	6	0	5	6	17	0	0	0	0	0
Pedregulho	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cádmio	mg/kg	1,67	2,67	3,00	2,33	5,00	2,00	2,33	2,67	4,00	2,67	3,67	3,33	4,00	4,33	5,00
Cobalto	mg/kg	61,33	53,00	61,33	54,67	13,97	39,33	3,33	26,33	30,00	15,67	39,67	31,00	40,00	3,33	9,67
Cromo	mg/kg	11,67	6,33	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	mg/kg	62,33	45,00	70,33	29,33	95,33	97,67	4,00	68,67	43,33	39,33	13,33	3,33	54,00	4,67	2,00
Ferro	mg/kg	24269,0	24603,7	23302,4	1971,6	23946,4	28198,4	482,0	25871,7	9591,9	10455,9	1231,6	179,0	3388,9	329,3	814,9
Manganês	mg/kg	2965,3	1250,6	3445,3	802,9	1620,6	3101,3	120,3	2385,3	2217,9	906,9	254,3	47,3	519,6	59,67	199,0
Magnésio	mg/kg	797,4	992,5	651,7	533,9	748,0	794,9	123,4	754,9	655,0	598,2	615,7	94,3	999,1	122,9	180,
Chumbo	mg/kg	96,67	103,3	120,0	96,67	183,33	106,67	120,0	140,0	136,7	143,3	143,3	143,3	143,3	130,0	140,0
Zinco	mg/kg	224,9	139,4	122,07	18,9	163,3	106,8	2,33	51,13	34,73	32,20	6,20	2,20	23,6	1,60	3,30
N total	%	10,36	22,12	37,19	5,69	32,81	30,24	1,45	22,54	44,38	32,01	4,53	0,98	1,84	1,68	1,54
P total	µg/g	57,19	37,47	30,49	27,39	3,48	57,73	49,10	40,60	40,68	45,49	10,53	27,14	32,11	2,80	4,13

ND = Não detectado.

T (Tietê), P (Piracicaba), BBM (Barra Bonita Montante), BBJ (Barra Bonita Jusante), BM (Bariri Montante), BJ (Bariri Jusante), IM (Ibitinga Montante), IJ (Ibitinga Jusante), PM (Promissão Montante), PJ (Promissão Jusante), NAvM (Nova Avanhandava Montante), NAvJ (Nova Avanhandava Jusante), TIM (Três Irmãos Montante), TIJ (Três Irmãos Jusante)



## BIOENSAIO DE TOXICIDADE AGUDA COM AMOSTRAS DE ÁGUA

TABELA 30 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	15	14	1	6,6	7,60	8,02	46	50	160	182
Piracicaba	15	10	5	33,3	7,03	7,70	30	42	209	-
Tietê	15	14	1	6,6	6,91	8,06	52	54	280	323
Barra Bonita Montante	15	12	3	20	7,19	8,00	42	48	219	271

\*i = inicial; f = final

TABELA 30 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	18	2	10	7,88	7,72	44	38	160	162
Barra Bonita Jusante	20	18	2	20	7,78	7,90	44	34	208	277
Rio Bauru	20	16	4	20	7,07	7,92	38	32	175	219
Bariri Montante	20	10	10	50	7,78	7,80	44	26	208	260
Bariri Jusante	20	8	12	60	6,7	7,80	40	24	203	201
Ibitinga Montante	20	6	14	70	7,55	7,65	38	30	167	205
Ibitinga Jusante	20	16	4	20	7,62	7,58	36	34	112	156
Promissão Montante	20	2	18	90	7,46	7,42	26	20	141	154

\*i = inicial; f = final

TABELA 30 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	20	0	0	7,60	7,71	48	44	260	214
Promissão Jusante	20	6	14	70	7,22	7,59	34	36	105	148
Nova Avanhadava Montante	20	0	20	100	7,48	7,59	34	-	99	137
Nova Avanhadava Jusante	20	4	16	80	7,19	7,53	32	-	109	158
Três Irmãos Montante	20	8	12	60	7,42	7,62	28	-	99	137
Três Irmãos Jusante	20	11	9	45	7,46	7,42	26	-	98	137

\*i = inicial; f = final

TABELA 31 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda das amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	20	0	0	7,42	7,92	40	50	157,9	160
Piracicaba	20	20	0	0	6,95	7,52	20	40	112	174
Tietê	20	20	0	0	6,99	7,83	61	54	225	317
Barra Bonita Montante	20	20	0	0	7,72	7,62	40	42	202	306
Barra Bonita Jusante	20	20	0	0	7,36	7,71	52	54	216	291
Rio Bauru	20	19	1	5	7,17	7,45	32	-	206	279
Bariri Montante	20	20	0	0	7,14	7,78	52	32	217	301
Bariri Jusante	20	0	20	100	7,67	7,74	36	48	233	295
Ibitinga Montante	20	20	0	0	7,19	7,92	32	-	230	290

\*i = inicial; f = final

TABELA 31 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	18	2	10	7,51	7,33	42	50	131	186
Ibitinga Jusante	20	16	4	20	7,31	7,43	34	-	160	248
Promissão Montante	20	18	0	0	7,66	7,45	30	34	137	238
Promissão Jusante	20	18	2	10	7,70	7,42	30	42	134	222
Nova Avanhadava Montante	20	2	18	90	7,62	7,40	26	24	117	184
Nova Avanhadava Jusante	20	19	1	5	7,52	7,35	32	32	113	145
Três Irmãos Montante	20	20	0	0	7,58	7,36	22	-	87	169
Três Irmãos Jusante	20	20	20	0	7,33	7,32	30	48	89	142

\*i = inicial; f = final

TABELA 32 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	20	0	0	7,20	7,27	46	38	112,6	118,7
Piracicaba	20	20	0	0	7,08	7,11	34	34	141,8	155,7
Tietê	20	15	5	25	7,20	7,38	56	58	249	279
Barra Bonita Montante	20	20	0	0	7,07	7,11	38	40	164,3	173,7
Barra Bonita Jusante	20	20	0	0	7,11	7,15	40	38	157,0	171,9
Rio Bauru	20	14	6	30	7,06	7,18	46	38	155,1	159,4
Bariri Montante	20	20	0	0	7,03	7,09	38	42	153,7	162,5
Bariri Jusante	20	20	0	0	7,16	7,17	38	42	147,8	162,5

\*i = inicial; f = final

TABELA 32 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	15	15	0	0	7,30	7,80	46	48	112,6	127,4
Ibitinga Montante	15	10	5	33,33	7,56	7,67	40	40	123,8	141,5
Ibitinga Jusante	15	15	0	0	7,31	7,43	34	38	160	180
Promissão Montante	15	6	9	60	7,53	7,74	38	44	135,6	159,0
Promissão Jusante	15	11	4	26,66	7,42	7,65	30	40	136,5	172,5
Nova Avanhadava Montante	15	0	15	100	7,58	7,86	38	40	129,1	137,8
Nova Avanhadava Jusante	15	6	9	60	7,62	7,67	44	44	128,6	137,6
Três Irmãos Montante	15	13	2	13	7,71	7,84	30	40	73,4	87,6
Três Irmãos Jusante	15	11	4	26,66	7,54	7,79	42	46	77,4	89,1

\*i = inicial; f = final

TABELA 33 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	*i	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	19	1	10	7,20	7,67	44	48	81,9	85,1
Piracicaba	20	20	0	0	7,08	7,11	34	34	170,2	176,3
Tietê	20	14	6	30	7,26	7,44	60	60	290	278,0
Barra Bonita Montante	20	19	1	10	7,13	7,24	50	48	162,2	162,2
Barra Bonita Jusante	20	20	0	0	7,01	7,26	48	48	153,5	157,4
Rio Bauru	20	20	0	0	7,00	7,28	40	48	131,6	132,4
Bariri Montante	20	20	0	0	6,95	7,27	38	44	138,9	139,0
Bariri Jusante	20	20	0	0	6,99	7,28	40	52	134,6	138,5

\*i = inicial; f = final

TABELA 33 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	15	15	0	0	7,69	7,41	48	-	124,8	109,0
Ibitinga Montante	15	13	2	13,33	7,20	6,90	40	-	138,6	116,2
Ibitinga Jusante	15	14	1	6,66	7,14	6,89	40	-	138,4	113,4
Promissão Montante	15	1	14	93	7,20	7,02	40	-	122,4	104,9
Promissão Jusante	15	1	14	93	7,25	6,98	38	-	123,7	107,3
Nova Avanhadava Montante	15	3	12	80	7,33	7,19	36	-	128,8	108,8
Nova Avanhadava Jusante	15	4	11	73	7,75	7,36	32	-	128,5	109,4
Três Irmãos Montante	15	15	0	0	7,58	7,22	30	-	94,7	83,4
Três Irmãos Jusante	15	15	0	0	7,77	7,02	34	-	80,6	72,0

\*i = inicial; f = final

## BIOENSAIOS DE TOXICIDADE AGUDA COM AS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

TABELA 34 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	30	29	1	3,3	7,72	8,07	46	54	166	222
Piracicaba	30	21	9	30	7,72	6,64	46	34	166	157
Tietê	30	22	8	23,3	7,72	6,42	46	58	166	158
Barra Bonita Montante	30	19	11	36,6	7,72	6,59	46	30	166	159

\*i = inicial; f = final

TABELA 34 (cont)– Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	I	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	30	30	0	0	7,67	7,62	42	52	162	166
Barra Bonita Jusante	30	29	1	3,33	7,67	7,13	42	26	162	186
Rio Bauru	30	25	5	16,66	7,67	7,26	42	32	162	249
Bariri Montante	30	21	9	30	7,67	7,05	42	26	162	170
Bariri Jusante	30	14	6	20	7,67	7,11	42	40	162	166
Ibitinga Montante	30	16	4	13,33	7,67	6,96	42	30	162	205
Ibitinga Jusante	30	30	0	0	7,67	7,33	42	36	162	165
Promissão Montante	30	16	4	13,33	7,67	6,87	42	36	162	136

\*i = inicial; f = final

TABELA 34 (cont)– Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	30	27	3	10	7,68	7,38	44	46	150	161
Promissão Jusante	30	25	5	16,66	7,68	6,81	44	32	150	134
Nova Avanhandava Montante	30	8	22	73,33	7,68	6,08	44	24	150	213
Nova Avanhandava Jusante	30	26	4	13,33	7,68	7,14	44	44	150	193
Três Irmãos Montante	30	28	2	6,66	7,68	7,45	44	48	150	213
Três Irmãos Jusante	30	25	5	16,66	7,68	7,30	44	54	150	174

\*i = inicial; f = final



TABELA 35 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	30	29	1	3,33	7,42	7,72	40	42	157,9	135,1
Piracicaba	30	29	1	3,33	7,42	6,82	40	30	157,9	129,8
Tietê	30	30	0	0	7,42	6,82	40	32	157,9	144,3
Barra Bonita Montante	30	28	2	6,66	7,42	7,81	40	34	157,9	177,2
Barra Bonita Jusante	30	24	6	20	7,42	7,03	40	36	157,9	163,2
Rio Bauru	30	27	3	10	7,42	6,81	40	32	157,9	178,4
Bariri Montante	30	28	2	6,66	7,42	7,11	40	34	157,9	144,3
Bariri Jusante	30	29	1	3,33	7,42	7,26	40	40	157,9	143,9
Ibitinga Montante	30	30	0	0	7,42	7,01	40	30	157,9	134,7

\*i = inicial; f = final

TABELA 35 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i	f	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	18	2	10	7,60	7,58	42	40	121,9	125,6
Ibitinga Jusante	20	6	12	60	7,60	7,08	42	20	121,9	113,5
Promissão Montante	20	10	10	50	7,60	7,48	42	18	121,9	84,3
Promissão Jusante	20	18	2	10	7,60	7,60	42	56	121,9	206
Nova Avanhandava Montante	20	15	5	25	7,60	7,52	42	34	121,9	135,7
Nova Avanhandava Jusante	20	20	0	0	7,60	7,86	42	44	121,9	126,2
Três Irmãos Montante	20	14	6	30	7,60	8,10	42	52	121,9	134,1
Três Irmãos Jusante	20	16	4	20	7,60	8,21	42	26	121,9	99,7

\*i = inicial; f = final



TABELA 36 – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	30	29	1	3,33	7,30	7,32	40	40	113,2	120,1
Tietê	30	30	0	0	7,30	7,08	40	32	113,2	153,3
Barra Bonita Montante	30	30	0	0	7,30	6,83	40	56	113,2	153,2
Barra Bonita Jusante	30	29	1	3,33	7,30	6,84	40	26	113,2	134,4
Rio Bauru	30	27	3	10	7,30	6,92	40	32	113,2	148,3
Bariri Jusante	30	27	3	10	7,30	6,88	40	34	113,2	127,9
Promissão Montante	30	29	1	3,33	7,30	7,13	40	20	113,2	84,2
Promissão Jusante	30	24	6	20	7,30	6,92	40	44	113,2	134,2

\*i = inicial; f = final

TABELA 36 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	18	2	10	7,30	7,70	42	40	136,2	144,0
Piracicaba	20	20	0	0	7,30	7,71	42	30	136,2	118,8
Bariri Montante	20	20	0	0	7,30	6,99	42	30	136,2	136,8
Ibitinga Montante	20	19	1	5	7,30	7,11	42	20	136,2	125,6
Ibitinga Jusante	20	20	0	0	7,30	6,95	42	28	136,2	112,5
Nova Avanhadava Montante	20	20	0	0	7,30	6,99	42	26	136,2	142,4
Nova Avanhandava Jusante	20	20	0	0	7,30	7,09	42	40	136,2	148,0
Três Irmãos Montante	20	0	20	100	7,30	7,13	42	42	136,2	141,7
Três Irmãos Jusante	20	20	0	0	7,30	7,18	42	36	136,2	138,2

\*i = inicial; f = final

TABELA 37 - Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	19	1	5	7,34	7,42	48	32	144,5	242,0
Tietê	20	19	1	5	7,34	6,88	48	30	144,5	193,2
Piracicaba	20	18	2	10	7,34	7,22	48	24	144,5	127,3
Barra Bonita Montante	20	19	1	5	7,34	6,70	48	30	144,5	161,0
Barra Bonita Jusante	20	19	1	5	7,34	7,10	48	46	144,5	154,7
Rio Bauru	20	20	0	0	7,34	7,12	48	32	144,5	160,7
Bariri Jusante	20	20	0	0	7,34	7,26	48	56	144,5	181,5
Ibitinga Montante	20	20	0	0	7,34	7,28	48	30	144,5	126,0

\*i = inicial; f = final

TABELA 37 (cont) – Porcentagem de imobilidade de *Daphnia similis* em bioensaio de toxicidade aguda com amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%	i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	20	20	0	0	7,48	7,49	42	56	136,2	189,6
Bariri Montante	20	20	0	0	7,48	6,98	42	30	136,2	174,1
Ibitinga Jusante	20	20	0	0	7,48	6,99	42	30	136,2	159,6
Promissão Montante	20	16	4	20	7,48	7,21	42	24	136,2	117,3
Promissão Jusante	20	18	2	10	7,48	7,14	42	40	136,2	169,7
Nova Avanhadava Montante	20	20	0	0	7,48	7,29	42	44	136,2	155,1
Nova Avanhandava Jusante	20	18	2	10	7,48	7,12	42	50	136,2	1204
Três Irmãos Montante	20	18	2	10	7,48	7,19	42	48	136,2	166,5
Três Irmãos Jusante	20	17	3	15	7,48	7,15	42	52	136,2	189,6

\*i = inicial; f = final

## BIOENSAIOS DE TOXICIDADE CRÔNICA COM AMOSTRAS DE ÁGUA

TABELA 38 – Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	147	7,60	7,52	46	40	160	166
Piracicaba	10	3	7	70	38	7,03	7,67	30	38	208	254
Tietê	10	9	1	10	97	6,91	7,48	52	60	280	360
Barra Bonita Montante	10	9	1	10	56	7,79	7,74	42	40	219	273

\*i = inicial; f = final

TABELA 38 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	146	7,71	7,85	42	56	159	315
Barra Bonita Jusante	10	9	1	10	67	7,60	8,25	42	46	236	441
Rio Bauru	10	10	0	0	100	7,67	8,00	36	46	199	375
Bariri Montante	10	9	1	10	82	7,03	7,67	30	46	221	300
Bariri Jusante	10	10	0	0	51	7,75	7,63	36	44	215	398
Ibitinga Montante	10	9	1	10	45	7,53	7,79	38	40	183	375
Ibitinga Jusante	10	5	5	50	15	7,69	7,80	34	40	183	367
Promissão Montante	10	8	2	20	28	7,68	7,88	44	28	122	200

\*i = inicial; f = final

TABELA 38 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	149	7,60	7,52	46	48	160	166
Promissão Jusante	10	9	1	10	77	7,22	7,57	34	38	123	114
Nova Avanhandava Montante	10	10	0	0	101	7,48	7,61	34	38	108	152
Nova Avanhandava Jusante	10	10	0	0	125	7,19	7,38	36	38	109	157
Três Irmãos Montante	10	10	0	0	110	7,42	7,64	28	32	99	115
Três Irmãos Jusante	10	10	0	0	97	7,30	7,64	26	32	98	127

\*i = inicial; f = final

TABELA 39 – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	146	7,28	6,95	44	48	129,5	136,4
Tietê	10	10	0	0	33	6,77	7,87	48	38	172,7	181
Piracicaba	10	9	1	10	25	7,05	7,87	26	28	85,5	91,8
Barra Bonita Montante	10	9	1	10	10	6,77	7,71	48	38	170,8	179,9
Barra Bonita Jusante	10	10	0	0	12	7,34	7,73	46	38	160,2	173,5
Rio Bauru	10	10	0	0	36	7,18	7,86	44	36	151,5	167,0
Bariri Montante	10	10	0	0	25	7,34	7,77	40	56	169,7	180,6
Bariri Jusante	10	10	0	0	10	7,28	7,85	36	34	166,4	179,3
Ibitinga Montante	10	10	0	0	32	7,18	7,84	36	32	163,2	178,3

\*i = inicial; f = final

TABELA 39 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	148	7,51	8,05	42	42	131	111,5
Ibitinga Jusante	10	9	1	10	119	7,31	8,50	38	40	185	170,2
Promissão Montante	10	3	7	70	36	7,52	7,07	34	30	171	147,5
Promissão Jusante	10	6	4	40	53	7,54	6,88	30	34	151	137,7
Nova Avanhandava Montante	10	10	0	0	92	7,45	7,30	26	34	147	115,7
Nova Avanhandava Jusante	10	10	0	0	122	7,48	6,65	32	34	141	117,1
Três Irmãos Montante	10	10	0	0	146	7,52	8,14	22	28	98,4	93,4
Três Irmãos Jusante	10	10	0	0	142	7,43	8,41	32	32	141	89,6

\*i = inicial; f = final

TABELA 40 – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	148	7,20	7,77	46	42	112,6	125,6
Tietê	10	3	7	70	50	6,99	7,64	56	46	249	258
Piracicaba	10	9	1	10	75	7,08	7,66	46	32	258	150,1
Barra Bonita Montante	10	8	2	20	98	7,07	7,59	38	40	164,3	175,4
Barra Bonita Jusante	10	9	1	10	103	7,11	7,68	40	42	157	164,1
Rio Bauru	10	9	1	10	148	7,06	7,66	40	42	206	176
Bariri Montante	10	9	1	10	108	7,04	7,58	38	40	170	167,2
Bariri Jusante	10	10	0	0	85	7,16	7,59	38	36	147,8	159,7

\*i = inicial; f = final

TABELA 40 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	146	7,20	7,13	46	60	112,6	147,8
Ibitinga Montante	10	9	1	10	131	7,56	7,12	40	38	123,8	154,8
Ibitinga Jusante	10	9	1	10	111	7,48	7,35	44	38	119,9	150,6
Promissão Montante	10	3	3	30	116	7,53	7,13	38	42	135,6	169,1
Promissão Jusante	10	6	4	40	124	7,42	7,14	30	48	136,5	166,5
Nova Avanhandava Montante	10	10	0	0	72	7,58	7,25	38	40	129,1	166,9
Nova Avanhandava Jusante	10	10	0	0	50	7,62	7,58	44	42	128,6	169,6
Três Irmãos Montante	10	10	0	0	40	7,71	7,34	30	22	73,4	105,9
Três Irmãos Jusante	10	10	0	0	52	7,54	7,24	42	30	77,4	95,8

\*i = inicial; f = final

TABELA 41 – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	9	1	10	145	7,46	7,08	46	48	93,2	81,7
Tietê	10	10	0	0	0	7,33	7,20	64	54	123	114
Piracicaba	10	9	1	10	111	7,27	7,20	44	44	190,8	192
Barra Bonita Montante	10	4	6	60	0	7,29	6,93	50	48	180,2	193,5
Barra Bonita Jusante	10	7	3	30	43	7,21	6,90	40	48	165,9	175,6
Rio Bauru	10	8	2	20	23	7,32	7,33	46	48	141,2	143,5
Bariri Montante	10	9	1	10	0	7,21	7,24	50	42	149,0	152,4
Bariri Jusante	10	10	0	0	39	7,24	7,20	42	44	183,0	147,5

\*i = inicial; f = final

TABELA 41 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de água dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	146	7,60	7,22	46	52	99,9	87,7
Ibitinga Montante	10	10	0	0	142	7,20	7,34	40	32	101,8	104,8
Ibitinga Jusante	10	10	0	0	145	7,14	7,20	40	44	136,8	125,9
Promissão Montante	10	0	10	100	0	7,20	7,34	40	32	122,4	104,8
Promissão Jusante	10	6	4	40	61	7,25	7,23	38	38	123,7	113,7
Nova Avanhandava Montante	10	3	7	70	67	7,33	7,11	36	48	128,8	119,8
Nova Avanhandava Jusante	10	9	1	10	111	7,75	7,18	32	40	128,5	115,5
Três Irmãos Montante	10	10	0	0	141	7,58	7,28	30	32	94,7	86,6
Três Irmãos Jusante	10	10	0	0	143	7,75	7,36	36	48	7,33	7,11

\*i = inicial; f = final

RESULTADOS DOS BIOENSAIOS DE TOXICIDADE CRÔNICA COM AMOSTRAS DE SEDIMENTO

TABELA 42 – Porcentagem de sobrevivência e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	157	7,40	7,62	44	60	166	279
Piracicaba	10	7	3	30	51	7,40	5,80	44	68	166	306
Tietê	10	0	10	100	0	7,40	4,73	44	16	166	337
Barra Bonita Montante	10	10	0	0	91	7,40	6,42	44	60	166	258

\*i = inicial; f = final

TABELA 42 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	180	7,60	7,32	48	52	260	340
Barra Bonita Jusante	10	9	1	10	23	7,60	6,50	48	32	260	286
Rio Bauru	10	7	3	30	0	7,60	6,07	48	24	260	397
Bariri Montante	10	6	40	40	0	7,60	6,01	48	22	260	348
Bariri Jusante	10	9	1	10	5	7,60	6,38	48	40	260	300
Ibitinga Montante	10	8	2	20	14	7,60	6,63	48	50	260	340
Ibitinga Jusante	10	8	2	20	0	7,60	6,42	48	34	260	301
Promissão Montante	10	9	1	10	0	7,60	6,07	48	28	260	331

\*i = inicial; f = final



TABELA 42 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio Tietê, em outubro/99, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	194	7,40	7,46	44	40	151	170
Promissão Jusante	10	8	2	20	14	7,40	6,71	44	26	151	122
Nova Avanhandava Montante	10	0	10	100	23	7,40	4,80	44	30	151	224
Nova Avanhandava Jusante	10	9	1	10	136	7,40	7,03	44	40	151	183
Três Irmãos Montante	10	8	2	20	159	7,40	7,16	44	52	151	181
Três Irmãos Jusante	10	0	10	100	72	7,40	7,11	44	38	151	158

\*i = inicial; f = final

TABELA 43 – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	191	7,51	7,32	42	40	131	120,3
Tietê	10	1	9	9	11	7,51	5,00	42	22	131	247
Piracicaba	10	7	3	30	76	7,51	5,02	42	38	131	174,9
Barra Bonita Montante	10	2	8	80	12	7,19	4,94	42	32	131	210
Barra Bonita Jusante	10	8	2	20	50	7,51	5,67	42	42	131	158,9
Rio Bauru	10	1	9	90	11	7,51	5,15	42	28	131	174,7
Bariri Montante	10	3	7	70	28	7,51	5,12	42	28	131	161,7
Bariri Jusante	10	9	1	10	45	7,51	6,20	42	34	131	113,8
Ibitinga Montante	10	8	2	20	20	7,51	5,95	42	38	131	138,3

\*i = inicial; f = final

TABELA 43 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em fevereiro/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	9	1	10	147	7,28	7,08	44	42	129,5	134,8
Ibitinga Jusante	10	6	4	40	139	7,28	6,92	44	18	129,5	129,3
Promissão Montante	10	6	4	40	126	7,28	6,93	12	38	129,5	88,7
Promissão Jusante	10	8	2	20	120	7,28	7,24	44	48	129,5	180
Nova Avanhandava Montante	10	6	4	40	105	7,28	7,25	44	44	129,5	140,8
Nova Avanhandava Jusante	10	7	3	30	77	7,28	7,58	44	42	129,5	125,6
Três Irmãos Montante	10	8	2	20	81	7,28	7,61	44	56	129,5	140,7
Três Irmãos Jusante	10	7	3	30	85	7,28	7,58	44	32	129,5	100,6

\*i = inicial; f = final

TABELA 44 – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	9	1	10	146	7,30	6,90	42	56	136,2	140,7
Tietê	10	0	10	100	72	7,30	6,11	42	38	136,2	265
Barra Bonita Montante	10	2	8	80	64	7,30	6,71	42	32	136,2	154,7
Barra Bonita Jusante	10	8	2	20	115	7,30	6,74	42	56	136,2	160,1
Rio Bauru	10	5	50	50	91	7,30	6,96	42	56	136,2	154,4
Bariri Jusante	10	10	0	0	98	7,30	6,75	42	56	136,2	145,4
Promissão Montante	10	8	2	20	91	7,30	7,64	42	22	136,2	115
Promissão Jusante	10	3	7	70	79	7,30	6,82	42	22	136,2	162,1

\*i = inicial; f = final

TABELA 44 - (cont) Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em maio/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	I	f	i	f
Controle Laboratório	10	10	0	0	146	7,30	7,17	48	50	116	125,5
Piracicaba	10	8	2	20	134	7,30	7,10	48	22	116	92,2
Bariri Montante	10	6	4	40	92	7,30	6,47	48	40	116	143,2
Ibitinga Montante	10	7	3	30	106	7,30	6,38	48	32	116	140,9
Ibitinga Jusante	10	8	2	20	72	7,30	6,37	48	28	116	125,1
Nova Avanhandava Montante	10	10	0	0	128	7,30	6,92	48	46	116	123,1
Nova Avanhandava Jusante	10	8	20	20	147	7,30	6,78	48	48	116	145,3
Três Irmãos Montante	10	10	0	0	117	7,30	7,03	48	52	116	124,5
Três Irmãos Jusante	10	10	0	0	65	7,30	7,01	48	44	116	120,1

\*i = inicial; f = final

TABELA 45 – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	9	1	10	150	7,33	7,09	48	44	142,8	153,7
Tietê	10	0	10	100	21	7,33	5,20	48	0	142,8	316
Piracicaba	10	3	7	70	52	7,33	5,81	48	0	142,8	159,2
Barra Bonita Montante	10	1	9	90	23	7,33	5,18	48	0	142,8	254
Barra Bonita Jusante	10	8	2	20	113	7,33	6,97	48	38	142,8	171,1
Rio Bauru	10	9	1	10	50	7,33	6,19	48	26	142,8	159,2
Bariri Jusante	10	9	1	10	67	7,33	6,99	48	58	142,8	175,9
Ibitinga Montante	10	6	4	40	35	7,33	6,10	48	24	142,8	123
Ibitinga Jusante	10	8	2	20	96	7,33	6,11	48	32	142,8	149,2

\*i = inicial; f = final

TABELA 45 (cont) – Porcentagem de imobilidade e número de neonatos de *Ceriodaphnia dubia* obtidos nos bioensaios de toxicidade crônica com as amostras de sedimento dos reservatórios do Médio e Baixo Tietê (SP), em julho/00, e valores de pH, dureza e condutividade.

Estações de Coleta	Nº de organismos móveis		Imobilidade		Número de neonatos produzidos	pH		Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		Cond. (µS/cm)	
	i*	f*	Total	%		i	f	i	f	i	f
Controle Laboratório	10	9	1	10	158	7,52	7,34	48	38	189,6	123,3
Bariri Montante	10	9	1	10	112	7,52	6,59	48	0	189,6	161,1
Promissão Montante	10	6	4	40	101	7,52	6,64	48	16	189,6	74,9
Promissão Jusante	10	10	0	0	125	7,52	7,18	48	42	189,6	137,0
Nova Avanhandava Montante	10	8	2	20	113	7,52	7,20	48	50	189,6	147,2
Nova Avanhandava Jusante	10	9	1	10	123	7,52	7,16	48	46	189,6	146,4
Três Irmãos Montante	10	8	2	20	127	7,52	6,93	48	48	189,6	155,2
Três Irmãos Jusante	10	6	4	40	149	7,52	7,14	48	50	189,6	155,2

\*i = inicial; f = final