

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Programa de Pós-graduação em Saneamento,**  
**Meio Ambiente e Recursos Hídricos**

**AVALIAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL DA**  
**QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA**  
**USINA HIDRELÉTRICA DE FUNIL – REGIÃO**  
**SUL DE MINAS GERAIS**

**Luís de Souza Breda**

**Belo Horizonte**

**2011**

**AVALIAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL DA QUALIDADE  
DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA  
HIDRELÉTRICA DE FUNIL – REGIÃO SUL DE MINAS  
GERAIS**

**Luís de Souza Breda**

**Luís de Souza Breda**

**AVALIAÇÃO ESPAÇO - TEMPORAL DA QUALIDADE  
DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA USINA  
HIDRELÉTRICA DE FUNIL – REGIÃO SUL DE MINAS  
GERAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, modelagem, prevenção e recuperação de ambientes aquáticos

Orientador: Eduardo von Sperling

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
Agosto de 2011

B831a	<p>Breda, Luís de Souza. Avaliação espaço – temporal da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais [manuscrito] / Luís de Souza Breda .- 2011 xvii, 294 f., enc. : il.</p> <p>Orientador: Eduardo Von Sperling.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Inclui bibliografia</p> <p>1. Meio ambiente – Teses. 2. Usinas hidrelétricas – Teses. 3. Zooplâncton – Teses. 4. Fitoplâncton – Teses. I. Sperling, Eduardo Von. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDU: 628(043)</p>
-------	--

*“Nada nesta vida é de graça.”*

Autor desconhecido.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida, por todas as graças concedidas, por todas as lições aprendidas e por todas as conquistas ao longo desta jornada que define a vida, inclusive este mestrado;

À minha mãe, meu pai e meu irmão, pelo amor, pelos ensinamentos e pelo apoio incondicional dispensados ao longo da minha vida, sem os quais eu nunca teria chegado até aqui;

À Danielle Peixoto Silva, por todo o amor, compreensão, carinho, companheirismo, respeito e cumplicidade, dedicados sempre de maneira intensa;

Ao meu orientador, professor Dr. Eduardo von Sperling, pela orientação, pelos conhecimentos, pelo apoio e por estar sempre pronto para me atender em todas as etapas de realização deste trabalho;

À Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG e, em especial, aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, pela minha vida acadêmica na pós-graduação;

À professora Dra. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira, pela presteza imediata, apoio e orientação nas análises estatísticas, que enriqueceram muito a interpretação dos resultados obtidos;

À Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SUPRAM CM, em especial, a José Flávio Mayrink Pereira, a Scheilla Samartini e a Isabel R.R.C. de Menezes, pela oportunidade, amizade e meios de realização deste mestrado;

Aos amigos André Luis Ruas, Anderson Marques Martinez Lara e Diego Koiti de Brito Fugiwara por todas as dicas, ajuda e apoio na realização deste mestrado;

Aos amigos e demais colegas da SUPRAM CM, pelo aprendizado e crescimento profissional que conquistei e pelas opiniões que contribuíram muito para este mestrado;

Ao Consórcio AHE Funil, pela disponibilização dos estudos ambientais para a realização do estudo de caso deste trabalho;

À Gilmara Junqueira M. Pereira, por toda a presteza, paciência, boa vontade e por estar sempre pronta para me enviar todas as informações necessárias ao fechamento deste trabalho;

Aos meus verdadeiros amigos da faculdade e de escola, em especial, a Luciano Fernandes Loures e Vinícius de Avelar São Pedro, por serem modelos como profissionais, alunos e pessoas para toda minha vida;

A todas as pessoas, que me apoiaram e foram compreensivas na minha luta para a concretização deste trabalho;

Enfim, a todos, o meu eterno “muito obrigado”!

## RESUMO

O Brasil é um país no qual a matriz energética é predominantemente constituída pela geração hidrelétrica, ou seja, pela energia gerada através de usinas hidrelétricas, de pequeno a grande porte. Embora exista um grande número de usinas hidrelétricas em instalação e operação atualmente, o Brasil possui um enorme potencial ainda a ser aproveitado para implantação de mais empreendimentos desta natureza, por ser um país rico em recursos hídricos. O objetivo deste trabalho consiste em avaliar os efeitos da instalação de um barramento na qualidade das águas do rio em que está inserido. Para tal, foi desenvolvido um estudo de caso da Usina Hidrelétrica de Funil, instalada no rio Grande, bacia hidrográfica do rio Paraná, região sul do estado de Minas Gerais. Buscou-se avaliar a evolução da qualidade da água face à implantação do barramento, e conseqüente formação de um reservatório, bem como os demais fatores que possam influenciar na qualidade das águas – clima, uso e ocupação do solo da bacia de drenagem, contribuição de afluentes, dentre outros. Também foi avaliada a possível implicação da alteração da qualidade da água pela instalação do barramento sobre os usos atuais e potenciais da água, de acordo com o estabelecido pelo enquadramento do curso d'água. Para tal, foram utilizados dados quadrimestrais (períodos chuvoso, seco e intermediário) do monitoramento de parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos da qualidade das águas, de seis pontos de coleta, durante o período de agosto de 2001 a dezembro de 2009 (exceto 2004). Em seguida, foram aplicados métodos estatísticos descritivos (numéricos e gráficos) e analíticos (Teste de Mann-Whitney) sobre estes dados, agrupados em dois cenários distintos, a saber: considerando o curso d'água sem barramento e após a implantação de um barramento. Os resultados obtidos permitem concluir que os parâmetros de qualidade da água que sofreram uma possível influência da instalação do barramento no curso d'água (significância estatística através do Teste de Mann-Whitney -  $p < 0,05$ ), considerando um ou mais pontos de coleta, foram: condutividade elétrica a 25 °C, dureza total, pH a 25 °C, sólidos suspensos, sólidos totais e temperatura. Os parâmetros turbidez, clorofila-*a*, fósforo total, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, fitoplâncton (riqueza e densidade) e zooplâncton (riqueza) também sofreram uma possível influência da instalação do barramento, verificada através das análises gráficas. Não foram verificados maiores riscos sobre os usos da água decorrentes da alteração de sua qualidade, tendo em vista a manutenção de boas condições de qualidade da água na maior parte do período estudado.

Palavras chave: usina hidrelétrica, qualidade da água, fitoplâncton, zooplâncton.

## ABSTRACT

Brazil is a country with its energetic resources mainly located on hydroelectric power plants, both small and big sized plants. Although there is already a large number of plants on construction and also operating, Brazil still has an enormous potential to profit by the installation of more undertakings of this nature, specially because it is a very rich country regarding water resources. The objective of this study was to evaluate the effects of a dam installation on river water quality. It was adopted the case study of the Funil hydroelectric power plant constructed in Grande River, on the Paraná Basin, south region of Minas Gerais State. We searched to evaluate the effects resulted from the construction of the dam as well as those resulted from other factors that could also influence water quality, such as weather and climate, the use and occupation of the drainage basin, tributaries contribution, among others. We also assessed the possible implication of water quality alteration from the construction of the dam on the current and potential water usage, according to the current legislation. Therefore, four-monthly data were used - dry, intermediate and rainy seasons - from the monitoring of physicochemical, bacteriological and hydrobiological water quality parameters from six sampling stations, during the period of August 2001 to December 2009 (except 2004). Both numeric and graphic statistic analysis were taken, using the "Mann Whitney Test/U Test", with the total data grouped in two distinct scenarios: (1) without the construction of any dam and (2) after the construction of one. The results obtained allow us to conclude that the water quality parameters that suffered a possible influence from the construction of the dam ( $p < 0,05$  - Mann Whitney Test/U Test), considering one or more sampling stations, were the water conductivity, water hardness, water pH, sedimentable solids, total solids and temperature. Accordingly to grafical analysis, turbidity, chlorophyll-*a*, total phosphorus, orthophosphate, ammonium, phytoplankton (density and richness) and zooplankton (richness) were also possibly influenced by the construction of the dam. It was also verified that there weren't any implications on the water use resulting from these water quality alterations.

Keywords: hydroelectric, water quality, phytoplankton, zooplankton.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
<b>3. JUSTIFICATIVAS.....</b>	<b>4</b>
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
4.1. A situação da água e a sua importância no século.....	7
4.2. Parâmetros e fatores de influência da qualidade da água.....	8
4.3. Correlação entre os usos e a qualidade da água desejada.....	11
4.4. Manejo de reservatórios artificiais visando usos múltiplos.....	12
4.5. Impactos ambientais associados a usinas hidrelétricas e reservatórios artificiais....	13
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
5.1. Área de Estudo.....	16
5.1.1. A Usina Hidrelétrica de Funil.....	16
5.1.2 Licenciamento ambiental da UHE Funil.....	20
5.1.3 Usos da água, uso e ocupação do solo na bacia de drenagem.....	21
5.2. Quantidade e frequência de campanhas de amostragem.....	26
5.3. Definição dos parâmetros adotados.....	28
5.4. Metodologia de coleta e análise dos dados.....	29
5.5. Definição da rede amostral.....	32
5.6. Métodos analíticos utilizados para a avaliação dos resultados.....	38
5.7. Influência da morfologia do reservatório sobre a qualidade da água.....	44
5.7.1. Área (A).....	45
5.7.2. Volume (V).....	46
5.7.3. Profundidade máxima ( $Z_{max.}$ ).....	47
5.7.4. Profundidade média ( $Z_{med.}$ ) .....	48
5.7.5. Profundidade relativa ( $Z_R$ ).....	49
5.7.6. Desenvolvimento do volume ( $D_V$ ).....	51
5.7.7. Fator de envolvimento (F).....	53
5.7.8. Avaliação conjunta dos parâmetros morfométricos.....	54

<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>56</b>
6.1. Avaliação dos parâmetros físicos,químicos e bacteriológicos.....	56
6.1.1. Cor Aparente.....	56
6.1.2. Sólidos Dissolvidos.....	59
6.1.3. Sólidos Suspensos.....	63
6.1.4. Sólidos Totais.....	66
6.1.5. Turbidez.....	70
6.1.6. Temperatura.....	74
6.1.7. Potencial hidrogeniônico (pH).....	78
6.1.8. Condutividade elétrica.....	82
6.1.9. Dureza Total.....	86
6.1.10. Oxigênio Dissolvido (OD).....	90
6.1.11. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	95
6.1.12. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	99
6.1.13. Cloretos.....	103
6.1.14. Coliformes Termotolerantes.....	105
6.1.15. Clorofila- <i>a</i> .....	109
6.1.16. Fósforo Total.....	114
6.1.17. Ortofosfato.....	122
6.1.18. Nitrogênio Amoniacal.....	126
6.1.19. Nitrato.....	131
6.1.20. Ferro Dissolvido.....	135
6.1.21. Ferro Total.....	139
6.1.22. Manganês Total.....	142
6.2. Avaliação dos perfis térmicos e de oxigênio dissolvido.....	146
6.3. Avaliação da evolução do Índice de Qualidade da Água – IQA.....	157
6.4. Avaliação dos parâmetros hidrobiológicos.....	161
6.4.1. Fitoplâncton - riqueza e densidade.....	161
6.4.2. Zooplâncton - riqueza e densidade.....	174
6.5. Avaliação integrada dos níveis de trofia e de qualidade da água do reservatório..	186
6.6. Comparação dos resultados obtidos com os impactos previstos para a qualidade da água, discutidos no EIA-RIMA.....	189
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>194</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>199</b>

<b>APÊNDICES.....</b>	<b>207</b>
Apêndice A: Dados brutos obtidos para os parâmetros físico-químicos.....	208
Apêndice B: Dados brutos obtidos para o fitoplâncton.....	229
Apêndice C: Dados brutos obtidos para o zooplâncton.....	257

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 5.1</b> - Foto do barramento da UHE Funil. Fonte: <a href="http://www.ahefunil.com.br/site/....">http://www.ahefunil.com.br/site/....</a> .....	18
<b>Figura 5.2</b> - Localização dos três barramentos em estudo no estado de Minas Gerais e sua posição em relação ao município de Belo Horizonte.....	18
<b>Figura 5.3</b> - Localização da Usina Hidrelétrica de Funil. A seta aponta para o local onde se situa o barramento (Fonte: <i>Google Maps</i> , 2011).....	19
<b>Figura 5.4</b> - Usos da água na bacia de contribuição do reservatório da UHE Funil. O retângulo vermelho delimita o reservatório. Fonte: Adaptado de "IGAM, 2010".....	23
<b>Figura 5.5</b> - Uso e ocupação do solo na área de entorno do reservatório da UHE Funil. Fonte: BIOS, 2010.....	25
<b>Figura 5.6</b> - Rede amostral utilizada no monitoramento da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil. (Fonte: AHE Funil, 2009).....	34
<b>Figura 5.7</b> - Rede amostral definida no âmbito do presente trabalho.....	34
<b>Figura 5.8</b> - Reservatório de Funil no braço do rio Grande, a montante da barra do braço do rio Capivari, na balsa de Rosário para Ibituruna (FL050).....	35
<b>Figura 5.9</b> - Reservatório de Funil no braço do rio Capivari, no lago formado, a montante do estreitamento pela Serra (FL060).....	35
<b>Figura 5.10</b> - Reservatório de Funil no braço do rio das Mortes, a cerca de 500 m a montante de sua barra no corpo principal (FL090).....	36
<b>Figura 5.11</b> - Reservatório de Funil no corpo principal, na localidade de Macaia, logo a montante da ponte da rodovia e estrada de ferro (FL110).....	36
<b>Figura 5.12</b> - Reservatório de Funil no corpo principal, 500 m a montante do eixo do AHE Funil (FL120).....	37
<b>Figura 5.13</b> - Rio Grande logo a jusante do eixo do AHE Funil, na seção onde se situa a captação da COPASA - MG para Perdões – MG (FL130).....	37
<b>Figura 5.14</b> - Classificação da água de acordo com os valores de IQA. Fonte: Adaptado de LIMNOS, 2008.....	41
<b>Figura 5.15</b> - Classificação do estado trófico de rios. Fonte: Retirado de IGAM (2010) e adaptado de Lamparelli (2004).....	44
<b>Figura 5.16</b> - Classificação do estado trófico de reservatórios. Fonte: Retirado de IGAM (2010) e adaptado de Lamparelli (2004).....	44
<b>Figura 5.17</b> - Representação esquemática do desenvolvimento de volume. Fonte: von Sperling (1999a).....	51

<b>Figura 6.1</b> - Séries temporais de cor aparente nos pontos de coleta.....	58
<b>Figura 6.2</b> - Séries temporais de sólidos dissolvidos nos pontos de coleta.....	60
<b>Figura 6.3</b> - Variações obtidas para sólidos dissolvidos, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	62
<b>Figura 6.4</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro sólidos dissolvidos.....	62
<b>Figura 6.5</b> - Séries temporais de sólidos suspensos nos pontos de coleta.....	63
<b>Figura 6.6</b> - Variações obtidas para sólidos suspensos, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	65
<b>Figura 6.7</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro sólidos suspensos.....	66
<b>Figura 6.8</b> - Séries temporais de sólidos totais nos pontos de coleta.....	67
<b>Figura 6.9</b> - Variações obtidas para sólidos totais, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	69
<b>Figura 6.10</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro sólidos totais.....	69
<b>Figura 6.11</b> - Séries temporais de turbidez nos pontos de coleta.....	71
<b>Figura 6.12</b> - Variações obtidas para turbidez, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	73
<b>Figura 6.13</b> - Séries temporais de temperatura nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).....	75
<b>Figura 6.14</b> - Variações obtidas para temperatura, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	77
<b>Figura 6.15</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro temperatura.....	77
<b>Figura 6.16</b> - Séries temporais de pH in natura a 25°C nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).....	79
<b>Figura 6.17</b> - Variações obtidas para pH in natura a 25 °C, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	81
<b>Figura 6.18</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro pH.....	81
<b>Figura 6.19</b> - Séries temporais de condutividade elétrica a 25°C nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).....	83
<b>Figura 6.20</b> - Variações obtidas para condutividade elétrica a 25 °C, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	85
<b>Figura 6.21</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro condutividade elétrica.....	86

<b>Figura 6.22</b> - Séries temporais de dureza total nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).....	87
<b>Figura 6.23</b> - Variações obtidas para dureza total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	89
<b>Figura 6.24</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro dureza total.....	89
<b>Figura 6.25</b> - Séries temporais de oxigênio dissolvido nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).....	91
<b>Figura 6.26</b> - Variações obtidas para oxigênio dissolvido, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	94
<b>Figura 6.27</b> - Séries temporais de demanda bioquímica de oxigênio nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).....	96
<b>Figura 6.28</b> - Variações obtidas para a DBO, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	98
<b>Figura 6.29</b> - Séries temporais de demanda química de oxigênio nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).....	100
<b>Figura 6.30</b> - Variações obtidas para a DQO, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	102
<b>Figura 6.31</b> - Séries temporais de cloretos nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).....	104
<b>Figura 6.32</b> - Séries temporais de coliformes termotolerantes nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).....	106
<b>Figura 6.33</b> - Variações obtidas para coliformes termotolerantes, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	108
<b>Figura 6.34</b> - Séries temporais de clorofila-a nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos). Observação: o valor circulado em vermelho equivale na realidade a 53,5 µg/L.....	111
<b>Figura 6.35</b> - Variações obtidas para clorofila-a, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	113
<b>Figura 6.36</b> - Séries temporais de fósforo total nos pontos de coleta.....	116
<b>Figura 6.37</b> - Variações obtidas para o fósforo total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	120

<b>Figura 6.38</b> - Séries temporais de ortofosfato nos pontos de coleta.....	122
<b>Figura 6.39</b> - Variações obtidas para o ortofosfato, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	125
<b>Figura 6.40</b> - Séries temporais de nitrogênio amoniacal nos pontos de coleta.....	128
<b>Figura 6.41</b> - Variações obtidas para o nitrogênio amoniacal, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	130
<b>Figura 6.42</b> - Séries temporais de nitrato nos pontos de coleta.....	132
<b>Figura 6.43</b> - Variações obtidas para o nitrato, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	134
<b>Figura 6.44</b> - Séries temporais de ferro dissolvido nos pontos de coleta.....	136
<b>Figura 6.45</b> - Variações obtidas para o ferro solúvel, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	138
<b>Figura 6.46</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro ferro solúvel.....	138
<b>Figura 6.47</b> - Séries temporais de ferro total nos pontos de coleta.....	140
<b>Figura 6.48</b> - Variações obtidas para o ferro total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	141
<b>Figura 6.49</b> - Séries temporais de manganês total nos pontos de coleta.....	143
<b>Figura 6.50</b> - Variações obtidas para o manganês total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.....	144
<b>Figura 6.51</b> - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro manganês total.....	145
<b>Figura 6.52</b> - Representação do fenômeno da estratificação térmica. Fonte: adaptado de von Sperling (1996).....	146
<b>Figura 6.53</b> - Representação do corpo d`água em circulação completa. Fonte: adaptado de von Sperling (1996).....	147
<b>Figura 6.54</b> - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL110, nas campanhas de 2003. Fonte: Holos (2004).....	150
<b>Figura 6.55</b> - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL110, nas campanhas de 2005 a 2007. Fonte: Limnos (2009).....	151
<b>Figura 6.56</b> - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL110, nas campanhas de 2008 a 2009 (ausência de perfil de oxigênio dissolvido em março/2008). Fonte: Limnos (2009 e 2010).....	152
<b>Figura 6.57</b> - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL120, nas campanhas de 2003. Fonte: Holos (2004).....	153

<b>Figura 6.58</b> - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL120, nas campanhas de 2005 a 2007. Fonte: Limnos (2009).....	154
<b>Figura 6.59</b> - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL120, nas campanhas de 2008 a 2009 (ausência de perfil de oxigênio dissolvido em março/2008). Fonte: Limnos (2009 e 2010).....	155
<b>Figura 6.60</b> - Evolução do IQA ao longo das campanhas. *Impossibilidade de cálculo do IQA.....	159
<b>Figura 6.61</b> - Classificação da água de acordo com os valores de IQA. Fonte: LIMNOS (2008).....	159
<b>Figura 6.62</b> - Riqueza do fitoplâncton, nos anos de 2001 e 2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.....	162
<b>Figura 6.63</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.....	163
<b>Figura 6.64</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.....	163
<b>Figura 6.65</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.....	163
<b>Figura 6.66</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.....	164
<b>Figura 6.67</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.....	164
<b>Figura 6.68</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.....	164
<b>Figura 6.69</b> - Riqueza do fitoplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.....	165
<b>Figura 6.70</b> - Evolução da riqueza média do fitoplâncton ao longo dos anos de monitoramento.....	167
<b>Figura 6.71</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2001/2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.....	168
<b>Figura 6.72</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.....	168
<b>Figura 6.73</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.....	169
<b>Figura 6.74</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.....	169
<b>Figura 6.75</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.....	169
<b>Figura 6.76</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.....	170
<b>Figura 6.77</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.....	170

<b>Figura 6.78</b> - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.....	170
<b>Figura 6.79</b> - Evolução da densidade média do fitoplâncton ao longo dos anos de monitoramento.....	173
<b>Figura 6.80</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2001/2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.....	175
<b>Figura 6.81</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.....	175
<b>Figura 6.82</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.....	176
<b>Figura 6.83</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.....	176
<b>Figura 6.84</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.....	176
<b>Figura 6.85</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.....	177
<b>Figura 6.86</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.....	177
<b>Figura 6.87</b> - Riqueza do zooplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.....	177
<b>Figura 6.88</b> - Relação entre as variações de riqueza do Fitoplâncton e do Zooplâncton, considerando os números médios de taxa por estação de amostragem, por ano.....	178
<b>Figura 6.89</b> - Evolução da riqueza média do zooplâncton ao longo dos anos de monitoramento.....	181
<b>Figura 6.90</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2001/2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.....	182
<b>Figura 6.91</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.....	182
<b>Figura 6.92</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.....	182
<b>Figura 6.93</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.....	183
<b>Figura 6.94</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.....	183
<b>Figura 6.95</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.....	183
<b>Figura 6.96</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.....	184
<b>Figura 6.97</b> - Densidade (organismos/m <sup>3</sup> ) do zooplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.....	184
<b>Figura 6.98</b> - Evolução da densidade média do zooplâncton ao longo dos anos de monitoramento.....	186

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1</b> - Principais características das águas - Fonte: Retirado de Ruas (2006) e adaptado de Reis et al (2005).....	9
<b>Tabela 5.1</b> - Dados de localização e características do barramento estudado.....	19
<b>Tabela 5.2</b> - Detalhamento das campanhas de campo do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” da UHE Funil, utilizadas no presente estudo.....	26
<b>Tabela 5.3</b> - Presença (X) ou ausência de chuvas durante as coletas ou nas 72 horas que antecederam as mesmas.....	27
<b>Tabela 5.4</b> - Localização das estações de amostragem utilizadas.....	28
<b>Tabela 5.5</b> - Relação dos parâmetros avaliados neste trabalho.....	33
<b>Tabela 5.6</b> - Caracterização dos cenários de comparação.....	38
<b>Tabela 5.7</b> - Área total inundada pelo reservatório da UHE Funil.....	46
<b>Tabela 5.8</b> - Resumo dos dados obtidos no levantamento batimétrico realizado no reservatório estudado.....	48
<b>Tabela 5.9</b> - Relação de parâmetros morfométricos do reservatório da UHE Funil.....	54
<b>Tabela 5.10</b> - Avaliação da influência dos parâmetros morfométricos sobre os processos limnológicos do reservatório em estudo.....	55
<b>Tabela 6.1</b> - Dados estatísticos de cor aparente (mg Pt/L) dos pontos de coleta.....	58
<b>Tabela 6.2</b> - Dados estatísticos de sólidos dissolvidos (mg/L) dos pontos de coleta.....	61
<b>Tabela 6.3</b> - Dados estatísticos de sólidos suspensos (mg/L) dos pontos de coleta.....	64
<b>Tabela 6.4</b> - Dados estatísticos de sólidos totais (mg/L) dos pontos de coleta.....	67
<b>Tabela 6.5</b> - Dados estatísticos de turbidez (UNT) dos pontos de coleta.....	71
<b>Tabela 6.6</b> - Dados estatísticos de temperatura (°C) dos pontos de coleta.....	75
<b>Tabela 6.7</b> - Dados estatísticos de pH in natura a 25°C dos pontos de coleta.....	79
<b>Tabela 6.8</b> - Dados estatísticos de condutividade elétrica a 25°C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dos pontos de coleta.....	83
<b>Tabela 6.9</b> - Dados estatísticos de dureza total (mg/L) dos pontos de coleta.....	87
<b>Tabela 6.10</b> - Dados estatísticos de oxigênio dissolvido (mg/L) dos pontos de coleta.....	91
<b>Tabela 6.11</b> - Dados estatísticos de DBO (mg/L) dos pontos de coleta.....	96
<b>Tabela 6.12</b> - Dados estatísticos de DQO (mg/L) dos pontos de coleta.....	100
<b>Tabela 6.13</b> - Dados estatísticos de cloretos (mg/L) dos pontos de coleta.....	104
<b>Tabela 6.14</b> - Dados estatísticos de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) dos pontos de coleta.....	106
<b>Tabela 6.15</b> - Dados estatísticos de clorofila- <i>a</i> ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) dos pontos de coleta.....	111

<b>Tabela 6.16</b> - Correlação entre graus de trofia e usos da água em um corpo hídrico.....	115
<b>Tabela 6.17</b> - Dados estatísticos de fósforo total (mg/L) dos pontos de coleta.....	116
<b>Tabela 6.18</b> - Resultados dos Índices de Estado Trófico calculados para o Cenário 1.....	119
<b>Tabela 6.19</b> - Resultados dos Índices de Estado Trófico calculados para o Cenário 2.....	119
<b>Tabela 6.20</b> - Comparação de níveis tróficos obtidos para os Cenários 1 e 2.....	119
<b>Tabela 6.21</b> - Dados estatísticos de ortofosfato (mg/L) dos pontos de coleta.....	123
<b>Tabela 6.22</b> - Relação entre as concentrações de ortofosfato e de fósforo total.....	123
<b>Tabela 6.23</b> - Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal (mg/L) dos pontos de coleta.....	128
<b>Tabela 6.24</b> - Limites máximos para o parâmetro nitrogênio amoniacal, segundo a DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.....	129
<b>Tabela 6.25</b> - Dados estatísticos de nitrato (mg/L) dos pontos de coleta.....	133
<b>Tabela 6.26</b> - Dados estatísticos de ferro dissolvido (mg/L) dos pontos de coleta.....	136
<b>Tabela 6.27</b> - Dados estatísticos de ferro total (mg/L) dos pontos de coleta.....	140
<b>Tabela 6.28</b> - Relação entre as concentrações médias de ferro solúvel e ferro total.....	142
<b>Tabela 6.29</b> - Dados estatísticos de manganês total (mg/L) dos pontos de coleta.....	143
<b>Tabela 6.30</b> - Classificação para lagos e reservatórios quanto ao padrão de circulação.....	148
<b>Tabela 6.31</b> - Classificação para lagos e reservatórios quanto a frequência de circulação....	148
<b>Tabela 6.32</b> - Classificação média da qualidade da água nos pontos de coleta.....	159
<b>Tabela 6.33</b> - Características de lagos oligotróficos e eutróficos.....	187
<b>Tabela 1A</b> - Dados brutos obtidos para o ponto FNL04/FL050 - rio Grande, remanso do reservatório.....	208
<b>Tabela 2A</b> - Dados brutos obtidos para o ponto FNL03/FL060 - rio Capivari, remanso do reservatório.....	212
<b>Tabela 3A</b> - Dados brutos obtidos para o ponto FNL02/FL090 - rio das Mortes, remanso do reservatório.....	215
<b>Tabela 4A</b> - Dados brutos obtidos para o ponto FNL08/FL110 - porção mediana do reservatório.....	220
<b>Tabela 5A</b> - Dados brutos obtidos para o ponto FNL09/FL120 - imediatamente a montante do barramento.....	223
<b>Tabela 6A</b> - Dados brutos obtidos para o ponto FNL10/FL130 - imediatamente a jusante do barramento.....	226
<b>Tabela 1B</b> - Riqueza (número de espécies) e densidade (org./mL) do fitoplâncton.....	229
<b>Tabela 2B</b> - Lista de espécies encontradas para o fitoplâncton.....	232
<b>Tabela 1C</b> - Riqueza (número de espécies) e densidade (org./m <sup>3</sup> ) do zooplâncton.....	257
<b>Tabela 2C</b> - Lista de espécies encontradas para o zooplâncton.....	260

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A - Área

ANA – Agência Nacional das Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AHE - Aproveitamento Hidroenergético

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DN - Deliberação Normativa

DQO – Demanda Química de Oxigênio

D<sub>v</sub> - Desenvolvimento do Volume

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

ELETRORÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

F - Fator de Envolvimento

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

IET - Índice de Estado Trófico

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IQA - Índice de Qualidade da Água

MW - Megawatt

NMP – Número mais provável

OD - Oxigênio Dissolvido

PACUERA - Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

UHE – Usina Hidrelétrica

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UPGRH - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

V - Volume

Z<sub>máx.</sub> - Profundidade máxima

Z<sub>med.</sub> - Profundidade Média

Z<sub>R</sub> - Profundidade Relativa

# 1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental tem-se tornado cada vez mais importante e discutida nas esferas científica, política e social do Brasil e do mundo. Os impactos negativos advindos das ações antrópicas sobre o meio ambiente têm sido alvos de estudos e discussões cada vez mais frequentes.

Em relação aos impactos ambientais, advindos de influências diretas ou indiretas do homem, existe uma grande preocupação em relação àqueles que ameaçam a integridade dos recursos hídricos, sendo os mais comuns a contaminação de corpos hídricos superficiais e lençol freático, os desmatamentos, os usos indiscriminados e não planejados do solo e a introdução de espécies exóticas, resultando em uma supressão de habitats e uma perda de biodiversidade cada vez mais intensa (Goulart & Callisto, 2003). Segundo Tundisi & Tundisi (2005), os principais impactos sobre a água resultam do desmatamento acelerado, do uso excessivo do solo para atividades agrícolas e da urbanização e industrialização aceleradas e mal planejadas.

Neste contexto, a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos existentes no planeta tem se tornado uma preocupação cada vez maior para a sociedade como um todo, não só pela importância da conservação dos ecossistemas aquáticos, mas também em virtude dos diversos tipos de usos previstos para a água.

Dentre estes usos, pode-se citar, como exemplo, a implantação de diversos tipos de obras ou aproveitamentos hidráulicos para diversos fins, sendo os mais comuns a reservação para abastecimento de água e irrigação, o controle de cheias, a contenção de rejeitos de indústrias e minerações e a geração de energia elétrica. Este último é particularmente importante tendo em vista que a energia elétrica é um dos principais insumos utilizados em vários setores da sociedade.

A contribuição da energia hidráulica na matriz energética do Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (2010), é da ordem de 13,9%, participando com quase 76,9% de toda a energia elétrica gerada no País. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores, estima-se que, nos

próximos anos, pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica.

Em relação a classificação de Aproveitamentos Hidroenergéticos (AHEs), Pequena Central Hidrelétrica, ou PCH, conforme definido pela Resolução n.º 652 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, de 09 de dezembro de 2003, consiste dos aproveitamentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 KW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinados à produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área de reservatório inferior a 3,0 km<sup>2</sup> (salvo aqueles que atenderem o artigo 4º da referida Resolução). Segundo a ANEEL, AHEs com potência superior a 30.000 kW são classificados como Usinas Hidrelétricas – UHEs.

A construção desta tipologia de empreendimentos requer grandes intervenções ambientais, caracterizadas pela implantação de barramentos em rios e inundação de áreas para a formação de reservatórios. Tais intervenções geram uma diversidade de impactos ambientais sobre os meios físico, biótico e socioeconômico. Segundo Silva (1998), a construção de grandes aproveitamentos hidrelétricos modifica toda a relação local entre o corpo de água e o meio ambiente, afetando, conseqüentemente, a qualidade da água.

Com a formação de um reservatório artificial, há uma transformação do ambiente aquático original, que passa de um ambiente de águas correntes - sistema lótico, característico de rios - para um ambiente de águas "paradas" - sistema lêntico, característico de lagos, modificando as condições físicas e químicas da massa d'água e, conseqüentemente, causando profundas diferenças na estrutura e composição das comunidades biológicas (Tundisi, 1986). A qualidade das águas de um reservatório é determinada por estas condições físicas, químicas e biológicas do curso hídrico.

O presente trabalho consiste de um estudo espacial e temporal das condições da qualidade das águas de um curso hídrico, antes e após as alterações ocasionadas pela instalação de um aproveitamento hidroelétrico. Neste trabalho, são utilizados dados secundários – mais especificamente, dados de parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos – de um estudo de caso, em escala real. O estudo de caso adotado refere-se à instalação de um aproveitamento hidrelétrico denominado Usina Hidrelétrica – UHE Funil, implantada no rio Grande, bacia hidrográfica do rio Paraná, estado de Minas Gerais. Pretende-se testar a hipótese de que a implantação do barramento no rio influencia diretamente a evolução de alguns dos parâmetros indicadores de qualidade da água.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo Geral***

Avaliar a evolução dos parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos de um curso d'água superficial decorrente da transformação do sistema lótico em lântico, ocasionada pela instalação de um barramento para a geração de energia elétrica, ao longo da fase anterior à instalação deste barramento até sua fase de operação.

### ***2.2 Objetivos Específicos***

- Caracterizar e comparar o corpo hídrico por meio de seus parâmetros indicadores de qualidade - parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos - em duas condições distintas: como ambiente lótico e lântico;
- Avaliar os riscos e limitações para os potenciais usos da água após a transformação do ambiente aquático;
- Avaliar se os resultados obtidos condizem com aqueles previstos pela literatura técnica - abordada pela revisão bibliográfica - e nos estudos ambientais do barramento do estudo de caso.

### 3. JUSTIFICATIVA

Segundo Tundisi (2005), existem aproximadamente  $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$  de água no planeta. Contudo, apenas 0,8% deste total encontram-se disponíveis como águas doces, podendo ser usadas mais facilmente pelo ser humano. Deste total, apenas uma pequena fração (3%) das águas doces constitui as águas superficiais (rios e lagos), sendo que a fração restante (97%) encontra-se sob a forma de águas subterrâneas, de acesso mais restrito. Neste contexto, a preservação dos recursos hídricos superficiais do Planeta torna-se fundamental, em especial, quanto à qualidade de suas águas, devido à sua pequena parcela de mais fácil - e, conseqüentemente, menos onerosa - utilização, em relação ao volume total de águas doces.

Gastaldini *et al* (2002) atentam para a necessidade cada vez mais urgente de se investigar e diagnosticar os fatores que afetam a qualidade da água, bem como prever os impactos futuros decorrentes de determinados eventos ou condições específicas, para melhor auxiliar a administração dos recursos hídricos com propostas ou alternativas concretas e realmente eficazes.

Neste contexto, este trabalho se justifica pelo fato de que os estudos limnológicos desenvolvidos em reservatórios artificiais são extremamente importantes, pois geram conhecimentos acerca destes sistemas hídricos que podem ser utilizados na gestão adequada destes recursos e na manutenção da qualidade ambiental destes ecossistemas. Tundisi (1999) afirma que o conhecimento científico dos reservatórios como ecossistemas, suas interações com as bacias hidrográficas e com os sistemas a montante e jusante, tem 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.

As usinas hidrelétricas constituem a maior parcela da matriz energética brasileira. Embora o uso de outras fontes de geração de energia - tais como eólica, solar e térmica - tenha apresentado grande expansão ao longo dos últimos anos, o desenvolvimento da economia do país ainda dependerá principalmente da ampliação do potencial de geração de energia referente às usinas hidrelétricas (Reis *et al.*, 2005). Tal ampliação se mostra viável do ponto de vista técnico-executivo, devido ao grande potencial ainda existente de recursos hídricos passíveis de serem explorados para tal finalidade (Ruas, 2006).

Contudo, a implantação de UHEs acarreta uma série de impactos sobre os meios físico, biótico e socioeconômico. Há uma crescente preocupação com as questões ambientais, observada na evolução da legislação ambiental e na organização da sociedade civil (Ruas, 2006). Assim, este trabalho se justifica também pela necessidade de realização de estudos e experimentos para que sejam avaliadas as reais abrangência e conseqüências de tais impactos para que, dessa forma, possam ser criados mecanismos de controle e avaliação bem como otimizados aqueles já existentes. Estes mecanismos são extremamente importantes na mitigação, compensação ou, caso seja possível, até mesmo na eliminação destes impactos.

Um dos maiores impactos advindos da implantação de um aproveitamento hidroenergético é a transformação do regime hídrico do rio de lóxico - “águas correntes” para lântico (ou semi-lântico) - “águas paradas”. Esta alteração modifica profundamente as dinâmicas fluviais, trazendo conseqüências indiretas para os usos múltiplos da água, causa alterações diretas na estrutura das comunidades do ecossistema aquático, modifica as dinâmicas de transporte de materiais e altera a capacidade de autodepuração do corpo hídrico. Tais modificações relacionam-se diretamente com a qualidade das águas, representada por suas características físico-químicas, bacteriológicas e hidrobiológicas. Assim, de acordo com von Sperling (1996), através do estudo da qualidade das águas pode-se realizar a caracterização ambiental de corpos hídricos, tanto para rios quanto para lagos. Esta premissa demonstra mais uma vez a importância do presente trabalho.

Uma das maneiras de se avaliar a evolução da qualidade da água em um reservatório é através da adoção de um monitoramento limnológico ao longo da implantação e operação do empreendimento. Dessa maneira, para o processo de licenciamento ambiental da UHE Funil, objeto deste estudo, foi elaborado o Plano de Controle Ambiental – PCA, contendo 18 programas para a mitigação e controle dos impactos advindos da implantação e operação do empreendimento. Dentre estes programas, pode ser citado o “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água”, cujo objetivo principal consiste em avaliar a evolução da qualidade da água do rio Grande, na área de influência dos impactos gerados pela implantação e operação deste empreendimento (Consórcio AHE Funil, 1999).

Através deste programa é realizada uma série de diagnósticos baseados no levantamento de dados de qualidade da água. Com isso são gerados grandes volumes destes dados ao longo do tempo, cuja utilização e aproveitamento acabam por se restringir ao respectivo processo de licenciamento ambiental. Dessa maneira, a utilização e as aplicações destes dados são, na maioria das vezes, subaproveitadas e pouco difundidas. Portanto, outra justificativa para o

presente trabalho baseia-se na utilização de dados secundários do licenciamento ambiental para divulgação, análise e discussão em nível acadêmico.

E finalmente, a realização deste trabalho se justifica pela disponibilidade de uma série de dados já coletados, diminuindo o período de tempo e os custos necessários para a sua conclusão. Além disso, outra justificativa para o presente estudo reside no fato de que os dados aqui utilizados foram obtidos em escala real, dando maior robustez e confiabilidade aos resultados obtidos, uma vez que sua realização em escala piloto seria inviável.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### ***4.1 A situação da água e a sua importância no século***

Conforme citado anteriormente, a água é um recurso essencial à humanidade, pois mantém a vida no planeta, sustenta a biodiversidade e a produção de alimentos e é responsável pela maioria dos ciclos naturais na Terra. Dessa maneira, a água tem importância econômica, ecológica e social (Tundisi & Tundisi, 2005). Durante um longo período, acreditou-se que este seria um bem inesgotável.

Embora a água seja considerada um recurso abundante no mundo, em relação aos usos e demandas atuais, a sua distribuição pelo planeta é muito desigual, com áreas muito carentes a ponto de transformá-la em um bem limitado às necessidades do homem (Prandi-Rosa & Farache-Filho, 2002). Normalmente, sua escassez é muito mais grave onde o desenvolvimento se processou de forma desordenada, provocando a deterioração das águas disponíveis pelo lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes (Moita & Cudo, 1991).

Prandi-Rosa e Farache-Filho (2002) afirmam que o Brasil, embora possa considerar-se privilegiado em relação a outras nações, com cerca de 35 mil m<sup>3</sup> per capita de água, convive com problemas. A bacia amazônica concentra cerca de 70% da água superficial do país, para atender apenas 7% da população. Os restantes 93% de brasileiros compartilham apenas 30% da água. Na Região Sudeste, onde moram 42% dos brasileiros, estão localizados 6% da água (Moura, 1997). Segundo Prandi-Rosa & Farache-Filho (2002), em reservas de água potável, o Brasil não tem do que se queixar em relação a quantidade de água per capita em comparação a outros países e por concentrar cerca de 11,6% de toda a água doce superficial do mundo.

Segundo Tundisi & Tundisi (2005) a história do uso da água pelo homem é complexa e está diretamente relacionada ao crescimento demográfico, ao estágio de desenvolvimento das sociedades, ao grau de urbanização e aos usos múltiplos que influenciam em sua qualidade e quantidade. Esta história, seus usos e contaminações também se relacionam diretamente à saúde humana, uma vez que muitas doenças que afetam a humanidade têm veiculação hídrica, causadas por organismos que se desenvolvem na água ou têm parte de seu ciclo de vida em vetores que crescem nos sistemas aquáticos.

A água transita na biosfera por meio de um ciclo denominado ciclo hidrológico, que constitui-se basicamente em um processo contínuo de transferência de massas de água do oceano para a atmosfera e desta, por meio de precipitações e escoamento (superficial e subterrâneo) novamente ao oceano (Esteves, 1998).

A partir da Revolução Industrial, em meados do século 19, o ciclo hidrológico passou a ser drasticamente alterado. Desde então, a qualidade e quantidade da água vêm sendo alteradas nas várias regiões do planeta. Estas mudanças são decorrentes do aumento do uso, dos impactos em zonas rurais e urbanas e da manipulação de rios, canais e áreas alagadas do planeta, em larga escala. Os principais impactos sobre a água resultam do desmatamento acelerado, uso excessivo do solo para atividades agrícolas, urbanização acelerada e industrializada (Tundisi & Tundisi, 2005).

Dessa maneira, muitos países vêm investindo em políticas públicas para a gestão de seus recursos hídricos, baseando-se nos pilares de conservação e uso sustentável dos mesmos, uma vez que a sociedade passou a ver a água como um recurso natural limitado, além de perceber o verdadeiro valor desse bem econômico cujo acesso deve ser garantido como um direito humano. Segundo Mazzini (2003), um dos instrumentos que estão sendo utilizados para mostrar ao usuário deste recurso o real valor da água e incentivar seu uso de forma racional é a cobrança pelo uso, por meio do princípio do usuário-pagador. Este princípio, aplicado aos recursos hídricos, leva em conta a gestão compartilhada e participativa dos recursos hídricos e o valor econômico da água, estabelece que o usuário que faz captação em cursos d'água deve pagar proporcionalmente à vazão captada, e o usuário que lança poluição nos cursos d'água deve pagar pela carga de poluição lançada.

Segundo Libânio *et al* (2005), no Brasil, as leis estaduais de recursos hídricos editadas a partir do início da década de 1990 e, posteriormente, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433/1997, ao incorporarem o princípio do aproveitamento múltiplo e integrado dos recursos hídricos, afirmaram a opção brasileira por um modelo de gestão de águas que contemplasse simultaneamente aspectos quantitativos e qualitativos.

#### **4.2 Parâmetros e fatores de influência da qualidade da água**

Em relação à qualidade da água, a mesma é caracterizada como uma integral espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico. A

interação dos diversos processos no espaço e no tempo deve ser, portanto, um somatório cujo resultado principal é a qualidade da água (Tundisi, 1986).

A Tabela 4.1, apresentada a seguir, descreve algumas das principais características da água.

**Tabela 4.1 - Principais características das águas.**

Características da água	Exemplos
Físicas	Estado (líquido, sólido, gasoso), cor, sabor, odor, turbidez, e comportamento desses em função da temperatura, pressão, presença de sais, entre outros.
Químicas	Solventes, dureza, acidez e alcalinidade (medidos pelo pH), radioatividade, presença de oxigênio e dióxido de carbono, entre outros sais como cálcio, magnésio, sódio, potássio.
Biológicas	Presença de organismos produtores, consumidores e decompositores que, dependendo do grupo a que pertencem (vírus, bactérias, algas, peixes, moluscos, entre outros), podem ser benéficos ou maléficos à saúde humana e animal.

Fonte: Adaptado de Reis *et al* (2005).

As características acima descritas, por sua vez, podem ser representadas através de parâmetros de qualidade da água, que também são classificados em físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros biológicos, por sua vez, são usualmente subdivididos em bacteriológicos (associados ao saneamento ambiental, como os coliformes fecais e totais) e hidrobiológicos (microorganismos animais ou vegetais, como fitoplâncton e zooplâncton) (Ruas, 2006).

Segundo Goulart & Callisto (2003), o monitoramento de variáveis físicas e químicas traz algumas vantagens na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos, tais como: identificação imediata de modificações nas propriedades físicas e químicas da água; detecção precisa da variável modificada, e determinação destas concentrações alteradas. Entretanto, este sistema apresenta algumas desvantagens, tais como a descontinuidade temporal e espacial das amostragens. Ainda de acordo com estes autores, em função da capacidade de autodepuração e do fluxo unidirecional de ecossistemas lóticos, os efluentes sólidos carregados por drenagens pluviais para dentro de ecossistemas aquáticos podem ser diluídos (dependendo das concentrações e tamanho do rio) antes da data de coleta das amostras ou causarem poucas modificações nos valores das variáveis. Além disso, o

monitoramento físico e químico da água é pouco eficiente na detecção de alterações na diversidade de habitats e microhabitats e insuficiente na determinação das conseqüências da alteração da qualidade de água sobre as comunidades biológicas.

Já Barbour *et al* (1999) afirmam que as comunidades biológicas refletem a integridade ecológica total dos ecossistemas (física, química e biológica), integrando os efeitos dos diferentes agentes impactantes e fornecendo uma medida agregada dos impactos. As comunidades biológicas de ecossistemas aquáticos são formadas por organismos que apresentam adaptações evolutivas a determinadas condições ambientais e apresentam limites de tolerância a diferentes alterações das mesmas. Desta forma, o monitoramento biológico constitui-se como uma ferramenta na avaliação das respostas destas comunidades biológicas a modificações nas condições ambientais originais (Alba-Tercedor, 1996; Goulart & Callisto, 2003). Na elaboração de diagnósticos da qualidade da água, as comunidades biológicas normalmente utilizadas são o fitoplâncton, o zooplâncton e o zoobênton.

Segundo von Sperling (1996), os parâmetros de qualidade da água podem ser utilizados para caracterizações diversas, como de águas superficiais e subterrâneas para abastecimento, de águas residuárias brutas, tratadas e caracterização ambiental de corpos d'água (rios e lagos).

As principais ações e fatores antrópicos que podem afetar, direta ou indiretamente, a qualidade das águas, segundo diversos autores como von Sperling (1996), Goulart & Calisto (2003), Reis *et al* (2005) e Ruas (2006), são: o carreamento de defensivos agrícolas para o curso hídrico, o desmatamento e alteração da cobertura vegetal do solo, a impermeabilização advinda da urbanização, as atividades minerárias, o lançamento de efluentes domésticos e industriais, a presença de reservatórios artificiais e as alterações climáticas causadas pelo efeito estufa.

Analisando-se os fatores supramencionados percebe-se que boa parte destes estão relacionados direta ou indiretamente com os usos do solo na bacia hidrográfica. Segundo Ruas (2006), a bacia hidrográfica, mesmo quando preservada em suas condições naturais, influencia na qualidade das águas de seus corpos hídricos através do carreamento de partículas, substâncias e impurezas dos solos, decorrente da precipitação atmosférica. Neste caso, a cobertura e composição do solo da bacia hidrográfica em questão terão grande influência na definição da qualidade de suas águas. Pode-se observar, também, que as condições sazonais do clima influenciam indiretamente na qualidade das águas.

Ressalta-se que, de acordo com Tundisi (1996) no caso específico de reservatórios, a qualidade das águas também depende de inúmeros outros fatores, relacionados com as características morfométricas do sistema, os mecanismos de circulação, estratificação e desestratificação térmica e química, as relações da profundidade da zona eufótica com a profundidade máxima e a profundidade da zona afótica, e as interrelações do sedimento/água, também reguladas pelo grau de oxigênio na coluna d'água e potencial de óxido-redução do sedimento.

### **4.3 Correlação entre os usos e a qualidade da água desejada**

Além de sua importância para a manutenção da vida no planeta, a água pode ser utilizada para os mais diversos fins. De acordo com von Sperling (1996), os usos mais comuns são: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, aquicultura, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, navegação e diluição de despejos. Dentre estes, apenas o abastecimento doméstico e industrial, irrigação e dessedentação de animais envolvem o consumo de água. Os demais usos são desenvolvidos no próprio corpo d'água.

O nível de qualidade da água necessário é determinado pela tipologia de uso, sendo específico para cada um dos diferentes tipos de uso. Usos como abastecimento doméstico e industrial, considerados mais nobres, devem cumprir requisitos mais exigentes, sendo necessário, em muitos casos, um tratamento prévio da água. Este é o caso do consumo humano e animal, no qual a água deve apresentar características sanitárias e toxicológicas adequadas, devendo ser, então, potável, limpa, isenta de substâncias tóxicas e organismos patogênicos. Ressalta-se que os critérios de “potabilidade da água” são definidos pela Portaria nº 518/GM, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.

Outros usos como lavagem de carros, instalações físicas, harmonia paisagística e navegação possuem requisitos menos restritivos. A diluição de despejos, por exemplo, não possui requisitos especiais em relação à qualidade da água do corpo receptor.

Nos casos de corpos hídricos que apresentam vários usos, é necessário que estes possuam uma qualidade hídrica que atenda simultaneamente todos os critérios dos usos previstos. Estes casos se aplicam, muitas vezes, a represas construídas com finalidade de abastecimento de água, geração de energia, recreação, irrigação e outros. No caso de uso da água para geração de energia elétrica, por exemplo, um requisito de qualidade da água é que a mesma possua

baixa agressividade. A agressividade é a característica que confere às águas tendência de corroer os metais, ferrosos e não-ferrosos, e materiais à base de cimento pela presença, em solução, de oxigênio, gás carbônico e gás sulfídrico (Mazzini, 2003; Ruas, 2006).

Dessa maneira, os corpos d'água são usualmente enquadrados em classes em função dos usos previstos para a água, de acordo com a legislação pertinente. No Brasil a legislação que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, dentre outras providências, no âmbito federal, é a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Dentre as considerações da referida Resolução, estabelece-se que a saúde e o bem-estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático, não devem ser afetados pela deterioração da qualidade da águas. A Resolução Conama n.º 357/2005 determina os limites individuais (ou padrões de qualidade) para cada substância, em cada classe. Já no estado de Minas Gerais, onde se insere o presente estudo de caso, a norma que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, é a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n.º 01/2008, de 05 de maio de 2008.

Cumprе ressaltar que a perda de capacidade de autodepuração de um corpo hídrico decorrente da transformação do sistema lótico em lêntico faz com que seja mais difícil atingir os padrões de qualidade estabelecidos na legislação, no caso de determinados parâmetros. (Ruas, 2006).

#### ***4.4 Manejo de Reservatórios Artificiais visando usos múltiplos***

Segundo Cruz e Fabrizy (1995), os usos múltiplos de reservatórios “são planos de aproveitamento de recursos hídricos projetados e operados para atender dois ou mais propósitos”. Trata-se de uma alternativa para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Segundo Ruas (2006), os inúmeros barramentos para geração de energia, existentes no Brasil, freqüentemente servem também como fonte de suprimento de água para as populações ribeirinhas, além de constituírem-se em ambiente para recreação (natação, mergulho, esqui aquático), lazer (pesca), harmonia paisagística, melhoria climática (aumento da umidade do ar) e navegação. Já os barramentos construídos para armazenamento de água para abastecimento doméstico e industrial necessitam de maiores cuidados para preservação da qualidade do ambiente, cuja degradação implica em uma forte elevação dos custos para tratamento da água. Desta forma, é recomendável que estes reservatórios sejam protegidos do

acesso indiscriminado da população, devendo tais cuidados serem estendidos por toda a bacia de contribuição. A adequada prática de usos múltiplos de reservatórios exige evidentemente a implantação de um sistema de gerenciamento bastante eficiente, cuja responsabilidade é normalmente atribuída a agências de bacias ou a consórcios administradores (von Sperling, 1999a).

Tundisi (1986) afirma que o manejo de reservatórios, mesmo os de grande porte, é factível desde que se conheçam profundamente os principais sistemas de interrelações que interferem no funcionamento físico, químico, biológico e hidrodinâmico. Estas interrelações sofrem a influência da manipulação dos reservatórios, a qual é principalmente dirigida para a geração de energia elétrica. Entretanto, o manejo de reservatórios para usos múltiplos deve ser a meta principal e, neste caso, o problema assume grande complexidade, demandando séries muito detalhadas de informações durante longos períodos.

#### ***4.5 Impactos ambientais associados a usinas hidrelétricas e reservatórios artificiais***

Conforme exposto anteriormente, a implantação de reservatórios artificiais provoca uma série de impactos ambientais, podendo trazer, em alguns casos, profundas modificações aos meios físico, biótico e socioeconômico. Segundo Rodrigues & Souza (2008), podem ser considerados como principais impactos ambientais negativos relacionados à implantação de reservatórios de usinas hidrelétricas: inundação de áreas extensas de produção de alimentos e florestas; forte alteração do ambiente e com isso o prejuízo de muitas espécies de seres vivos, como por exemplo, a interferência na migração e reprodução de peixes; alteração do funcionamento dos rios; geração de resíduos nas atividades de manutenção de seus equipamentos. Também, podem ser adicionados a estes, outros impactos, como os deslocamentos da população ribeirinha, mudanças na paisagem e nos ativos ambientais (que eventualmente podem ser atrativos turísticos).

Em relação aos impactos sobre a qualidade da água e ecossistemas aquáticos, com a implantação de um reservatório artificial uma nova dinâmica fluvial é estabelecida e, conseqüentemente, há uma mudança nas características físico-químicas da água, nas dinâmicas de circulação e sedimentação e as comunidades aquáticas são completamente reestruturadas, com a perda de certas espécies e colonização de espécies mais aptas a sobreviverem no novo ambiente. Ressalta-se que estas modificações podem alterar as

características físico-químicas, bacteriológicas e hidrobiológicas, tanto espacialmente quanto ao longo do tempo.

Leite & Matsumoto (2005) ao estudar a qualidade da água do reservatório da UHE de Ilha Solteira, localizada no rio Paraná, encontraram uma variação espacial, ao longo do reservatório, para diversos parâmetros como pH, turbidez, temperatura, nitrogênio, fósforo e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Já Basso & Carvalho (2007), ao estudar duas represas e uma lagoa no município de Ilha Solteira, observaram uma variação temporal para os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), DBO, cor, turbidez, nitrogênio, fósforo, coliformes fecais e pH, relacionando estas variações com a incidência de chuvas. O Índice de Qualidade da Água (IQA) também foi estudado nos diversos pontos, com os valores mais altos (águas de melhor qualidade) no período seco.

Mullins & Whisenant (2004) realizaram um estudo da qualidade da água no Reservatório de Somerville, na cidade de mesmo nome, no Texas (EUA), no verão de 2001, tendo em vista a ocorrência de diversos episódios de mortandade de peixes no local. Constatou-se uma variação diária de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água bem como elevados valores de pH, em função das variações drásticas nas taxas de fotossíntese e respiração ao longo do dia, que se processam em um ambiente hipereutrófico.

Ribeiro et al (2005), ao estudar as alterações limnológicas bióticas e abióticas ocorridas na formação da hidrelétrica de Salto Caxias, no rio Iguaçu, Paraná, concluíram que, após o represamento, por efeitos da decomposição da biomassa vegetal submersa, do material lixiviado dos solos, e das contribuições através de tributários, houve imediata depleção do oxigênio dissolvido, especialmente no hipolímnio, incrementos na concentração de fósforo e nitrogênio e conseqüente aumento da biomassa fitoplanctônica especialmente nos braços dos principais afluentes.

Wax (2006) realizou um diagnóstico da qualidade da água do Reservatório de Jamestown, Condado de Stutsman, na Carolina do Norte (EUA), a partir de dados coletados entre o verão de 1998 e o inverno de 1999. Ele encontrou diferentes graus de trofia para o reservatório, considerando a região de entrada, porção mediana e a área próxima ao barramento, verificando o nitrogênio como nutriente limitante. Além disso, demonstrou a ocorrência de estratificação térmica influenciando os perfis de oxigênio dissolvido na porção mediana e área próxima ao barramento.

Ruas (2006), ao estudar três UHEs implantadas em série no rio Pomba, concluiu que os parâmetros de qualidade da água que sofreram uma possível influência da instalação de um ou mais barramentos no curso d'água foram DBO, fosfato solúvel, sólidos sedimentáveis, fitoplâncton (densidade e riqueza) e zooplâncton (densidade). Concluiu, ainda, que não foram observados efeitos cumulativos significativos para estes parâmetros devido à instalação de múltiplos barramentos e não se verificaram quaisquer riscos sobre os usos da água decorrentes da alteração de sua qualidade.

Pedrazzi *et al* (2007) ao avaliar a qualidade da água superficiais do Reservatório de Itupararanga localizado na bacia hidrográfica do Alto Sorocaba (SP) no seu gradiente espacial horizontal, encontraram uma tendência de diminuição do grau de trofia em direção à barragem, concluindo que a pior condição trófica do reservatório, localizada próximo à entrada do rio Sorocaba, devia-se aos impactos como à poluição difusa da produção agrícola e à carga orgânica dos rios formadores da bacia do Alto Sorocaba. Já Flauzino (2008) realizou um estudo da qualidade da água do reservatório da UHE Miranda entre os anos de 2003 a 2007, encontrando variações espaciais e temporais consideráveis, associando-as ainda a sazonalidade, para os parâmetros DBO, DQO, oxigênio dissolvido, óleos e graxas, sólidos dissolvidos totais, transparência, turbidez e coliformes termotolerantes.

Strey *et al* (2008), ao desenvolver um estudo da qualidade da água, de agosto de 2007 a julho de 2008, nos reservatórios de ITAIPU - reservatórios de Santa Helena, Entre Rios do Oeste, Pato Bragado e Porto Mendes - concluíram que a qualidade da água nestes reservatórios encontrava-se dentro dos aspectos satisfatórios, segundo Resolução CONAMA N° 357/2005, indicando assim a baixa degradação ambiental destes sistemas. Já Honorato (2008) ao estudar a qualidade da água do rio Preto, antes durante e após a implantação da AHE Queimado, em Unaí/MG, concluiu que os parâmetros OD, DBO, fósforo total, fitoplâncton e zooplâncton sofreram uma possível influência com a implantação do empreendimento.

Enfim, diversos estudos sobre a qualidade da água em reservatórios artificiais demonstram variações em parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos, relacionando estas variações com os usos do solo na bacia hidrográfica, influências da sazonalidade e a presença do barramento no rio (Velini *et al*, 1999; Leite & Espíndola, 2001; Melo, 2007). Tais estudos se mostram extremamente importantes pois servem como base para a elaboração de planos de conservação e manejo de reservatórios, principalmente quando nestes são previstos usos múltiplos.

## **5. METODOLOGIA**

Os dados utilizados no presente trabalho são provenientes do monitoramento da qualidade das águas do rio Grande, objeto do estudo de caso adotado. Mais precisamente, estes dados são parte dos resultados do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” da Usina Hidrelétrica de Funil, de propriedade do Consórcio AHE Funil, e foram obtidos junto ao processo de licenciamento ambiental da mesma. Ressalta-se que os relatórios de monitoramento elaborados pelo Consórcio AHE Funil vêm sendo todos protocolados na Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, sendo anexados aos arquivos que compõem os processos de licenciamento ambiental do empreendimento para análise e acompanhamento (Consórcio AHE Funil, 1999; Holos, 2003a; Holos 2003b; Holos, 2004; Limnos, 2009; Limnos, 2010).

Em relação à metodologia de obtenção dos dados adotada neste trabalho, esta, por sua vez, está restrita e vinculada à metodologia utilizada no Programa supracitado. Os tópicos a seguir apresentam a metodologia utilizada no mesmo, seguida dos critérios e justificativas para sua utilização, parcial ou total, na presente dissertação.

### **5.1 Área de estudo**

#### **5.1.1 A Usina Hidrelétrica de Funil**

O Rio Grande nasce na Serra da Mantiqueira, região limítrofe dos estados de São Paulo e Minas Gerais, apresentando extensão total de 1.050 km, e deságua no Rio Paraná, na confluência com o Rio Paranaíba (Ziesler & Ardizzone, 1979). Drena uma área de aproximadamente 143 mil km<sup>2</sup> (CEMIG & CETEC, 2000).

De acordo com dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM (2010), a topografia acidentada da região e o considerável volume de água proveniente dos elevados índices pluviométricos do alto da bacia hidrográfica, tornam a bacia do rio Grande e seus principais afluentes uma região de enorme interesse para a geração de energia elétrica. Devido a este fato e à proximidade dos centros consumidores de energia elétrica, numerosos aproveitamentos hidroenergéticos têm sido construídos e projetados ao longo de seu curso e de sua bacia contribuinte, constituindo uma das maiores fontes e reservas de energia do país.

No rio Grande estão localizadas as seguintes usinas hidrelétricas (UHE): Camargos, Itutinga, Funil, Furnas, Marechal Mascarenhas de Moraes (Peixoto), L. C. B de Carvalho (Estreito), Jaguará, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo e Água Vermelha. Diversas outras usinas estão localizadas nesta bacia, tais como Euclides da Cunha, São Joaquim, Dourados, Esmeril, Limoeiro, Caconde, Anil, Pinhal e Jacutinga, dentre outras (IGAM, 2010).

A Usina Hidrelétrica de Funil, denominada oficialmente Usina Engenheiro José Mendes Júnior, está situada no curso superior do rio Grande, entre os municípios de Perdões e Lavras, no sul de Minas Gerais (Souza-Hojo, 2008). Esta é a terceira usina de cascata de aproveitamentos hidrelétricos do rio Grande, situando-se a montante da usina de Furnas e a jusante da usina de Itutinga (Cachapuz, 2006). Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima regional é do tipo Cwa, ou seja, clima subtropical de inverno seco (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C). A precipitação média histórica na região é de 1.306 mm (Holos, 2004).

O término do enchimento do reservatório e início da geração de energia ocorreu em dezembro de 2002. Seu lago possui capacidade de armazenar 258 milhões de m<sup>3</sup> de água em uma extensão de 33,46 km<sup>2</sup>, formando uma lâmina d'água com nível constante (Souza-Hojo, 2008). A UHE Funil possui uma potência instalada de 180 MW e opera em "regime de ponta", ou seja, a água é reservada nos períodos de menor demanda energética, ao longo do dia, liberando para jusante, por meio de seus dispositivos, uma vazão inferior à vazão afluente. A água acumulada é então utilizada na geração de energia nos horários de pico, compreendidos entre 18:00 e 21:00.

O AHE Funil foi implantado no estirão do rio Grande, entre a UHE Itutinga e o remanso da UHE Furnas. Nesse trecho, o rio Grande tem como principais afluentes o rio das Mortes, pela sua margem direita, e os rios Capivari e do Cervo, pela margem esquerda, esse último situado a jusante da usina. Vale ressaltar que o reservatório da UHE Itutinga possui, aproximadamente, 1,64 km<sup>2</sup> de área inundada e situa-se imediatamente a jusante da UHE Camargos (com espelho d'água de 74 km<sup>2</sup>), em cujo reservatório é feita a regularização das vazões (Holos, 2004).

A área de drenagem da bacia hidrográfica do AHE Funil nesse ponto é de 15.153 km<sup>2</sup>, onde o regime hídrico do rio Grande é parcialmente regularizado pelo reservatório da UHE Camargos, que controla pouco mais de um terço dessa área de drenagem. A vazão média de longo período (Q<sub>MLT</sub>) no eixo de Funil, com a influência dessa regularização, é de 324 m<sup>3</sup>/s, e

a mínima média mensal ( $Q_{\text{mín}}$ ) é de  $103 \text{ m}^3/\text{s}$ . O tempo de residência no reservatório é de aproximadamente 10 dias para a vazão média de longo período e de 30 dias para a mínima média mensal (Holos, 2004).

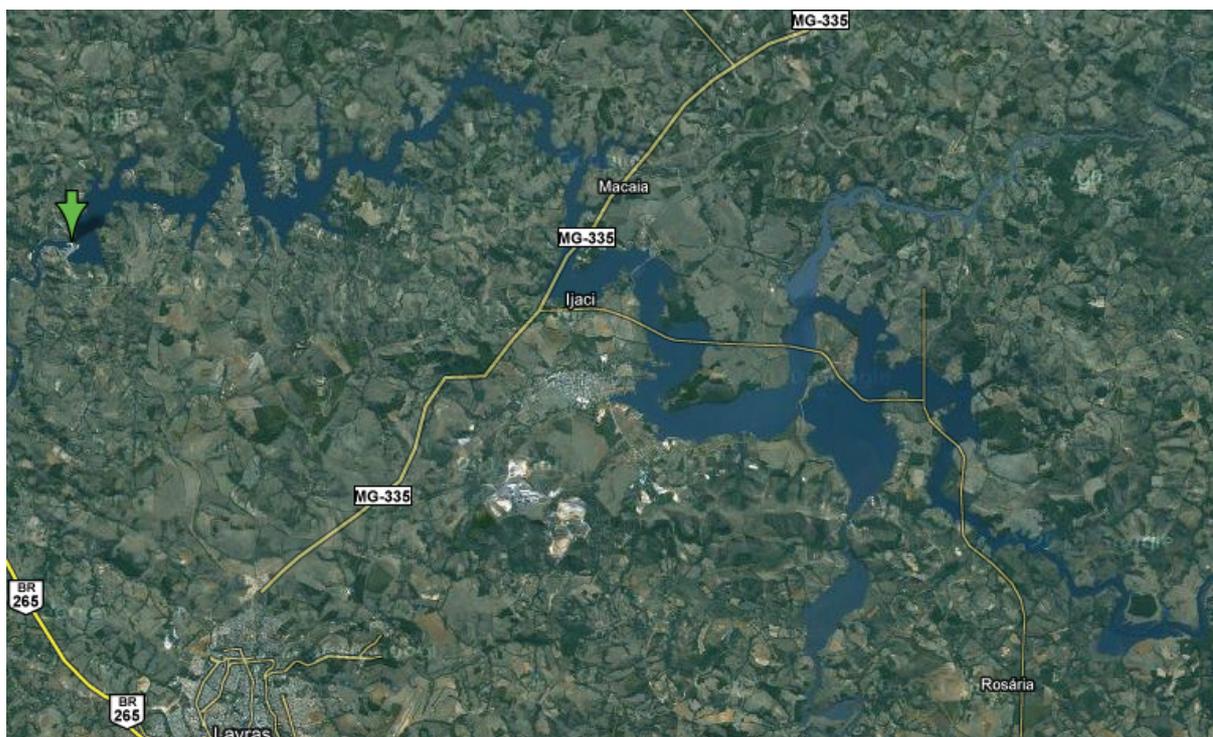
A Figura 5.1 apresenta imagem do barramento da usina. As Figuras 5.2 e 5.3 apresentam a localização deste empreendimento, bem como a sua posição em relação ao município de Belo Horizonte.



**Figura 5.1** - Foto do barramento da UHE Funil. Fonte: <http://www.ahefunil.com.br/site/>.



**Figura 5.2** - Localização do barramento em estudo no estado de Minas Gerais e sua posição em relação ao município de Belo Horizonte.



**Figura 5.3** - Localização da Usina Hidrelétrica de Funil. A seta aponta para o local onde se insere o barramento. Fonte: Google Maps (2011).

A Tabela 5.1 apresenta alguns dados de localização e características do empreendimento.

**Tabela 5.1** - Dados de localização e características do barramento estudado.

Usina Hidrelétrica de Funil	
Distância do eixo do barramento à foz, no rio Paraná (km).	950
Municípios afetados	Perdões, Lavras, Ijaci, Itumirim, Ibituruna e Bom Sucesso.
Coordenadas Geográficas UTM - Fuso 23K	
UTM (X)	496249.02 m L
UTM (Y)	7661989.62 m S
Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	15.153
Área inundada* (km <sup>2</sup> )	33,46
Estirão do reservatório entre a barragem e o limite de montante no rio Grande (km)	52,5
Cota do reservatório* (m)	808,00
Volume do reservatório* (m <sup>3</sup> )	258,4 x 10 <sup>6</sup>
Altura máxima da barragem (m)	50
Profundidade máxima do reservatório (m)	32,10
Comprimento do barramento (m)	420
Potência Instalada (MW)	180

\* no nível d'água (N.A.) máximo normal.

Fonte: Holos (2004).

O enchimento do reservatório do AHE Funil foi relativamente rápido. Iniciado em 09 de novembro de 2002, alcançou o N.A. máximo normal, na cota 808,00 m, em 08 de dezembro de 2002. A primeira fase do enchimento se estendeu até o dia 11 de novembro, quando foi

alcançada a cota da soleira do vertedouro. Nesse período, foi mantida a vazão residual de 1 m<sup>3</sup>/s, com uma vazão média afluyente em torno de 230 m<sup>3</sup>/s. A partir dessa fase, foi vertida uma vazão variável para permitir um enchimento gradativo, minimizando os impactos ambientais. Essa condição foi favorecida pelos elevados índices pluviométricos do período que, após o enchimento, reduziram o tempo de residência da água no reservatório e promoveram diversas trocas do volume armazenado (Holos, 2004).

### ***5.1.2 Licenciamento ambiental da UHE Funil***

De acordo com a Resolução CONAMA n.º 237, de 19 de dezembro de 1997, o Licenciamento Ambiental é um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

Mazzini (2003) afirma que o licenciamento é um instrumento de política e gestão ambiental, de caráter preventivo, composto por um conjunto de leis, normas técnicas e procedimentos administrativos, que define as obrigações e responsabilidade do poder público e dos empreendedores, com vistas à autorização para implantar, ampliar ou iniciar a operação de empreendimento potencialmente poluidor. Segundo a Cartilha de Licenciamento Ambiental (TCU, 2007), licenciamento é também um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, cujo objetivo é agir preventivamente sobre a proteção do bem comum do povo, o meio ambiente e compatibilizar sua preservação com o desenvolvimento econômico-social. Ambos, essenciais para a sociedade, são direitos constitucionais. A meta é cuidar para que o exercício de um direito não comprometa outro igualmente importante.

O licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais é regido pela Deliberação Normativa COPAM n.º 74, de 09 de setembro de 2004, que, por sua vez, estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Dentre as inúmeras tipologias de empreendimentos e atividades listadas por esta Deliberação, estão as barragens para geração de energia elétrica.

Dessa maneira, a UHE Funil esteve sujeita ao processo de licenciamento ambiental, em todas as suas etapas, e às suas obrigações, tais como a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, e respectivo Relatório Ambiental – RIMA, estabelecidas pela Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986. O Estudo de Impacto Ambiental aborda, dentre outras questões, o diagnóstico ambiental da área de influência, a análise dos impactos ambientais e a definição de medidas ambientais para o empreendimento. Diversos dados bibliográficos utilizados neste capítulo e ao longo do presente trabalho foram obtidos junto a este documento, tais como, por exemplo, o “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” da UHE Funil.

O processo de licenciamento ambiental desta usina hidrelétrica foi realizado pelo órgão ambiental estadual competente: a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Este processo foi iniciado em 1992 e encontra-se atualmente em fase de revalidação da Licença de Operação (REVLO), última fase de licenciamento ambiental, por parte da Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SUPRAM Sul de Minas que, recentemente, passou a ser o órgão ambiental responsável pelo licenciamento de atividades constantes na DN COPAM n.º 74/2004, na região sul de Minas Gerais.

### ***5.1.3 Usos da água, uso e ocupação do solo na bacia de drenagem***

De acordo com dados presentes no EIA/RIMA (1994), os usos preponderantes da água na bacia do rio Grande, na área de influência do reservatório da UHE Funil, são o abastecimento populacional, o abastecimento industrial, a irrigação, a dessedentação animal, o lançamento de efluentes (tratados e sem tratamento) das concentrações urbanas e a utilização recreacional. Ainda de acordo com estes estudos, as maiores concentrações urbanas, que teriam parte de suas terras inundadas, estavam fora da área de drenagem a montante do reservatório, quais sejam Lavras e Perdões. Este fato fez com que a utilização das águas como elemento de diluição de despejos fosse bastante reduzida. Quanto à utilização das águas na bacia do rio das Mortes, afluente do rio Grande, verificou-se como destaque o garimpo de ouro e extrações de areia no leito do rio.

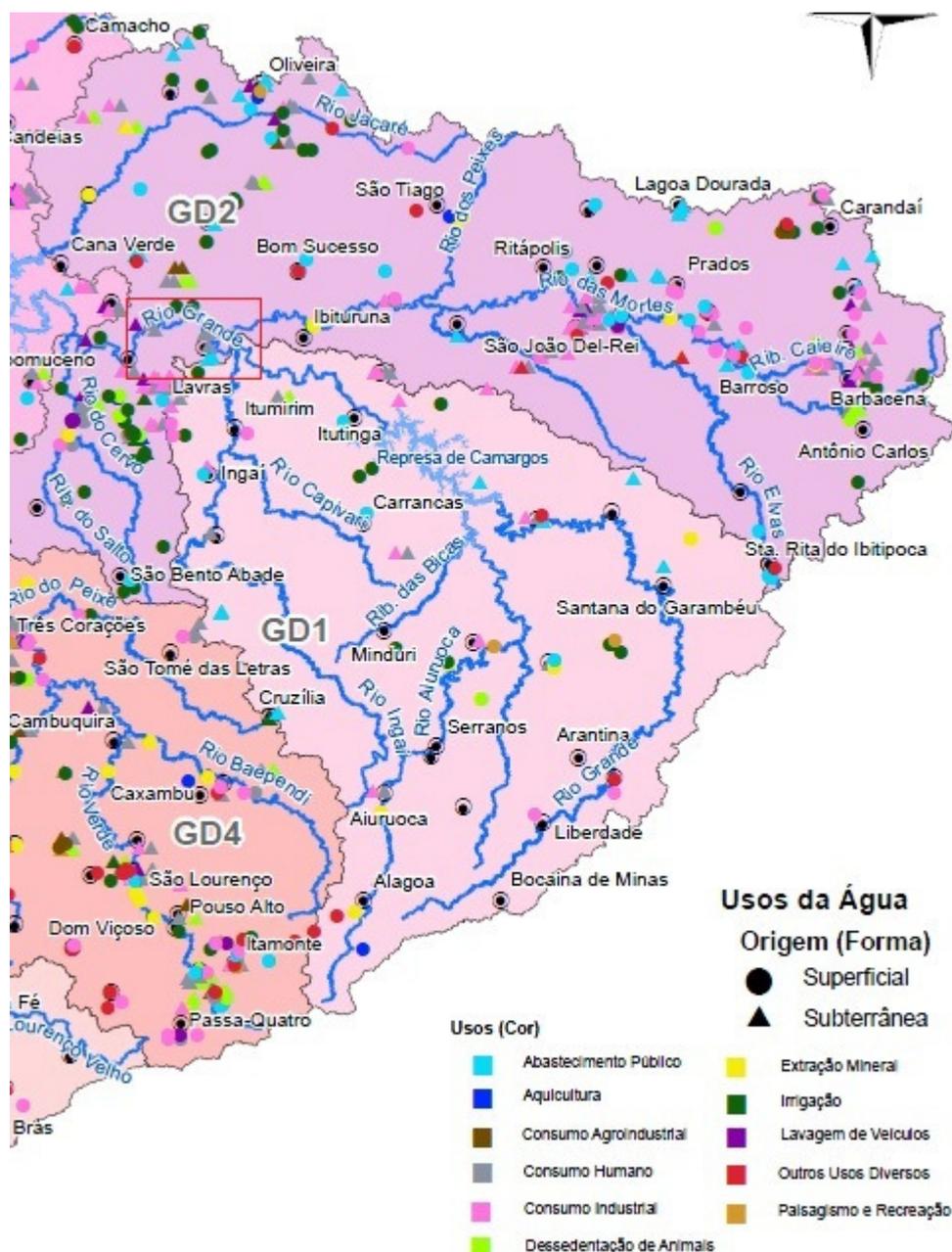
Segundo dados provenientes do IGAM (2010), a bacia hidrográfica do rio Grande é caracterizada pela presença dos seguintes tipos de uso dos recursos hídricos: abastecimento industrial, abastecimento público, irrigação, extração mineral, dessedentação de animais e em menor proporção a aquicultura, o consumo agroindustrial e o paisagismo. Em relação aos usos da água predominantes na porção leste da bacia, onde se realizou o presente estudo de caso,

estes variaram entre o consumo industrial, a irrigação e o abastecimento público. Entretanto, próximo aos municípios de Lavras e Varginha, a irrigação predomina, assim como nos municípios de Carvalhópolis e Turvolândia.

Segundo dados provenientes do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial da UHE FUNIL, os usos atuais da água identificados na área de entorno do reservatório são o abastecimento para consumo humano, industrial e animal, lançamento de esgotos, navegação, pesca e aquicultura, recreação, irrigação e a geração de energia (BIOS, 2010). Ressalta-se, ainda, a existência do ponto de captação de água da COPASA, do município de Perdões, no trecho do rio Grande imediatamente a jusante da barragem, e, mais a jusante, no ponto de deságue do Ribeirão Vermelho, a existência de outro ponto de captação de água da COPASA, para o município de Lavras (Holos, 2003; Limnos, 2010).

Conforme exposto anteriormente, o rio Grande tem como principais afluentes o rio das Mortes, pela sua margem direita, e os rios Capivari e do Cervo, pela margem esquerda, sendo este último, situado a jusante da usina. O rio das Mortes é corpo receptor de lançamento de esgotos sanitários e industriais de Barbacena e São João Del Rei, além de outros municípios de pequeno e médio porte. O ribeirão Pirapum, afluente do reservatório, recebe os efluentes provenientes da ETE Nova Pedra Negra. Pequenas comunidades e municípios no entorno dos corpos d'água também contribuem com efluentes, principalmente domésticos, no trecho monitorado. (Limnos, 2010).

A Figura 5.4 detalha os usos da água na bacia de drenagem da UHE Funil, que abrange áreas pertencentes a duas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH GD1 e GD2. Ressalta-se que nestes trechos da bacia do rio Grande, os corpos hídricos são enquadrados na classe 2 (IGAM, 2010).



**Figura 5.4** - Usos da água na bacia de contribuição do reservatório da UHE Funil. O retângulo vermelho delimita a área do reservatório da usina. Fonte: Adaptado de IGAM (2010).

A Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos GD1 compreende a nascente do rio Grande até a confluência com o rio das Mortes. Com uma área drenada de 8.758 km<sup>2</sup> e 21 municípios com sede, tem população total de 100.593 habitantes, com uma grande porção rural (28%). As atividades econômicas predominantes na UPGRH GD1 se concentram na pecuária extensiva, especialmente bovina, e na silvicultura. Destaca-se ainda, a represa de Camargos, formada pelas águas do rio Grande, com contribuição em sua margem esquerda, do rio Aiuruoca (IGAM, 2010).

A Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos GD2 compreende as sub-bacias dos rios das Mortes e Jacaré e seus afluentes. Possui uma área de drenagem de 10.540 km<sup>2</sup>, com 30 municípios com sede nas sub-bacias e uma população estimada de 551.309 habitantes. Assim como na UPGRH GD1, a pecuária é uma das atividades predominantes nesta unidade. Entretanto, a atividade minerária (extração de areia) tem importância econômica considerável nesta região, bem como as culturas agrícolas de milho e café. Dragas de grande porte estão presentes nos rios das Mortes e Grande, localizadas nos municípios de São João Del Rei e Lavras, respectivamente (IGAM, 2010).

Em relação aos usos e ocupação do solo, de acordo com o EIA/RIMA (1994), na área de influência da UHE Funil, observou-se o predomínio de pastagens com o desenvolvimento de pecuária extensiva, a realização de atividades agrícolas (cultivo de café, culturas temporárias, etc), e o restante da área ocupado por floresta plantada, pequenos fragmentos de mata nativa, áreas capoeiras e campos, além de algumas concentrações urbanas, com a presença de indústrias, principalmente, alimentícias. Além disso, conforme discutido anteriormente, em relação às atividades minerárias, verificou-se como destaque o garimpo de ouro na sub-bacia do rio das Mortes e extrações de areia no leito dos rios.

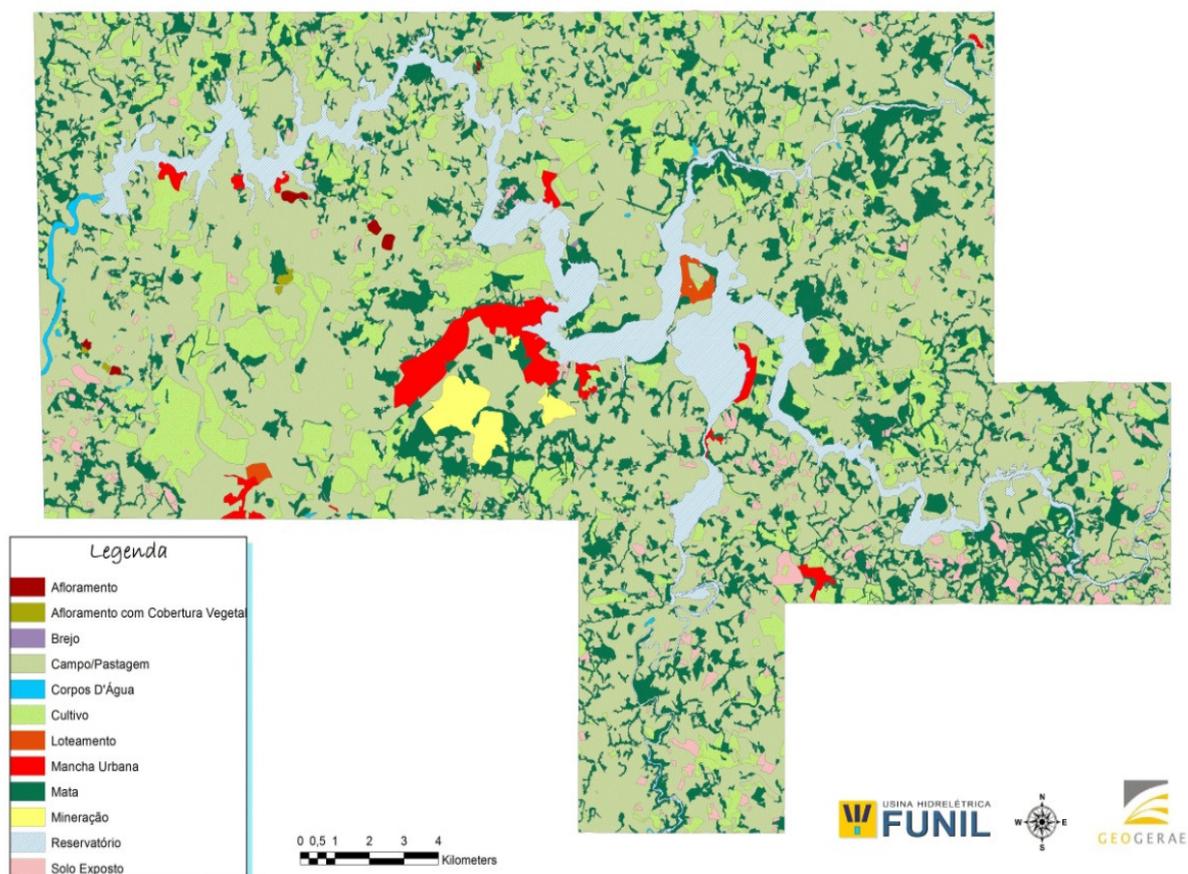
Ainda de acordo com os dados do IGAM (2010), em relação aos usos do solo, o cultivo de grãos se destaca nas sub-bacias dos rios Verde e Sapucaí, enquanto as culturas de cana-de-açúcar se sobressaem no Triângulo Mineiro. As atividades de floricultura e horticultura, por outro lado, concentram-se no alto curso do rio Grande e nas sub-bacias dos rios das Mortes e Jacaré. Em relação às atividades pecuaristas, a avicultura é atividade de destaque no alto curso da sub-bacia do rio Verde, além dos municípios de Três Corações, Varginha e Lavras. Vale ressaltar o aumento do cultivo de silvicultura em todo o Estado, em especial nas sub-bacias dos rios Sapucaí e Verde (Figura 9.1). Já a pecuária bovina, extensiva e intensiva, é difundida em toda a bacia do rio Grande. Assim, na bacia de contribuição direta do reservatório da UHE Funil, são relevantes as atividades agrícolas, pecuaristas, minerárias e industriais.

Ressalta-se que nas atividades minerárias, a exploração de granito, feldspato e quartzo são relevantes nas sub-bacias dos rios Jacaré e das Mortes, enquanto que a extração de argila, areia e cascalho assumem destaque nas sub-bacias do rio das Mortes, rio Sapucaí e ribeirão da Bocaina. Ainda no ramo não metálico, pode ser mencionada a exploração de calcário nas sub-bacias dos rios Formiga, das Mortes e São João. Quanto aos minerais metálicos, na sub-bacia do rio das Mortes persiste a ocorrência, ainda que reduzida e manual, de garimpo de ouro. Já as atividades industriais são desenvolvidas em toda a bacia, especialmente as do ramo

alimentício (abatedouros e laticínios), destacando-se ainda as indústrias químicas e fabricação de fertilizantes fosfatados nos municípios de Varginha, Uberaba e Poços de Caldas, as indústrias metalúrgicas na sub-bacia do rio das Mortes e Verde, e a fabricação de açúcar e álcool na região do Triângulo Mineiro (IGAM, 2010).

De acordo com os dados provenientes do PACUERA da UHE Funil (BIOS, 2010), os principais usos do solo na área de entorno do reservatório são as atividades agropecuárias, concentrações urbanas e atividades minerárias. O entorno do reservatório foi caracterizado, dentre outros fatores, pela baixa exposição do solo, pela baixa ocorrência de processos erosivos acelerados, pela conservação das pastagens e pelos resquícios de vegetação florestal espalhados no perímetro do reservatório. Por outro lado os mesmos estudos apontaram para a intensa pressão pelo uso e ocupação do solo por empreendimentos imobiliários próximos à margem do reservatório com o objetivo de lazer e turismo.

A Figura 5.5 apresenta um mapa de usos do solo em parte da bacia de contribuição, no entorno do reservatório da UHE Funil.



**Figura 5.5** - Uso e ocupação do solo na área de entorno do reservatório da UHE Funil.  
Fonte: BIOS (2010).

## 5.2 Quantidade e frequência de campanhas de amostragem

Os dados utilizados nesta dissertação foram obtidos durante 08 anos de monitoramento, no período compreendido entre agosto de 2001 a dezembro de 2009 (com exceção de 2004). Levando em consideração a variação do número de campanhas por ano, o grande número de pontos amostrais e sua variação entre campanhas e, ainda, o grande número de parâmetros e sua variação entre as mesmas, buscou-se uma padronização das variáveis analisadas visando a obtenção de uma comparação uniforme bem como a eliminação de possíveis erros durante as análises dos resultados. Assim, uma vez que um dos objetivos do monitoramento foi avaliar a qualidade das águas de acordo com as variações sazonais, estabeleceram-se os seguintes períodos para realização das coletas:

- Abril a Julho: quando as vazões encontram-se próximas da média (período intermediário).
- Agosto a outubro: quando as vazões são próximas das mínimas (período seco).
- Novembro a Março: quando as vazões estão próximas das cheias (período chuvoso).

Face ao exposto, foram selecionadas 26 campanhas distribuídas nos 08 anos de monitoramento, sendo, aproximadamente, três campanhas por ano, compreendendo os períodos secos, chuvosos e intermediários, na maior parte do monitoramento. O detalhamento das campanhas utilizadas é apresentado na Tabela 5.2, juntamente com a fase do empreendimento (pré-enchimento, enchimento e operação do reservatório). Já a Tabela 5.3 apresenta a condição climática na área das estações de coleta, durante as amostragens ou nas 72 horas que antecederam as mesmas. Ressalta-se que a rede amostral será discutida no Tópico 5.3.

**Tabela 5.2** - Detalhamento das campanhas de campo do “Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água” da UHE Funil, utilizadas no presente estudo.

Fase	Campanha	Data	Período
Pré-Enchimento	1 <sup>a</sup>	16/08/2001	Seco
	2 <sup>a</sup>	13/11/2001	Chuvoso
	3 <sup>a</sup>	19/02/2002	Chuvoso
	4 <sup>a</sup>	14/05/2002	Intermediário
	5 <sup>a</sup>	13/08/2002	Seco
Enchimento	6 <sup>a</sup>	03/12/2002	Chuvoso
	7 <sup>a</sup>	07/01/2003	Chuvoso
	8 <sup>a</sup>	04/02/2003	Chuvoso
Operação	9 <sup>a</sup>	19/05/2003	Intermediário
	10 <sup>a</sup>	12/08/2003	Seco

11 <sup>a</sup>	15/12/2003	Chuvoso
12 <sup>a</sup>	04/05/2005	Intermediário
13 <sup>a</sup>	16/08/2005	Seco
14 <sup>a</sup>	17/11/2005	Chuvoso
15 <sup>a</sup>	03/05/2006	Intermediário
16 <sup>a</sup>	28/08/2006	Seco
17 <sup>a</sup>	28/11/2006	Chuvoso
18 <sup>a</sup>	23/05/2007	Intermediário
19 <sup>a</sup>	28/08/2007	Seco
20 <sup>a</sup>	28/11/2007	Chuvoso
21 <sup>a</sup>	26/03/2008	Chuvoso
22 <sup>a</sup>	15/07/2008	Intermediário
23 <sup>a</sup>	01/10/2008	Seco
24 <sup>a</sup>	06/01/2009	Chuvoso
25 <sup>a</sup>	04/08/2009	Seco
26 <sup>a</sup>	01/12/2009	Chuvoso

**Tabela 5.3** - Presença (X) ou ausência de chuvas durante as coletas ou nas 72 horas que antecederam as mesmas.

Campanha	FL050*	FL060*	FL090*	FL110*	FL120*	FL130*
Agosto/2001						
Novembro/2001	X	X	X	X	X	X
Fevereiro/2002	X	X	X	X	X	
Maio/2002						
Agosto/2002						
Dezembro/2002						
Janeiro/2003						
Fevereiro/2003						
Maio/2003						
Agosto/2003						
Dezembro/2003						
Maio/2005	X	X	X	X	X	X
Agosto/2005						
Novembro/2005				X		
Maio/2006						
Agosto/2006	X	X	X	X	X	X
Novembro/2006	X	X	X	X	X	X
Maio/2007	X	X	X	X	X	X
Agosto/2007						
Novembro/2007	X	X	X	X	X	X
Março/2008	X	X	X	X	X	X
Julho/2008						
Outubro/2008				X		
Janeiro/2009	X	X	X	X	X	X
Agosto/2009						
Dezembro/2009	X	X	X	X	X	X

\* A descrição das estações de amostragens encontra-se no Item 5.5 (Tabela 5.5).

É importante ressaltar que durante o ano de 2004 não foi realizado o monitoramento da qualidade da água. Segundo informações do empreendedor, existe esta lacuna no período amostral devido "a mudança da empresa de consultoria responsável pelo monitoramento

(mudanças contratuais, etc)". No entanto, considera-se que a ausência de dados para este ano não compromete o resultado final do trabalho, tendo em vista o longo período de monitoramento.

### **5.3 Definição dos parâmetros adotados**

A definição dos parâmetros utilizados no âmbito deste trabalho originou-se em função da grande variação do número de parâmetros coletados, bem como a sua variação, ao longo de todo o período de monitoramento já realizado. Desta maneira, buscou-se selecionar os parâmetros mais representativos do ponto de vista sanitário e ambiental, que normalmente são utilizados em trabalhos desta natureza, conforme a revisão bibliográfica abordada no Capítulo 4. A Tabela 5.4 apresenta o detalhamento de tais parâmetros.

**Tabela 5.4 - Relação dos parâmetros avaliados neste trabalho.**

Classificação	Parâmetros avaliados
Físico-químicos	Cloretos*, clorofila-a, condutividade elétrica, cor aparente**, DBO, DQO, dureza total, ferro (solúvel e total), fósforo total, manganês total, nitrato, nitrogênio amoniacal, ortofosfato, oxigênio dissolvido, pH, sólidos (dissolvidos, suspensos e totais) e temperatura da água.
Bacteriológicos	Coliformes termotolerantes.
Hidrobiológicos	Fitoplâncton e zooplâncton (aspectos qualitativos e quantitativos).

\* *Parâmetro amostrado a partir de maio de 2005.*

\*\**Parâmetro amostrado a partir de maio de 2003.*

Os parâmetros hidrobiológicos, fitoplâncton e zooplâncton, foram avaliados de acordo com sua densidade e riqueza, segundo a mesma metodologia utilizada para os parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. A densidade do fitoplâncton refere-se à quantidade de organismos por mL, enquanto que a densidade de zooplâncton, neste trabalho, refere-se à quantidade de organismos por m<sup>3</sup>. A riqueza refere-se ao número de “taxa” encontrados em cada ponto de coleta, para cada campanha realizada.

Apesar da importância do zoobênton como organismos bioindicadores de qualidade ambiental, destacada por Goulart & Callisto (2003), esta comunidade biológica não foi utilizada na presente dissertação, tendo em vista a impossibilidade de padronização metodológica, realizada para os demais parâmetros, devido à inexistência de continuidade e congruência espacial e temporal com os dados utilizados nesta dissertação (os pontos amostrados para esta comunidade diferem dos pontos utilizados para os demais parâmetros, no âmbito deste trabalho).

## **5.4 Metodologia de coleta e análise dos dados**

A metodologia de coleta e análise dos dados foi definida pelos laboratórios responsáveis pela sua execução. Dessa forma, é apresentada a seguir uma descrição geral da metodologia utilizada, transcrita dos Relatórios do Programa de Monitoramento da Qualidade da Água da UHE Funil (Holos, 2003a; Holos 2003b; Holos, 2004; Limnos, 2009; Limnos, 2010). Ressalta-se que os métodos analíticos utilizados para avaliar os resultados no âmbito do presente trabalho serão discutidos no Tópico 5.6.

Os trabalhos de coleta de dados e análises laboratoriais foram desenvolvidos tomando-se como referências de análises e amostragens as normas e métodos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20ª edição (APHA/AWWA/WEF, 1998).

As normas, cuidados e análises empregados na coleta se basearam na NBR 9898, que dispõe sobre a preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Utilizaram-se também as terminologias indicadas pela NBR 9896 e as disposições sobre procedimentos e planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores descritos na NBR 9897. As metodologias de coleta empregadas para as amostras hidrobiológicas seguiram as normas e indicações sugeridas no Guia de Coleta e Amostragem da CETESB, 1ª edição, 1998, e Manual de Amostragem de Águas da CEMIG.

Com relação aos parâmetros físico-químicos, os frascos de coleta foram preservados e etiquetados para a análise em laboratório. As etiquetas dos frascos indicaram o parâmetro a ser analisado, o modo e o tipo de preservação empregados. Os tipos de frascos, o volume mínimo a ser coletado, o tipo de preservação e preservantes utilizados, assim como o prazo de análise para cada parâmetro seguiram as normas já especificadas. Para as amostragens dos parâmetros físico-químicos, as coletas foram feitas diretamente no corpo hídrico. As determinações de temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram realizadas em campo através de sondas lançadas diretamente nos cursos d'água.

A água coletada no balde foi distribuída para os frascos utilizados respectivamente para cada parâmetro analisado, tomando-se o máximo cuidado para não borbulhar e nem deixar aparecer bolhas de ar. Após tais procedimentos, as amostras eram enviadas, no mesmo dia, para o laboratório.

A coleta de amostras para exame bacteriológico foi sempre a primeira a ser realizada a fim de evitar o risco de contaminação do local de amostragem com frascos ou amostradores não estéreis. Optou-se pela coleta em sacos estéreis, não reaproveitáveis, esterilizados de fábrica (NASCO – Whirl-PaK) e prontos para uso em campo.

Todas as amostras foram imediatamente acondicionadas em caixas de isopor, contendo gelo picado e em pedaços, suficiente para refrigerá-las até cerca de 4°C e posteriormente foram enviadas para o laboratório.

As coletas de amostras foram realizadas com o auxílio de uma rede de amostragem de plâncton com 20 µm de interstício. Nos ambientes lóticos, as coletas para as análises qualitativas foram realizadas deixando a rede com a abertura contra a correnteza por aproximadamente 15 minutos. Para a análise quantitativa coletou-se um litro de água na profundidade subsuperficial, a cerca de 20 cm, através de um caneco de inox e a amostra foi transferida para um frasco de polietileno. Em ambientes lênticos, para a análise qualitativa, foram realizados arrastos verticais e horizontais com a rede de plâncton e na quantitativa coletou-se 1 L de água “in natura” a 20 cm da superfície. O material destinado às análises qualitativas foi fixado com formol a 4% e o reservado às análises quantitativas, fixado e corado com 5 mL de lugol acético.

Em laboratório, as análises qualitativas das amostras foram realizadas através da visualização de uma série de lâminas, até que ocorresse o esgotamento dos "taxa" (unidade individual de identificação) presentes. Os organismos foram identificados, sempre que possível, até o nível taxonômico de espécie, utilizando as chaves disponíveis (Bourrely, 1968, 1972 e 1985; Geitler, 1932; Desikachary, 1959; Anagnostidis, 1961; Compère, 1974; Germain, 1981; Sant'anna *et al.*, 1995; Komarek & Fott, 1983).

Para as análises quantitativas do fitoplâncton foi utilizado o método das câmaras de Utermohl em microscópio invertido. Em princípio, as amostras foram concentradas até 100 mL, de acordo com a distribuição nas câmaras. Após a concentração ou diluição, se necessário, as amostras foram homogeneizadas com cuidado para não danificar os organismos. De cada amostra concentrada foram retiradas alíquotas de 10 mL, posteriormente transferidas para as cubetas (câmaras de contagem de Utermohl). O material foi deixado sedimentar, por um período de 24 horas, em câmaras úmidas para não alterar o volume (cada centímetro de altura demora de 3 a 4 horas para sedimentar). O acréscimo de gotas de detergente ou de merthiolate melhora o processo de sedimentação.

As amostras foram quantificadas em microscópio invertido nas cubetas de sedimentação (Utermohl). Foram contados, sempre que possível, mais de 100 indivíduos (células, cenóbios, colônias e filamentos) da espécie dominante de cada amostra, de modo que o erro de contagem fosse inferior a 20%, com probabilidade de 95%. Quando não foi possível a contagem de 100 indivíduos da espécie dominante, foi feita a contagem até que a curva "espécie x área" fosse estabilizada, ou seja, até que a cada aumento do número de campos contados não ocorresse o aparecimento de novos "taxa" fitoplanctônicos ainda não identificados. Para o cálculo da densidade dos organismos contados foi utilizada a Equação 5.1.

$$N = \frac{n}{V.C}$$

(5.1)

na qual:

N = Número de indivíduos/mL

n = Número de indivíduos contados na amostra

V = Volume de campo

C = Número de campos contados na amostra.

O volume foi calculado medindo-se a altura da câmara com uma régua certificada e o raio do campo com uma ocular micrométrica. Após a quantificação, as espécies encontradas foram certificadas através do uso de chaves taxonômicas, específicas para esta comunidade de organismos, medindo as algas com o auxílio da ocular micrométrica.

As coletas de amostras para as análises do zooplâncton foram realizadas usando redes de nylon (Monyl) de 35 µm de interstício. A coleta para a análise qualitativa nos ambientes lóticos consistiu em deixar a rede contra a correnteza por cerca de 15 minutos. Já em ambientes lênticos, foram realizados arrastos verticais e horizontais com auxílio da rede. O material concentrado foi corado com o corante vital rosa-de-bengala e conservado sob refrigeração até a análise laboratorial. Para as análises quantitativas nos rios foram filtrados 200 L de água coletada a 20 cm da superfície em rede de 35 µm de interstício. No reservatório, a água foi filtrada em rede de 35 µm de interstício, na profundidade total da zona fótica. O concentrado obtido foi corado com 0,2 mL (4 gotas) de solução de rosa-de-bengala, estocado em frascos de polietileno, de pelo menos 100 mL, e após cerca de 15 minutos fixado com 0,5 mL de solução de formaldeído a 4%, neutralizado.

A análise laboratorial foi realizada em microscópio óptico. No caso da análise qualitativa foram visualizadas lâminas, preparadas a fresco, até que houvesse um esgotamento dos "taxa" presentes. Os organismos foram identificados, sempre que possível, até o nível taxonômico de espécie, utilizando as chaves disponíveis. As análises quantitativas foram feitas utilizando-se da técnica de Sedgwick-Rafter, contagem em câmaras padronizadas com volume de 1 mL, através do critério de espécie área.

Destaca-se que, antes da implantação do reservatório (agosto de 2001 a novembro de 2002), as amostragens foram sempre realizadas em profundidade sub-superficial (aproximadamente 0,2 m da superfície). No início da operação da UHE, em 2003, após a formação do reservatório, os pontos de coleta localizados neste (FL050, FL060, FL090, FL110 e FL120) passaram a ser avaliados em três profundidades distintas: na região subsuperficial, na metade da zona fótica e no hipolímnio (1 metro do fundo).

Já a partir de maio de 2005, como no reservatório os braços dos rios Grande (FL050), Capivari (FL060) e das Mortes (FL090) apresentam menor profundidade, os mesmos foram coletados em duas profundidades, uma na sub-superfície e outra no epilímnio. Os demais perfis, FL110 e FL120, foram coletados em três profundidades (subssuperficial, epilímnio e hipolímnio). Em março de 2008, as estações FL050, FL060 e FL 090 passaram a ser novamente amostradas em três profundidades cada (subssuperficial, epilímnio e hipolímnio), assim como nas estações FL110 e FL120. As estações FL050, FL060 e FL090 voltaram a ser coletadas em duas profundidades, uma na subsuperfície e outra no epilímnio. Os demais perfis, FL110 e FL120, foram coletados em três profundidades (subssuperficial, epilímnio e hipolímnio).

### **5.5 Definição da rede amostral**

Em relação à rede amostral, levando em consideração o grande número de estações de coleta, bem como a variação destas, em número e localização no corpo hídrico, entre as várias campanhas realizadas, a sua padronização foi orientada pela busca de pontos comuns utilizados em todo o período amostral, usando-se, para tanto, as coordenadas geográficas de cada ponto, plotadas com o auxílio do software *Google Earth*.

Para realização do presente trabalho, considerou-se que a rede de monitoramento necessária deveria ser suficiente para cobrir a extensão do corpo hídrico afetado pela instalação da UHE Funil. Dessa maneira, foram definidas as seis grandes regiões mais representativas a serem

utilizadas no âmbito do presente estudo, a saber: 1) braço do reservatório no rio das Mortes (Ponto FNL02 = FL090); 2) braço do reservatório no rio Grande (Ponto FNL04 = FL050); 3) braço do reservatório no rio Capivari (Ponto FNL03 = FL060); 4) porção mediana do reservatório (corpo principal do reservatório - Ponto FNL08 = FL110); 5) reservatório, porção imediatamente a montante do barramento (cerca de 500 metros do mesmo - Ponto FNL09 = FL120); e 6) rio Grande, imediatamente a jusante do barramento (cerca de 700 metros do mesmo - Ponto FNL10 = FL130). A Tabela 5.5 apresenta a descrição das estações de amostragem, incluindo as respectivas coordenadas geográficas.

**Tabela 5.5 - Localização das estações de amostragem utilizadas.**

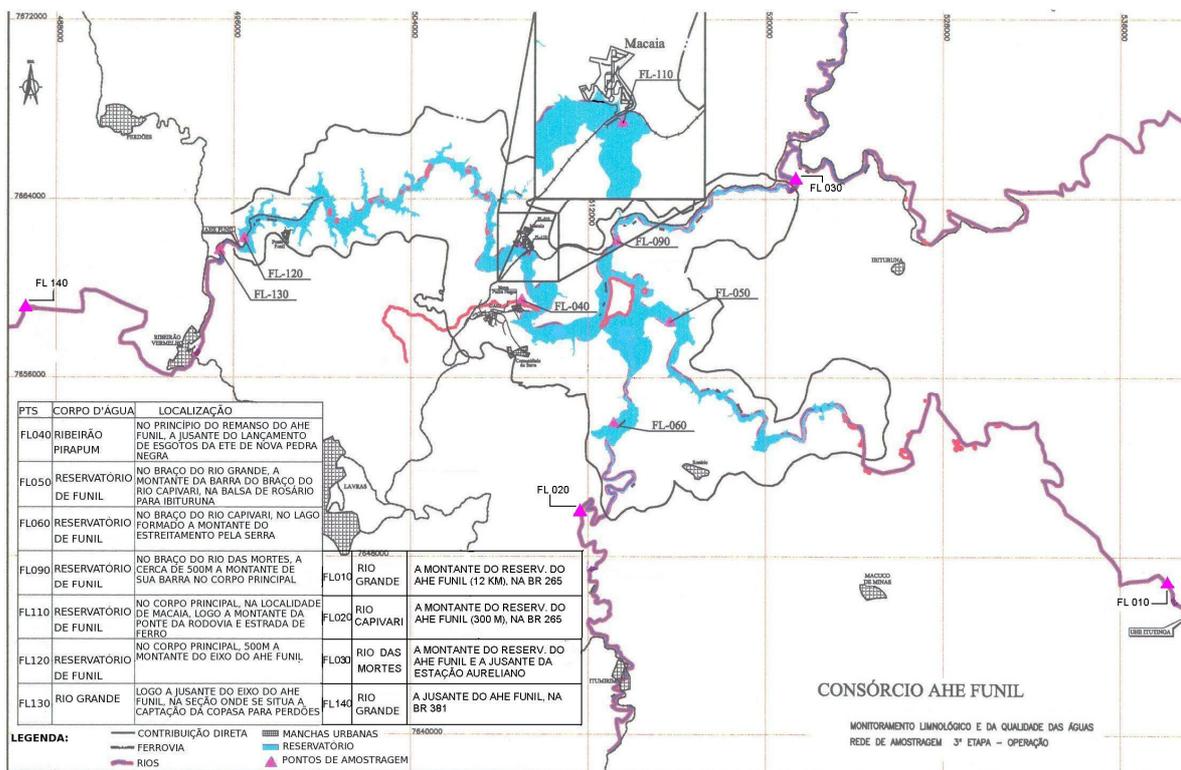
Estação	Localização	Coordenadas (UTM)
FL050	Reservatório de Funil no braço do rio Grande, a montante da barra do braço do rio Capivari, na balsa de Rosário para Ibituruna.	515684 / 7658498
FL060	Reservatório de Funil no braço do rio Capivari, no lago formado, a montante do estreitamento pela Serra.	513161 / 7653911
FL090	Reservatório de Funil no braço do rio das Mortes, a cerca de 500 m a montante de sua barra no corpo principal.	513231 / 7662040
FL110	Reservatório de Funil no corpo principal, na localidade de Macaia, logo a montante da ponte da rodovia e estrada de ferro.	509193 / 7661562
FL120	Reservatório de Funil no corpo principal, 500 m a montante do eixo do AHE Funil.	496482 / 7662199
FL130	Rio Grande, 700 m a jusante do eixo do AHE Funil, na seção onde se situa a captação da COPASA - MG para Perdões - MG.	495292 / 7661638

Fonte: Limnos (2009).

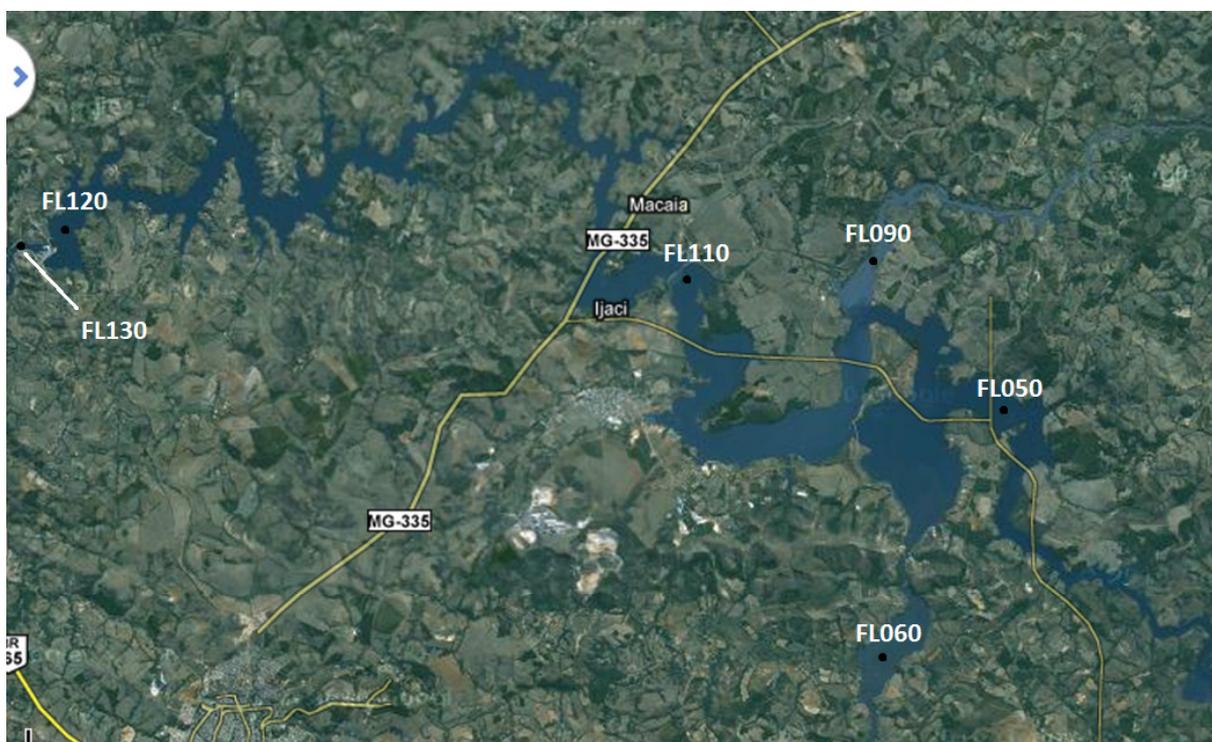
É importante observar que coordenadas geográficas apresentadas na Tabela 5.5 servem apenas como referência das áreas que foram monitoradas. Se forem tomadas as coordenadas geográficas dos pontos de coleta de todos os estudos elaborados, é possível verificar uma pequena diferença existente em relação aos locais exatos das estações de amostragem, se forem comparados os pontos de coleta utilizados no monitoramento antes e durante o enchimento do reservatório (FNL02, FNL03, FNL04, FNL08, FNL09 e FNL10 - Holos, 2003a; Holos 2003b) e no monitoramento após o início da operação do empreendimento (FL090, FL060, FL050, FL110, FL120 e FL130 - Holos, 2004; Limnos, 2009; Limnos, 2010).

No entanto, tendo em vista que as estações de coleta equivalentes entre os diferentes períodos amostrais se situam bem próximas, estas pequenas diferenças nos sítios amostrais têm pouca ou nenhuma significância neste estudo, uma vez que o objetivo aqui é comparar como a qualidade da água se comporta na área de influência da UHE Funil, com base nas seis regiões

discutidas acima. As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam a rede amostral definida no âmbito deste trabalho, plotada em mapa.



**Figura 5.6** - Rede amostral utilizada no monitoramento da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil. Fonte: adaptado de Limnos (2009).



**Figura 5.7** - Rede amostral definida no âmbito do presente trabalho.

A seguir, são apresentadas as fotos das estações de coleta utilizadas no presente estudo.



**Figura 5.8** - Reservatório de Funil no braço do rio Grande, a montante da barra do braço do rio Capivari, na balsa de Rosário para Ibituruna (FL050). Fonte: Limnos (2008).



**Figura 5.9** - Reservatório de Funil no braço do rio Capivari, no lago formado, a montante do estreitamento pela Serra (FL 060). Fonte: Limnos (2008).



**Figura 5.10** - Reservatório de Funil no braço do rio das Mortes, a cerca de 500 m a montante de sua barra no corpo principal (FL 090). Fonte: Limnos (2008).



**Figura 5.11** - Reservatório de Funil no corpo principal, na localidade de Macaia, logo a montante da ponte da rodovia e estrada de ferro (FL 110). Fonte: Limnos (2008).



**Figura 5.12** - Reservatório de Funil no corpo principal, 500 m a montante do eixo do AHE Funil (FL 120). Fonte: Limnos (2008).



**Figura 5.13** - Rio Grande logo a jusante do eixo do AHE Funil, na seção onde se situa a captação da COPASA-MG para Perdões- MG (FL 130). Fonte: Limnos (2008).

## 5.6 Métodos analíticos utilizados para a avaliação dos resultados

Para a realização das comparações relacionadas ao comportamento da qualidade da água em duas condições distintas – sistemas lótico e lântico (ou semi-lântico) – foram realizados tratamentos estatísticos sobre cada conjunto de parâmetros e para cada ponto de coleta em diferentes momentos, denominados “cenários”, detalhados na Tabela 5.6.

**Tabela 5.6** - Caracterização dos cenários de comparação.

Cenário	Descrição	Campanhas
1	Inexistência do barramento (pré-enchimento).	1 <sup>a</sup> a 5 <sup>a</sup>
1/2	Enchimento	6 <sup>a</sup> a 8 <sup>a</sup>
2	Início da operação da UHE	9 <sup>a</sup> a 26 <sup>a</sup>

Fonte: Holos (2003b); Holos (2004); Limnos (2009); Limnos (2010).

Buscou-se analisar o comportamento da qualidade da água e do ecossistema aquático durante todo o período de monitoramento, correspondendo assim aos três cenários caracterizados na Tabela 5.6. No entanto, tendo em vista o objetivo principal deste trabalho, ou seja, avaliar as influências da implantação do barramento sobre a evolução dos parâmetros indicadores de qualidade da água, para a realização das análises estatísticas optou-se por utilizar apenas os cenários 1 e 2. Segundo Ruas (2006), durante o enchimento do reservatório, a qualidade das águas pode sofrer grande influência de ações inerentes à execução das obras, tais como a grande movimentação dos solos, geração de resíduos sólidos e efluentes sanitários do canteiro de obras e a manutenção de veículos e equipamentos, que podem levar ao risco de carreamento ou lançamento de sólidos, lixo, esgotos, óleos e graxas nos cursos d'água locais. Esta poluição e a conseqüente degradação da qualidade das águas ocasionadas por fatores associadas às obras de construção dos barramentos são, em geral, temporárias (neste caso, três meses) e restritas aos períodos em que ocorrem estas ações, não sendo de interesse dos objetivos deste trabalho. De qualquer maneira, também foram discutidas possíveis influências sobre os parâmetros indicadores de qualidade da água, advindas do enchimento do reservatório.

Conforme exposto anteriormente, para o Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas do AHE Funil, foram selecionados alguns parâmetros julgados importantes para a caracterização das águas amostradas. Levando em consideração que a listagem de parâmetros sofre modificações de uma estação para outra e de uma campanha para outra, buscou-se uma padronização de campanhas, estações de amostragem e parâmetros utilizados no âmbito deste trabalho, conforme descrito nos tópicos 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5.

Para a elaboração de gráficos e realização das análises estatísticas, buscou-se utilizar sempre os dados correspondentes às coletas sub-superficiais, exceto para as análises de perfis térmicos e de oxigênio (discutidos a seguir). No entanto, em algumas campanhas, a maioria dos parâmetros era coletada na metade da zona fótica, não havendo, nestes casos, coletas sub-superficiais. Portanto, nestes casos, foram utilizados os dados provenientes do epilímnio para a realização das análises espaciais e temporais. Considerou-se, para tanto, que esta adaptação da metodologia não traria interferências nos resultados obtidos no âmbito do presente trabalho, tendo em vista que um dos objetivos centrais deste é a comparação das séries temporais obtidas para cada parâmetro, considerando as seis regiões analisadas neste estudo. Além disso, é importante ressaltar que diferentes substâncias possuem diferentes taxas de sedimentação e diluição na água, tendo em vista as propriedades físico-químicas da água (como temperatura, viscosidade, densidade, polaridade, etc) e de tais substâncias. Face ao exposto, espera-se que estas substâncias (determinantes de parâmetros físico-químicos) se distribuam de maneira desigual ao longo da coluna d'água, o que não comprometeria a referida adaptação na metodologia utilizada.

Assim, em uma primeira etapa de exploração dos dados, foram aplicados métodos de estatística descritiva, ou seja, os dados foram tratados em planilhas eletrônicas de cálculo (Microsoft Excel) para a geração de gráficos, séries temporais e espaciais. Em seguida, foram elaboradas tabelas contendo a análise estatística básica para os mesmos (média, desvio padrão, mediana, percentis, etc). Para demonstração gráfica das séries de dados obtidas para os cenários 1 e 2, foram confeccionados gráficos de "Boxplots", consolidando todas as variações obtidas para as seis regiões estudadas (FL050, FL060, FL090, FL110, FL120 e FL130).

E, finalmente, com o objetivo de testar se as variações de parâmetros físico-químicos obtidas, considerando os dois cenários comparados (1 e 2), eram significativas do ponto de vista estatístico, tais séries de dados foram submetidas ao Teste de Mann Whitney (Teste U) - teste estatístico não paramétrico, para dados independentes. As diferenças entre os cenários foram consideradas significativas quando:  $p < 0,05$  (95% de confiança). Para a realização desta análise foi utilizado o software *Statistica 7*.

Ressalta-se que para a confecção dos gráficos e realização das análises estatísticas referentes aos dados físico-químicos e bacteriológicos, a adoção de algumas medidas foi necessária, tendo as mesmas sido realizadas como se segue. Para parâmetros não detectados durante as coletas ("0" ou abaixo dos limites de detecção dos equipamentos utilizados), considerou-se o

valor 0 para a realização das análises estatísticas. Para coletas subsuperficiais inexistentes para um dado ponto amostral, considerou-se os valores obtidos para o epilímnio, conforme discutido anteriormente. E, por fim, para valores "não exatos", empregou-se sempre a metade de tais valores (ex.: se nitrogênio amoniacal = " $<0,01$ ", utilizou-se o valor " $0,005$ ", ou seja, " $0,01/2$ "). Considerou-se que as adaptações não comprometem o resultado final do trabalho, por se tratarem de exceções no universo amostral estudado (ver tabela de dados brutos, Apêndice A) e, ainda, tendo em vista que permitem a aplicação dos métodos analíticos utilizados neste estudo.

Já os dados hidrobiológicos, fitoplâncton e zooplâncton, foram analisados anualmente, tendo em vista a impossibilidade de serem analisados por campanha de coleta, uma vez que alguns dos relatórios do Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água da UHE Funil (Holos, 2003a e Holos, 2003b) continham apenas os dados consolidados por ano de coleta (e não por campanha). Para tais análises, foram confeccionados gráficos de colunas compostas para riqueza (número de espécies) e densidade (organismos/mL, para o fitoplâncton, e organismos/m<sup>3</sup>, para o zooplâncton), demonstrando assim as variações nos grupos de organismos estudados, por estação de amostragem. Foram gerados também gráficos de séries temporais para riqueza e densidade de organismos, com o objetivo de demonstrar as variações anuais na composição dessas comunidades biológicas.

Visando a uma padronização e uma simplificação/otimização das análises realizadas, optou-se por trabalhar com os grandes grupos de organismos representantes das duas comunidades: 1) fitoplâncton: Chrysophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Pyrrophyta e Euglenophyta; 2) zooplâncton: Protozoa, Rotifera, Crustacea, Insecta, Gastrotricha e Nematoda. Também foram comentadas as ocorrências de algumas espécies (ou gêneros) predominantes.

A única adaptação metodológica para os dados hidrobiológicos, necessária a confecção de gráficos e realização das análises, foi a padronização de medidas de fitoplâncton e zooplâncton, tendo em vista a existência de divergências de unidades entre as campanhas realizadas na etapa pré-enchimento e após o início da operação. Nestes casos os valores foram divididos por 1000 (convertendo "organismos/L" para "organismos/mL"), no caso do fitoplâncton; e multiplicados por 1000 (convertendo "organismos/L" para "organismos/m<sup>3</sup>"), no caso do zooplâncton.

Utilizou-se também, o Índice de Qualidade das Águas (IQA), como facilitador na interpretação geral da condição de qualidade dos corpos de água. Ele indica o grau de

contaminação das águas em função dos materiais orgânicos, coliformes fecais, dos nutrientes e sólidos, que normalmente são indicadores de poluição devido aos esgotos sanitários. Este índice foi desenvolvido pela “National Sanitation Foundation” e adaptado pela CETESB e incorpora os parâmetros julgados mais relevantes para a avaliação da qualidade das águas, quais sejam: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes fecais, temperatura, pH, nitrogênio total, fosfato total, sólidos totais e turbidez. O IQA é determinado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes a esses parâmetros, através da equação 5.2 (CETESB, 1986).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (5.2)$$

na qual:

IQA = Índice de Qualidade das Águas, que varia entre 0 e 100;

n = número de parâmetros no cálculo do IQA (sempre igual a nove);

$q_i$  = qualidade do i-ésimo parâmetro, também variável de 0 a 100 e obtido da curva média, em função da concentração;

$W_i$  = peso correspondente do i-ésimo parâmetro, que é um número porcentual obtido pela importância do parâmetro na análise, pré-determinado pelos especialistas;

A qualidade das águas, indicada pelo IQA, é classificada pela escala de 0 a 100, de acordo com os intervalos apresentados na figura 5.14.

<i>Intervalo</i>	<i>Classificação</i>	<i>Cor</i>
80-100	Qualidade Ótima	Azul
52-79	Qualidade Boa	Verde
37-51	Qualidade Aceitável	Amarelo
20-36	Qualidade Ruim	Vermelho
0-19	Qualidade Péssima	Preto

**Figura 5.14** - Classificação da água de acordo com os valores de IQA. Fonte: LIMNOS (2008).

Considerando as amostragens realizadas a partir do início da operação da UHE Funil, maio de 2003, foi realizada, ainda, uma análise dos perfis térmico e de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água para verificar a existência de estratificação térmica no reservatório. Tal análise foi realizada para as estações de amostragem FL 110 e FL 120, que correspondem, respectivamente, à porção mediana do reservatório e à área imediatamente a montante do barramento. Para tanto, foram utilizados dados coletados ao longo da coluna d'água nestas

duas estações, a partir de medições realizadas de metro em metro, compreendendo toda a profundidade em cada um desses pontos (até cerca de 1 metro do fundo). As outras estações de amostragem foram excluídas neste tipo de análise, tendo em vista as menores profundidades do reservatório, encontradas nestes locais, bem como as variações de metodologias de coleta, já discutidas.

Para a classificação dos níveis tróficos médios da água, foi utilizado o Índice de Estado Trófico (IET) que tem por finalidade classificar corpos de água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo do fitoplâncton. Os resultados correspondentes ao fósforo, IET(P), devem ser entendidos como uma medida do potencial de eutrofização, já que este nutriente atua como o agente causador do processo. A parte correspondente à clorofila-*a*, IET(CL), por sua vez, deve ser considerada como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada a resposta do fitoplâncton devido ao enriquecimento de nutrientes (CETESB, 2008).

Segundo Lamparelli (2004), inicialmente foi utilizado no Brasil o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo *et al.* (1983 e 1984). Entretanto, esse índice não se mostrou eficiente para a classificação de ambientes lóticos, sendo necessária uma nova adaptação. Através de correlações estatísticas entre as variáveis selecionadas, chegou-se a diferentes equações para se avaliar os resultados do fósforo total e da clorofila-*a* nos ambientes lênticos e lóticos. Segundo a CETESB (2008), para o cálculo do Índice do Estado Trófico, são aplicadas apenas a clorofila-*a* e o fósforo total, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia, pois esta pode ser afetada pela elevada turbidez decorrente de material mineral em suspensão e não apenas pela densidade de organismos planctônicos, além de muitas vezes não se dispor desses dados.

As equações 5.3 e 5.4, para o cálculo do IET(clorofila-*a*) e do IET(fósforo), respectivamente, em ambientes lóticos são apresentadas a seguir:

$$\text{IET (CL)} = 10 \left\{ 6 - \frac{[-0,7 - 0,6 (\ln(\text{CL}))]}{\ln 2} \right\} - 20 \quad (5.3)$$

$$\text{IET (P)} = 10 \left\{ 6 - \frac{[0,42 - 0,36 (\ln(\text{P}))]}{\ln 2} \right\} - 20 \quad (5.4)$$

na qual:

P = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL = concentração de clorofila-*a* medida à superfície da água, em µg/L;

ln = logaritmo natural.

As equações 5.5 e 5.6, para o cálculo do IET(clorofila-*a*) e do IET(fósforo), respectivamente, em ambientes lênticos são apresentadas a seguir:

$$\text{IET (CL)} = 10 \left\{ 6 - \frac{[(0,92 - 0,34 (\ln(\text{CL}))]}{\ln 2} \right\} \quad (5.5)$$

$$\text{IET (P)} = 10 \left\{ 6 - \frac{[(1,77 - 0,42 (\ln(\text{P}))]}{\ln 2} \right\} \quad (5.6)$$

na qual:

P = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL = concentração de clorofila-*a* medida à superfície da água, em µg/L;

ln = logaritmo natural.

Os resultados apresentados de IET correspondem à média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e à clorofila-*a*. Como o processo de eutrofização envolve dois momentos distintos, causa e consequência, foi adotado no âmbito deste trabalho a utilização do índice apenas quando os dois valores de IET, fósforo e clorofila-*a*, estiveram presentes, como proposto no "Projeto Águas de Minas" (IGAM, 2010).

Para a classificação deste índice foram adotados os seguintes estados de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico (Lamparelli, 2004), cujos limites e características estão descritos nas Figuras 5.15 (ambientes lóticos) e 5.16 (ambientes lênticos). Ressalta-se que esta análise foi realizada considerando os cenários 1 e 2, ou seja, antes da implantação do barramento e após a formação do reservatório, respectivamente.

Categoria Estado Trófico	Ponderação	P-Total - P(µg/L)	Clorofila-a (µg/L)
<b>Ultraoligotrófico</b>	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
<b>Oligotrófico</b>	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
<b>Mesotrófico</b>	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
<b>Eutrófico</b>	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
<b>Supereutrófico</b>	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
<b>Hipereutrófico</b>	$IET > 67$	$P > 640$	$CL > 7,46$

**Figura 5.15** - Classificação do estado trófico de rios. Fonte: Retirado de IGAM (2010) e adaptado de Lamparelli (2004).

Categoria Estado Trófico	Ponderação	P-Total - P(µg/L)	Clorofila-a (µg/L)
<b>Ultraoligotrófico</b>	$IET \leq 47$	$P \leq 8$	$CL \leq 1,17$
<b>Oligotrófico</b>	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$
<b>Mesotrófico</b>	$52 < IET \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$
<b>Eutrófico</b>	$59 < IET \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$
<b>Supereutrófico</b>	$63 < IET \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$
<b>Hipereutrófico</b>	$IET > 67$	$P > 233$	$CL > 69,05$

**Figura 5.16** - Classificação do estado trófico de reservatórios. Fonte: Retirado de IGAM (2010) e adaptado de Lamparelli (2004).

### **5.7 Influência da morfologia do reservatório sobre qualidade da água**

Conforme já discutido, a qualidade da água em ambientes lânticos (lagos e reservatórios) é determinada por um conjunto de fatores associado a uma gama de processos físicos, químicos e biológicos que se desenvolvem tanto no corpo hídrico, bem como na bacia de drenagem onde o mesmo se situa. Um dos fatores determinantes da qualidade da água está relacionado diretamente com a própria forma do ambiente aquático.

Segundo von Sperling (1999a), a morfologia do ambiente aquático é o estudo da forma do corpo hídrico e sua influência sobre as características físicas, químicas, biológicas e o comportamento do mesmo. Dentre tais características, pode-se citar a penetração da radiação solar, a formação de correntes horizontais e verticais, a amplitude de atuação do vento, a existência de baías e reentrâncias e os aportes originários da bacia de drenagem como exemplos de condicionantes morfológicos que afetam significativamente tanto a localização de macro e microrganismos na massa líquida, quanto à distribuição de compostos químicos nas suas formas dissolvida e particulada. Assim, a morfologia de um ambiente aquático influi de maneira relevante em todo o metabolismo do ecossistema. Contudo, é importante ressaltar que as características morfológicas de lagos e reservatórios sofrem alterações ao longo do

tempo, devido a forças exógenas, isto é, provenientes de fora do ambiente (intemperismo, erosão, transporte de sedimentos) ou endógenas, vindas de dentro do próprio ambiente.

O estudo da morfologia de lagos e reservatórios é realizado mediante o cálculo e avaliação de certos parâmetros descritivos, denominados parâmetros morfométricos, que consistem em grandezas utilizadas para representar as medidas de lagos e reservatórios. Eles podem ser do tipo primário, quando obtidos diretamente através de medições feitas no campo ou no escritório (utilizando-se de recursos cartográficos adequados), ou do tipo secundário, caso sejam gerados indiretamente mediante cálculos realizados com dados primários (von Sperling, 1999b apud Ruas, 2006). Os principais exemplos do primeiro grupo são área, volume, perímetro e profundidade máxima. Dentre os parâmetros secundários, os mais significativos são profundidade média, profundidade relativa, desenvolvimento do perímetro e fator de envolvimento (von Sperling, 2004). No presente trabalho, não são utilizados apenas o perímetro e o desenvolvimento do perímetro, em virtude de que não foi possível obter os dados do perímetro do reservatório da UHE Funil.

Segundo von Sperling (2004), através do estudo dos parâmetros morfométricos de ambientes lênticos é possível estimar a tendência evolutiva da qualidade da água e também avaliar a capacidade do ambiente aquático em assimilar impactos poluidores (lançamentos de esgoto, por exemplo).

### **5.7.1 Área (A)**

A área representa a superfície total do espelho d'água. Seu valor sofre variações em decorrência das oscilações do nível d'água (NA), causadas pelas alternâncias de períodos de evaporação e transpiração e em função dos usos dos reservatórios artificiais, notadamente no caso daqueles construídos para abastecimento de água e para geração de energia elétrica. Normalmente, utiliza-se a superfície obtida com o nível d'água máximo para designar a área do lago ou reservatório, como será adotado no caso do presente trabalho (von Sperling, 1999a).

A Tabela 5.7 apresenta os dados de área inundada, cota do reservatório no nível d'água – N.A. máximo normal (em seu nível a montante) e a oscilação máxima do N.A.

**Tabela 5.7 - Área total inundada pelo reservatório da UHE Funil.**

	Cota no NA máximo normal (m)	Cota no NA mínimo normal (m)	Oscilação máxima do NA (m)	Área Total Inundada (km <sup>2</sup> )
UHE Funil	808,00	807,80	0,2	33,46

Fonte: HOLOS (2004) e BIOS (2010).

A área do corpo hídrico influi na ecologia aquática na medida em que se considera a exposição da superfície do espelho d'água à radiação solar. O grau de exposição aos raios solares regula o desenvolvimento do fenômeno da fotossíntese, isto é, da atividade de produção primária, realizada por organismos autotróficos – no caso, por vegetais aquáticos. A dimensão da área do lago também está relacionada aos fenômenos hidrológicos de precipitação e evaporação. Quanto maior a área do corpo hídrico, maior é o recebimento de chuva, implicando, portanto, em uma maior carga afluyente de compostos químicos em forma particulada ou dissolvida. Similarmente, o processo de evaporação em grandes lagos ou reservatórios, principalmente naqueles de menor volume (isto é, mais rasos) provoca a volatilização de gases e a perda de água na forma de vapor, conduzindo a um aumento no teor de sais no ambiente aquático. Este fenômeno de salinização gradativa de sistemas lacustres é freqüente em regiões áridas, provocando a formação de lagos de água salobra ou salina (von Sperling, 1999a), o que não é o caso da região da UHE em estudo.

Assim, levando em consideração a dimensão relativamente grande do reservatório da UHE Funil (33,46 km<sup>2</sup>), o mesmo possui um alto potencial para produção primária e alta susceptibilidade à influência das chuvas. Ressalta-se que a produção primária está diretamente associada ao fenômeno da eutrofização, que consiste no processo de enriquecimento, por nutrientes, de um corpo d'água que, segundo von Sperling (1996), tem como consequência um crescimento excessivo de plantas aquáticas, planctônicas e aderidas, em níveis tais que sejam consideradas como causadoras de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água.

### 5.7.2 Volume (V)

O volume corresponde à quantidade de água acumulada na bacia hidráulica que constitui o reservatório. Este parâmetro morfométrico também sofre variações em decorrência do clima local e de ações antrópicas como, por exemplo, da retirada de água a montante do reservatório. Conforme exposto anteriormente, o volume do reservatório da UHE Funil, no N.A. máximo normal, corresponde a  $258,4 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de água.

O significado limnológico do volume de um corpo hídrico está associado à dimensão dos compartimentos aquáticos e à capacidade de diluição do corpo hídrico. Reservatórios de grande volume possuem uma maior massa de oxigênio dissolvido, apresentando, portanto, melhores condições de assimilação de cargas poluidoras de origem orgânica. Em suma, os lagos e reservatórios volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos (von Sperling, 1999).

De acordo com a Comissão Mundial de Barragens, uma grande barragem tem altura entre 5 e 15 m (ou superior) e se seu reservatório tiver capacidade superior a 3 milhões de m<sup>3</sup>, também é classificada como grande. Dentro destes critérios, o reservatório da UHE Funil se classifica como uma grande barragem e, portanto, tende a apresentar uma maior massa de oxigênio dissolvido, o que determina uma grande capacidade de diluição e assimilação de cargas poluidoras de origem orgânica.

Contudo, conforme von Sperling (1999a apud Ruas, 2006), reservatórios de grande volume são mais susceptíveis ao processo de estratificação, formando camadas com processos hidráulicos e características físicas, químicas e biológicas distintas entre si. A avaliação do potencial de estratificação do reservatório em estudo será realizada ao longo do Capítulo 6: "Resultados e Discussão".

### **5.7.3 Profundidade máxima ( $Z_{max}$ )**

A profundidade máxima é a maior distância existente entre a superfície da coluna d'água e o fundo do corpo hídrico. Segundo von Sperling (1999a), em lagos naturais, o ponto mais profundo situa-se geralmente em sua região central, enquanto em represas a profundidade máxima se situa junto ao barramento, podendo no entanto haver exceções. O valor da profundidade depende de variações de nível que ocorrem no corpo d'água, as quais podem apresentar amplitudes significativas no caso de represas, em decorrência da operação das descargas do reservatório. Ainda segundo este autor, no Brasil os corpos d'água mais profundos são as represas, nenhuma delas, no entanto, ultrapassando 200 metros de profundidade máxima, à exceção da UHE Irapé-MG (204 m). Os lagos naturais brasileiros são tipicamente rasos, em decorrência de seus processos formadores.

Segundo dados provenientes do levantamento batimétrico, realizado pela HAC (2006), para o reservatório da UHE Funil, a sua profundidade máxima é de 32,10 metros na seção situada próxima ao barramento. Ressalta-se que o levantamento batimétrico foi realizado observando

os marcos implantados em dezembro de 2002 (antes do enchimento do reservatório) denominados como G-06: rio Grande (Delta do Reservatório); G-13: rio Grande (Jusante da barra do rio das Mortes); G-25: rio Grande (Próximo ao barramento da UHE Funil); M-04: rio das Mortes (Delta do Reservatório); C-07: rio Capivari (Delta do Reservatório). A Tabela 5.8 apresenta as profundidades médias e máximas levantadas para cada uma destas regiões.

**Tabela 5.8** - Resumo dos dados obtidos no levantamento batimétrico realizado no reservatório estudado.

Marco	G-06	C-07	M-04	G-13	G-25
Área da seção (m <sup>2</sup> )	1415,98	2707,81	502,70	2328,63	2782,74
Profundidade média (m)	3,08	6,22	4,64	6,19	12,57
Profundidade máxima (m)	10,60	12,10	6,94	12,10	32,10
Profundidade mínima (m)	0,50	0,50	0,44	0,50	0

Fonte: HAC (2006).

Segundo von Sperling (1999a), a profundidade de um lago ou represa é um dos parâmetros morfométricos de maior importância. São marcantes as diferenças de comportamento encontradas entre ambientes rasos e profundos, principalmente, no que se refere ao padrão de circulação e à distribuição de organismos e compostos químicos ao longo da coluna d'água.

Em lagos de baixa profundidade, a radiação solar pode muitas vezes atingir o fundo do corpo d'água, o que implica em uma produtividade primária bastante elevada em relação ao volume do lago. Em outras palavras, isso significa que uma maior proporção do volume é exposta à influência de raios solares, ocorrendo ainda um maior valor para a razão área do sedimento/volume. Todos estes fatores conduzem a um aumento da produtividade primária (von Sperling, 1999a). A maioria dos valores de profundidades máximas apresentados na tabela 5.8 (exceção de G-25) indica que o reservatório da UHE Funil pode ser considerado como de baixa profundidade, implicando em maiores níveis de produtividade primária. Outras considerações a respeito de profundidade serão apresentadas a partir da análise dos parâmetros morfométricos profundidade média e profundidade relativa, discutidos a seguir.

#### 5.7.4 Profundidade média ( $Z_{med.}$ )

De acordo com von Sperling (1999a), a profundidade média de um lago ou de uma represa é dada pela relação entre o volume de água acumulado e a superfície do espelho d'água. Considerando que a área (A) e o volume (V) do reservatório da UHE Funil, no NA máximo normal, equivalem a 33,46 km<sup>2</sup> e 258,4 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, respectivamente, baseando-se na relação V/A, o valor da profundidade média do reservatório é de 7,72 metros.

A profundidade média participa com frequência de modelos para avaliação da produtividade ou do grau de trofia (isto é, intensidade da produção primária) de ambientes aquáticos. Thienemann (1927 apud von Sperling, 1999a) sugeriu a profundidade média de 18 metros como sendo o limite entre as condições eutrófica e oligotrófica de um corpo hídrico. A relação inversa entre a profundidade média e a produtividade do ambiente foi constatada por diversos outros autores (Wetzel, 1983; Le Cren & McConnell, 1980 apud von Sperling et al, 2004). Face ao exposto, por apresentar uma profundidade média relativamente baixa, o reservatório da UHE Funil possui uma grande tendência ao desenvolvimento de um processo de eutrofização.

Segundo von Sperling (1999a), o parâmetro profundidade média é também um componente essencial dos chamados modelos de balanço de massa. Tais modelos correlacionam a carga afluente de uma determinada substância a um corpo d'água e a sua concentração no ambiente aquático. Dessa forma, podem ser estabelecidos prognósticos de valores de concentrações em funções de distintos cenários de aporte de substâncias. Estes modelos de balanço de massa têm sido frequentemente utilizados para o caso do elemento químico fósforo, o qual se constitui no nutriente limitante em grande parte dos lagos e represas do mundo. Assim, torna-se possível o controle do processo de eutrofização mediante a limitação da chegada do fósforo ao ambiente aquático, por meio de diversas maneiras (tratamento de efluentes em nível terciário, construção de canalização de interceptores, etc).

Também o processo de difusão vertical em um lago ou reservatório pode ser correlacionado com a profundidade média do ambiente (Le Cren e McConnell, 1980 apud von Sperling, 1999a). Este processo interfere de maneira direta nas dinâmicas de mistura ao longo da coluna d'água. Neste caso, o reservatório estudado tende a apresentar uma boa difusão vertical de seus parâmetros físicos e químicos de qualidade da água. Esta situação deverá ser comprovada ou não quando da avaliação dos resultados da avaliação das condições de estratificação do reservatório, no Capítulo 6.

### **5.7.5 Profundidade relativa ( $Z_R$ )**

Segundo von Sperling (1999a), a profundidade relativa é dada pelo quociente entre a profundidade máxima do lago e o seu diâmetro médio, sendo fornecida em unidades percentuais. Por diâmetro médio entende-se o diâmetro de um círculo que tenha a mesma área do lago. O cálculo da profundidade relativa é realizado pela Equação 5.7.

$$Z_R = Z_{\max} \times \frac{100}{\text{Diâmetro médio}} = Z_{\max} \times \frac{100}{2\sqrt{A/\pi}} = 88,6 \times \frac{Z_{\max}}{\sqrt{A}} \quad (5.7)$$

na qual:

$Z_R$  = Profundidade relativa (%);

$Z_{\max}$  = Profundidade máxima (m);

$A$  = área do lago ou reservatório (m<sup>2</sup>).

Lagos e reservatórios profundos apresentam um alto valor de  $Z_R$ , enquanto o contrário ocorre em corpos hídricos grandes e rasos. A maioria dos lagos do mundo possui profundidades relativas inferiores a 2% (von Sperling, 1999a). Levando em consideração que a profundidade máxima do reservatório é de 32,10 m e a área é de 33,46 km<sup>2</sup>, a partir da equação 5.7, o valor obtido para a profundidade relativa foi de 0,49%. Assim, a UHE Funil se enquadra como um corpo hídrico grande e raso.

A profundidade relativa constitui-se em um parâmetro bastante útil para descrever o padrão de circulação de um corpo hídrico. Ambientes aquáticos de elevada profundidade relativa (área superficial relativamente pequena em relação à alta profundidade) apresentam normalmente uma forte tendência à meromixia, ou seja, dificuldade de circular integralmente toda a coluna d'água (da superfície ao fundo). Em outras palavras, tais ambientes não conseguem promover movimentações verticais completas da massa d'água em decorrência de limitações morfológicas. O significado limnológico deste fato é extremamente relevante, já que a ausência de circulação total implica na ocorrência permanente de anaerobiose nas camadas profundas (von Sperling, 1999a).

Quando a profundidade relativa não é muito elevada (por exemplo, na faixa de 2 a 5%), o lago pode circular completamente, desde que haja um suficiente aporte de energia externa, representado normalmente por ventos de grande intensidade. Por último, os corpos hídricos com baixa profundidade relativa, como é o caso do reservatório da UHE Funil, apresentam as condições morfológicas necessárias ao estabelecimento de circulações completas, o que acarreta freqüentes trocas de materiais entre superfície e fundo e a adequada oxigenação das camadas inferiores (von Sperling, 1999a).

### 5.7.6 Desenvolvimento do volume ( $D_V$ )

De acordo com von Sperling (1999a), o desenvolvimento do volume é fornecido pela razão entre o volume do lago e o volume de um cone que tenha área igual à do lago e altura equivalente à sua profundidade máxima. O cálculo do  $D_V$  é realizado através da equação 5.8.

$$D_V = \frac{V}{V_{\text{Cone}}} = \frac{V}{\left(\frac{1}{3} \times A \times Z_{\text{max}}\right)} = \frac{3V}{A \times Z_{\text{max}}} = 3 \frac{Z_{\text{med}}}{Z_{\text{max}}} \quad (5.8)$$

na qual:

$D_V$  = Desenvolvimento do volume (%);

$V$  = Volume do lago ou reservatório ( $\text{m}^3$ );

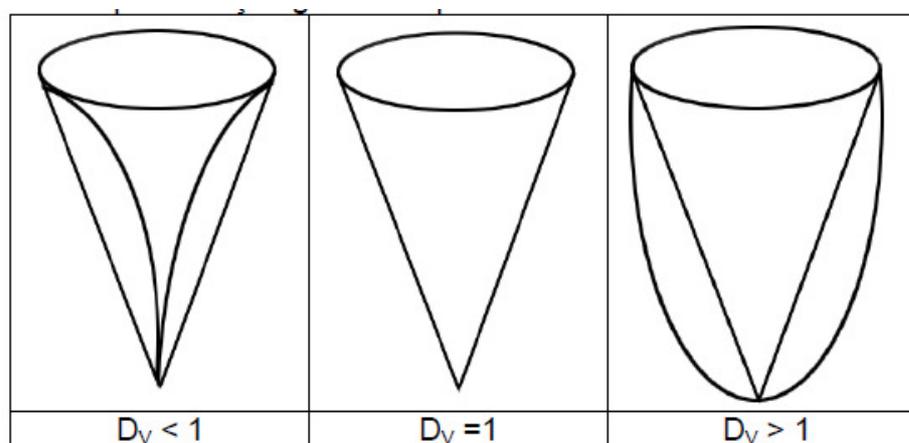
$V_{\text{Cone}}$  = Volume do cone que tenha área igual ao lago ou reservatório ( $\text{m}^3$ );

$A$  = área do lago ou reservatório ( $\text{m}^2$ );

$Z_{\text{med}}$  = Profundidade média do lago ou reservatório (m);

$Z_{\text{max}}$  = Profundidade máxima do lago ou reservatório (m).

Se  $D_V$  for inferior à unidade, o lago tem forma convexa, isto é, ele está contido dentro do cone teórico referido acima e têm a forma aproximada da letra V. Quando  $D_V$  for maior que 1, o lago é do tipo côncavo, ou seja, sua bacia ou depressão excede os limites do cone padrão, apresentando forma semelhante à letra U (von Sperling, 1999a). A maior parte dos lagos do planeta tem um  $D_V$  superior à unidade, ou seja, eles aproximam-se do formato da letra U, com a média variando entre 1,2 e 1,4 (Timms, 1992 apud von Sperling 1999a). A representação esquemática dessas situações pode ser observada na figura 5.16.



**Figura 5.17** - Representação esquemática do desenvolvimento de volume. Fonte: von Sperling (1999a).

Segundo von Sperling (1999a), os lagos ou reservatórios cuja bacia (depressão) apresenta um formato convexo ( $D_v < 1$ ) possuem margens com baixas declividades na região rasa, ocorrendo um brusco aumento de declividade ao se aproximar da parte mais funda. Nos lagos de formato linear ( $D_v = 1$ ), a declividade é aproximadamente constante ao longo de todo o terreno inundado. Já nos reservatórios côncavos ( $D_v > 1$ ), a margem apresenta-se ligeiramente inicialmente escarpada, suavizando-se na medida em que se aprofunda. Cabe ressaltar que estes formatos são apenas representações teóricas com o objetivo de classificação. A maioria dos lagos apresenta formatos em estágios intermediários entre côncavo, linear e convexo.

No caso do reservatório em estudo, levando em consideração que  $Z_{max}$  e  $Z_{med}$  equivalem a 32,10 e 7,72 metros, respectivamente, a partir da equação 5.8, o resultado calculado para o  $D_v$  foi de 0,72, o que classifica como convexo o formato da bacia de acumulação. Segundo von Sperling (1999a), os lagos que apresentam um relevo de fundo relativamente regular possuem em geral um baixo desenvolvimento de volume. Valores baixos também podem ser devidos a fenômenos de cunho morfológico, como o próprio processo de formação do corpo hídrico ou à lenta deposição de material nas partes mais rasas. No caso do reservatório da UHE Funil, devido ao seu processo de formação, seu leito segue as curvas de nível de sua bacia de inundação.

Os valores de desenvolvimento de volume tendem a se alterar em função do tempo, devido ao processo de assoreamento causado pela deposição de sedimentos ao longo das margens e dos fundos dos reservatórios. A magnitude deste processo será tão maior quanto for a área e dependerá, ainda, do uso e ocupação do solo da bacia de drenagem do reservatório. No entanto, no reservatório estudado, é provável que este processo tenha sua magnitude reduzida em virtude da existência a montante, no rio Grande, das UHEs Itutinga e Camargos, que possuiriam "efeito amortizador" da carga de sedimentos que chega ao reservatório da UHE Funil, tornando mais lento o processo de assoreamento (Hicon, 2002). Outras considerações a respeito da carga de sedimentos que chega ao reservatório serão realizadas no Capítulo 6.

A hidrodinâmica do ambiente aquático também pode influir no valor do desenvolvimento do volume, como é o caso da ação de ondas alterando a declividade da região litorânea (von Sperling, 1999a).

Ressalta-se que o desenvolvimento do volume é um parâmetro morfométrico de restrito significado limnológico, devido principalmente ao fato dele indicar apenas as características do formato vertical do corpo hídrico. Constata-se que, lagos e reservatórios em forma de U,

portanto com  $D_v > 1$ , encontram-se mais expostos ao vento. Este fator influi, portanto, na hidrodinâmica do ambiente aquático, provocando como consequência mais imediata um maior revolvimento do material do fundo, o que ocorre principalmente em corpos hídricos rasos. Dessa maneira, por apresentar  $D_v = 0,72$ , ou seja, menor que 1, espera-se que o reservatório da UHE Funil esteja menos exposto aos ventos e, conseqüentemente, apresente dificuldades para circular a massa d'água completamente. No entanto, este fator pode ser equilibrado em virtude da baixa profundidade relativa, já discutida, que determina menores dificuldades no estabelecimento de circulações completas ao longo da coluna d'água.

### **5.7.7 Fator de envolvimento (F)**

O fator de envolvimento (F) é dado pela razão entre a área da bacia hidrográfica do lago e a área do próprio lago, sendo, portanto, adimensional. No caso de lagos naturais, os valores mais comuns são da ordem de algumas dezenas. Já no caso de represas, cujas bacias hidrográficas são geralmente bem maiores em relação ao tamanho do corpo hídrico (barramentos de grandes rios, em vales escarpados), o fator de envolvimento atinge algumas centenas, podendo, em alguns casos, ser maior que 1000 (von Sperling, 1999a).

Segundo von Sperling (1999a), o fator de envolvimento indica indiretamente o grau de probabilidade da bacia de drenagem do lago ou da represa contribuir com aporte de material ao corpo d'água. Quanto maior o seu valor, maior é também a perspectiva de carreamento de material sólido e de nutrientes, aumentando assim os processos de assoreamento e eutrofização do corpo hídrico. Esta consideração é particularmente válida para o caso de áreas agrícolas, que são sistemas geradores de poluentes, tais como fertilizantes e agrotóxicos. Quando o fator de envolvimento é elevado também é maior a possibilidade de existência de assentamentos urbanos, cujos dejetos (lixo e esgoto) poderão, direta ou indiretamente, atingir o lago ou a represa. Nestes casos a capacidade diluidora do corpo d'água é pequena em relação à grande área de drenagem da bacia, o que evidentemente pode acarretar o desenvolvimento de fenômenos poluidores, quais sejam contaminação, assoreamento, eutrofização, etc.

No caso do reservatório da UHE Funil, de acordo com a Tabela 5.1, considerando que a área da bacia de drenagem é de  $15.153 \text{ km}^2$  e a área do reservatório é de  $33,46 \text{ km}^2$ , o fator de envolvimento equivale a 452,87. Levando em consideração a presença marcante de áreas agrícolas e urbanas na bacia de drenagem, discutida no tópico 5.1.3, a perspectiva de aumento no carreamento de material sólido e de nutrientes, intensificando assim os processos de

assoreamento e eutrofização do corpo hídrico, deve ser considerada, tendo em vista, principalmente, as contribuições oriundas do Rio das Mortes e do rio Capivari. No entanto, há que se considerar também que os impactos poluidores advindos da bacia de drenagem deverão ser minimizados pelos reservatórios existentes a montante, as UHEs Itutinga e Camargos, equilibrando esta situação.

### 5.7.8 Avaliação conjunta dos parâmetros morfométricos

Conforme já discutido, a morfologia de um ambiente aquático exerce uma forte influência sobre todas as suas características, ou seja, a forma do corpo hídrico condiciona fortemente a interação entre os seus componentes físicos, químicos e biológicos. Segundo von Sperling (1999a), os ambientes lacustres sofrem diversas modificações ao longo do tempo, em função de processos de sedimentação natural, intempéries ou alterações hidrológicas de cunho antrópico, as quais conduzem a uma redução gradativa do seu volume de água. Desta maneira, os parâmetros morfométricos, que espelham as distintas características da forma do lago, também sofrem alterações.

Tendo em vista que a formação do reservatório da UHE Funil se deu recentemente, há cerca de 7 anos, e, ainda, tendo como base os estudos topobatimétricos e de assoreamento do reservatório (Hicon, 2002; Hac, 2006), considera-se que seus parâmetros morfométricos ainda não sofreram modificações significativas. A Tabela 5.9 apresenta os resultados dos parâmetros morfométricos do reservatório em estudo.

**Tabela 5.9** - Relação de parâmetros morfométricos do reservatório da UHE Funil.

<b>Parâmetro Morfométrico</b>	<b>UHE Funil</b>
Área (km <sup>2</sup> )	33,46
Volume (m <sup>3</sup> )	258,4 x 10 <sup>6</sup>
Profundidade máxima (m)	32,10
Profundidade média (m)	7,72
Profundidade relativa (%)	0,492
Desenvolvimento de volume (%)	0,72
Fator de envolvimento	452,87

Em resumo, as influências morfológicas exercidas sobre a ecologia aquática podem ser retratadas nos seguintes pontos, conforme enumerado por von Sperling (1999a): 1) Exposição à radiação solar; 2) Capacidade assimiladora do ambiente aquático; 3) Atuação dos processos hidrológicos (precipitação, evaporação); 4) Processos hidrodinâmicos (ondas e correntes aquáticas); 5) Dinâmica de estratificação e circulação; 6) Produtividade biológica, ciclagem

de nutrientes, grau de trofia; 7) Suscetibilidade à eutrofização; 8) Conteúdo de calor do ambiente aquático; 9) Balanço de massa de nutrientes; 10) Tempo médio de residência da água; 11) Erosão, transporte e acumulação de nutrientes; 12) Condições de balneabilidade; e 13) Outros usos da água.

A Tabela 5.10 apresenta uma síntese das conclusões realizadas no presente estudo morfológico a respeito da influência potencial dos parâmetros morfométricos sobre alguns processos do reservatório da UHE Funil.

**Tabela 5.10** - Avaliação da influência dos parâmetros morfométricos sobre alguns dos processos limnológicos do reservatório em estudo.

<b>Processo Limnológico</b>	<b>Grau de Influência</b>
Exposição à radiação solar, favorecendo aos processos de fotossíntese e de eutrofização (condicionados à disponibilidade de nutrientes).	Alto
Capacidade de diluição e assimilação de cargas poluidoras.	Alto
Susceptibilidade ao processo de estratificação.	Médio
Padrão de distribuição de organismos e compostos químicos ao longo da coluna d'água.	Alto
Produtividade primária em relação ao volume (razão entre as profundidades máximas do reservatório e da zona fótica).	Médio (30-45%)
Potencial para o desenvolvimento do processo de eutrofização.	Médio a Alto
Processo de difusão vertical.	Alto
Dificuldades no padrão de circulação da coluna d'água (condicionadas à ação de ventos de grande intensidade).	Médio
Exposição à ação dos ventos.	Médio
Susceptibilidade ao carreamento de compostos (sólidos, nutrientes e dejetos) da bacia de drenagem pela ação das chuvas.	Alto

Fonte: Adaptado de Ruas (2006).

Face ao exposto, fica evidenciada claramente a importância da morfologia do reservatório na qualidade da água e no comportamento do ecossistema aquático. A Tabela 5.10 demonstra que o reservatório estudado apresenta um potencial variando de médio a alto para a ocorrência de eutrofização, tendo em vista os fatores relacionados com a produtividade primária. Em relação aos padrões de circulação e difusão vertical, a tendência demonstrada é a alternância de períodos de estratificação e de circulação completa da massa d'água. Maiores considerações a respeito do potencial de estratificação do reservatório serão apresentadas ao longo do Capítulo 6.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Conforme discutido anteriormente, os resultados esperados para o presente trabalho são a comprovação das influências previstas e a identificação de possíveis efeitos não previstos decorrentes da instalação e operação de um barramento sobre a qualidade das águas de um curso hídrico – neste caso, do rio Grande, situado na bacia hidrográfica do rio Paraná, região sul do estado de Minas Gerais. As conclusões e recomendações pertinentes serão elaboradas a partir dos resultados obtidos, no capítulo 7 "Conclusões".

A partir do tratamento dos dados e, ainda, comparando-os com a legislação ambiental em vigor, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 (considerando limites estabelecidos para a Classe 2, na qual se enquadram os corpos hídricos estudados) buscou-se verificar a existência de possíveis riscos e limitações sobre os usos da água decorrentes da alteração de sua qualidade. Além disso, buscou-se realizar comparações entre os resultados obtidos e os resultados presentes na literatura científica, avaliando se aqueles condizem com os resultados previstos pela literatura técnica - abordada pela revisão bibliográfica - e nos estudos ambientais do barramento do estudo de caso. E finalmente, buscou-se verificar as possíveis influências impostas pelo barramento nas alterações dos parâmetros de qualidade da água, confrontando-as com as influências advindas dos usos do solo na bacia hidrográfica, através do levantamento de dados secundários, apresentado no Tópico 5.1.3.

É importante ressaltar que, dentre as dificuldades esperadas para realização deste trabalho, encontram-se as limitações inerentes à curta série histórica disponível dos dados utilizados, principalmente em relação ao período de pré-enchimento do reservatório, e as limitações metodológicas discutidas ao longo do Capítulo 5, que podem determinar interferências nas análises estatísticas e, conseqüentemente, nos resultados alcançados.

### ***6.1 Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos***

#### **6.1.1 Cor Aparente**

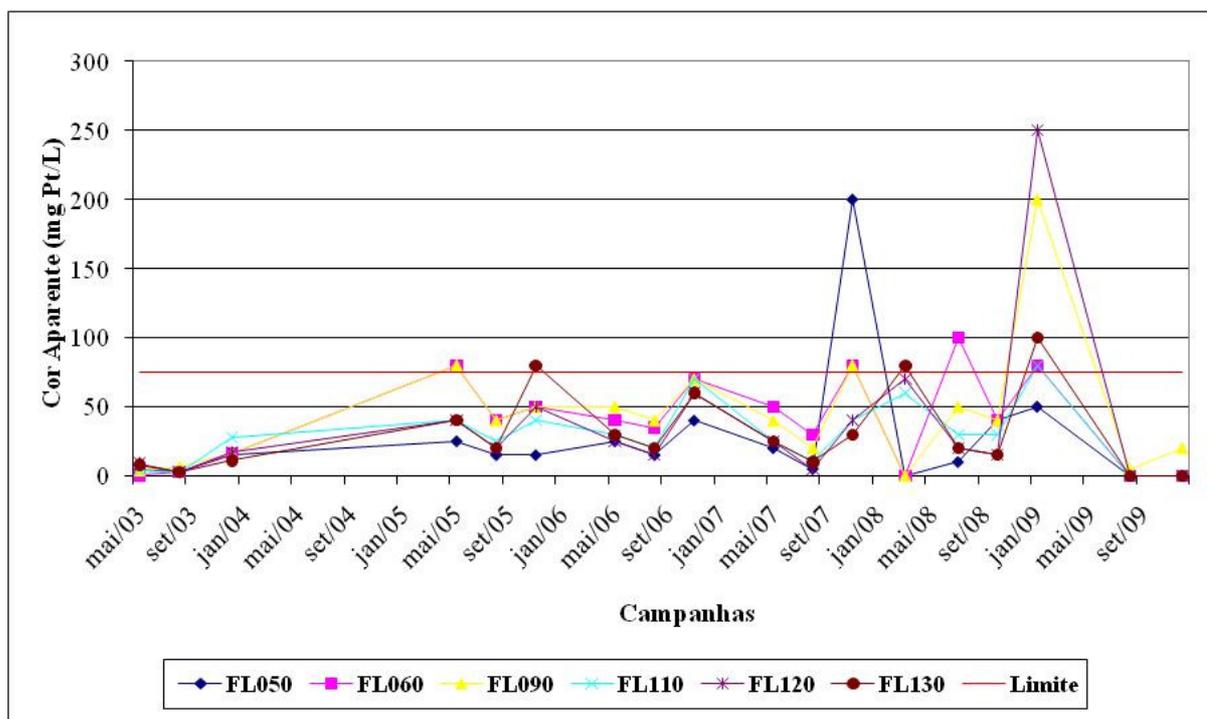
A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente, material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos, podem ser mencionados os ácidos húmicos e fúlvicos, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos

orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos domésticos se caracterizam por apresentarem, predominantemente, matéria orgânica em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais, que contêm taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos, etc), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira etc) (CETESB, 2009).

Há também compostos inorgânicos capazes de causar cor na água. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz (CETESB, 2009).

Segundo von Sperling (1996), cor aparente é a cor presente em uma amostra de água, devido à presença de substâncias dissolvidas e substâncias em suspensão. Já a cor verdadeira ou real é a cor presente em uma amostra de água, devido a presença de substâncias dissolvidas. O problema maior de cor na água é, em geral, o estético, já que causa um efeito repulsivo na população.

Em relação ao estudo de variação ao longo do tempo, a Figura 6.1 apresenta o gráfico das séries temporais de cor aparente em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Ressalta-se que este parâmetro só passou a ser amostrado a partir de maio de 2003 e, portanto, não foi possível analisar potenciais influências advindas da implantação do barramento sobre o comportamento deste.



**Figura 6.1** - Séries temporais de cor aparente nos pontos de coleta.

Já a Tabela 6.1 apresenta alguns dados estatísticos da cor aparente da água de cada ponto de coleta.

**Tabela 6.1** - Dados estatísticos de cor aparente (mg Pt/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0,5	200	200	34,3	45,7	15	5	25
FL060	0,5	100	95,5	39,7	32,5	40	5,9	65
FL090	4	200	196	45,1	46,1	40	17	50
FL110	0,5	80	79,5	29,7	23,1	29	12,5	40
FL120	2,5	250	247,5	36,9	57,0	20	10,5	40
FL130	2,5	100	97,5	30,6	29,9	20	10,3	37,5

Analisando a Figura 6.1 juntamente com a Tabela 6.1, podem ser feitas algumas constatações. Percebe-se que todos os pontos de coleta apresentam variação de cor aparente aproximadamente igual ao longo do tempo, com exceção dos anos de 2008 e 2009, nos quais se observou as maiores variações. Os valores situaram-se entre 0,5 e 250 mg Pt/L, considerando todos os pontos amostrados. De maneira geral, as séries temporais obtidas demonstram que os maiores valores (picos) foram encontrados nos meses compreendidos no período chuvoso (novembro a março) e os menores valores, na estação seca (julho a outubro). Além disso, através da Tabela 6.1, constata-se a influência dos grandes afluentes no aporte de substâncias no reservatório: rio das Mortes (FL090) e rio Capivari (FL060), representada pelos maiores valores obtidos para a média (45,07 e 39,67, respectivamente) e mediana (40

para ambos). É possível observar, ainda, uma leve tendência no aumento dos valores de cor aparente ao longo do tempo, sendo os maiores valores obtidos entre os anos de 2008 e 2009.

O padrão de variação encontrado para este parâmetro pode ser atribuído à intensificação dos usos do solo na bacia de drenagem (atividades agropecuárias, atividades minerárias, manchas urbanas, manejo inadequado do solo, etc), ao longo do tempo, associados, ainda, à influência das estações chuvosas, aumentando diretamente o aporte de sedimentos e substâncias ao reservatório. Gorayeb *et al* (2007) ao desenvolverem um estudo de qualidade da água no rio Curu, no Ceará, demonstraram que a cor da água estava diretamente associada ao manejo inadequado do solo e às características naturais do mesmo, tendo em vista o aumento do aporte de sedimentos e substâncias ocasionado pelo agravamento dos processos erosivos no período chuvoso.

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 não estabelece padrões para o parâmetro cor aparente. Assim, considerou-se o limite estabelecido para o parâmetro cor verdadeira, para corpos hídricos enquadrados na classe 2, ou seja, 75 mg Pt/L. Dessa maneira, houve resultados acima deste limite nos pontos FL050 (novembro/2007), FL060 (novembro/2005, março/2008 e janeiro/2009), FL090 (maio/2005, novembro/2007 e janeiro/2009), FL110 (janeiro/2009), FL 120 (janeiro/2009) e FL 130 (novembro/2005, março/2008 e janeiro/2009). Estes resultados demonstram, mais uma vez, a influência das chuvas na variação deste parâmetro. Em relação a este fato, a única restrição em relação aos usos da água é que águas com cor mais elevada implicam em um maior cuidado operacional no tratamento das mesmas.

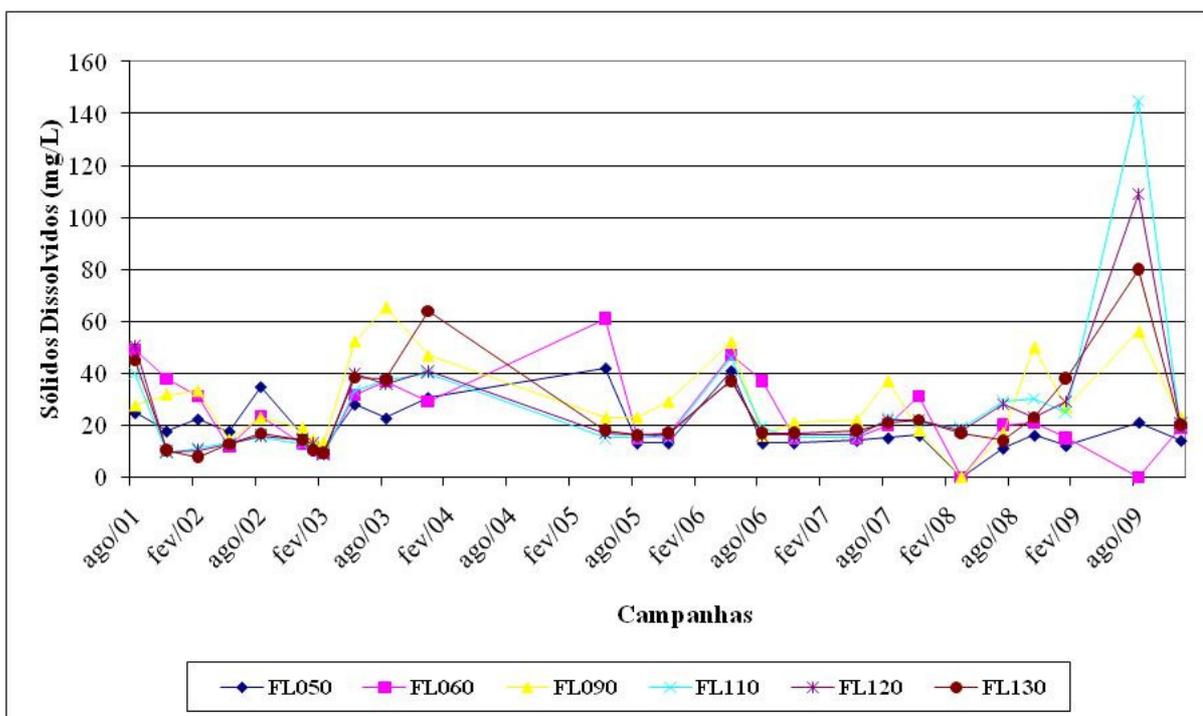
### **6.1.2 Sólidos Dissolvidos**

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, principalmente, nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante. Para o recurso hídrico, os sólidos podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Altas

concentrações de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2009).

Segundo von Sperling (1996), todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos d'água. Estes sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Em função do seu tamanho, os sólidos são classificados em sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos. São considerados sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferior a  $10^{-3}$  mm, como sólidos coloidais aqueles com diâmetro entre  $10^{-3}$  e 100 mm, e como sólidos em suspensão aqueles com diâmetro superior a 100 mm. O teor de sólidos dissolvidos representa a quantidade de substâncias dissolvidas na água, que alteram suas propriedades físicas e químicas. Em águas naturais a presença dos íons: sódio, cloreto, magnésio, potássio, sulfatos, etc, é devida a dissolução de minerais.

A Figura 6.2 apresenta o gráfico das séries temporais de sólidos dissolvidos em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.2 apresenta alguns dados estatísticos para este parâmetro em cada ponto de coleta. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.



**Figura 6.2** - Séries temporais de sólidos dissolvidos nos pontos de coleta.

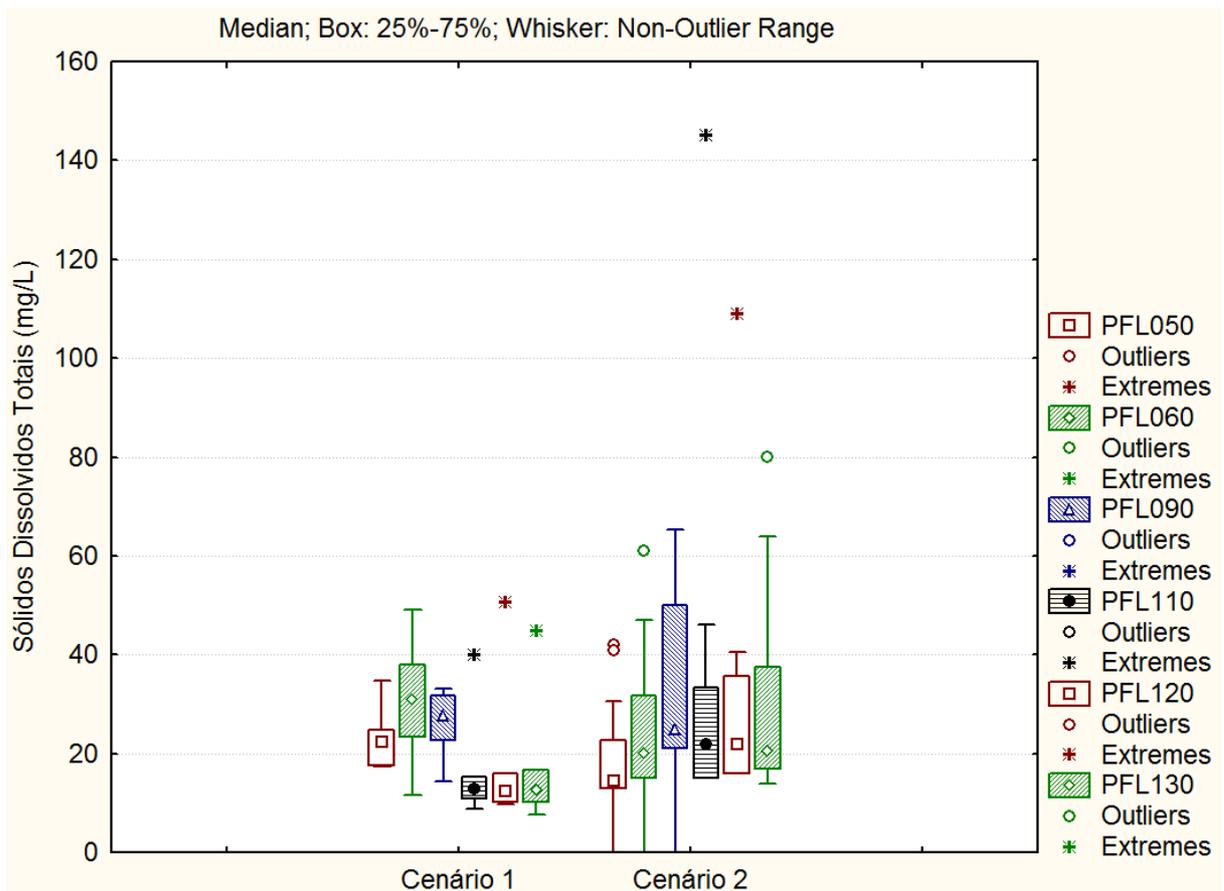
**Tabela 6.2** - Dados estatísticos de sólidos dissolvidos (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	10,2	42	31,8	18,8	9,8	16	13	22,6
FL060	11	61	50	23,7	14,8	20	15	31,5
FL090	13,3	65,4	52,1	29,0	15,9	23	18	36,1
FL110	11	145	134	26,3	26,4	19	15	29,8
FL120	8,7	109	100,3	25,3	20,2	17,5	16	28,8
FL130	9,4	80	70,6	24,6	17,3	17,5	15	33,5

Analisando a Figura 6.2 em conjunto com a Tabela 6.2, podem ser feitas algumas constatações. Percebe-se que todos os pontos de coleta apresentam variação de sólidos dissolvidos muito semelhante ao longo do tempo. Os valores situaram-se entre 8,7 e 145 mg/L, considerando todas as estações de amostragem. As séries temporais encontradas demonstram, em geral, os maiores valores sendo obtidos no período seco, sendo os "picos" amostrais encontrados na campanha de agosto de 2009. A provável explicação para este padrão reside no fato de que nas estações secas o volume de água é menor e, assim, as substâncias tendem a ficar mais concentradas na água (menor diluição) nestes períodos.

Analisando-se a Tabela 6.2, constata-se que os maiores valores e as maiores amplitudes encontradas para este parâmetro foram observadas nos pontos FL110 e FL120 (porção média do reservatório e área a montante do barramento), regiões com características lânticas. Esses resultados podem estar associados às fontes antrópicas que se concentram na localidade de Ijaci e Macaia, destacando-se a presença da ETE Macaia (Holos, 2004), e às condições de má preservação da área do entorno do reservatório, nestes pontos. Todos os valores obtidos para este parâmetro encontram-se abaixo dos limites estabelecidos pela DN Conjunta COPAM CERH n° 01/2008, ou seja, 500 mg/L e, assim, em relação a este parâmetro, não foram encontradas restrições ou riscos relacionados aos usos da água.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.3 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro sólidos dissolvidos.



**Figura 6.3** - Variações obtidas para sólidos dissolvidos, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.3, observa-se que as amplitudes das variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para os sólidos dissolvidos no Cenário 2 (após a construção do barramento) tendem a ser maiores que no Cenário 1 (ausência de barramento), com medianas mais baixas para os pontos FL050, FL060 e FL 090 e mais altas para os pontos FL110, FL120 e FL130. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas variações obtidas para os pontos FL120 e FL130, considerando os cenários 1 e 2 (Figura 6.4).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)  
By variable SDT  
Marked tests are significant at  $p < ,05000$

variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	82,00000	194,0000	23,00000	1,63978	0,101051	1,64467	0,100040	5	18	0,110910
PFL060	73,50000	202,5000	31,50000	1,00623	0,314305	1,00948	0,312746	5	18	0,325181
PFL090	54,00000	222,0000	39,00000	-0,44721	0,654721	-0,44766	0,654402	5	18	0,691135
PFL110	35,00000	241,0000	20,00000	-1,86339	0,062408	-1,87313	0,061051	5	18	0,066688
<b>PFL120</b>	<b>32,00000</b>	244,0000	17,00000	<b>-2,08700</b>	<b>0,036889</b>	<b>-2,09791</b>	<b>0,035914</b>	5	18	<b>0,037327</b>
<b>PFL130</b>	<b>33,00000</b>	243,0000	18,00000	<b>-2,01246</b>	<b>0,044172</b>	<b>-2,01795</b>	<b>0,043597</b>	5	18	<b>0,045707</b>

**Figura 6.4** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro sólidos dissolvidos.

No entanto, tais variações podem estar sendo influenciadas, não pela existência do barramento, mas, principalmente, pela evolução dos usos e ocupação do solo na bacia, ao longo do tempo, justificando assim o aumento nas variações de sólidos dissolvidos. No entanto, estes resultados diferem dos padrões encontrados na literatura. Flauzino (2008) ao estudar a qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Miranda, no Triângulo Mineiro, encontrou grandes variações de sólidos dissolvidos nos pontos estudados, durante o período chuvoso. Makhlough (2008) ao estudar a qualidade da água do Reservatório Mengkuang, em Penang, noroeste da Malásia, também encontrou grandes níveis de sólidos dissolvidos na água durante o período chuvoso. Conforme discutido anteriormente, é provável que na ausência de chuvas (menores vazões), as substâncias dissolvidas na água tendem a ficar mais concentradas, justificando, assim, os resultados obtidos neste trabalho.

### 6.1.3 Sólidos Suspensos

Conforme discutido anteriormente, sólidos suspensos consistem de partículas insolúveis e de sedimentação lenta. A Figura 6.5 apresenta o gráfico das séries temporais de sólidos suspensos em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.3 apresenta alguns dados estatísticos para este parâmetro em cada ponto de coleta. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

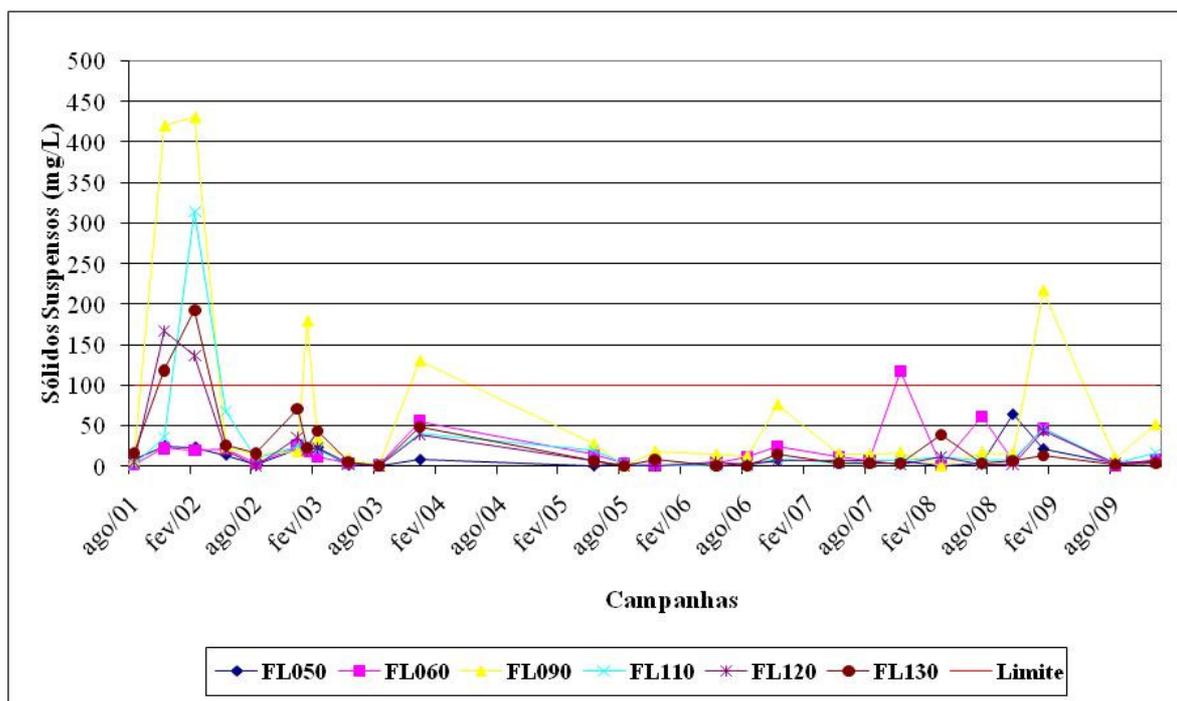


Figura 6.5 - Séries temporais de sólidos suspensos nos pontos de coleta.

**Tabela 6.3** - Dados estatísticos de sólidos suspensos (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	64,0	10,7	13,8	6,0	2	19,1
FL060	0	117,0	19,2	25,9	11,5	4	21,7
FL090	7,6	430,6	68,1	118,4	17,0	13	46,4
FL110	0	314,0	26,4	61,0	8,7	4	23,8
FL120	0	167,0	21,2	40,6	6,0	2	19,8
FL130	0	192,0	25,7	43,2	7,5	4	25,6

Analisando a Figura 6.5 em conjunto com a Tabela 6.3, podem ser feitas algumas constatações. Percebe-se que a maioria dos pontos de coleta apresentam variação de sólidos suspensos muito semelhante ao longo do tempo, com exceção do ponto FL090. Considerando todos os pontos de amostragem, os valores situaram-se entre 0 (não detectado) a 430,57. Entre agosto de 2001 e agosto de 2002, são encontrados os maiores valores para sólidos suspensos, sendo este período correspondente à etapa pré-enchimento (condições lóxicas, inexistência de barramento). A maior parte dos picos encontrados correspondem a coletas realizadas nos meses que compreendem o período chuvoso (novembro a março). Em relação a rede amostral, os maiores valores foram encontrados no ponto FL090, o que pode estar relacionado com as atividades minerárias intensamente desenvolvidas nessa parte da bacia de drenagem, conforme já discutido no capítulo 5 (tópico 5.1.3).

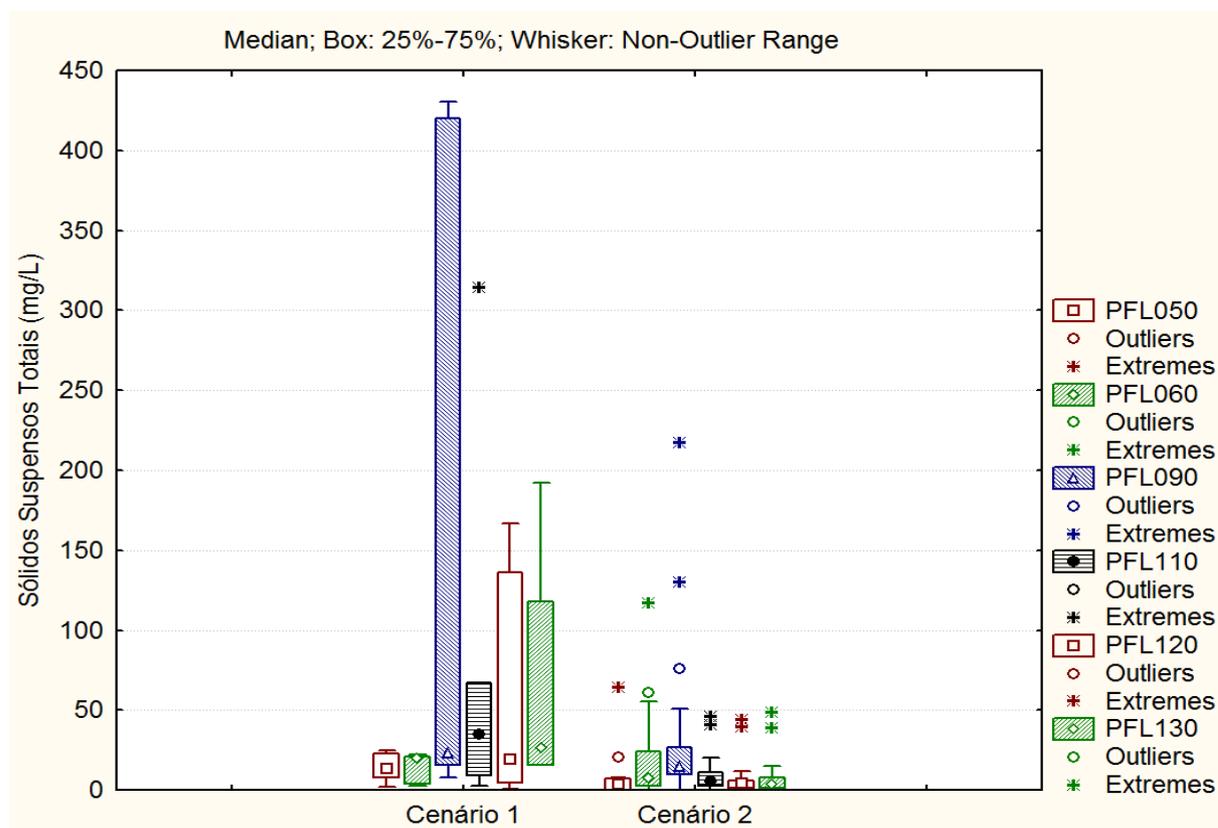
Levando em consideração a Tabela 6.3, os maiores valores obtidos para a mediana foram encontrados para os pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes), semelhante ao encontrado para o parâmetro cor aparente. Este fato demonstra mais uma vez a importância da contribuição destes dois grandes afluentes no aumento da carga de sedimentos do reservatório. Por outro lado, os menores valores de mediana, média e amplitude foram obtidos no ponto FL050 (rio Grande). Este fato pode estar relacionado com a existência, a montante no rio Grande, das UHEs Itutinga e Camargos, demonstrando o "efeito amortizador" da carga de sedimentos que chega ao reservatório da UHE Funil. Ruas (2006) ao estudar as influências da implantação de três PCHs na qualidade da água do rio Pomba, em Minas Gerais, encontrou o mesmo efeito no controle de sedimentos ocasionado pela existência do reservatório localizado mais a montante.

Em relação ao atendimento do padrão estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, foram encontrados valores acima do limite permitido (100 mg/L) nos pontos FL060 (novembro/2007), FL090 (novembro/2001, fevereiro/2002, janeiro/2003, dezembro/2003 e

janeiro de 2009), FL110 (fevereiro/2002), FL120 (novembro/2001 e fevereiro/2002) e FL130 (novembro/2001 e fevereiro/2002). Estes resultados demonstram que a maioria dos valores que ultrapassaram o limite legal foram encontrados no período chuvoso e na fase pré-barramento (condições lóxicas). Além disso, constatou-se também que as maiores violações deste limite foram encontradas no ponto FL090, demonstrando as condições de alteração das águas oriundas do rio das Mortes.

Ressalta-se que, segundo von Sperling (1996), sólidos suspensos de origem natural não trazem inconvenientes sanitários diretos. Contudo, deixam a água com aspecto desagradável e podem servir de abrigo para microorganismos patogênicos. Quando têm origem antropogênica, podem estar associados a compostos tóxicos e organismos patogênicos. Portanto, o uso destas águas fica condicionado a um tratamento prévio mais completo, utilizando mecanismos de filtração e desinfecção mais eficientes. Já a identificação de compostos tóxicos depende de outras análises.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.6 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro sólidos suspensos.



**Figura 6.6** - Variações obtidas para sólidos suspensos, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.6, observa-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para os sólidos suspensos no Cenário 1 (ausência de barramento) são maiores que no Cenário 2 (após a construção do barramento), sendo que são encontrados valores medianos maiores para todos os pontos. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas variações obtidas para os pontos FL050 e FL130, considerando os cenários 1 e 2 (Figura 6.7).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)										
By variable SST										
Marked tests are significant at $p < ,05000$										
variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	87,00000	189,0000	18,00000	2,012461	0,044172	2,020463	0,043336	5	18	0,045707
PFL060	63,00000	213,0000	42,00000	0,223607	0,823063	0,223884	0,822848	5	18	0,856965
PFL090	77,00000	199,0000	28,00000	1,267105	0,205119	1,268359	0,204671	5	18	0,226812
PFL110	83,00000	193,0000	22,00000	1,714319	0,086471	1,718143	0,085772	5	18	0,094327
PFL120	79,00000	197,0000	26,00000	1,416176	0,156725	1,423581	0,154569	5	18	0,173556
PFL130	99,00000	177,0000	6,00000	2,906888	0,003651	2,924278	0,003453	5	18	0,001724

**Figura 6.7** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro sólidos suspensos.

Levando em consideração a evolução/intensificação dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia de contribuição (atividades agropecuárias, atividades minerárias, manchas urbanas, presença de manchas de solo exposto, etc), juntamente com as ações de carreamento superficial promovidas pelas intensas precipitações, seria esperado um aumento das variações de sólidos suspensos obtidas ao longo do tempo. No entanto, percebe-se uma diminuição destas a partir da implantação do barramento/reservatório (Cenário 2). Face ao exposto, a partir da análise integrada dos resultados, constata-se uma possível influência da existência do barramento na variação deste parâmetro. Este fato pode ser justificado pela existência de condições lânticas advindas da criação do novo ambiente, aumentando assim o tempo de residência da água e favorecendo o processo de sedimentação dos sólidos existentes na coluna d'água (Tundisi, 1986; von Sperling, 1999a).

#### 6.1.4 Sólidos Totais

Os sólidos totais representam a soma das parcelas de sólidos em suspensão, coloidais e dissolvidos da água. A presença de sólidos pode afetar negativamente a qualidade de águas e efluentes de várias maneiras. Águas com teor elevado de sólidos dissolvidos podem apresentar sabor desagradável. Águas com grau elevado de mineralização são também inadequadas para várias aplicações industriais. A análise de sólidos é importante no controle de processos de tratamento biológicos e físicos de efluentes (von Sperling, 1996).

Leão (2001) apud Ruas (2006) afirma que para águas destinadas ao abastecimento doméstico e industrial, a determinação de sólidos totais é a mais importante entre as diversas categorias de sólidos. A medida é usada para indicar se a fonte de água é indicada para estes tipos de uso. Nos casos onde é necessário o abrandamento da água, o procedimento a ser usado pode ser determinado pelo conteúdo de sólidos totais, que será reduzido quando se usa precipitação ou aumentado quando é empregada troca iônica. O controle da corrosão em tubulações depende do teor de sólidos totais, da alcalinidade e da temperatura da água, sendo feita pelo ajuste do pH.

A Figura 6.8 apresenta o gráfico das séries temporais de sólidos suspensos em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.4 apresenta alguns dados estatísticos dos sólidos totais de cada ponto de coleta. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

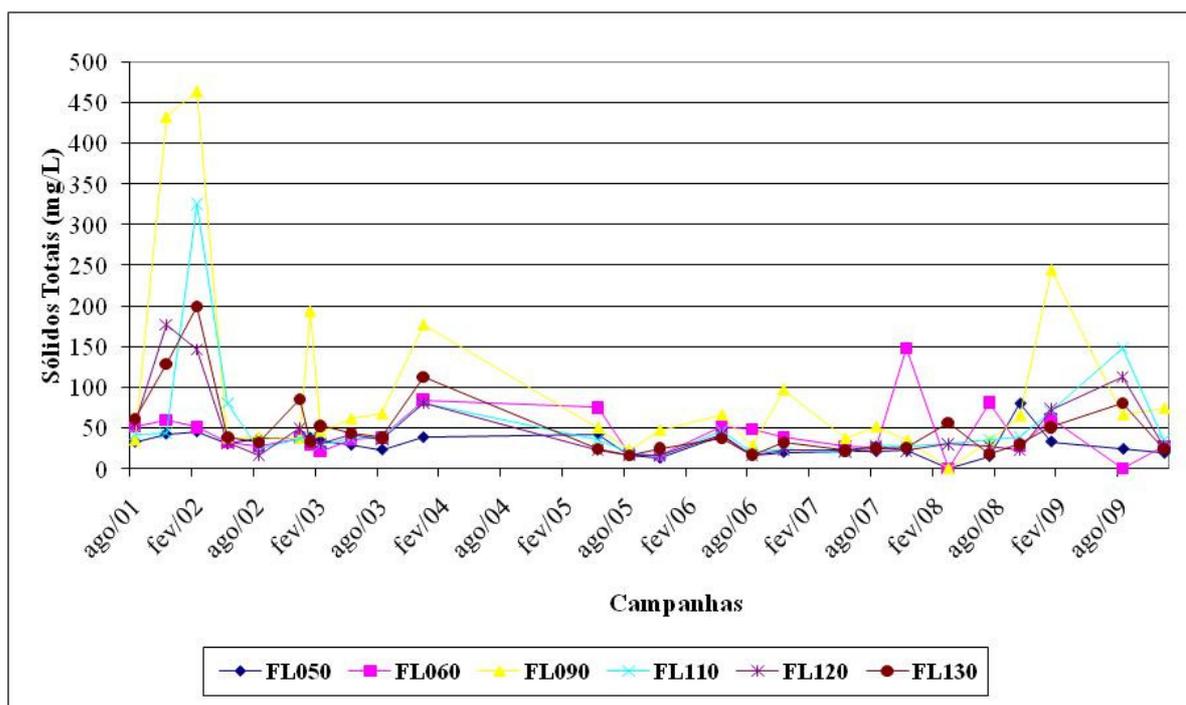


Figura 6.8 - Séries temporais de sólidos totais nos pontos de coleta.

Tabela 6.4 - Dados estatísticos de sólidos totais (mg/L) dos pontos de coleta.

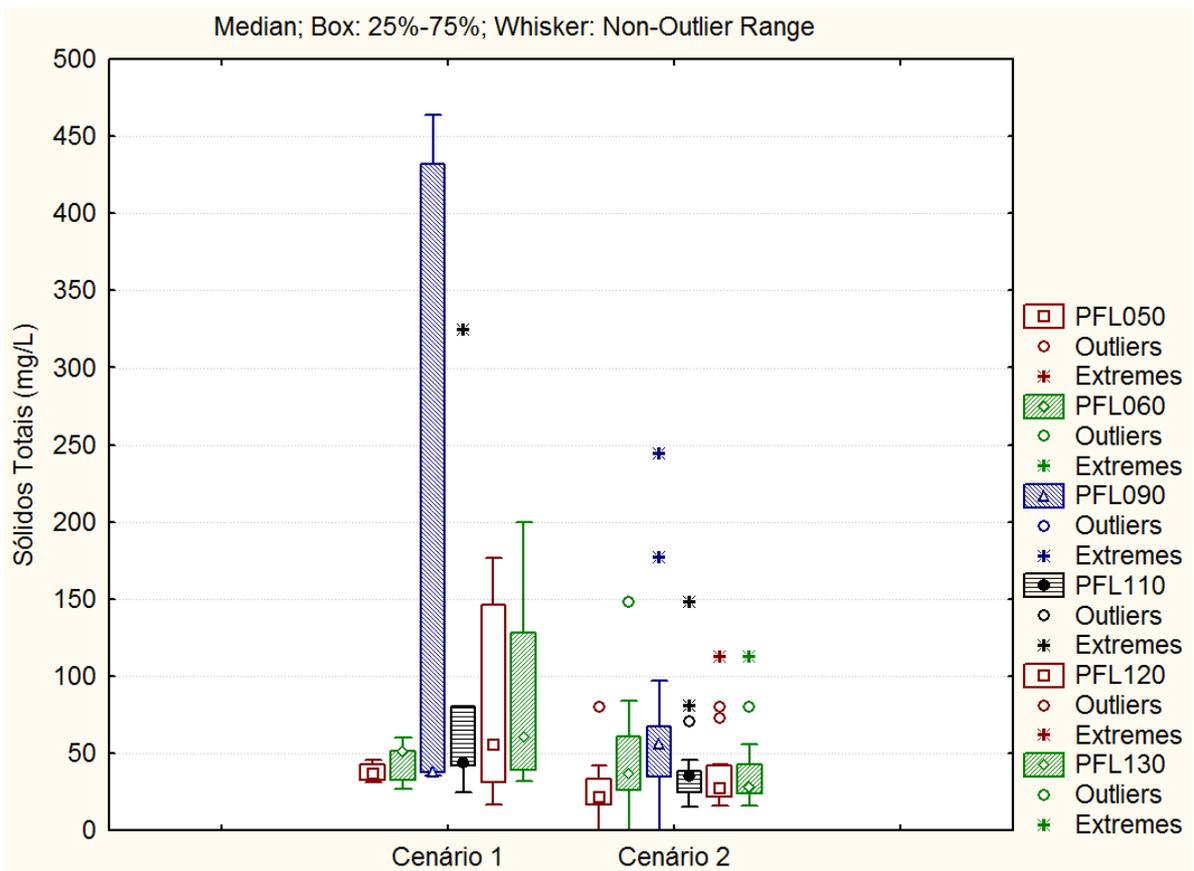
Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	13	80	67	29,7	15,1	29,9	20	37,6
FL060	16	148	132	42,8	30,5	36,7	27	51,5
FL090	23	463,7	440,7	96,3	117,4	50,5	37	72,3
FL110	15	325	310	52,7	62	36,7	27	43,5
FL120	16	176,8	160,8	46,2	41	30,6	23	47,7
FL130	16	199,7	183,7	50,3	41,8	35,2	25	55,1

Analisando-se a Figura 6.8 e a Tabela 6.4 percebe-se que o comportamento dos sólidos totais é muito semelhante ao comportamento dos sólidos suspensos, indicando que estes últimos exercem maior influência sobre os sólidos totais. Percebe-se que a maioria dos pontos de coleta apresentam variação de sólidos totais muito semelhante ao longo do tempo, com exceção do ponto FL090. Considerando todos os pontos de amostragem, os valores situaram-se entre 13 e 463,72. Entre agosto de 2001 e agosto de 2002, são encontrados os maiores valores para sólidos suspensos, sendo este período correspondente a etapa pré-enchimento (condições lóxicas, inexistência de barramento). A maior parte dos picos encontrados correspondem a coletas realizadas nos meses que compreendem o período chuvoso (novembro a março). Em relação à rede amostral, os maiores valores foram encontrados no ponto FL090, o que pode estar relacionado com as atividades minerárias intensamente desenvolvidas nessa parte da bacia de drenagem, conforme já discutido no capítulo 5 (tópico 5.1.3).

Levando em consideração a Tabela 6.4, os maiores valores obtidos para a mediana foram encontrados para os pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes) e os menores valores de mediana, média e amplitude foram obtidos no ponto FL050 (rio Grande), de maneira semelhante ao encontrado para o parâmetro sólidos suspensos. Já os valores de amplitude encontrados para FL110 e FL120 provavelmente sofreram a influência da parcela referente aos sólidos dissolvidos, tendo em vista o comportamento semelhante.

A DN Conjunta COPAM/CERH não estabelece padrões para o parâmetro sólidos totais. Contudo, esta estabelece o limite de 500 mg/L para o parâmetro sólidos dissolvidos totais, que é constituinte dos sólidos totais. Conforme discutido anteriormente, o parâmetro sólidos dissolvidos totais atendeu ao limite máximo para águas Classe 2, em todas as campanhas realizadas.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.9 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro sólidos totais. Ressalta-se que os gráficos de sólidos totais são muito semelhantes aos de sólidos em suspensão (aproximadamente idênticos). Neste sentido, as considerações feitas para os sólidos em suspensão podem ser aplicadas ao parâmetro sólidos totais.



**Figura 6.9** - Variações obtidas para sólidos totais, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.9, observa-se que, de um modo geral, as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para os sólidos totais no Cenário 1 (ausência de barramento) são maiores que no Cenário 2 (após a construção do barramento), sendo encontrados maiores valores medianos em quase todos os pontos (exceto FL090). Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas variações obtidas para os pontos FL050 e FL130, considerando os cenários 1 e 2 (Figura 6.10).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)  
By variable ST  
Marked tests are significant at  $p < .05000$

variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	89,00000	187,0000	16,00000	2,161532	0,030655	2,162601	0,030573	5	18	0,030253
PFL060	68,00000	208,0000	37,00000	0,596285	0,550985	0,596580	0,550789	5	18	0,587358
PFL090	68,00000	208,0000	37,00000	0,596285	0,550985	0,596432	0,550887	5	18	0,587358
PFL110	81,00000	195,0000	24,00000	1,565248	0,117526	1,567185	0,117073	5	18	0,129632
PFL120	81,00000	195,0000	24,00000	1,565248	0,117526	1,569129	0,116619	5	18	0,129632
PFL130	91,00000	185,0000	14,00000	2,310604	0,020855	2,311746	0,020792	5	18	0,019258

**Figura 6.10** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro sólidos totais.

Assim como para os sólidos suspensos, levando em consideração a evolução/intensificação dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia de contribuição, juntamente com as ações de carreamento superficial promovidas pelas intensas precipitações, seria esperado um aumento das variações de sólidos totais obtidas ao longo do tempo. No entanto, percebe-se uma diminuição destas a partir da implantação do barramento/reservatório (Cenário 2). Face ao exposto, a partir da análise integrada dos resultados, constata-se uma possível influência da existência do barramento na variação deste parâmetro. Este fato pode ser justificado pela existência de condições lênticas advindas da criação do novo ambiente, aumentando assim o tempo de residência da água e favorecendo o processo de sedimentação dos sólidos existentes na coluna d'água (Tundisi, 1986; von Sperling, 1999a).

### **6.1.5 Turbidez**

A turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc. Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas, intensificada pelo mau uso do solo, é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, tais como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro. Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático (CETESB, 2009).

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.11 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro turbidez. Já a Tabela 6.5 apresenta alguns dados estatísticos da

turbidez de cada ponto de coleta. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

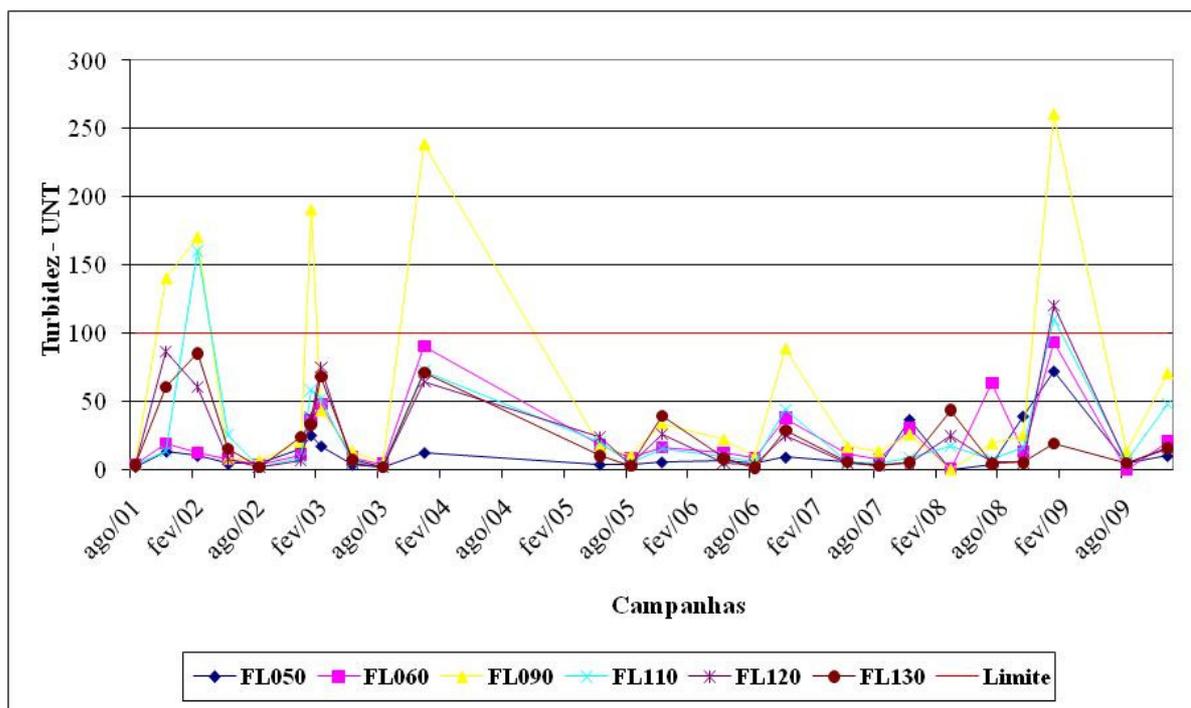


Figura 6.11 - Séries temporais de turbidez nos pontos de coleta.

Tabela 6.5 - Dados estatísticos de turbidez (UNT) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	1,7	36,5	34,8	12	15,8	5,3	4	12,8
FL060	3,5	90,3	86,8	22,4	25,4	12,1	8	27,5
FL090	4	238	234	56,2	76,5	19,6	11	63,6
FL110	1,6	160	158,4	27,7	37,7	11	6	39,4
FL120	1,4	120	118,6	23,9	31,5	5,9	4	25,3
FL130	1	85	84	21,6	24,8	8,9	4	32

Analisando-se a Figura 6.11e a Tabela 6.5, percebe-se que o comportamento da turbidez é muito semelhante ao comportamento dos sólidos suspensos, tendo em vista que estes últimos são a forma constituinte da turbidez. Considerando todos os pontos de amostragem, os valores situaram-se entre 1 e 260. Entre agosto de 2001 e agosto de 2002, são encontradas as maiores variações entre os pontos amostrais para turbidez, sendo este período correspondente à etapa pré-enchimento (condições lóxicas, inexistência de barramento). A maior parte dos picos encontrados correspondem a coletas realizadas nos meses que compreendem o período chuvoso (novembro a março), demonstrando o maior carreamento de sólidos em função das precipitações. Em relação à rede amostral, os maiores valores foram encontrados no ponto FL090, o que pode estar relacionado com as atividades minerárias intensamente

desenvolvidas nessa parte da bacia de drenagem, conforme já discutido no capítulo 5 (tópico 5.1.3).

Ressalta-se que, em relação a série de sólidos (dissolvidos, suspensos e totais), que acaba por influenciar o comportamento da turbidez, apenas os sólidos suspensos e totais apresentaram uma variação mínima nas séries temporais, durante o período de enchimento do reservatório, representado pelos meses de dezembro/2002 a fevereiro/2003. Já a turbidez, apresentou uma perturbação maior nas séries temporais, principalmente no ponto FL090, durante o período de enchimento. Isso se justifica pelo maior aporte de sólidos na água, tendo em vista a inundação de novas áreas durante o processo de enchimento.

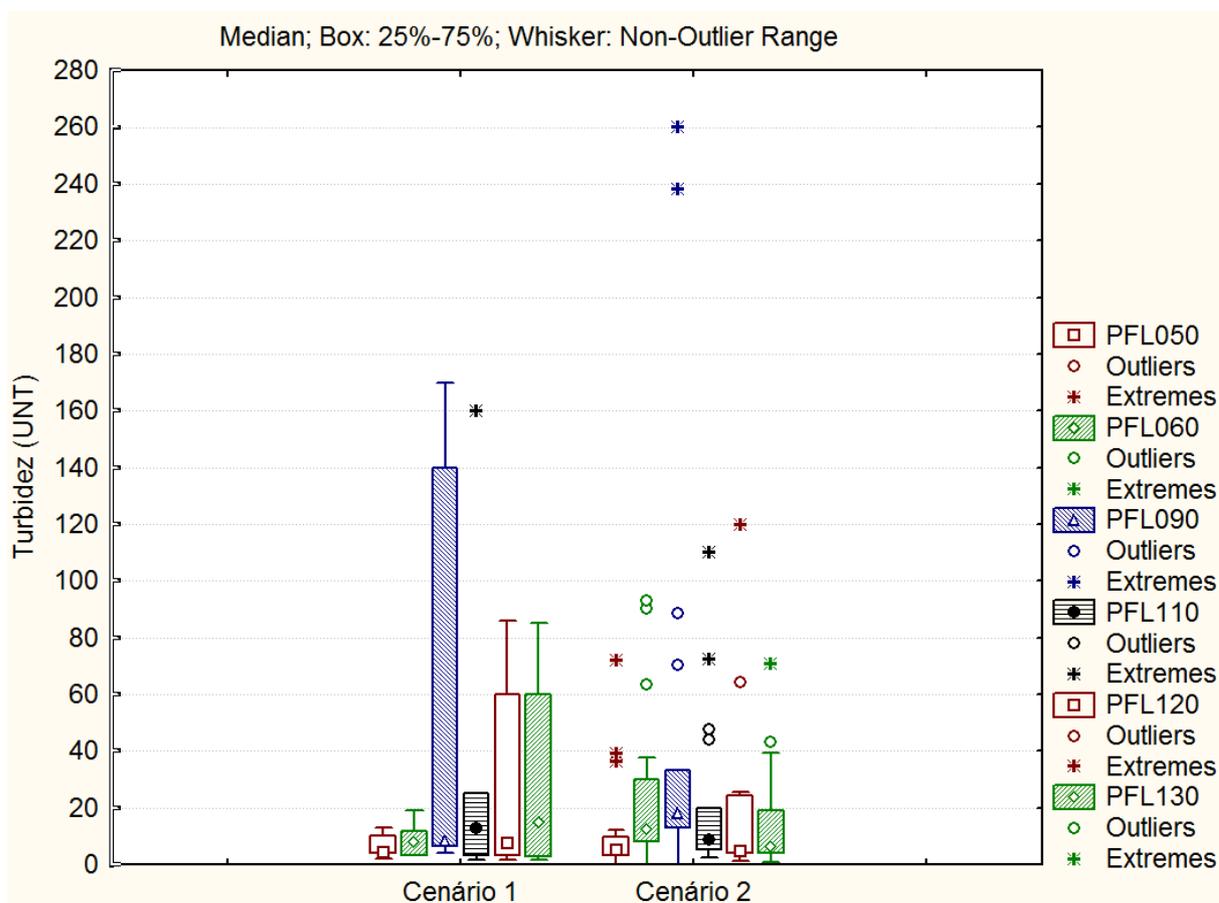
É importante esclarecer que mesmo a unidade de turbidez constituindo-se numa escala arbitrária, não recomendando análises estatísticas para dados quantitativos, optou-se por realizá-las, com o cuidado de tomar seus resultados como indicativos de tendências. Assim, os resultados apresentados na Tabela 6.5 demonstram que os menores valores mínimo, máximo e de amplitude foram obtidos para o ponto FL050, de maneira semelhante ao encontrado para o parâmetro sólidos suspensos. Estes resultados demonstram a importância dos reservatórios das UHEs Itutinga e Camargos, existentes a montante no rio Grande, funcionando como bacias de decantação de sedimentos e, conseqüentemente, diminuindo drasticamente o aporte de sólidos ao reservatório da UHE Funil. Altos valores de amplitude foram encontrados também para os pontos FL110 (porção mediana do reservatório) e FL120 (imediatamente a montante do barramento). Estas regiões apresentam características predominantemente lânticas e, assim, estes valores podem ser resultado de grandes florações algais nestes locais. Outras considerações a respeito desse fato serão realizadas na discussão de dados hidrobiológicos.

Segundo von Sperling (1996), a água pode ser considerada opaca quando apresenta valores de turbidez igual ou superiores a 500 UNT. Em tal caso, isto dificultaria a passagem de luz solar e conseqüentemente, prejudicaria o processo de fotossíntese e o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica. Contudo, tal condição não foi verificada em nenhum dos pontos de coleta avaliados.

Em relação ao atendimento do padrão estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, foram encontrados valores acima do limite permitido (100 UNT) nos pontos FL090 (novembro/2001, fevereiro/2002, janeiro/2003, dezembro/2003 e janeiro de 2009), FL110 (fevereiro/2002 e janeiro/2009) e FL120 (janeiro/2009). Estes resultados demonstram que a

maioria dos valores que ultrapassaram o limite legal foram encontrados no período chuvoso, demonstrando o maior carreamento de sólidos em função das precipitações. Além disso, constatou-se também que as maiores violações deste limite foram encontradas no ponto FL090, demonstrando as condições de alteração das águas oriundas do rio das Mortes.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.12 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro turbidez.



**Figura 6.12** - Variações obtidas para turbidez, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.12, observa-se que, de um modo geral, as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para os turbidez no Cenário 1 (ausência de barramento) são maiores que no Cenário 2 (após a construção do barramento), com exceção dos pontos FL 050 e FL 060. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados não demonstraram a existência de diferença significativa ( $p < 0,05$ ), provavelmente por causa dos valores medianos próximos.

No entanto, pode-se inferir sobre uma possível diminuição da turbidez das águas neste trecho do rio Grande após a instalação do barramento. Geralmente, observam-se maiores valores de turbidez em ambientes lóticos em decorrência da maior turbulência das águas, principalmente, em épocas de alta pluviometria nas quais ocorre lavagem superficial do solo e conseqüente carreamento de partículas orgânicas e minerais. Este fato também foi verificado por Ruas (2006), ao estudar as influências da implantação de três PCHs sobre a qualidade da água do rio Pomba, no Triângulo Mineiro; e por Honorato (2008) ao estudar a qualidade da água do rio Preto, antes durante e após a implantação da AHE Queimado, em Unaí/MG.

### **6.1.6 Temperatura**

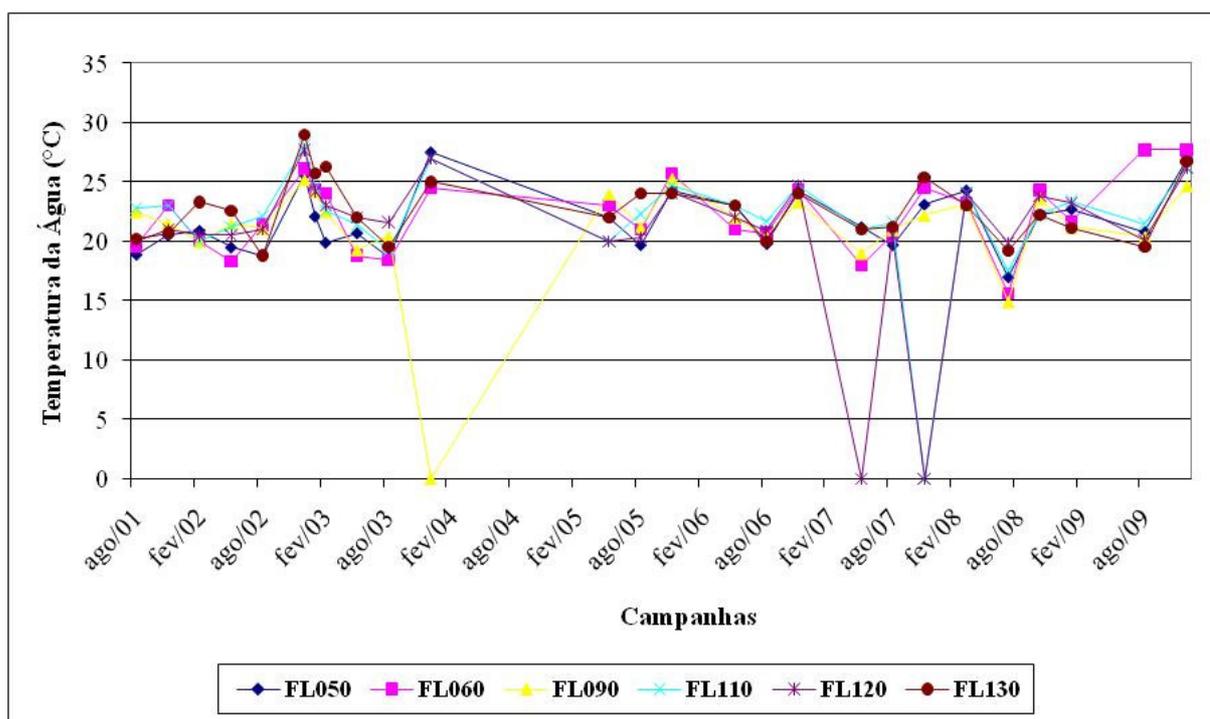
Variações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas (CETESB, 2009).

A temperatura é um fator que influencia a grande maioria dos processos físicos, químicos e biológicos na água, assim como outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos. A temperatura possui um papel fundamental no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo.

As variações de temperatura dos cursos d'água são sazonais e acompanham as flutuações do clima durante o ano. No âmbito da faixa de temperatura usual em nossas águas superficiais (4 a 30°C), um aumento da temperatura da água, em geral, tem como efeito (Branco, 1986): 1) Diminuição da densidade e da viscosidade da água, para temperaturas acima de 4°C, facilitando a sedimentação de materiais em suspensão; 2) Redução da solubilidade dos gases na água, entre eles o oxigênio, o CO<sub>2</sub> e a amônia; 3) Evasão de substâncias orgânicas voláteis podendo causar maus odores; 4) Aumento da velocidade das reações bioquímicas, aeróbias e anaeróbias, de degradação da matéria orgânica; 5) Aumento da taxa de crescimento dos

organismos aquáticos; 6) Evasão de gases tóxicos H<sub>2</sub>S; 7) Coagulação de proteínas que constituem a matéria viva; 8) Aumento da toxicidade de substâncias dissolvidas na água, como rotenona.

A Figura 6.13 apresenta o gráfico das séries temporais de temperatura em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.6 apresenta alguns dados estatísticos para este parâmetro em cada ponto de coleta. Ressalta-se que não houve medição de temperatura no ponto FL090 em dezembro de 2003, no ponto FL110 em novembro de 2007 e no ponto FL120, em maio e novembro de 2007.



**Figura 6.13** - Séries temporais de temperatura nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).

**Tabela 6.6** - Dados estatísticos de temperatura (°C) dos pontos de coleta.

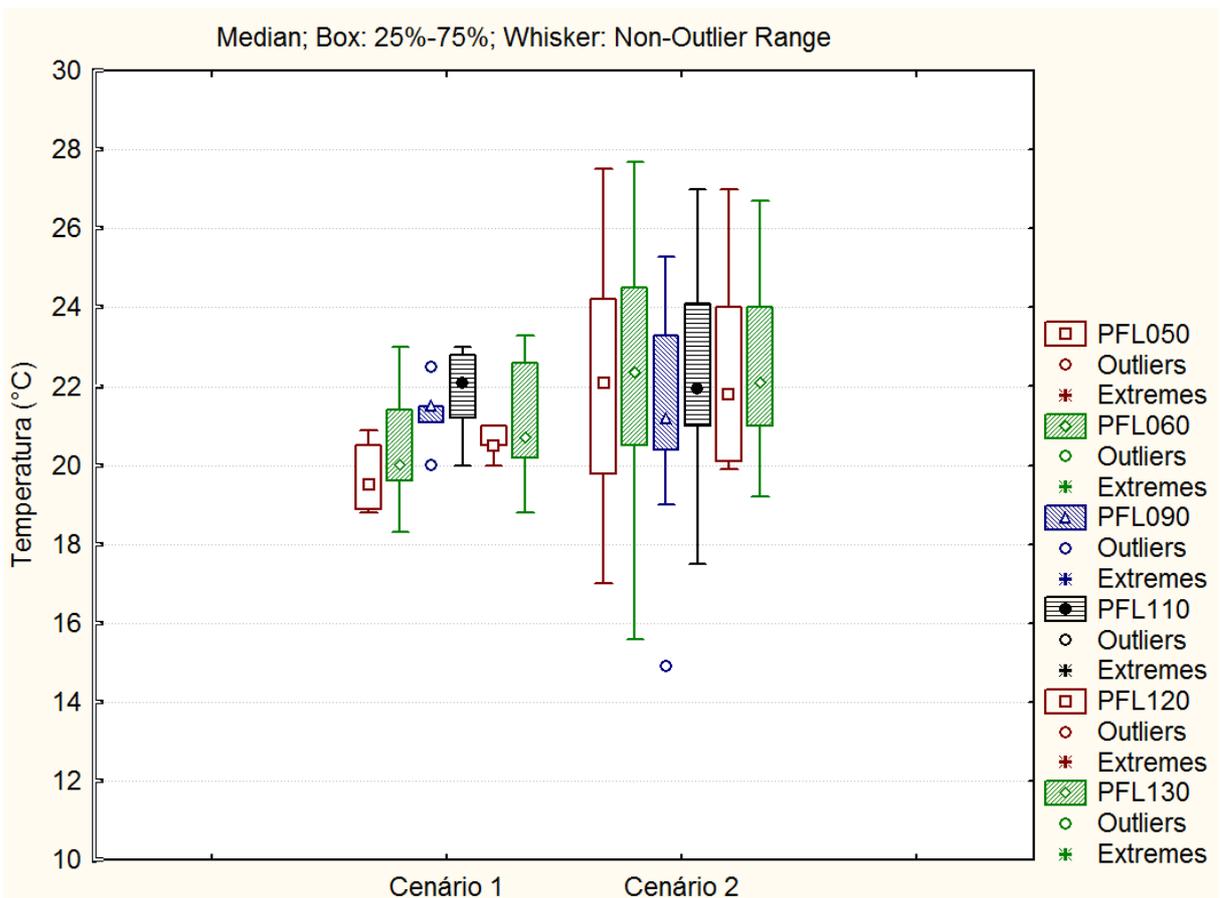
Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	17	27,5	10,5	21,7	2,6	21,1	20	23,1
FL060	15,6	27,7	12,1	22,2	3,1	22,4	20	24,4
FL090	14,9	24,7	9,8	20,9	4,8	21,5	20	23,3
FL110	17,5	27	9,5	21,8	5	22,3	21	23,9
FL120	19,9	27	7,1	20,7	6,5	21,3	20	24
FL130	18,8	26,7	7,9	22,7	2,6	22,4	21	24

Analisando-se a Figura 6.13 e a Tabela 6.6 percebe-se que os valores situaram-se de 14,9 a 27,7 °C. A variabilidade entre os pontos de coleta numa mesma campanha pode ser atribuída

aos diferentes horários de coleta das amostras e, assim, às diferenças exposições da luz solar ao longo do dia. Quanto à variabilidade entre as campanhas para um mesmo ponto de coleta, esta pode ser atribuída à influência do clima ao longo das estações. Os meses mais frios correspondem, em geral, às campanhas referentes aos meses de maio, julho e agosto, sendo os menores valores obtidos em agosto de 2008. Os meses mais quentes ocorreram, principalmente, nos anos de 2002, 2003 e 2009, e correspondem às campanhas de dezembro/2002, dezembro/2003 e dezembro/2009. Destaca-se ainda a influência do período de enchimento do reservatório representada pelos picos nos valores de temperatura obtidos em fevereiro/2003, podendo esta estar relacionada ao período de transição às novas dinâmicas hidrológicas.

A partir dos valores apresentados na Tabela 6.6, constata-se que os valores obtidos para a média e mediana, nos pontos estudados, são muito próximos, demonstrando variações de temperatura semelhantes ao longo da rede amostral. A média global, considerando todos os pontos, é de 21,66 °C e o desvio padrão global de 4,11 °C. A temperatura mínima registrada foi de 14,9 °C, no ponto FL090 (rio das Mortes) em julho de 2008, e a máxima registrada foi de 29 °C, no ponto FL130 (jusante do barramento) em dezembro de 2002. Dessa maneira, não foram encontrados padrões de variação de temperatura específicos para cada ponto de coleta.

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 não estabelece padrões para o parâmetro temperatura da água. Assim sendo, a instalação do barramento em estudo não implica em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Grande, de acordo com o estabelecido pela legislação ambiental pertinente. Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.14 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro temperatura.



**Figura 6.14** - Variações obtidas para temperatura, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.14, observa-se que, de um modo geral, as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para a temperatura no Cenário 2 (após a construção do barramento) são maiores que no Cenário 1 (ausência de barramento), demonstrando temperaturas mais altas no Cenário 2. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas na variação obtida para o ponto FL050, considerando os cenários 1 e 2 (Figura 6.15).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)  
By variable Temperatura  
Marked tests are significant at  $p < ,05000$

variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	33,00000	243,0000	18,00000	-2,01246	0,044172	-2,01346	0,044067	5	18	0,045707
PFL060	42,50000	233,5000	27,50000	-1,30437	0,192107	-1,30566	0,191668	5	18	0,198936
PFL090	59,00000	217,0000	44,00000	-0,07454	0,940584	-0,07465	0,940496	5	18	0,971262
PFL110	55,00000	221,0000	40,00000	-0,37268	0,709388	-0,37295	0,709183	5	18	0,745342
PFL120	47,50000	228,5000	32,50000	-0,93169	0,351495	-0,93354	0,350541	5	18	0,363042
PFL130	45,00000	231,0000	30,00000	-1,11803	0,263553	-1,11997	0,262726	5	18	0,289934

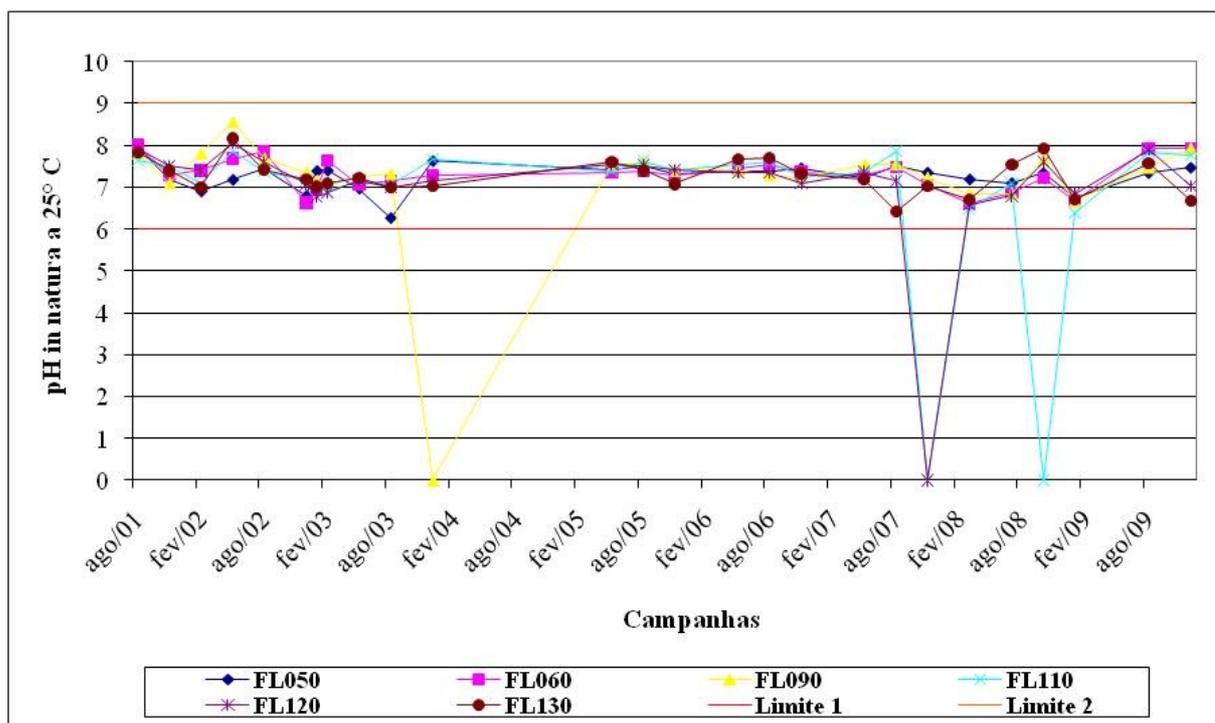
**Figura 6.15** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro temperatura.

As variações encontradas podem estar relacionadas a variações climáticas, em maior grau, e à implantação do barramento, em menor grau. As variações climáticas, com a ocorrência de temperaturas mais quentes podem determinar um aumento potencial nas temperaturas da água. No entanto, o estabelecimento de um reservatório cria um ambiente mais estável e, devido ao alto calor específico da água (capacidade de absorver e conservar calor) e considerando ainda a grande área do espelho d'água (grande área de exposição à radiação solar) e o grande volume do reservatório, o mesmo tende a manter temperaturas mais altas por mais tempo. Alguns estudos demonstram esta característica dos reservatórios influenciando na manutenção de microclimas em seu entorno (Grimm, 1998; Dias *et al*, 1999; Limberger, 2007).

### **6.1.7 Potencial hidrogeniônico (pH)**

O pH é um parâmetro adimensional que avalia o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. Segundo a CETESB (2009), a influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados. Outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais, tanto de acordo com a legislação federal, quanto pela legislação do estado. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.

A Figura 6.16 apresenta o gráfico das séries temporais de pH em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.7 apresenta alguns dados estatísticos deste parâmetro em cada ponto de coleta. Ressalta-se que não houve medição de temperatura no ponto FL090 em dezembro de 2003, no ponto FL110, em novembro de 2007 e outubro/2008, e no ponto FL120, em novembro de 2007.



**Figura 6.16** - Séries temporais de pH in natura a 25°C nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).

**Tabela 6.7** - Dados estatísticos de pH in natura a 25°C dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	6,26	7,96	1,70	7,26	0,33	7,35	7	7,44
FL060	6,62	8,00	1,38	7,32	0,39	7,32	7	7,53
FL090	6,67	8,56	1,89	7,13	1,50	7,38	7	7,60
FL110	6,39	7,87	1,48	6,77	2,03	7,36	7	7,62
FL120	6,57	8,06	1,49	7,00	1,48	7,26	7	7,52
FL130	6,43	8,16	1,73	7,26	0,42	7,21	7	7,57

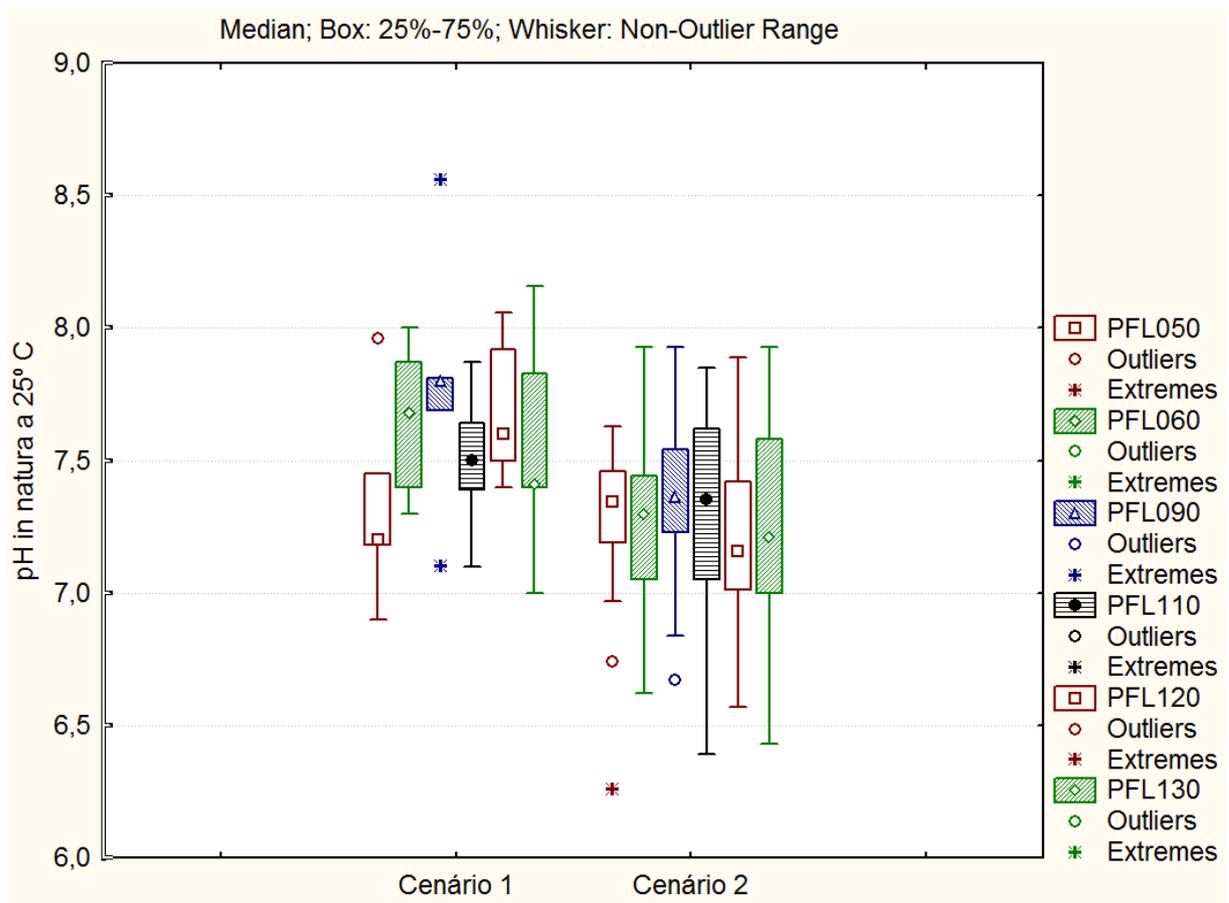
Analisando-se a Figura 6.16 e a Tabela 6.7 percebe-se que o comportamento do pH é muito semelhante ao longo do tempo, considerando todos os pontos amostrados. O pH variou de 6,26 a 8,56, obedecendo os critérios de proteção à vida aquática, também estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, que fixam o pH entre 6 e 9. A condição alcalina predominou ao longo de todo o período amostral, o que permite concluir que as águas do rio Grande encontram-se com condições básicas, próximas à neutralidade, em todos os pontos. O pH apresentou-se em condições mais ácidas apenas em janeiro/2003 (FL050, FL060 e FL120), agosto/2003 (FL050), agosto/2007 (FL130), março/2008 (FL060, FL120 e FL130), janeiro/2009 (todos os pontos) e dezembro/2009 (FL130). Fonseca & Salvador (2003) apud Ruas (2006) afirmam que, de uma maneira geral, há uma ligeira tendência dos valores de pH da bacia apresentar certa diminuição em períodos secos, sendo que o aumento do pH em regime de chuva deve-se, principalmente, à maior dissolução de sais. Este fato pode explicar o

comportamento predominantemente alcalino das águas do rio Grande, tendo em vista as altas taxas pluviométricas na bacia (IGAM, 2010). No entanto, conforme discutido anteriormente, os pHs mais ácidos (mais baixos) também foram encontrados, na maioria dos casos, em estações chuvosas.

Calijuri *et al* (1999) afirmam que valores mais elevados de pH podem estar relacionados à ocorrência de altas densidades de algas (fitoplâncton), uma vez que durante o processo de fotossíntese ocorre a absorção de gás carbônico dissolvido na água e, conseqüentemente, o aumento de pH. Apesar deste fato ser possível, também para o estudo de caso, conforme será discutido posteriormente, os dados obtidos para o fitoplâncton foram analisados anualmente, não sendo possível o estabelecimento de relações específicas entre estes parâmetros, no âmbito deste estudo.

Ressalta-se, ainda, as influências do enchimento do reservatório, realizado entre dezembro/2002 e fevereiro/2003, representadas na Figura 6.16 pela queda dos valores de pH neste período. Esta queda pode estar relacionada ao aporte de matéria orgânica, oriunda das novas áreas inundadas, uma vez que durante o seu processo de decomposição há liberação/formação de ácidos húmicos e fúlvicos, diminuindo o pH da água.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.17 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro pH.



**Figura 6.17** - Variações obtidas para pH in natura a 25 °C, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.17, observa-se que, de um modo geral, as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para o pH no Cenário 2 (após a construção do barramento) tendem a se concentrar em patamares mais baixos, demonstrando águas mais próximas a neutralidade (menores valores nas medianas). Além disso, há uma tendência na ocorrência de pHs mais ácidos. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferença significativa ( $p < 0,05$ ) apenas na variação obtida para os pontos FL060, FL090 e FL120, considerando os cenários 1 e 2 (Figura 6.18).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)  
By variable pH  
Marked tests are significant at  $p < ,05000$

variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	57,00000	219,0000	42,00000	-0,223607	0,823063	-0,223717	0,822977	5	18	0,856965
PFL060	87,50000	188,5000	17,50000	2,049729	0,040392	2,051250	0,040243	5	18	0,037327
PFL090	88,00000	188,0000	17,00000	2,086997	0,036889	2,087513	0,036843	5	18	0,037327
PFL110	74,00000	202,0000	31,00000	1,043498	0,296718	1,044014	0,296480	5	18	0,325181
PFL120	94,50000	181,5000	10,50000	2,571478	0,010127	2,572750	0,010090	5	18	0,006716
PFL130	78,00000	198,0000	27,00000	1,341641	0,179713	1,342304	0,179498	5	18	0,198936

**Figura 6.18** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro pH.

A diminuição das variações obtidas para o pH no Cenário 2, ou seja, após a formação do reservatório, pode estar relacionada com o aumento dos valores obtidos nas variações de temperatura no Cenário 2. Segundo Silva & Kulay (1999) um aumento na temperatura da água leva a uma diminuição do pH, tendo em vista o aumento na taxa de dissociação natural das moléculas de água (liberação de íons  $H^+$ ). Esta condição corrobora com os resultados aqui encontrados, demonstrando uma possível influência da implantação do barramento, e formação do reservatório, sobre este parâmetro.

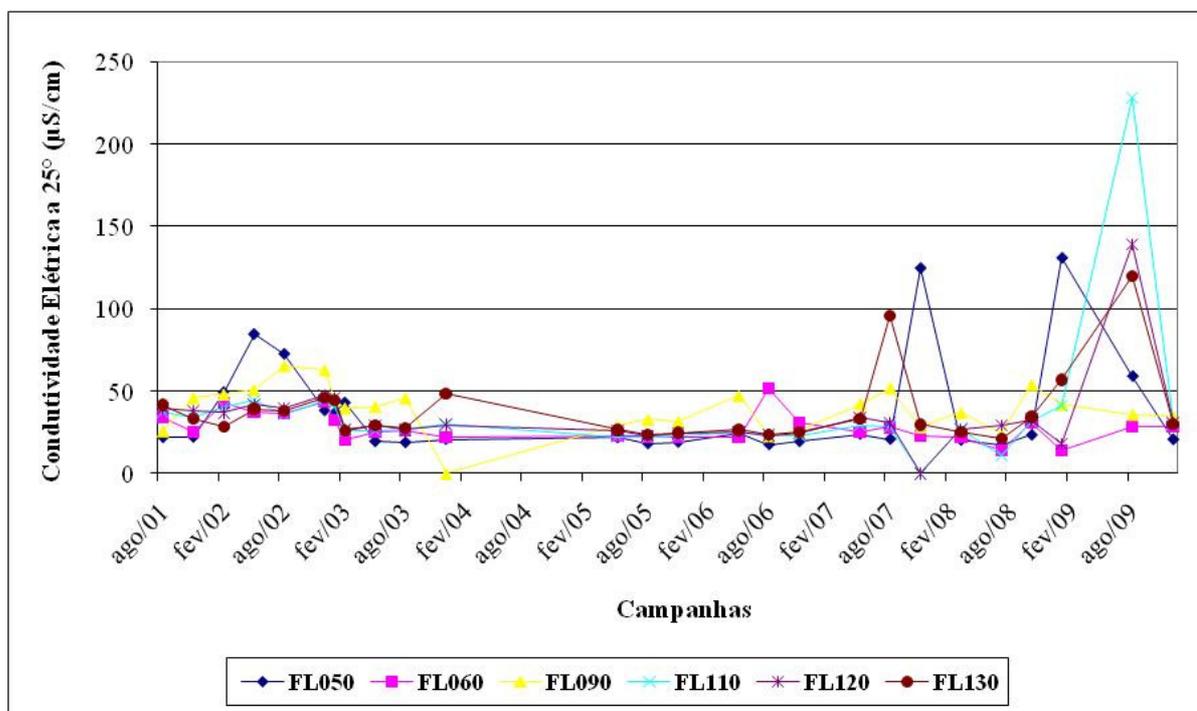
### **6.1.8 Condutividade elétrica**

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100  $\mu S/cm$  indicam ambientes impactados. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2009).

De acordo com Esteves (1998) a condutividade elétrica, que depende da composição iônica dos corpos d'água, pode ser influenciada, também pelo volume de chuvas. Com baixa precipitação e predominância de rochas magmáticas na bacia de drenagem, a composição da água é, geralmente, determinada por produtos de intemperismo destas rochas. Com alta pluviosidade e predominância de rochas sedimentares, a composição iônica da água é determinada pela composição das rochas. Como a chuva é o principal agente regulador dos cursos de água, espera-se que ela seja também uma importante variável a ser considerada em estudos envolvendo a qualidade da água de rios e tributários.

Segundo von Sperling (1998 apud Ruas, 2006), os valores médios de condutividade elétrica nos rios brasileiros variam na faixa de 10 a 100  $\mu S/cm$ . À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade específica da água aumenta. Altos valores de condutividade são obtidos quando ocorre o lançamento de águas residuárias não tratadas (portanto, ricas em sais), nos corpos d'água receptores, e podem indicar características corrosivas da água.

A Figura 6.19 apresenta o gráfico das séries temporais de condutividade elétrica em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.8 apresenta alguns dados estatísticos de condutividade elétrica de cada ponto de coleta. Ressalta-se que não houve medição deste parâmetro no ponto FL090, em dezembro de 2003, e nos pontos FL110 e FL120, em novembro de 2007.



**Figura 6.19** - Séries temporais de condutividade elétrica a 25°C nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).

**Tabela 6.8** - Dados estatísticos de condutividade elétrica a 25°C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	17	131	114	37,9	31,9	21,9	19,5	41,7
FL060	14	51,6	37,6	28,1	8,8	25,7	22,3	31,9
FL090	19,8	65,4	45,6	38,9	13,8	40,3	29,7	47
FL110	11	228	217	36,6	40,3	29,1	24,1	36,7
FL120	18	139	121	34,2	23,4	29,3	25,5	37,7
FL130	21	120	99	38,4	22,5	29,8	26,2	41

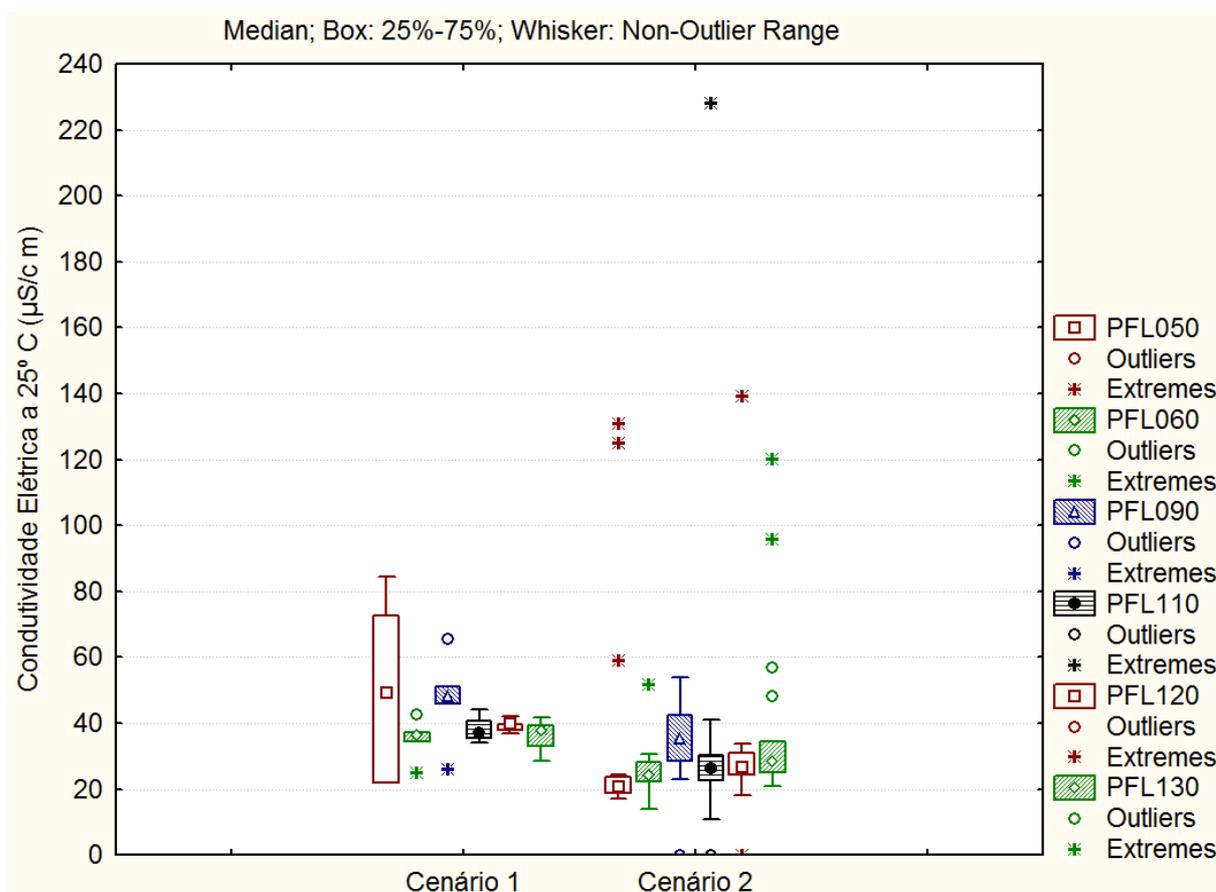
A partir da Figura 6.19, é possível constatar que as variações ao longo do tempo para a condutividade são semelhantes até meados de novembro/2007, quando começam a aparecer algumas discrepâncias entre os pontos amostrados. Os valores obtidos situaram-se no intervalo compreendido entre 11 e 228  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A maior parte dos valores obtidos situou-se abaixo dos 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e, de acordo com a CETESB (2009), valores superiores indicam ambientes impactados. Os maiores valores foram encontrados para os pontos FL050

(maio/2002, novembro/2007 e janeiro/2009), FL 110 (agosto/2009), FL 120 (agosto/2009) e FL 130 (agosto/2007 e agosto/2009). Na maioria dos casos (exceto ponto FL050), estes picos amostrais foram obtidos no período seco, o que pode ser explicado pela menor diluição de íons e compostos orgânicos na coluna d'água. von Sperling *et al* (2004) ao estudar o lago de Águas Claras, constatou a ocorrência de valores de condutividade elétrica um pouco mais elevados no período seco, levando em consideração a ausência do efeito diluidor das águas da chuva. Andrade (2008), ao estudar a qualidade ecológica de três açudes da bacia do rio Taperoá – Soledade, Taperoá II e Namorados, em João Pessoa, também encontrou maiores valores de condutividade nos períodos secos, tendo em vista a maior concentração de íons na água. Tais resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho tanto para a condutividade elétrica quanto para o parâmetro sólidos dissolvidos, discutido anteriormente.

Os resultados encontrados para o ponto FL050 (rio Grande, início do remanso) podem estar relacionados com a contribuição de matéria orgânica (organismos planctônicos) advindos dos reservatórios das UHEs Itutinga e Camargos. Já os resultados obtidos para os pontos FL110 (porção média do reservatório) e FL120 (montante do barramento), que possuem características predominantemente lênticas, podem estar relacionados com o aumento da concentração de carga orgânica advinda de despejos sanitários oriundos das manchas urbanas bem como atividades pecuaristas no entorno destas áreas do reservatório (localidades de Ijaci e Macaia). Já o ponto FL130 (jusante do barramento), apesar de possuir características lólicas, está sujeito às influências advindas do ponto FL120. Em relação à Tabela 6.8, observa-se que as maiores amplitudes e valores máximos foram obtidos para os pontos FL050, FL110 e FL120. Já os valores médios situam-se muito próximos uns dos outros. O ponto FL090 (rio das Mortes) apesar de apresentar pequena amplitude, apresenta os maiores valores de média e mediana, podendo este fato estar relacionado com o maior aporte de matéria orgânica e sólidos dissolvidos (despejos sanitários e poluição difusa) provenientes de sua bacia de contribuição, conforme já discutido. Ressalta-se que, em relação a condutividade, não foi observado um comportamento anômalo das séries temporais obtidas, durante o período de enchimento do reservatório.

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 não estabelece padrões para o parâmetro condutividade elétrica e, assim, a instalação do barramento em estudo não implica diretamente em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Grande, no âmbito desta legislação. Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do

barramento, a Figura 6.20 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro condutividade elétrica.



**Figura 6.20** - Variações obtidas para condutividade elétrica a 25 °C, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.20, observa-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para a condutividade no Cenário 2 (após a construção do barramento) tendem a se concentrar em patamares mais baixos do que no Cenário 1 (ausência do barramento), demonstrando menores valores de condutividade (valores medianos mais baixos). Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas variações obtidas para os pontos FL060, FL110 e FL120, considerando os Cenários 1 e 2 (Figura 6.21).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)										
By variable Condutividade										
Marked tests are significant at p <,05000										
variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	86,0000	190,0000	19,00000	1,937926	0,052633	1,938404	0,052575	5	18	0,055395
PFL060	92,0000	184,0000	13,00000	2,385139	0,017073	2,385729	0,017046	5	18	0,015097
PFL090	83,5000	192,5000	21,50000	1,751587	0,079846	1,752019	0,079771	5	18	0,079586
PFL110	96,0000	180,0000	9,00000	2,683282	0,007291	2,683945	0,007276	5	18	0,004933
<b>PFL120</b>	<b>100,0000</b>	176,0000	5,00000	2,981424	0,002869	2,982898	0,002856	5	18	0,001129
PFL130	78,0000	198,0000	27,00000	1,341641	0,179713	1,341972	0,179606	5	18	0,198936

**Figura 6.21** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro condutividade elétrica.

Estes resultados demonstram uma possível influência da implantação do barramento sobre o comportamento deste parâmetro. Tal fato é justificado pelo grande efeito diluidor de substâncias advindo da formação do reservatório, tendo em vista o seu grande volume em relação a condição inicial (rio), conforme discutido no item 5.7.2. Ressalta-se que, segundo von Sperling (1999a), lagos e reservatórios volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes bastante superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos. Honorato (2008) ao estudar a qualidade da água do rio Preto, antes, durante e após a implantação da AHE Queimado, em Unaí/MG, também observou uma tendência na diminuição dos valores de condutividade, após a formação do reservatório.

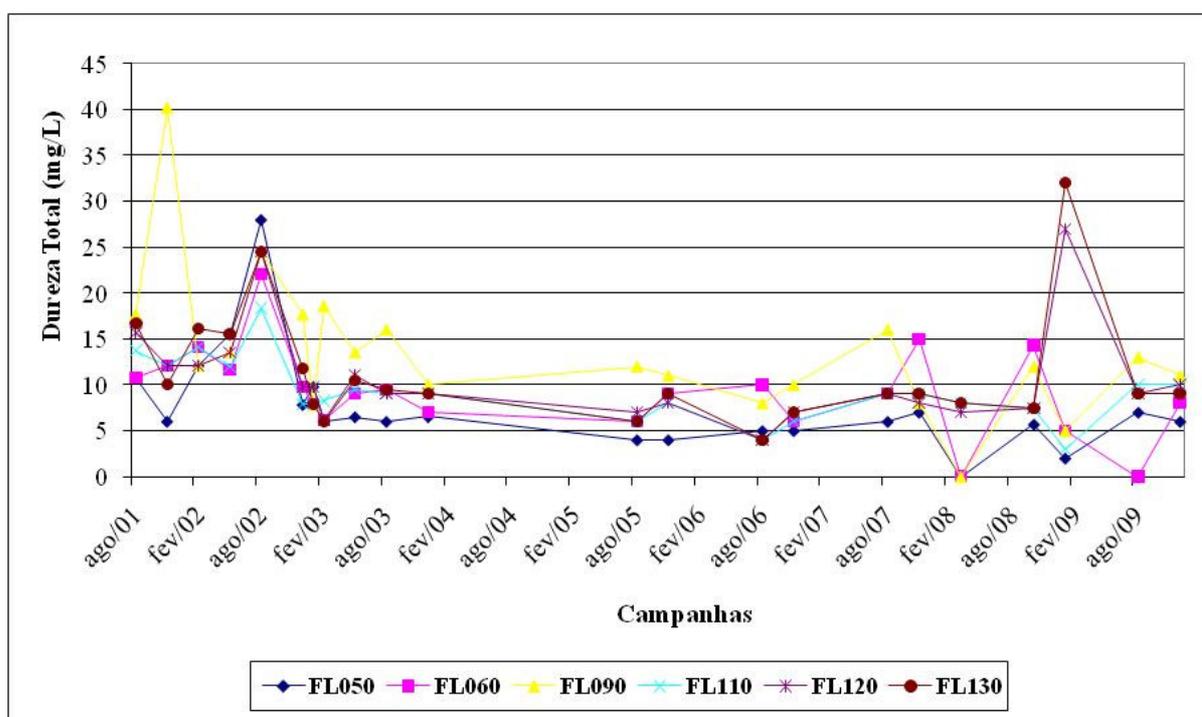
### 6.1.9 Dureza Total

A dureza corresponde à medida de cátions multimetálicos em solução. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os divalentes  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Em condições de supersaturação, esses cátions reagem com ânions na água, formando precipitados. A dureza pode ser classificada como dureza carbonato e dureza não carbonato, dependendo do ânion com a qual ela está associada. A dureza correspondente a alcalinidade é denominada dureza carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ), enquanto as demais formas são caracterizadas como dureza não carbonato. A dureza carbonato é sensível ao calor, precipitando-se em elevadas temperaturas. Sua forma constituinte são os sólidos dissolvidos. A origem natural deste parâmetro está relacionada à dissolução de minerais contendo cálcio e magnésio (rochas calcáreas) enquanto a origem antropogênica está relacionada ao lançamento de despejos industriais (von Sperling, 1996). Quando a concentração desses sais é alta, diz-se que a água é dura, e quando baixa (< 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ), que é mole ou branda.

Ainda de acordo com von Sperling (1996), a dureza é um parâmetro importante na caracterização de águas de abastecimento, brutas e tratadas. Tal fato é justificado uma vez que, em determinadas concentrações, a dureza pode causar um sabor desagradável e pode ter

efeitos laxativos. Além disso, reduz a formação de espuma, implicando em um maior consumo de sabão, e pode, ainda, causar incrustações nas tubulações de água quente, como caldeiras e aquecedores, devido às temperaturas elevadas.

A Figura 6.22 apresenta o gráfico das séries temporais de dureza total em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.9 apresenta alguns dados estatísticos de dureza total de cada ponto de coleta. Ressalta-se que não houve medição deste parâmetro nas campanhas de maio/2005, maio/2006, maio/2007 e julho/2008, em todos os pontos, em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.



**Figura 6.22** - Séries temporais de dureza total nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).

**Tabela 6.9** - Dados estatísticos de dureza total (mg/L) dos pontos de coleta.

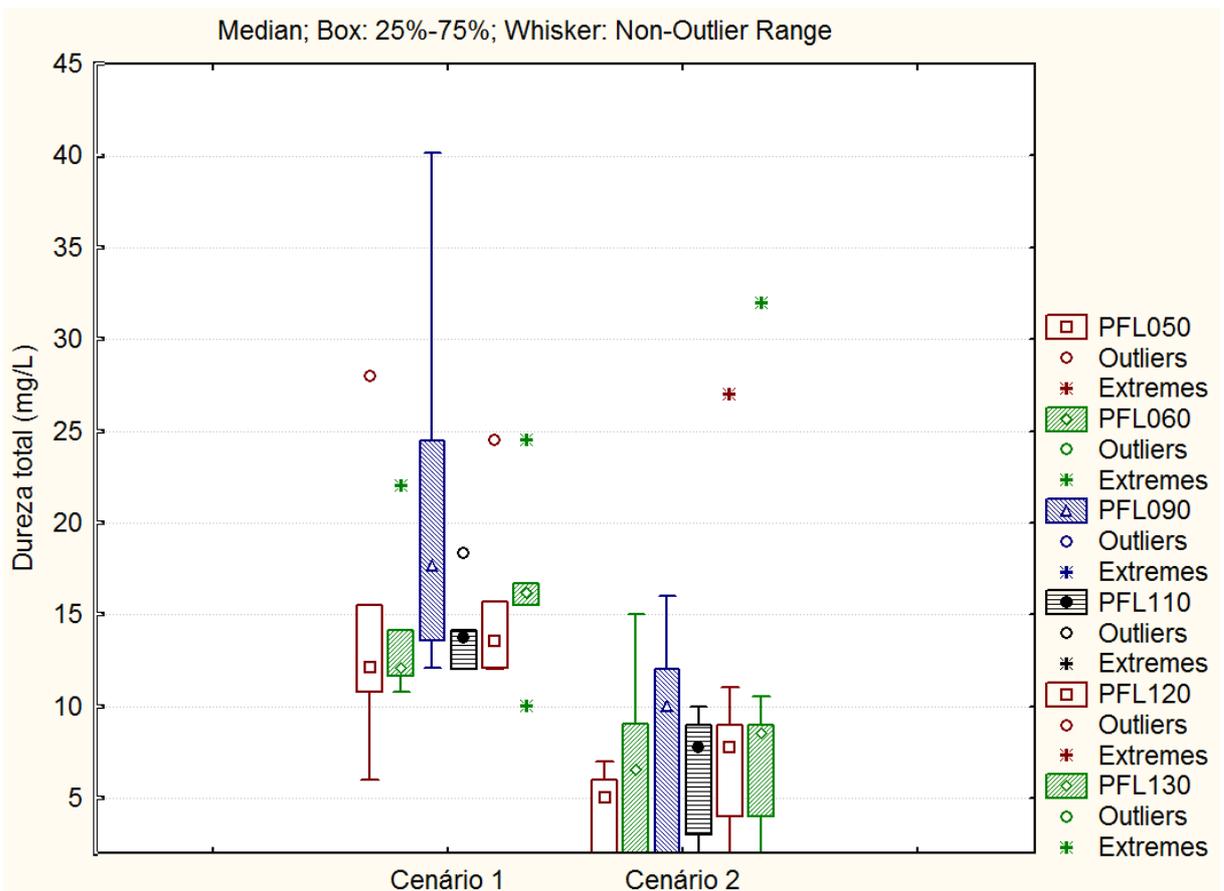
Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	2	15,51	13,51	7,58	5,61	6,02	5,18	7,64
FL060	5	14,3	9,3	9,19	4,83	9,01	6,40	11,42
FL090	5	40,16	35,16	13,53	7,85	12,05	10,01	16
FL110	3	18,36	15,36	9,19	3,40	9	7,85	10
FL120	4	24,48	20,48	10,74	5,51	9,02	7,63	11,79
FL130	4	32	28	11,23	6,45	9	7,89	11,46

A partir da Figura 6.22 e a Tabela 6.9, é possível constatar que as variações ao longo do tempo para a dureza total são muito semelhantes exceto para o ponto FL060 (a partir de agosto/2006) e para o ponto FL090 (todo o período). Os valores obtidos foram baixos, situando-se no intervalo compreendido entre 2 e 40,16 mg/L, classificando as águas no trecho estudado como "moles". Analisando-se as amplitudes obtidas, é possível notar os padrões de variação, sendo a maior obtida para o ponto FL090 e a menor para o ponto FL050. No entanto, os valores médios e de mediana situaram-se próximos, sendo os maiores obtidos para o ponto FL090 e os menores para FL050. Os maiores picos nos valores foram obtidos nos pontos em novembro/2001 (FL090), agosto/2002 (todos os pontos) e janeiro/2009 (FL120 e FL130). Não foi observado um padrão de variação de dureza em relação a sazonalidade. Além disso, não foi observado um comportamento anômalo das séries temporais obtidas, durante o período de enchimento do reservatório.

Os resultados obtidos para o ponto FL090 (rio das Mortes) podem estar relacionados com o aporte de sólidos oriundos das atividades de extração de areia desenvolvidas em seu leito e de lançamento de efluentes sanitários e industriais provenientes das concentrações urbanas, demonstrando condições mais alteradas. Já os melhores valores obtidos para o ponto FL050 (rio Grande) indicam melhores condições ambientais, demonstrando mais uma vez a importância dos reservatórios situados a montante como "grandes bacias de contenção".

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 não estabelece padrões para o parâmetro dureza e, assim, a instalação do barramento em estudo não implica diretamente em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Grande, no âmbito desta legislação. No entanto, a Portaria n°518/GM do Ministério da Saúde, que determina os padrões de potabilidade da água, determina um limite máximo de 500 mg/L para este valor. Todos os resultados estiveram abaixo deste limite, em todas as campanhas.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.23 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro dureza total.



**Figura 6.23** - Variações obtidas para dureza total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.23, observa-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para a dureza total no Cenário 2 (após a construção do barramento) são mais baixas, se concentrando em patamares mais baixos do que no Cenário 1 (ausência do barramento), demonstrando menores valores para este parâmetro (valores medianos mais baixos). Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney. Os resultados demonstraram a existência de diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas variações obtidas para todos os pontos estudados, considerando os cenários 1 e 2 (Figura 6.24).

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)										
By variable Dureza										
Marked tests are significant at $p < ,05000$										
variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	101,0000	175,0000	4,00000	3,055960	0,002244	3,076549	0,002094	5	18	0,000713
PFL060	97,0000	179,0000	8,00000	2,757817	0,005819	2,783375	0,005380	5	18	0,003566
PFL090	99,0000	177,0000	6,00000	2,906888	0,003651	2,924278	0,003453	5	18	0,001724
PFL110	91,0000	185,0000	14,00000	2,310604	0,020855	2,320369	0,020322	5	18	0,019258
PFL120	100,0000	176,0000	5,00000	2,981424	0,002869	2,995517	0,002740	5	18	0,001129
PFL130	99,0000	177,0000	6,00000	2,906888	0,003651	2,928674	0,003404	5	18	0,001724

**Figura 6.24** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro dureza total.

Estes resultados demonstram uma possível influência da implantação do barramento sobre o comportamento deste parâmetro. A diminuição dos valores obtidos para a dureza total pode ser justificada pelo grande efeito diluidor de substâncias advindo da formação do reservatório, tendo em vista o seu grande volume em relação à condição inicial (rio), conforme proposto por von Sperling (1999a). As mesmas considerações foram feitas para a condutividade elétrica, que demonstrou comportamento semelhante.

#### **6.1.10 Oxigênio Dissolvido (OD)**

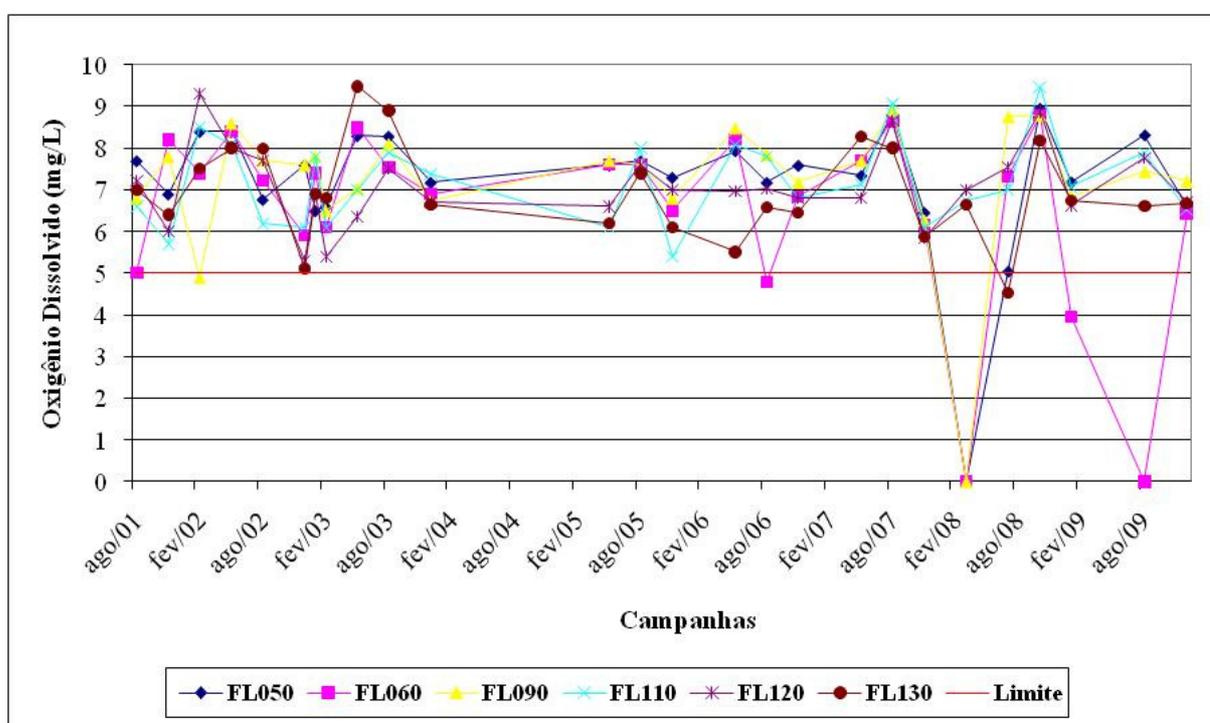
O oxigênio dissolvido nas águas é extremamente importante para os organismos aeróbios e para a manutenção dos processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura, sendo que quanto menor for a temperatura, maior será a concentração de gases na água. A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade, sendo que a taxa de reaeração superficial em uma cascata (queda d'água) é maior do que a de um rio de velocidade normal, que por sua vez apresenta taxa superior à de uma represa, com a velocidade normalmente bastante baixa (CETESB, 2009).

Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Em geral, esta fonte não é muito significativa nos trechos de rios à jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e a cor elevadas dificultam a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. A contribuição fotossintética de oxigênio só é expressiva após grande parte da atividade bacteriana na decomposição de matéria orgânica ter ocorrido, bem como após terem se desenvolvido também os protozoários que, além de decompositores, consomem bactérias clarificando as águas e permitindo a penetração de luz (von Sperling, 1996; CETESB, 2009).

Num corpo d'água eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode “mascarar” a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de oxigênio dissolvido. Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação. No entanto, um corpo d'água

com crescimento excessivo de algas pode apresentar, durante o período diurno, concentrações de oxigênio bem superiores a 10 mg/L, mesmo em temperaturas superiores a 20°C, caracterizando uma situação de supersaturação. Isto ocorre principalmente em ambientes de baixa velocidade da água, nos quais podem se formar crostas verdes de algas à superfície (CETESB, 2009).

A Figura 6.25 apresenta o gráfico das séries temporais de oxigênio dissolvido em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.10 apresenta alguns dados estatísticos para este parâmetro em cada ponto de coleta. Cumpre ressaltar a ausência de coletas nos pontos FL050 (março/2008), FL060 (março/2008 e agosto/2009) e FL 090 (março/2008), justificando os valores iguais a zero.



**Figura 6.25** - Séries temporais de oxigênio dissolvido nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados ausentes (não medidos).

**Tabela 6.10** - Dados estatísticos de oxigênio dissolvido (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	5,05	8,96	3,91	7,18	1,70	7,47	7	8,20
FL060	3,95	8,80	4,85	6,50	2,26	7,28	6	7,68
FL090	4,9	8,92	4,02	7,20	1,72	7,60	7	7,84
FL110	5,4	9,47	4,07	7,18	1,04	7,05	6	7,90
FL120	5,3	9,30	4,00	7,09	0,96	6,99	7	7,59
FL130	4,52	9,48	4,96	6,94	1,14	6,71	6	7,86

A partir da Figura 6.25 e a Tabela 6.10, é possível constatar que os valores obtidos, em geral, demonstraram águas bem oxigenadas, com valores médios, medianos e de amplitude muito próximos. Os valores obtidos situaram-se no intervalo compreendido entre 3,95 e 9,48 mg/L. Em geral, os maiores valores foram obtidos nos períodos mais frios, seguindo o proposto na Lei de Henry, e nos meses que correspondem à estação seca, sendo os picos amostrais obtidos em fevereiro/2002, maio/2003, agosto/2005, maio/2006, agosto/2007, outubro/2008 e agosto/2009. Por outro lado a maioria dos menores valores foram obtidos em meses geralmente mais quentes, nas estações chuvosas, ou seja, em agosto/2001 (exceção), novembro/2001, dezembro/2002, novembro/2005, agosto/2006 (exceção), novembro/2007, julho/2008 (exceção) e janeiro/2009. As exceções foram obtidas para os pontos FL050 (julho/2008), FL060 (agosto/2001 e agosto/2006) e FL130 (julho/2008).

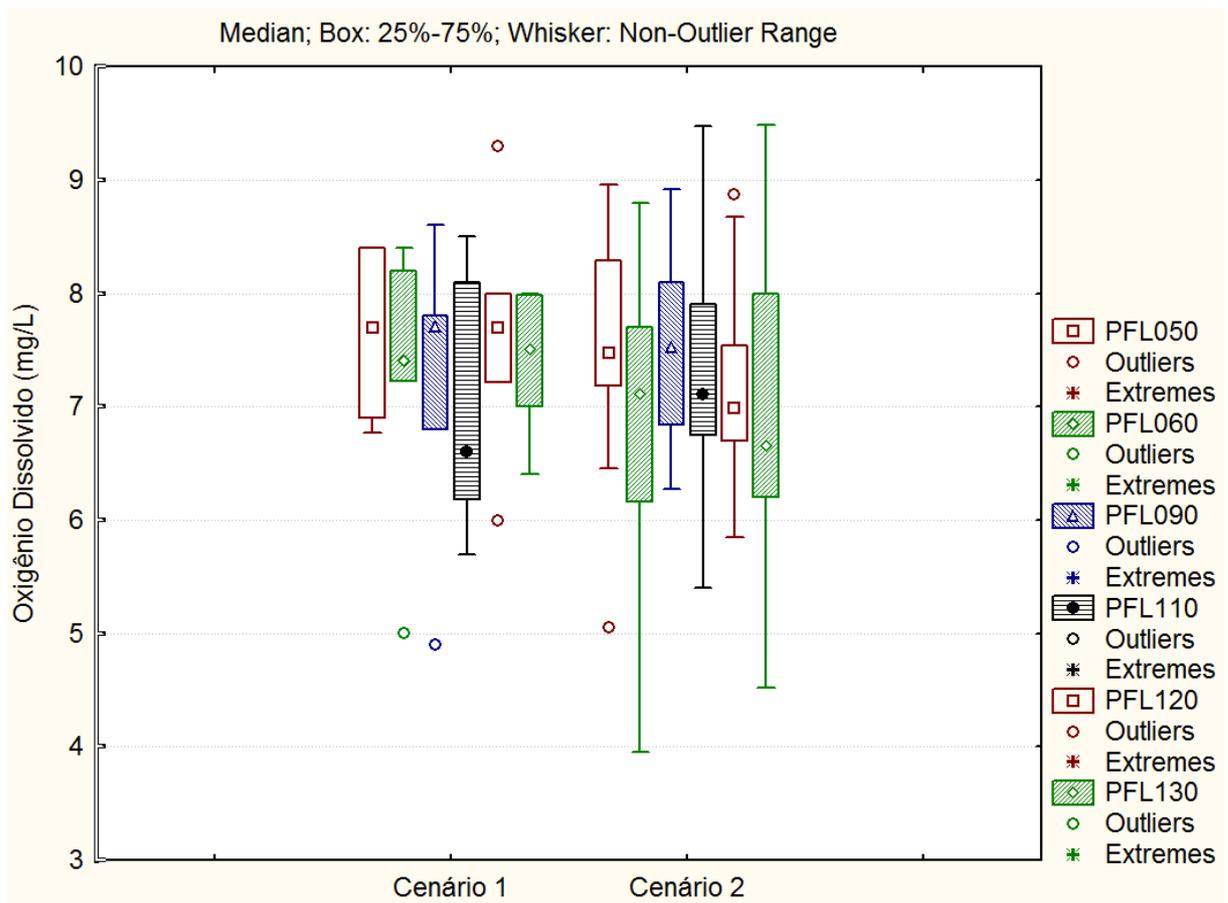
As variações sazonais obtidas para o oxigênio dissolvido podem ser explicadas pelo fato de que no período chuvoso, normalmente há um maior aporte de matéria orgânica para a água, proveniente do escoamento superficial na bacia de drenagem. O processo de decomposição desta matéria orgânica em excesso no meio aquático, realizado pelas bactérias aeróbias, se intensifica, havendo uma diminuição direta nos níveis de oxigênio dissolvido. Fonseca e Salvador (2003 apud Ruas, 2006), ao analisarem a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Bonito, Descalvado/SP, observaram a diminuição dos teores de oxigênio dissolvido durante a estação chuvosa (verão), em relação aos teores de estiagem (inverno). Segundo os autores, esta constatação pode ser explicada tanto pela Lei de Henry, quanto pelo consumo de oxigênio pela matéria orgânica carregada da lavagem da superfície do solo pelas águas pluviais.

Ressaltam-se os baixos valores de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL060 (rio Capivari) ao longo dos períodos amostrais. Conforme discutido no tópico 5.1.3, este local recebe as águas provenientes de áreas extensas de pastagens destinadas a pecuária e pequenas concentrações urbanas. Dessa maneira, a partir do carreamento de matéria orgânica para os rios e lançamento de efluentes, há uma diminuição nas concentrações de oxigênio dissolvido devido ao processo de decomposição desta carga orgânica. Já os baixos valores obtidos nos pontos FL050 (rio Grande, remanso do reservatório) e FL130 (rio Grande, jusante do barramento) na campanha de julho/2008 (5,05 e 4,52 mg/L, respectivamente) foram considerados atípicos, o que poderia indicar algum evento pontual de poluição por matéria orgânica neste período. Destaca-se ainda a diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido nos meses que compreendem a etapa de enchimento do reservatório

(dezembro/2002 a fevereiro/2003), justificada pelos processos de decomposição do incremento de matéria orgânica na água, decorrente da inundação de novas áreas.

Em relação ao atendimento do padrão estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, foram encontrados valores abaixo do limite permitido (5,0 mg/L) nos pontos FL 060 (3,95 mg/L, agosto/2006), FL090 (4,9 mg/L, fevereiro/2002) e FL130 (4,52 mg/L, julho/2008). Os valores obtidos para os pontos FL090 e FL130 ainda encontram-se muito próximos do limite legal, apesar de estarem abaixo dele. Já o valor obtido para o ponto FL060 é mais preocupante, uma vez que esta concentração de oxigênio dissolvido é muito baixa, podendo comprometer a biota aquática. Essas ocorrências foram pontuais, podendo estar relacionadas com a degradação de matéria orgânica proveniente de despejos líquidos. De qualquer maneira, deve-se atentar para estas ocorrências levando em consideração que efluentes líquidos podem conter organismos patogênicos, trazendo riscos para a saúde humana, restringindo assim os usos da água sem tratamento prévio, como por exemplo, a recreação. Este fato se torna ainda mais crítico tendo em vista a existência de praias artificiais no entorno do reservatório, principalmente em Macaia, bem como as práticas de esportes náuticos desenvolvidas no reservatório.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.26 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro oxigênio dissolvido.



**Figura 6.26** - Variações obtidas para oxigênio dissolvido, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.26, não são observadas grandes variações ("boxplots": 25%-75%) nos valores obtidos para o oxigênio dissolvido entre os dois Cenários analisados. A única diferença pode ser observada nos valores extremos, sendo constatados valores máximos mais elevados e valores mínimos mais baixos, ambos no Cenário 2 (após a formação do reservatório). Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças do ponto de vista estatístico. Dessa maneira, não foram observadas interferências positivas ou negativas da instalação dos barramentos sobre o parâmetro oxigênio dissolvido.

É provável que as pequenas diferenças observadas sejam reflexo da evolução dos usos do solo na bacia de contribuição, principalmente em virtude da contribuição de matéria orgânica por esgotos domésticos e industriais, bem como pelos dejetos das atividades agropecuárias desenvolvidas no entorno do reservatório. pode-se inferir que a presença de algas fotossintetizantes tenha contribuído para os valores mais elevados encontrados e que a biodegradação da matéria orgânica, aliada a ocorrência de maiores temperaturas, sejam a causa dos menores valores. Segundo Esteves (1998), os níveis de oxigênio dissolvido estão

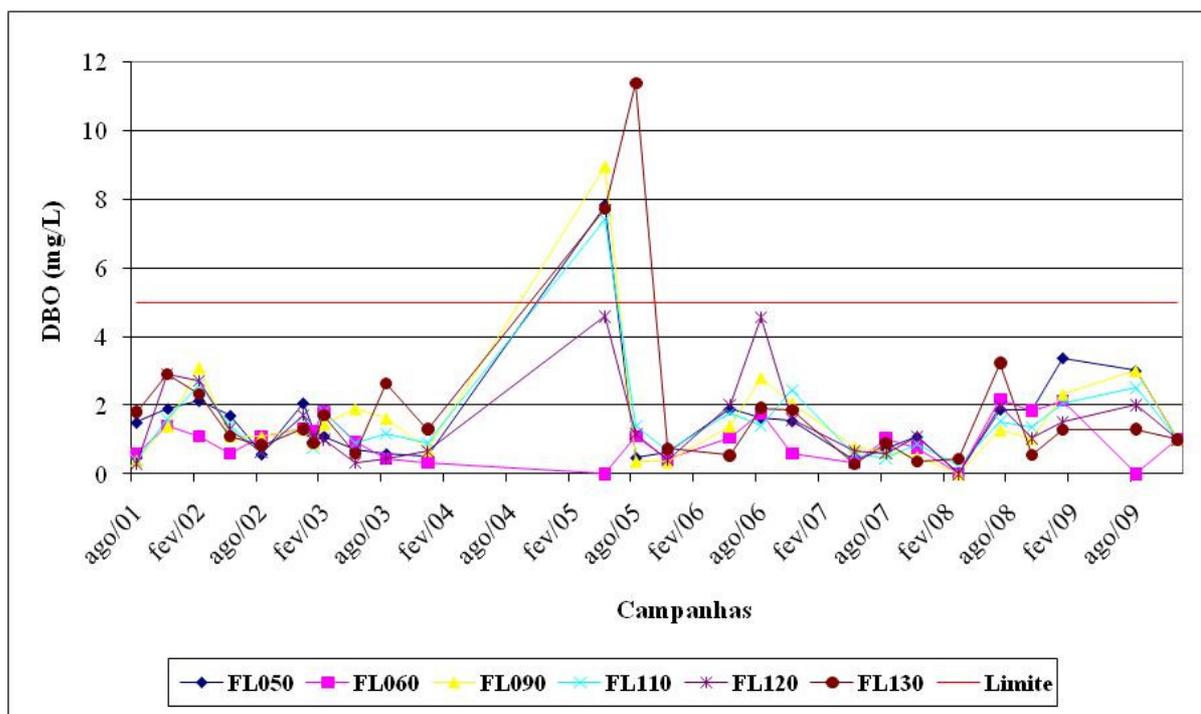
diretamente relacionados com a concentração de matéria orgânica e a temperatura, ou seja, quanto maior a quantidade de matéria orgânica em um meio também com a temperatura elevada, menores tendem a ser os níveis de oxigênio dissolvido.

Ruas (2006), ao estudar a qualidade da água do rio Pomba, face à implantação de três barramentos em cascata, concluiu que as variações obtidas para oxigênio dissolvido estariam relacionadas principalmente à degradação da matéria orgânica oriunda de contribuições externas. Honorato (2008) ao estudar a qualidade da água do rio Preto, antes durante e após a implantação da AHE Queimado, em Unaí/MG, também observou que o OD no reservatório sofria mais influência da decomposição da matéria orgânica presente na água.

### **6.1.11 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO<sub>5,20</sub>. Os maiores aumentos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática. Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da microflora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e, ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água (CETESB, 2009).

A Figura 6.27 apresenta o gráfico das séries temporais de DBO em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.11 apresenta alguns dados estatísticos para este parâmetro em cada ponto de coleta. Cumpre ressaltar a ausência de coletas nos pontos FL050 (março/2008), FL060 (março/2008 e agosto/2009) e FL 090 (março/2008) e FL120 (março/2008), justificando os valores iguais a zero. Ressalta-se que na coleta de maio/2005, no ponto FL060, a DBO não foi detectada, o que pode ter sido ocasionado por possíveis erros de medição desta amostra.



**Figura 6.27** - Séries temporais de demanda bioquímica de oxigênio nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).

**Tabela 6.11** - Dados estatísticos de DBO (mg/L) dos pontos de coleta.

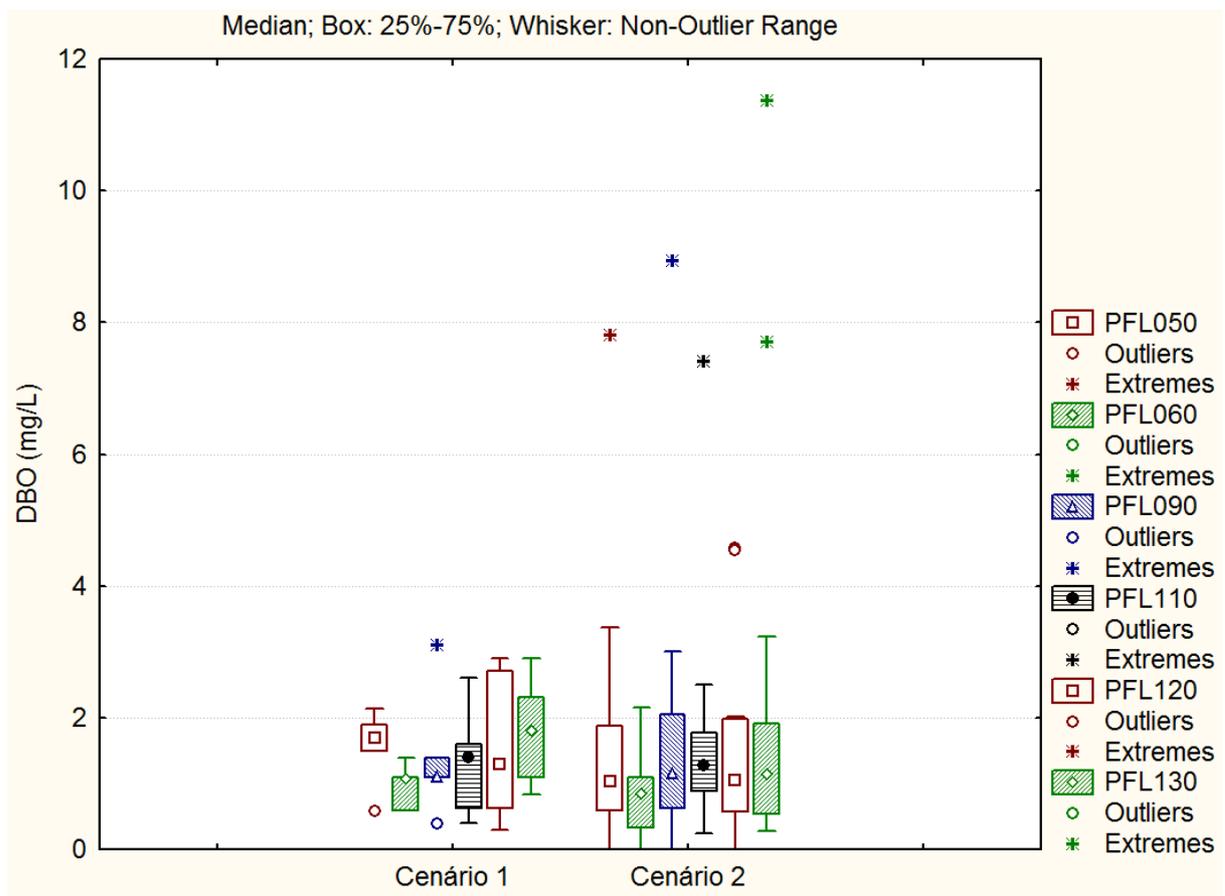
Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0,4	7,81	7,42	1,59	1,50	1,37	0,65	1,89
FL060	0,0	2,16	2,16	0,96	0,63	1,02	0,48	1,30
FL090	0,4	8,94	8,59	1,59	1,71	1,19	0,71	1,83
FL110	0,3	7,41	7,16	1,52	1,37	1,38	0,78	1,76
FL120	0,3	4,58	4,28	1,43	1,18	1,08	0,64	1,91
FL130	0,3	11,37	11,34	1,96	2,42	1,29	0,76	1,91

A partir da análise da Figura 6.27 e da Tabela 6.11, constata-se o padrão de variação muito semelhante ao longo do tempo, considerando os pontos analisados. Constata-se também que apenas durante as campanhas de maio/2005 e agosto/2005, os resultados obtidos para a DBO nos pontos FL050, FL090, FL110 e FL130 ultrapassaram o limite estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, equivalente a 5 mg/L. Estes valores foram condizentes com os valores obtidos para o oxigênio dissolvido nos pontos FL110 e FL130 apenas para maio 2005, quando foi observada uma queda nos níveis de oxigênio nos dois pontos. No entanto, em agosto de 2005 os valores voltaram a subir, havendo pequena queda em novembro/2005 para valores inferiores, o que pode ser reflexo da decomposição desta carga orgânica ao longo do tempo, representada pelos baixos valores de DBO em novembro/2005. Outros picos de DBO, acima de 4 mg/L, contudo, abaixo do limite estabelecido pela

legislação, também foram obtidos para o ponto FL120, em maio de 2005 e agosto de 2006, não tendo sido observados reflexos nas concentrações de oxigênio dissolvido nestes períodos. Dessa maneira, não foi possível identificar uma fonte de poluição constante que explicasse as variações encontradas. Vale salientar que no caso da DBO, não foram observados efeitos significativos decorrentes da sazonalidade, uma vez que foram encontrados valores altos e baixos em períodos secos e chuvosos.

Ressalta-se que, diferente do comportamento esperado, não foram identificados efeitos do enchimento do reservatório (dezembro/2002 a fevereiro/2003) sobre as concentrações de DBO relacionadas a inundação de áreas contendo biomassa vegetal. Este fato pode estar relacionado com a baixa quantidade de matéria vegetal que existia nas áreas que foram inundadas (predominância de pastagens e áreas de cultivo) ou, ainda, com as ações de desmate (retirada de espécies arbóreas) e limpeza da bacia de acumulação, realizadas antes do enchimento do reservatório.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.28 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro DBO.



**Figura 6.28** - Variações obtidas para a DBO, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.28, não são observadas variações ("boxplots": 25%-75%) significativas nos valores obtidos para a DBO entre os dois Cenários analisados. As variações são muito semelhantes, apesar dos valores medianos ligeiramente mais baixos obtidos para o Cenário 2 (após a construção do barramento). Esta última condição, segundo Fia (2008), pode estar relacionada com um ligeiro aumento nas taxas de decomposição de matéria orgânica em ambientes lânticos, devido ao maior tempo de residência da água, originando maior tempo para os organismos decompositores para degradar a matéria orgânica, como observado em alguns sistemas alagados de tratamento de esgoto.

De qualquer maneira, para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas existências significativas do ponto de vista estatístico. Dessa maneira, conclui-se que não houve interferências positivas ou negativas da instalação dos barramentos sobre o parâmetro DBO. De um modo geral, as águas estudadas apresentaram baixas concentrações de DBO, com eventuais episódios de poluição, provavelmente decorrente de despejos sanitários e poluição difusa (atividades agropecuárias). Além disso, os resultados indicam

uma boa capacidade de diluição e assimilação de poluentes pelo reservatório, discutida anteriormente no item 5.7 (capítulo 5).

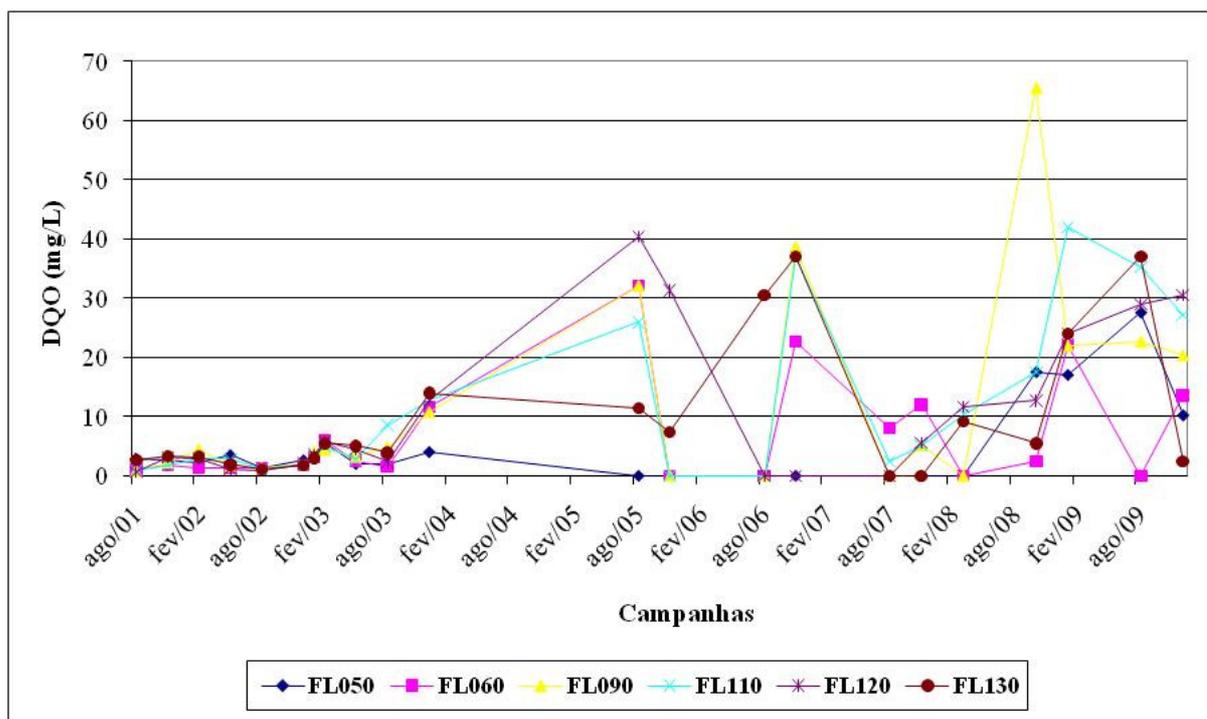
Cumprе ressaltar a existência de estudos que demonstram relações entre a implantação de barramentos e a concentração de DBO nos corpos hídricos, comportamento diferente do observado neste trabalho. Ruas (2006) e Honorato (2008) encontraram relações diretas entre a implantação de barramentos e a concentração de DBO nos corpos hídricos estudados, demonstrando valores mais baixos após a formação do reservatório.

#### **6.1.12 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. Os valores da DQO são maiores que os da DBO<sub>5,20</sub>, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água deve-se principalmente a despejos de origem industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais (CETESB, 2009).

A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO. Como na DBO mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais biodegradável será o efluente. É comum aplicar-se tratamentos biológicos para efluentes com relações DQO/DBO<sub>5,20</sub> de 3/1, por exemplo. Mas valores muito elevados desta relação indicam grandes possibilidades de insucesso, uma vez que a fração biodegradável torna-se pequena, tendo-se ainda o tratamento biológico prejudicado pelo efeito tóxico sobre os microrganismos exercido pela fração não biodegradável (CETESB, 2009).

A Figura 6.29 apresenta o gráfico das séries temporais de DQO em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.12 apresenta alguns dados estatísticos de DQO de cada ponto de coleta. Ressalta-se que não houve coletas para este parâmetro em maio/2005, maio/2006, maio/2007 e julho/2008. Além disso, não foi possível a realização das coletas em março/2008, para os pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, para o ponto FL060.



**Figura 6.29** - Séries temporais de demanda química de oxigênio nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).

**Tabela 6.12** - Dados estatísticos de DQO (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	27,5	27,5	4,72	7,14	2,4	0	3,88
FL060	0	32,14	32,14	6,65	8,89	2,1	1,3	10,7
FL090	0	65,6	65,6	11,22	16,52	4,25	1,48	18
FL110	0	42	42	11,24	13,39	4,35	2,13	16,33
FL120	0	40,42	40,42	10,23	12,45	4,01	1,43	12,78
FL130	0	37,03	37,03	9,53	11,67	4,48	2,53	10,83

A partir da análise da Figura 6.29, constata-se o padrão de variação muito semelhante para todos os pontos até agosto/2003. Em dezembro/2003, há o início de uma elevação nos valores, sendo atingidos picos de DQO em agosto/2005, nos pontos FL060, FL090, FL110 e FL120, e novamente em novembro/2006, nos pontos FL060, FL090, FL110 e FL130. Já no período entre agosto/2007 e outubro/2008, são observados valores mais baixos nas concentrações de DQO, com exceção do ponto FL090 que apresentou o maior pico (outubro/2008) considerando todas as séries temporais. E novamente em janeiro/2009 e agosto/2009 há um aumento nas concentrações obtidas para a DQO, sendo observada uma tendência de queda em dezembro/2009. As variações se situaram entre 0 (valores não detectados/abaixo dos limites de detecção) e 65,6 mg/L.

Cumprе ressaltar que não foi observado um comportamento anômalo das séries temporais obtidas, durante o período de enchimento do reservatório. Além disso, não foram observados efeitos significativos de sazonalidade sobre as variações obtidas, tendo sido encontrados picos amostrais nos períodos secos (agosto/2005, outubro/2008 e agosto/2009) e chuvosos (novembro/2006 e janeiro/2009).

Analisando-se a Tabela 6.12, os maiores valores medianos e médios foram obtidos para os pontos FL090, FL110, FL120 e FL130, demonstrando comportamentos muito semelhantes para estes pontos. Já os pontos FL050 e FL060 apresentaram os menores valores médios e medianos, também demonstrando variações semelhantes. As maiores amplitudes foram obtidas para os pontos FL090, FL110 e FL120.

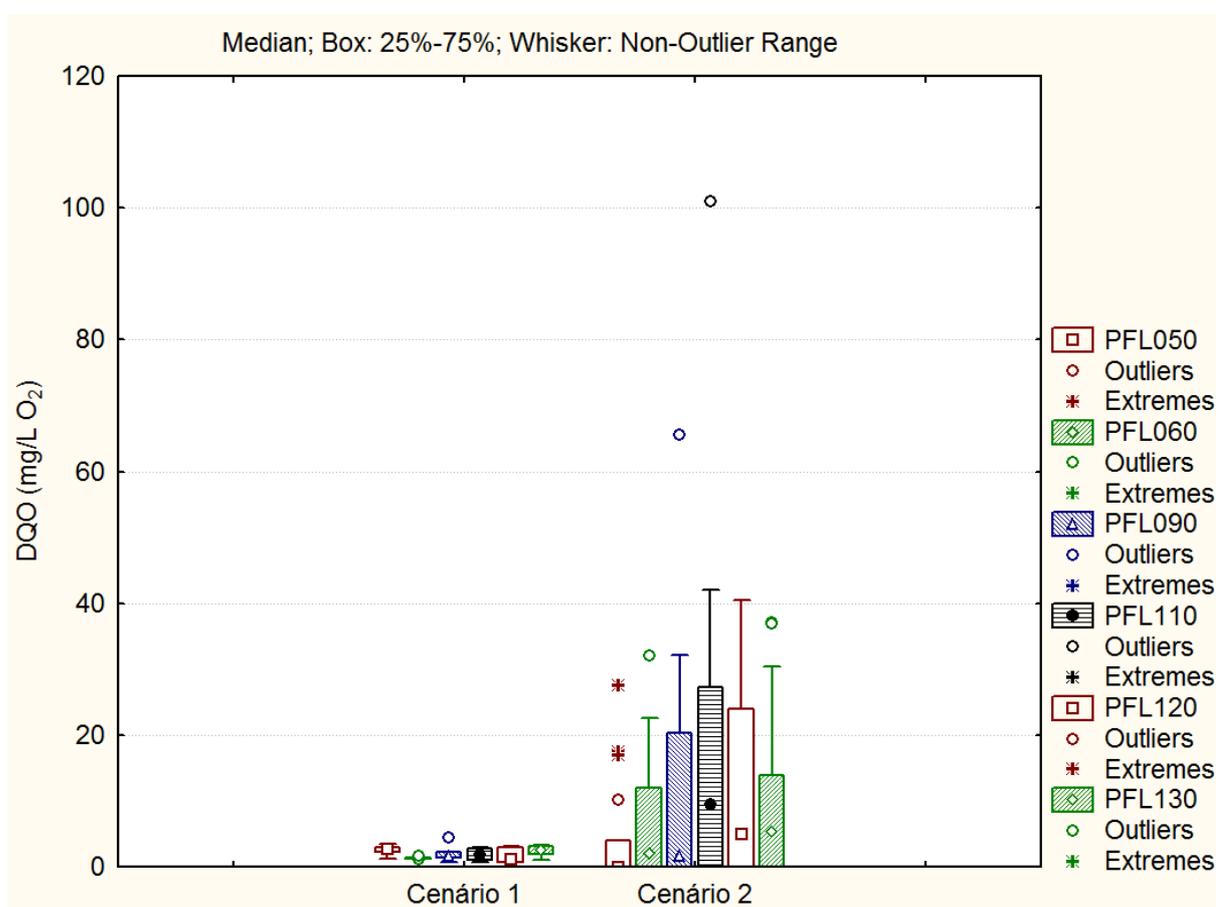
As variações obtidas para a DQO são semelhantes ao padrão de comportamento observado para a DBO. No caso da DBO também foram observados picos amostrais em agosto/2005, novembro/2006 e, em menor escala, no período compreendido entre julho/2008 e agosto/2009. Isso pode estar relacionado com a intensificação de alguma fonte poluidora, a partir de agosto/2005, provavelmente relacionada com o lançamento de efluentes industriais. Segundo dados do IGAM (2010), conforme discutido anteriormente, as atividades industriais são desenvolvidas em toda a bacia do rio Grande, especialmente as do ramo alimentício (abatedouros e laticínios), destacando-se ainda as indústrias químicas e fabricação de fertilizantes fosfatados nos municípios de Varginha, Uberaba e Poços de Caldas, e as indústrias metalúrgicas na sub-bacia do rio das Mortes e Verde. Além disso, as concentrações urbanas existentes no entorno do reservatório, notadamente Ijaci e Macaia, também contribuem com o lançamento de efluentes sanitários e industriais (tratados e brutos).

Para os usos múltiplos das águas, as maiores restrições referentes à ocorrência de picos de DQO estariam relacionadas ao uso das águas para abastecimento, recreação e irrigação, uma vez que altas concentrações de DQO, normalmente oriundas de despejos industriais, podem indicar indiretamente a existência de toxicidade (presença de substâncias químicas) na água. Ressalta-se a existência do ponto de captação da COPASA, para o abastecimento do município de Perdões, próximo do ponto FL130 (jusante do barramento), onde foram observados alguns dos picos de DQO.

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 não estabelece padrões para o parâmetro DQO e, assim, a instalação do barramento em estudo não implica diretamente em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos,

das águas do rio Grande, no âmbito desta legislação. No entanto, segundo a UNESCO/WHO/UNEP (1996), as concentrações de DQO em águas superficiais normalmente variam entre 20 mg/L, ou menos, em águas não poluídas, e 200 mg/L, em águas recebendo efluentes. Os valores encontrados no estudo de caso demonstram águas levemente alteradas por despejos, tendo em vista que na maior parte do tempo elas se classificam como águas não alteradas (valores médios e medianos muito baixos).

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.30 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro DQO.



**Figura 6.30** - Variações obtidas para a DQO, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.30, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para o Cenário 2 (após a construção do barramento) são bem maiores que as variações obtidas no Cenário 1 (ausência de barramento). No entanto, os valores medianos observados na Tabela 6.14 são muito próximos, considerando todo o período amostral avaliado. De qualquer maneira, para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os

Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças significativas do ponto de vista estatístico.

Portanto, não foram observadas interferências positivas ou negativas da instalação dos barramentos sobre o parâmetro DQO. O que pode explicar o comportamento encontrado para este parâmetro é a própria evolução dos usos do solo na bacia hidrográfica, considerando o surgimento de novas fontes potenciais de poluição como a implantação de indústrias, conforme discutido anteriormente. Ruas (2006) também não encontrou relações diretas entre a implantação de barramentos e a concentração de DQO nos corpos hídricos estudados, associando os padrões de variação encontrados aos usos do solo na bacia de contribuição.

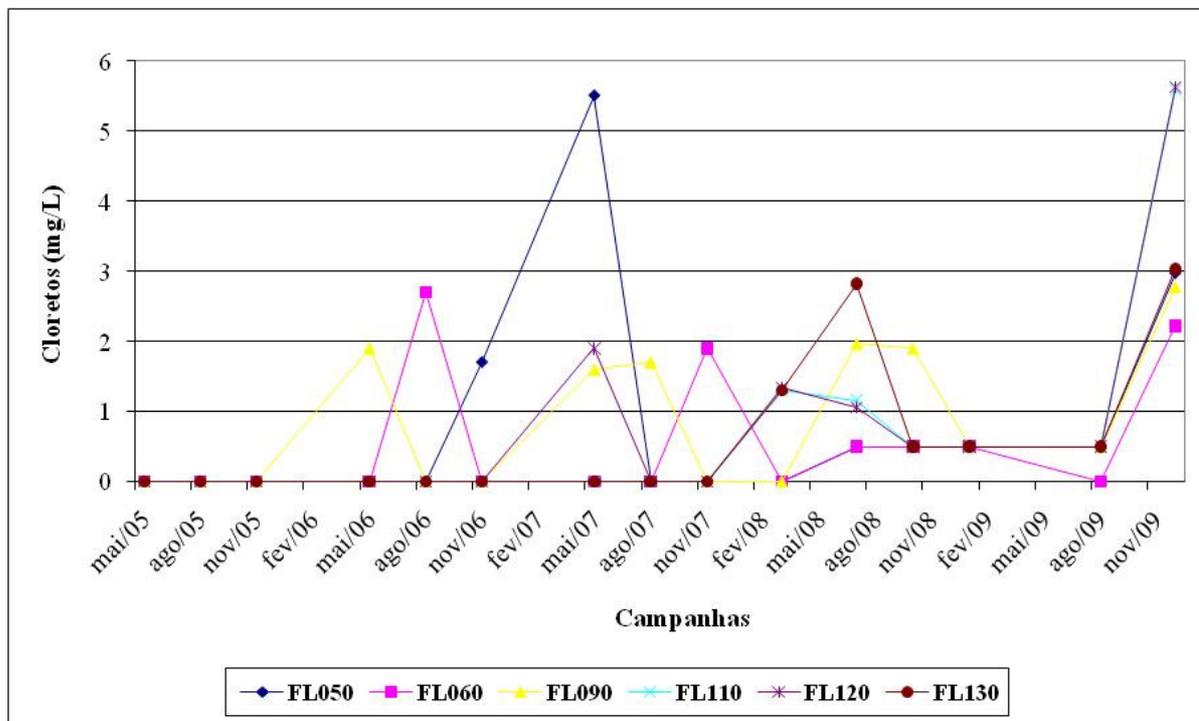
### **6.1.13 Cloretos**

O cloreto é o ânion  $\text{Cl}^-$  que se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais, são fontes importantes de cloreto as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 4 g de cloreto por dia, que representam cerca de 90 a 95% dos excretos humanos. O restante é expelido pelas fezes e pelo suor. Tais quantias fazem com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam 15 mg/L. Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes etc. Nas regiões costeiras, através da chamada intrusão da cunha salina, são encontradas águas com níveis altos de cloreto. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água (CETESB, 2009).

O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto no caso da deficiência no metabolismo de cloreto de sódio, por exemplo, na insuficiência cardíaca congestiva. A concentração de cloreto em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor “salgado” na água. Concentrações acima de 250 mg/L causam sabor detectável na água, mas o limite depende dos cátions associados. A Portaria 518/04 do Ministério da Saúde estabelece o valor máximo de 250 mg/L de cloreto na água potável como padrão de aceitação de consumo (CETESB, 2009).

A Figura 6.31 apresenta o gráfico das séries temporais de cloretos em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.13 apresenta alguns dados estatísticos de cloretos de cada ponto de coleta. Ressalta-se que este parâmetro só passou a ser

amostrado a partir de maio de 2005 e, portanto, não foi possível analisar potenciais influências advindas da implantação do barramento sobre o comportamento deste parâmetro. Cumpre ressaltar a ausência de coletas nos pontos FL050 (março/2008), FL060 (março/2008 e agosto/2009) e FL090 (março/2008).



**Figura 6.31** - Séries temporais de cloretos nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).

**Tabela 6.13** - Dados estatísticos de cloretos (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	5,50	5,50	0,81	1,54	0	0	0,50
FL060	0	2,70	2,70	0,55	0,92	0	0	0,50
FL090	0	2,78	2,78	0,86	0,99	0,5	0	1,80
FL110	0	5,59	5,59	0,80	1,44	0	0	0,50
FL120	0	5,63	5,63	0,76	1,47	0	0	0,78
FL130	0	3,03	3,03	0,58	1,02	0	0	0,50

A partir da análise da figura 6.31, percebem-se as concentrações baixíssimas de cloreto dissolvido nos pontos estudados, com a ocorrência de níveis perceptíveis nos seguintes períodos: maio/2006 (FL090), agosto/2006 (FL060), novembro/2006 (FL050), maio/2007 (FL050, FL090 e FL120), agosto/2007 (FL090), novembro/2007 (FL060), março/2008 (todos os pontos analisados) e a partir de julho/2008 até o fim do período de monitoramento (em todos os pontos monitorados). Estes resultados demonstram a ocorrência de níveis acima do

limite de detecção apenas em 50% dos períodos estudados. Além disso, os valores encontrados não ultrapassaram os 6 mg/L, situando-se entre 0 e 5,63 mg/L.

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 e a Portaria n° 518/2004 do Ministério da Saúde estabelecem como limite máximo, considerando águas de Classe 2, a concentração de 250 mg/L. No entanto, todos os valores obtidos encontram-se muito abaixo deste limite. Assim, a instalação do barramento em estudo não implica diretamente em alterações na qualidade da água referentes a este parâmetro que comprometam os usos, atuais e pretendidos, das águas do rio Grande, no âmbito destes padrões legais.

Os valores obtidos podem ser oriundos do processo natural de dissolução de rochas e solos bem como da poluição pontual ocasionada pelo lançamento de despejos domésticos e/ou industriais (von Sperling, 1996). Esses baixos valores indicam, mais uma vez, a boa capacidade de diluição e assimilação de poluentes advinda do grande volume do reservatório, bem como o baixo grau de alteração de suas águas.

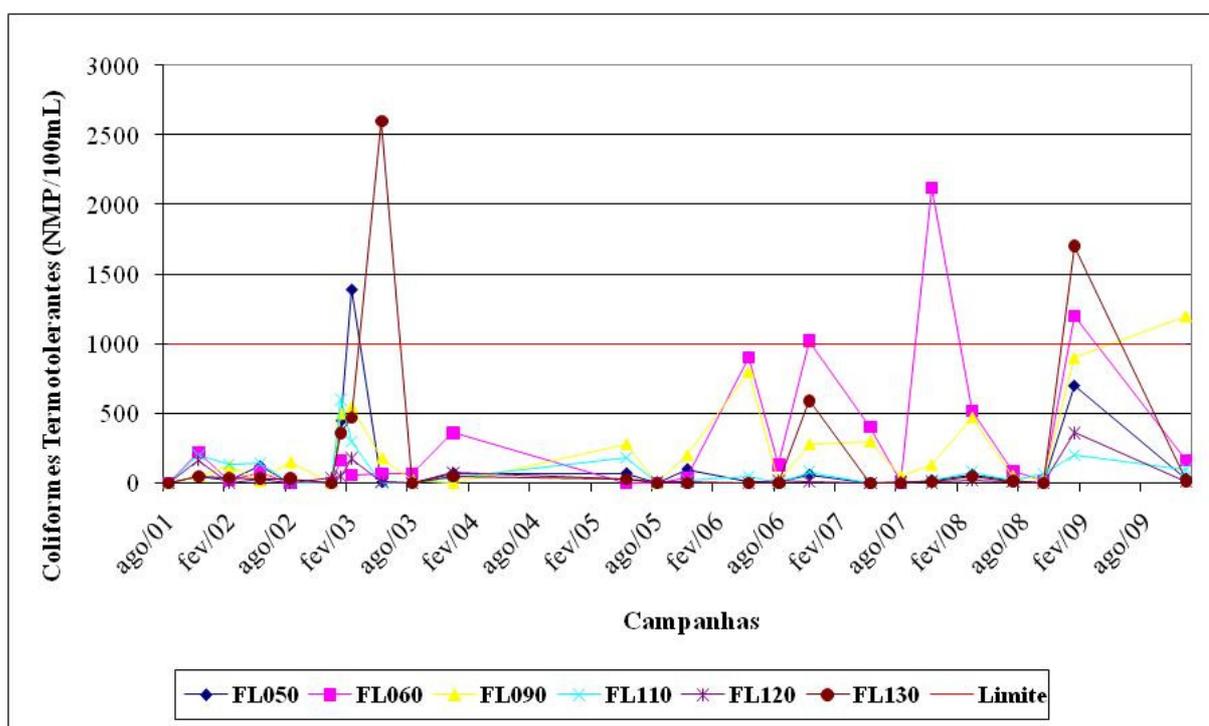
#### **6.1.14 Coliformes Termotolerantes**

São definidos como microrganismos do grupo coliforme capazes de fermentar a lactose a 44-45°C, sendo representados principalmente pela *Escherichia coli* e, também por algumas bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*. Dentre esses microrganismos, somente a *E. coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros, sendo raramente encontrada na água ou solo que não tenham recebido contaminação fecal. Os demais podem ocorrer em águas com altos teores de matéria orgânica, como por exemplo, efluentes industriais, ou em material vegetal e solo em processo de decomposição. Podem ser encontrados igualmente em águas de regiões tropicais ou sub-tropicais, sem qualquer poluição evidente por material de origem fecal. Entretanto, sua presença em águas de regiões de clima quente não pode ser ignorada, pois não pode ser excluída, nesse caso, a possibilidade da presença de microrganismos patogênicos (CETESB, 2009).

Os coliformes termotolerantes não são, dessa forma, indicadores de contaminação fecal tão bons quanto a *E. coli*, mas seu uso é aceitável para avaliação da qualidade da água. São disponíveis métodos rápidos, simples e padronizados para sua determinação, e, se necessário, as bactérias isoladas podem ser submetidas a diferenciação para *E. coli*. Além disso, na legislação brasileira, os coliformes fecais são utilizados como padrão para qualidade

microbiológica de águas superficiais destinadas ao abastecimento, recreação, irrigação e piscicultura (CETESB, 2009). Segundo von Sperling (1996), este parâmetro é expresso pelo Número Mais Provável (NMP) de coliformes fecais ou termotolerantes, por unidade de 100 mL de água.

A Figura 6.32 apresenta o gráfico das séries temporais de coliformes termotolerantes em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.14 apresenta alguns dados estatísticos de coliformes termotolerantes de cada ponto de coleta. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas nas campanhas de fevereiro/2002 (ponto FL120) e agosto/2009 (todos os pontos).



**Figura 6.32** - Séries temporais de coliformes termotolerantes nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos).

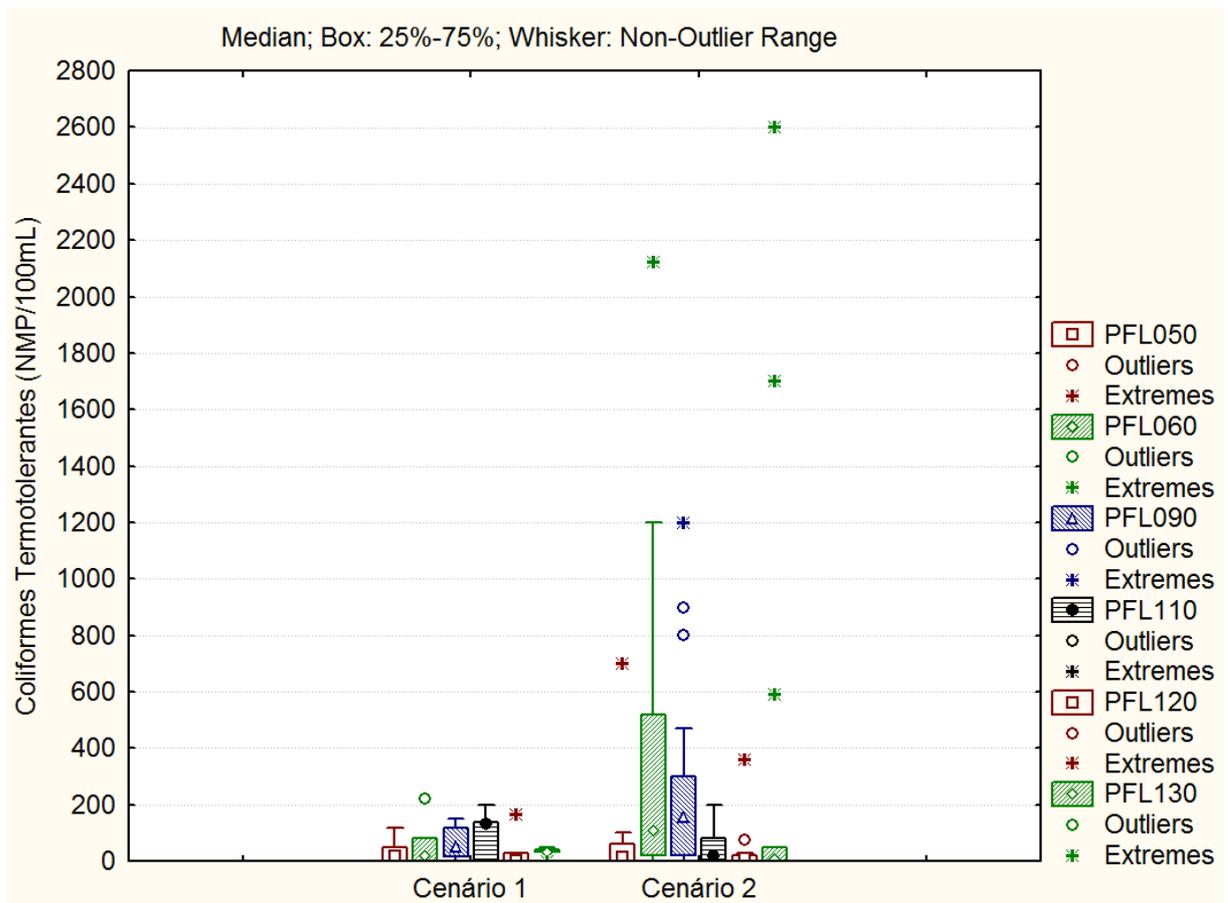
**Tabela 6.14** - Dados estatísticos de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	1392	1392	127,9	307,4	20	2	70
FL060	0	2120	2120	317,8	513,5	83	20	370
FL090	0	1200	1200	251,5	320,3	130	22	300
FL110	0	600	600	89,4	133,7	40	2	132
FL120	0	360	360	41,3	80,9	10	4	30
FL130	0	2600	2600	241,8	608,9	15	0	50

Analisando-se a Figura 6.32, constata-se que as séries temporais obtidas são muito semelhantes, tendo em vista as oscilações entre "picos" e "vales" amostrais. Os maiores valores foram obtidos principalmente no período chuvoso, quais sejam fevereiro/2003, maio/2003 (exceção), dezembro/2003, maio/2006 (exceção), novembro/2006, novembro/2007, janeiro/2009 e dezembro/2009. Estes resultados demonstram a influência das precipitações no aumento do escoamento superficial, aumentando assim o aporte de solo contaminado por material fecal nos corpos hídricos. Os resultados obtidos situaram-se no intervalo compreendido entre 0 (ausência/não detectados) e 2600 NMP/100 mL. Destacam-se as variações obtidas para os pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes), os quais apresentaram os maiores valores médios e medianos (Tabela 6.14), demonstrando as contribuições de despejos sanitários e dejetos (pecuária) oriundos da bacia de contribuição desses dois grandes afluentes do reservatório. Cumpre ressaltar a influência do enchimento do reservatório, representada pelo pequeno distúrbio nas séries temporais, no período compreendido entre dezembro de 2002 e fevereiro de 2003.

Em relação ao atendimento do padrão estabelecido na DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, foram obtidos resultados acima do limite estabelecido para a Classe 2, ou seja, 1.000 NMP/100 mL, nas campanhas de fevereiro/2003 (FL050), maio/2003 (FL130), novembro/2007 (FL060) e janeiro/2009 (FL060 e FL130). No entanto, estas violações do padrão legal correspondem a apenas 16% de todo o período amostral analisado (25 campanhas). Tal fato analisado em conjunto com os valores médios e medianos encontrados em todos os pontos demonstram que, em geral, as águas situam-se em condições satisfatórias para os usos múltiplos da água previstos para a Classe 2. De qualquer maneira, face aos indícios de contaminação fecal por despejos sanitários e dejetos, torna-se fundamental a continuação do monitoramento destas ocorrências, levando em consideração alguns usos mais nobres da água desenvolvidos neste trecho da bacia do rio Grande, notadamente o abastecimento humano e a irrigação, bem como a recreação de contato primário.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.33 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro coliformes termotolerantes.



**Figura 6.33** - Variações obtidas para coliformes termotolerantes, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.33, com exceção dos pontos FL060 e FL090, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para o Cenário 2 (após a construção do barramento) são muito semelhantes às variações obtidas no Cenário 1 (ausência de barramento), sendo os valores medianos observados muito próximos, considerando todo o período amostral avaliado. De qualquer maneira, para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças significativas do ponto de vista estatístico.

As bactérias presentes numa amostra de água podem crescer ou morrer, dependendo da concentração de nutrientes na água, da presença de certos protozoários predadores e outros fatores (Marques 1993 apud Ruas 2006). O estabelecimento de uma relação entre a implantação de um barramento sobre um curso d'água e seus efeitos sobre a concentração de coliformes termotolerantes é muito difícil. Segundo Ruas (2006), a concentração destes organismos depende da capacidade de diluição e autodepuração das águas. Portanto, seria esperado que estes organismos apresentassem uma diminuição de concentração nos pontos de

coleta referentes ao reservatório, após sua formação (principalmente, nos pontos FL110 e FL120). No entanto, a diferença entre os dois cenários é muito pequena, com exceção dos pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes), discutidos anteriormente. A explicação para todas as variações encontradas pode estar relacionada com o aumento nas fontes de contribuição de coliformes fecais ao longo do tempo, representadas pelo lançamento de águas residuárias oriundas nas manchas urbanas na bacia de contribuição, principalmente nos municípios Ijaci e Macaia, e nos loteamentos e propriedades rurais no entorno do reservatório, bem como o carreamento de dejetos, principalmente, oriundos da pecuária desenvolvida nestes locais, pela ação do escoamento superficial na bacia.

Outros estudos corroboram com os resultados obtidos no presente trabalho. Ruas (2006) também não encontrou relações diretas entre a implantação de três barramentos no rio Pomba e a concentração de coliformes termotolerantes no corpo hídrico estudado, associando os padrões de variação encontrados ao despejo de águas residuárias ao longo da bacia de contribuição. Flauzino (2008) ao estudar a qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Miranda, no triângulo mineiro, observou a contaminação das águas por coliformes fecais, associando-a ao lançamento de águas residuárias provenientes da cidade de Indianópolis e das chácaras situadas às margens da represa, e ao material orgânico originado do escoamento superficial, das regiões de lavoura e plantações, no período chuvoso.

Cumprе ressaltar que, analisando-se os parâmetros DBO, DQO, cloretos, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes, constata-se a presença contínua de contaminação das águas por despejos sanitários e industriais, além do aporte de matéria orgânica e sólidos por ação do escoamento superficial, principalmente no período chuvoso. No entanto, esta contaminação ainda pode ser considerada relativamente baixa, face aos resultados encontrados. Além disso, as águas do rio Grande vêm demonstrando uma grande capacidade de auto-depuração dessa carga de poluentes, sobretudo após a implantação do reservatório, o que pode estar relacionado com o poder de diluição e assimilação de poluentes advindos das características morfométricas do corpo hídrico, discutidas anteriormente.

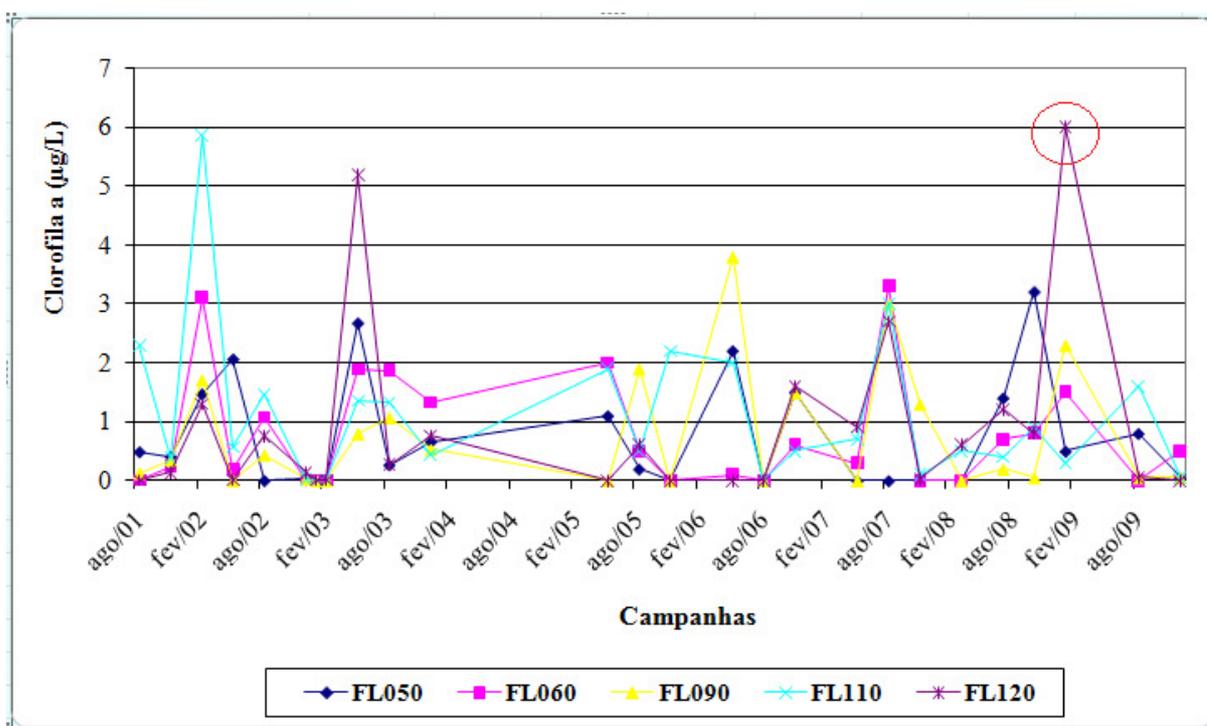
#### **6.1.15 Clorofila-*a***

A clorofila é um dos pigmentos, além dos carotenóides e ficobilinas, responsáveis pelo processo fotossintético. A clorofila-*a* é a mais universal das clorofilas (*a*, *b*, *c*, *e* *d*) e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas

planctônicas e é, por isso, um indicador da biomassa algal. Assim a clorofila-*a* é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (CETESB, 2009).

A clorofila-*a* é usualmente utilizada em programas de monitoramento realizados em lagos e reservatórios, sendo muito importante para a gestão de águas utilizadas no abastecimento humano, uma vez que o crescimento algal excessivo torna a água não palatável (presença de toxinas, metabólitos secundários) ou mais difícil de ser tratada. Em águas com pequeno aporte de sedimentos originados na bacia de contribuição, ou com pouca re-suspensão, a clorofila pode contribuir com uma indicação aproximada da quantidade de material em suspensão na coluna d'água. O crescimento das algas planctônicas em corpos d'água está relacionado com a presença de nutrientes (principalmente nitratos e fosfatos), temperatura e luz. Portanto, as concentrações de clorofila flutuam sazonalmente e, até mesmo, diariamente, ou ainda de acordo com a profundidade, dependendo das condições ambientais (UNESCO/WHO/UNEP, 1996).

A Figura 6.34 apresenta o gráfico das séries temporais de clorofila-*a* em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.15 apresenta alguns dados estatísticos deste parâmetro em cada ponto de coleta. Cumpre ressaltar a ausência de coletas nos pontos FL050 (maio, agosto e novembro/2007; e março/2008), FL060 (março/2008 e agosto/2009) e FL 090 (março/2008), FL120 (dezembro/2009). As coletas para o ponto FL130 foram realizadas somente até fevereiro/2003 e, assim, optou-se por excluí-lo da análise. Já o ponto circulado em vermelho na Figura 6.34 corresponde à coleta realizada no ponto FL120, em janeiro/2009, e equivale na realidade a 53,5 µg/L. Optou-se por atribuir o valor "6 µg/L" (valor virtual) para que não houvesse distorções na escala do gráfico, permitindo uma melhor visualização do comportamento das variações nos outros pontos estudados.



**Figura 6.34** - Séries temporais de clorofila-a nos pontos de coleta. Os valores iguais a 0 correspondem a dados abaixo dos limites de detecção ou ausentes (não medidos). Observação: o valor circulado em vermelho equivale na realidade a 53,5 µg/L.

**Tabela 6.15** - Dados estatísticos de clorofila-a (µg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	3,2	3,2	0,7	0,9	0,3	0,0	1,3
FL060	0	3,3	3,3	0,8	1,0	0,4	0,0	1,3
FL090	0	3,8	3,8	0,7	1,0	0,2	0,0	1,2
FL110	0	2,3	2,3	1,1	1,3	0,5	0,3	1,6
FL120	0	53,5	53,5	2,7	10,4	0,2	0,0	0,9
FL130	0	4,27	4,27	1,4	2,0	0,0	0,0	3,6

A partir da análise da figura 6.34, percebem-se os níveis relativamente baixos de clorofila-a nos pontos estudados, sendo os maiores valores amostrais obtidos nos seguintes períodos: agosto/2001 (FL110), fevereiro/2002 (FL060 e FL110), maio/2003 (FL120), maio/2005 (FL060 e FL110), novembro/2005 (FL110), maio/2006 (FL050, FL090 e FL110), agosto/2007 (todas as estações, exceto FL050), outubro/2008 (FL050) e janeiro/2009 (FL060, FL090 e FL120). Estes resultados demonstram picos amostrais tanto em períodos secos como chuvosos, apesar de, em períodos secos, os picos encontrados terem sido maiores (exceto no ponto FL120, em janeiro/2009). Uma provável explicação para estes resultados é que apesar de no período chuvoso haver um aumento nas concentrações de nutrientes na água, devido ao maior aporte de sólidos oriundo do aumento do escoamento superficial na bacia de contribuição, há também que se considerar um aumento nas vazões do corpo hídrico,

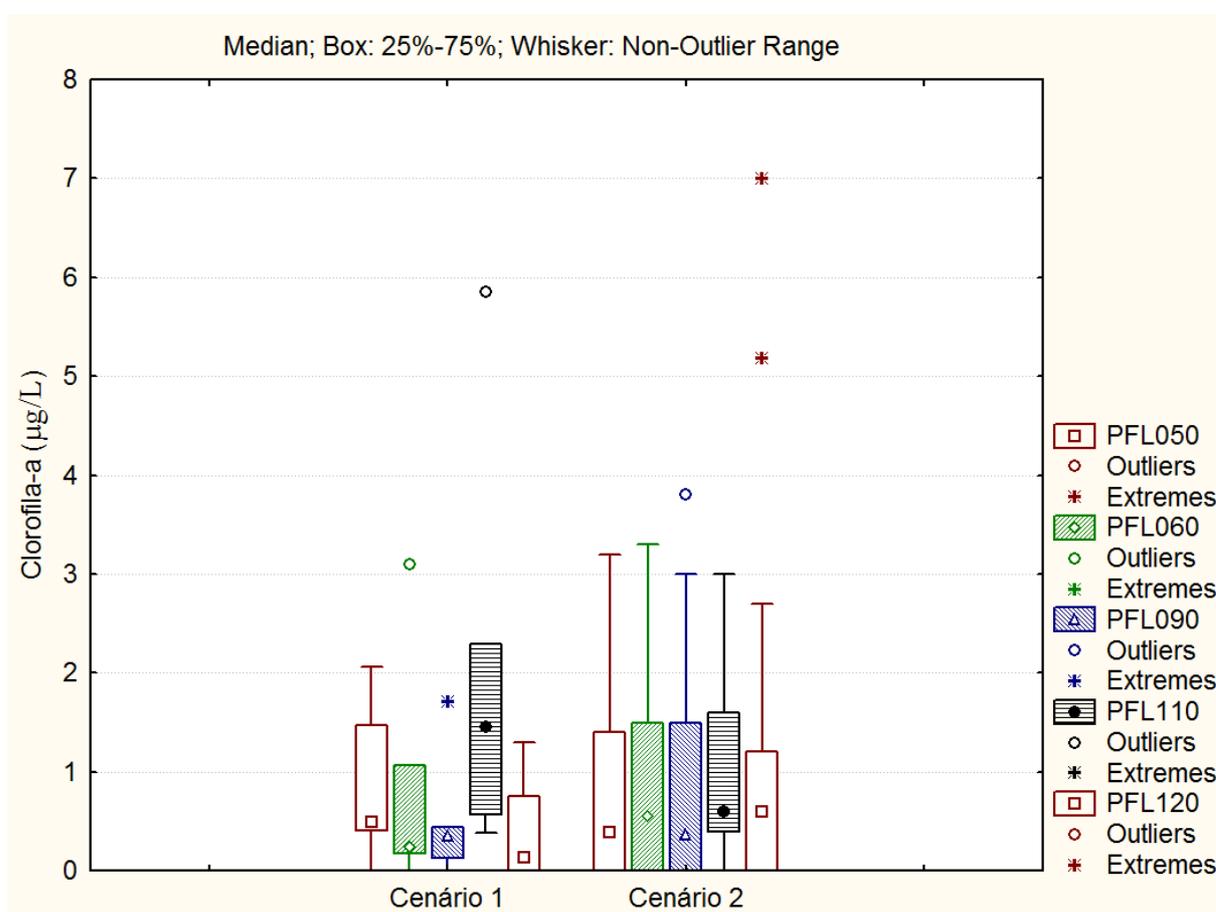
umentando assim o efeito diluidor sobre estas comunidades. Outros estudos corroboram com os resultados discutidos. Andrade (2008), ao realizar um diagnóstico físico-químico das águas e levantamento qualitativo e quantitativo da flora ficológica em três açudes da bacia do rio Taperoá, na Paraíba, encontrou maiores valores de clorofila-*a* no período seco, associando esta ocorrência à menor diluição no período seco, bem como a maior transparência da água, que por sua vez associam-se ao aumento de clorofila-*a* devido à concentração também de íons e moléculas de nutrientes prontamente disponíveis para o desenvolvimento da biomassa algal. Cardoso (2009) ao analisar a morfometria e riqueza fitoplanctônica em 26 lagos amazônicos, encontrou menores riquezas e densidades de organismos no período chuvoso, associando tais resultados ao efeito diluidor do período de cheias (maiores vazões).

Corpos d'água com baixos níveis de nutrientes (por exemplo, lagos oligotróficos) possuem baixos níveis de clorofila, menores que 2,5 µg/L, enquanto águas com altas concentrações de nutrientes (especialmente as eutrofizadas) possuem altas concentrações de clorofila, normalmente encontrados no intervalo compreendido entre 5 e 140 µg/L, podendo ocorrer níveis excessivos de até 300 µg/L (UNESCO/WHO/UNEP, 1996). Em relação a estes critérios, de acordo com os valores médios e medianos apresentados na Tabela 6.15, na maior parte do período monitorado as águas estudadas apresentaram baixos níveis de clorofila (até 2,5 µg/L), indicando condições oligotróficas a mesotróficas na maior parte do tempo, levando em consideração apenas os níveis de clorofila-*a*. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos nas análises de trofia realizadas em conjunto com o parâmetro fósforo total (tópico 6.1.16), que por sua vez, indicam condições oligotróficas na maior parte do período analisado, ou seja, a carga de nutrientes ainda pode ser considerada relativamente baixa na maior parte do período analisado.

A DN Conjunta COPAM/CERH estabelece como limite máximo aceitável para águas de Classe 2 a concentração de 30 µg/L de clorofila-*a*. Apenas em janeiro/2009, no ponto FL120, houve ocorrência de violação deste limite, tendo sido verificada a concentração de 53,5 µg/L. Esta ocorrência pode estar relacionada a algum grande aporte de nutrientes, advindo de um pulso poluidor proveniente das concentrações urbanas no entorno ou mesmo pela ocorrência de chuvas intensas, aumentando o aporte de nutrientes pelo escoamento superficial. Conforme discutido anteriormente, de um modo geral, as concentrações vêm sendo mantidas baixas ao longo do tempo, não havendo assim riscos ou restrições aos usos da água na bacia em relação a este parâmetro.

Quanto ao padrão de distribuição espacial das concentrações de clorofila-*a* no reservatório, a partir dos valores médios que constam na Tabela 6.15, percebe-se que as maiores concentrações situam-se nos pontos FL110 (porção média do reservatório) e FL120 (imediatamente a montante do reservatório). Estas duas regiões apresentam características predominantemente lânticas, favorecendo um maior desenvolvimento das comunidades fitoplanctônicas, justificando, assim, o padrão encontrado.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.35 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro clorofila-*a*.



**Figura 6.35** - Variações obtidas para clorofila-*a*, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.35, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para os dois cenários são muito semelhantes, sendo os valores medianos observados muito próximos. A única diferença perceptível é a tendência de aumento dos limites máximos de clorofila-*a* no Cenário 2 (após a construção do barramento). De qualquer maneira, para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças.

Os padrões encontrados demonstram a existência de uma pequena influência da implantação do barramento sobre o comportamento deste parâmetro. Este fato pode estar associado ao aumento do tempo de residência médio da água no reservatório, que oscila entre 10 e 30 dias (Holos, 2004), associado ao grande espelho d'água (maior taxa de insolação) e baixa profundidade média (maior alcance da zona fótica), que criam condições favoráveis ao aumento da produtividade primária. Por outro lado, conforme discutido anteriormente, o grande volume do reservatório possui efeito diluidor sobre o aporte de substâncias e, conseqüentemente, de nutrientes no reservatório, controlando, assim, a produtividade primária. Tais resultados demonstram, mais uma vez, a importância da morfologia do reservatório sobre o comportamento do ecossistema aquático, conforme discutido por von Sperling (1999a).

#### **6.1.16 Fósforo Total**

A presença de fósforo em águas naturais é devida, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais. O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os ortofosfatos são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas e os polifosfatos, ou fosfatos condensados, polímeros de ortofosfatos. Esta terceira forma não é muito importante nos estudos de controle de qualidade das águas, porque sofre hidrólise, convertendo-se rapidamente em ortofosfatos nas águas naturais (CETESB, 2009).

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro-nutrientes, por ser exigido também em grandes quantidades pelas células. Nesta qualidade, torna-se parâmetro imprescindível em programas de caracterização de efluentes industriais que se pretende tratar por processo biológico. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais conduz a processos de eutrofização das águas naturais (CETESB, 2009).

Segundo von Sperling (1996) as principais fontes de fósforo a um lago ou represa são, em ordem crescente de importância: áreas com matas e florestas, áreas agrícolas, áreas urbanas e esgotos. As áreas de matas e florestas possuem ampla cobertura vegetal e, assim, transportam a menor quantidade de fósforo. A drenagem de áreas agrícolas apresenta maiores valores de fósforo e, também, uma maior variabilidade, dependendo da capacidade de retenção do solo, irrigação, fertilização da cultura e condições climáticas. A drenagem urbana apresenta valores mais elevados e menor variabilidade (resíduos sólidos, dejetos, etc). Já os esgotos sanitários apresentam a maior carga de fósforo, oriunda das fezes humanas, detergentes para limpeza doméstica e de outros subprodutos das atividades humanas.

O fósforo é um elemento muito utilizado na classificação do grau de trofia do ambiente aquático, através de sua concentração. Segundo von Sperling (1996), a quantificação do nível trófico é difícil, especialmente para lagos tropicais, tendo em vista a variação da concentração de fósforo total, clorofila-*a* e transparência, com uma grande amplitude de faixas utilizadas em estudos desta natureza. Tundisi & Tundisi (1995) apud Mucci (2004), mencionam que valores entre 0,005 e 0,006 mg/L são limítrofes entre o estado de mesotrofia e eutrofia para lagos tropicais. Em relação à produtividade dos lagos para as concentrações médias do fósforo total epilimnético, valores menores que 0,005 mg/L são indicativos de lagos ultra-oligotróficos e a concentração de fósforo total da maior parte das águas de superfície não contaminadas está entre 0,010 e 0,050 mg/L (Wetzel, 1983).

A vinculação entre os graus de trofia e os usos da água, conforme proposto por von Sperling (1996), encontram-se descritas na Tabela 6.16.

**Tabela 6.16** - Correlação entre graus de trofia e usos da água em um corpo hídrico.

Usos da Água	Ultra-oligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hiper-eutrófico
Potável		Desejável	Tolerável		
Processo			Desejável		
Resfriamento				Tolerável	
Recreação					
- Contato Primário			Desejável		
- Contato Secundário			Desejável	Tolerável	
Criação de Peixes					
- Espécies sensíveis			Desejável		
- Espécies tolerantes				Tolerável	
Irrigação				Tolerável	Tolerável
Produção de energia					Tolerável

Fonte: adaptado de von Sperling (1996).

A Figura 6.36 apresenta o gráfico das séries temporais de fósforo total em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.17 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para este parâmetro. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

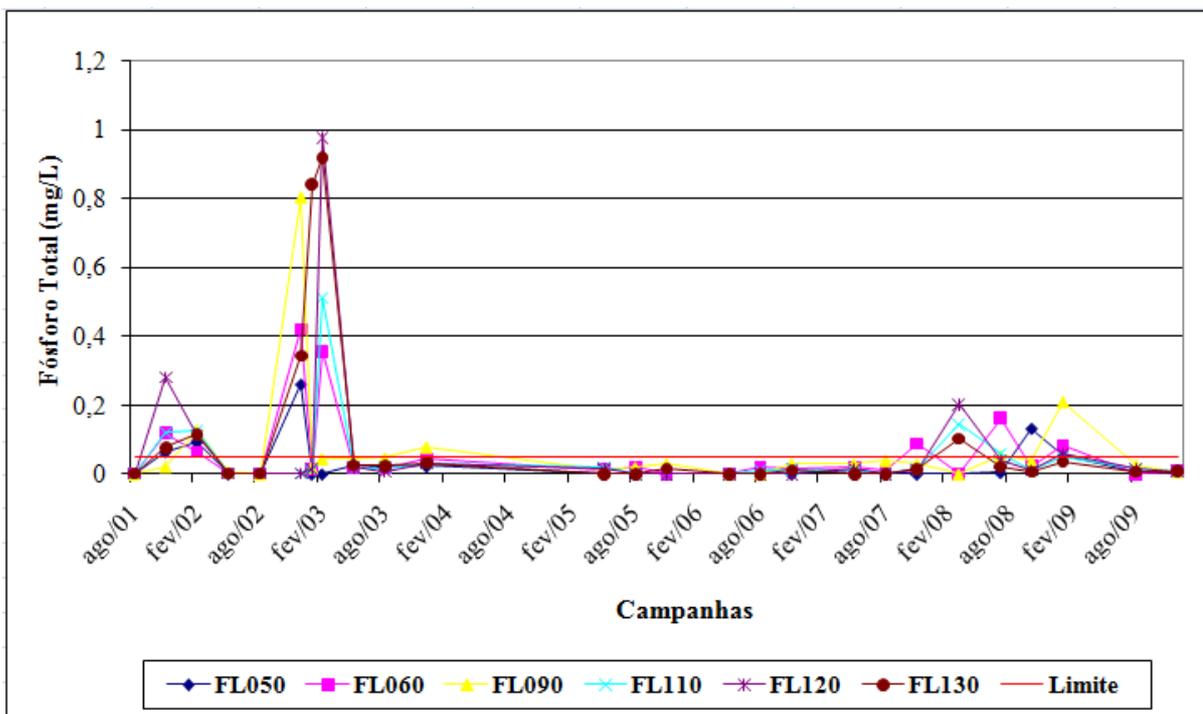


Figura 6.36 - Séries temporais de fósforo total nos pontos de coleta.

Tabela 6.17 - Dados estatísticos de fósforo total (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	0,26	0,26	0,03	0,06	0,00	0,0	0,02
FL060	0	0,42	0,42	0,06	0,11	0,02	0,0	0,06
FL090	0	0,80	0,80	0,07	0,16	0,03	0,0	0,04
FL110	0	0,51	0,51	0,05	0,10	0,01	0,0	0,03
FL120	0	0,98	0,98	0,07	0,20	0,01	0,0	0,03
FL130	0	0,92	0,92	0,10	0,24	0,01	0,0	0,03

A Figura 6.36 demonstra padrões de variação temporal muito semelhantes, considerando todos os pontos analisados. As concentrações de fósforo total situaram-se no intervalo compreendido entre 0 (abaixo dos limites de detecção) e 0,977 mg/L. As oscilações entre picos e vales nas séries temporais correspondem às variações sazonais, ou seja, períodos chuvoso e seco, respectivamente. Os maiores valores foram encontrados quase sempre no período chuvoso, quais sejam novembro/2001, dezembro/2002, janeiro/2003, fevereiro/2003, março/2008, julho/2008 e janeiro/2009. Estas maiores concentrações de fósforo no período

chuvoso se devem ao maior carreamento de fertilizantes ricos em nutrientes oriundos das áreas agrícolas, além de material alóctone proveniente das pastagens (pecuária) e manchas urbanas existentes no entorno, aumentando, conseqüentemente, o aporte de nutrientes, corroborando com resultados obtidos em estudos desenvolvidos em outros corpos hídricos (Ribeiro, *et al* 2005; Ruas, 2006; Melo, 2007; Flauzino, 2008).

Em relação ao período de enchimento do reservatório, este foi o parâmetro que mais sofreu as influências desta fase, representada pelos grandes picos de concentração de fósforo total encontrados no período compreendido entre dezembro/2002 e fevereiro/2003. Este fato pode estar relacionado com a inundação de novas áreas, tendo como conseqüência um aumento no aporte de material alóctone para o corpo d'água, associada, ainda, ao maior escoamento superficial nesta estação chuvosa. Durante a gênese de reservatórios, nutrientes como fósforo e nitrogênio podem ser liberados nas águas por meio da decomposição da vegetação submersa e dos solos lixiviados pela inundação (Ruas, 2006). No entanto, todo este aporte pode ter sido rapidamente assimilado pelas comunidades algais existentes no reservatório, uma vez que em maio/2003 as concentrações de fósforo total voltaram para patamares mais baixos conforme observado na Figura 6.36.

Os valores médios e medianos apresentados na Tabela 6.17 demonstram mais uma vez o comportamento semelhante da concentração de fósforo em todos os pontos analisados. A melhor condição de trofia (média mais baixa) é apresentada no ponto FL050 (rio Grande, no remanso do reservatório) e a pior (média mais alta), no ponto FL130 (jusante do barramento). A melhor condição encontrada no ponto FL050 pode estar associada à baixa contribuição de carga orgânica e nutrientes, devido a existência das UHEs Itutinga e Camargos a montante funcionando como bacias de retenção, melhorando, conseqüentemente, as condições deste trecho do rio. Já a pior condição encontrada no ponto FL130 pode estar relacionada com as fontes de contribuição existentes a montante (concentrações urbanas de Macaia e Ijaci, propriedades rurais, loteamentos, atividades agrícolas no entorno) bem como os menores efeitos de diluição apresentados pelas águas em regime lótico.

A DN Conjunta COPAM/CERH n°01/2008 estabelece como limite para águas da Classe 2 a concentração de fósforo total equivalente a 0,1 mg/L para ambientes lóticos e 0,05 mg/L para ambientes intermediários, ou seja, com tempo de residência da água compreendido entre 2 e 40 dias, sendo este limite estabelecido também para tributários diretos de ambiente lântico. Houve violação deste limite em todos os pontos, nas seguintes campanhas: FL050 (dezembro/2002, outubro/2008 e agosto/2009), FL060 (novembro/2001, dezembro/2002,

fevereiro/2003, novembro/2007, julho/2008 e janeiro/2009), FL090 (fevereiro/2002, dezembro/2002, dezembro/2003, julho/2008 e janeiro/2009), FL110 (novembro/2001, fevereiro/2002, fevereiro/2003, março/2008 e julho/2008), FL120 (novembro/2001, fevereiro/2002, fevereiro/2003, março/2008 e janeiro/2009) e FL130 (fevereiro/2002, dezembro/2002, janeiro/2003, fevereiro/2003 e março/2008).

Levando em consideração uma média de 5 violações ocorridas para uma média de 25 campanhas realizadas em todos os pontos, tem-se 20% de ocorrências de violações no período analisado. No entanto, há que se desconsiderar o período de enchimento nestas análises, representado pelos meses de dezembro/2002, janeiro e fevereiro/2003, uma vez que este é um período atípico, que ocorreu apenas uma vez em todo o monitoramento. Com isso, o número médio de violações cai para 13% do universo amostral (3 violações em 22 campanhas). Associando estes resultados aos valores médios apresentados na Tabela 6.17 e comparando-os aos padrões de trofia propostos por von Sperling (1996), constata-se que o reservatório manteve características meso-eutróficas, ou seja, apresentou concentrações de fósforo na faixa compreendida entre 0,01 a 0,1 mg/L, na maior parte do tempo. Dentro destes critérios, o único uso da água restrito em condições eutróficas seria o abastecimento humano (água potável), conforme a demonstrado na Tabela 6.16.

No entanto, conforme discutido no Capítulo 5 (tópico, 5.6), no âmbito deste trabalho serão utilizadas as classificações de níveis tróficos propostas por Lamparelli (2004), utilizadas pela CETESB (2008), que consideram o processo de eutrofização envolvendo dois momentos distintos, causa e consequência. Dessa maneira, foi adotada a utilização da ponderação dos Índices de Estado Trófico - IET obtidos para o fósforo e para a clorofila-*a*. Os cálculos foram feitos utilizando-se os valores médios obtidos para a clorofila-*a* e o fósforo total, considerando as equações 5.2 e 5.3 para o cálculo do IET em ambientes lóticos (Cenário 1 - ausência de barramento), e as equações 5.4 e 5.5 para o cálculo do IET em ambientes lênticos (Cenário 2 - após a construção do barramento), conforme discutido no Capítulo 5. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 6.18 e 6.19. Já a comparação entre cenários é apresentada na Tabela 6.20. Ressalta-se a exclusão do ponto FL130 das análises, tendo em vista a ausência de dados amostrais a partir de maio/2003.

**Tabela 6.18** - Resultados dos Índices de Estado Trófico calculados para o Cenário 1.

Ponto de Coleta	CL-a ( $\mu\text{g/L}$ )*	P ( $\mu\text{g/L}$ **)	IET (CL)	IET (P)	Ponderação	Condição
FL050	0,887	31,9	51,13	51,92	51,52	Oligotrófico
FL060	0,919	36,5	50,82	52,62	51,72	Oligotrófico
FL090	0,527	31,4	55,64	51,84	53,74	Mesotrófico
FL110	2,112	49,1	56,57	54,16	55,36	Mesotrófico
FL120	0,44	78,5	57,2	56,6	56,9	Mesotrófico

\*CL-a - Concentração de clorofila-a.

\*\*P - Concentração de fósforo total.

**Tabela 6.19** - Resultados dos Índices de Estado Trófico calculados para o Cenário 2.

Ponto de Coleta	CL-a ( $\mu\text{g/L}$ )*	P ( $\mu\text{g/L}$ **)	IET (CL)	IET (P)	Ponderação	Condição
FL050	0,808	15,64	47,76	51,11	49,43	Oligotrófico
FL060	0,855	29,41	47,48	54,94	51,21	Oligotrófico
FL090	0,919	38,53	47,13	56,58	51,85	Oligotrófico
FL110	0,987	22,8	46,78	53,4	50,09	Oligotrófico
FL120	3,788	23,64	53,25	53,63	53,44	Mesotrófico

\*CL-a - Concentração de clorofila-a.

\*\*P - Concentração de fósforo total.

**Tabela 6.20** - Comparação de níveis tróficos obtidos para os Cenários 1 e 2.

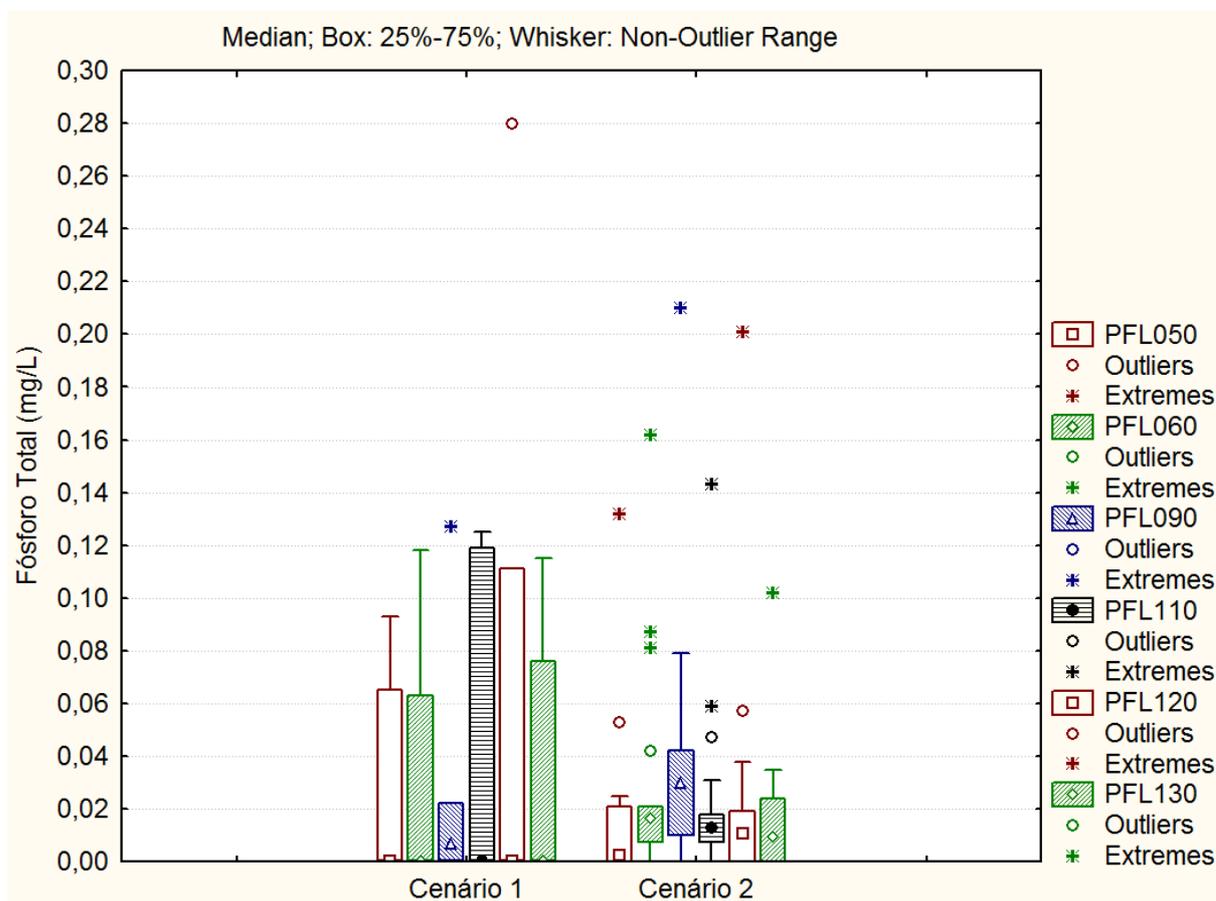
Ponto de Coleta	Cenário 1	Cenário 2
FL050	Oligotrófico	Oligotrófico
FL060	Oligotrófico	Oligotrófico
FL090	Mesotrófico	Oligotrófico
FL110	Mesotrófico	Oligotrófico
FL120	Mesotrófico	Mesotrófico

Analisando-se os resultados obtidos nas Tabelas 6.18, 6.19 e 6.20, é possível observar a evolução nos níveis tróficos médios, considerando os pontos analisados. No Cenário 1 (ausência de barramento), a ponderação dos IETs calculados para o fósforo total e clorofila-a apresentava condições oligotróficas, nos pontos FL050 e FL060, e mesotróficas nos pontos FL090, FL110 e FL120. Já no Cenário 2 (presença do barramento), houve uma diminuição da trofia nos pontos FL090 e FL110, sendo mantidas condições mesotróficas apenas no ponto FL120. Tais resultados demonstram que, de um modo geral, com a formação do reservatório houve uma melhora nas condições tróficas encontradas em quase todos os trechos estudados, que pode estar relacionada com as maiores capacidades de assimilação e depuração das cargas alóctones devido ao grande volume apresentado pelo reservatório em relação ao rio. Outro fator a ser considerado é o tempo de residência da água relativamente baixo (cerca de 10 dias, considerando a vazão média de longo período, e 30 dias, considerando a mínima média mensal) no trecho compreendido pelo reservatório, retardando assim o processo de

eutrofização do corpo hídrico. Segundo Henry (2004), quando o tempo de residência tende a ser pequeno, a represa se assemelha mais a um rio, ao contrário dos tempos de residência mais longos que, por sua vez, determinam características mais semelhantes a lagos.

Através da análise da correlação entre os usos múltiplos da água previstos na região de estudo e os níveis tróficos encontrados (Tabelas 6.16 e 6.20), constata-se que não há restrições em relação aos usos previstos na maior parte do tempo, mesmo considerando o uso mais nobre que seria o abastecimento humano.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.37 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro fósforo total.



**Figura 6.37** - Variações obtidas para o fósforo total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.37, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para o Cenário 2 (após a construção do barramento) são menores que as variações obtidas para o Cenário 1 (ausência do barramento), embora os valores medianos observados sejam maiores. Apenas o ponto FL090 (rio das Mortes) apresentou uma maior variação no Cenário

2. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças.

Analisando-se o comportamento das concentrações de fósforo total, percebe-se uma tendência na diminuição das variações obtidas após a implantação do barramento sobre este parâmetro, apesar do teste estatístico não ter atestado a significância dessas diferenças. A explicação para estas diferenças, ainda que pequenas, provavelmente, reside no fato de que com a implantação do barramento há um aumento no tempo de residência da água no curso hídrico associado a um aumento da área superficial exposta a radiação solar, aumentando também as temperaturas médias na água, conforme discutido anteriormente. A união destes fatores gera condições propícias para o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica que, por sua vez, utiliza o fósforo para o seu crescimento, contribuindo assim para a diminuição das concentrações de fósforo na água. No entanto, há que se considerar que nem toda a parcela de fósforo total encontra-se prontamente disponível para as comunidades vegetais aquáticas. Além disso, o efeito de diluição originado pelo grande volume do reservatório tende a diminuir as concentrações das cargas de nutrientes na água. Estas duas últimas condições acabam por equilibrar a "equação natural" que rege a produtividade primária no curso hídrico. Estes resultados também comprovam as tendências discutidas em relação a clorofila-*a*. As análises deste parâmetro também levaram a classificação do reservatório como oligotrófico a mesotrófico.

Ao comparar os resultados obtidos com outros estudos, observa-se que os níveis de trofia obedecem as dinâmicas hidrológicas de cada corpo hídrico, associando-as aos usos do solo no entorno (intensidade do aporte de nutrientes) e influências da sazonalidade. Ribeiro *et al* (2005), estudando as alterações limnológicas abióticas e bióticas ocorridas na formação da hidrelétrica de Salto Caxias, no rio Iguaçu, Paraná, observou que na transformação rio-represa, o ambiente aquático passou de condições oligotróficas para mesotróficas. Ruas (2006) ao estudar as influências advindas da implantação de três barramentos em série sobre a qualidade da água do rio Pomba, encontrou condições eutróficas após a formação do reservatório. Honorato (2008) ao estudar a qualidade da água do rio Preto, antes durante e após a implantação da AHE Queimado, em Unai/MG, encontrou condições de oligotrofia após a formação do reservatório.

### 6.1.17 Ortofosfato

Conforme citado anteriormente, os ortofosfatos compõem uma parcela importante do fósforo total e são representados pelos radicais, que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Eles são biodisponíveis, ou seja, não há necessidade de conversões a formas mais simples, e uma vez assimilados, são convertidos em fosfato orgânico e em fosfatos condensados. Após a morte de um organismo, os fosfatos condensados são liberados na água, não estando, no entanto, disponíveis para absorção biológica até que sejam hidrolizados por bactérias para ortofosfatos (CETESB, 2008).

A Figura 6.38 apresenta o gráfico das séries temporais de ortofosfato em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.21 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para ortofosfato. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas para este parâmetro em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

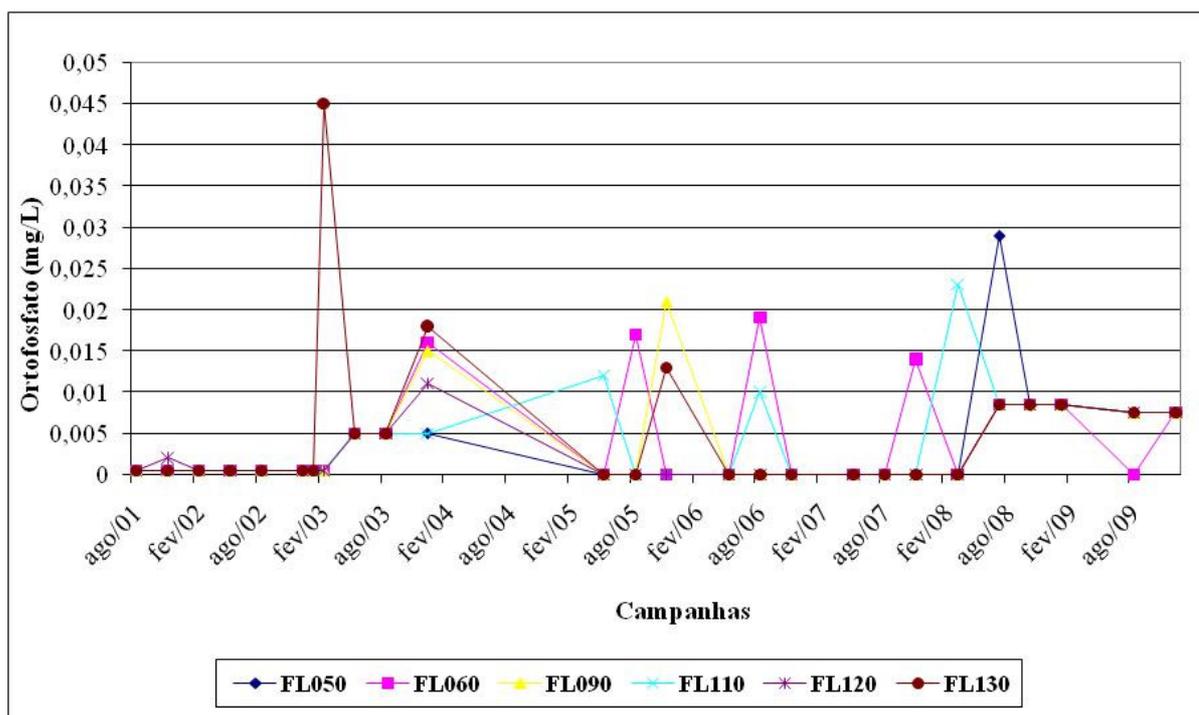


Figura 6.38 - Séries temporais de ortofosfato nos pontos de coleta.

**Tabela 6.21** - Dados estatísticos de ortofosfato (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	0,029	0,029	0,003	0,006	0,001	0	0,005
FL060	0	0,019	0,019	0,004	0,006	0,001	0	0,008
FL090	0	0,021	0,021	0,003	0,005	0,001	0	0,007
FL110	0	0,023	0,023	0,004	0,006	0,001	0	0,0075
FL120	0	0,011	0,011	0,003	0,004	0,001	0	0,005
FL130	0	0,045	0,045	0,005	0,009	0,001	0	0,008

A Figura 6.38 indica grande variação da concentração de fosfato solúvel entre os pontos de coleta e ao longo das campanhas. Visualmente, as campanhas realizadas após a implantação do barramento e enchimento do reservatório (fevereiro/2003) apresentaram as maiores variações. As concentrações obtidas situaram-se entre 0 (abaixo do limite de detecção, 0,001) e 0,045 mg/L. Analisando-se os valores médios e medianos obtidos na Tabela 6.21, constatam-se as baixas concentrações obtidas para o ortofosfato na maior parte do tempo. Como para o fósforo total, os maiores valores foram obtidos principalmente nos meses que compreendem as estações chuvosas, quais sejam, fevereiro/2003, dezembro/2003, novembro/2005, agosto/2006 (exceção), novembro/2007, março/2008 e julho/2008 (exceção). Tais ocorrências se devem, provavelmente, ao maior carreamento de solos fertilizados oriundos das áreas agrícolas, conforme já discutido para o fósforo. Em relação às influências advindas do enchimento do reservatório, apenas o ponto FL130 apresentou um alto valor (0,045 mg/L) em relação às séries amostrais.

A Tabela 6.22 apresenta uma comparação entre os valores médios das concentrações de fósforo total e ortofosfato em todos os pontos de coleta.

**Tabela 6.22** - Relação entre as concentrações médias de ortofosfato e de fósforo total.

Ponto de Coleta	Ortofosfato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	P-orto/P* (%)
FL050	0,003	0,03	10
FL060	0,004	0,06	6,7
FL090	0,003	0,07	4,3
FL110	0,004	0,05	8
FL120	0,003	0,07	4,3
FL130	0,005	0,10	5

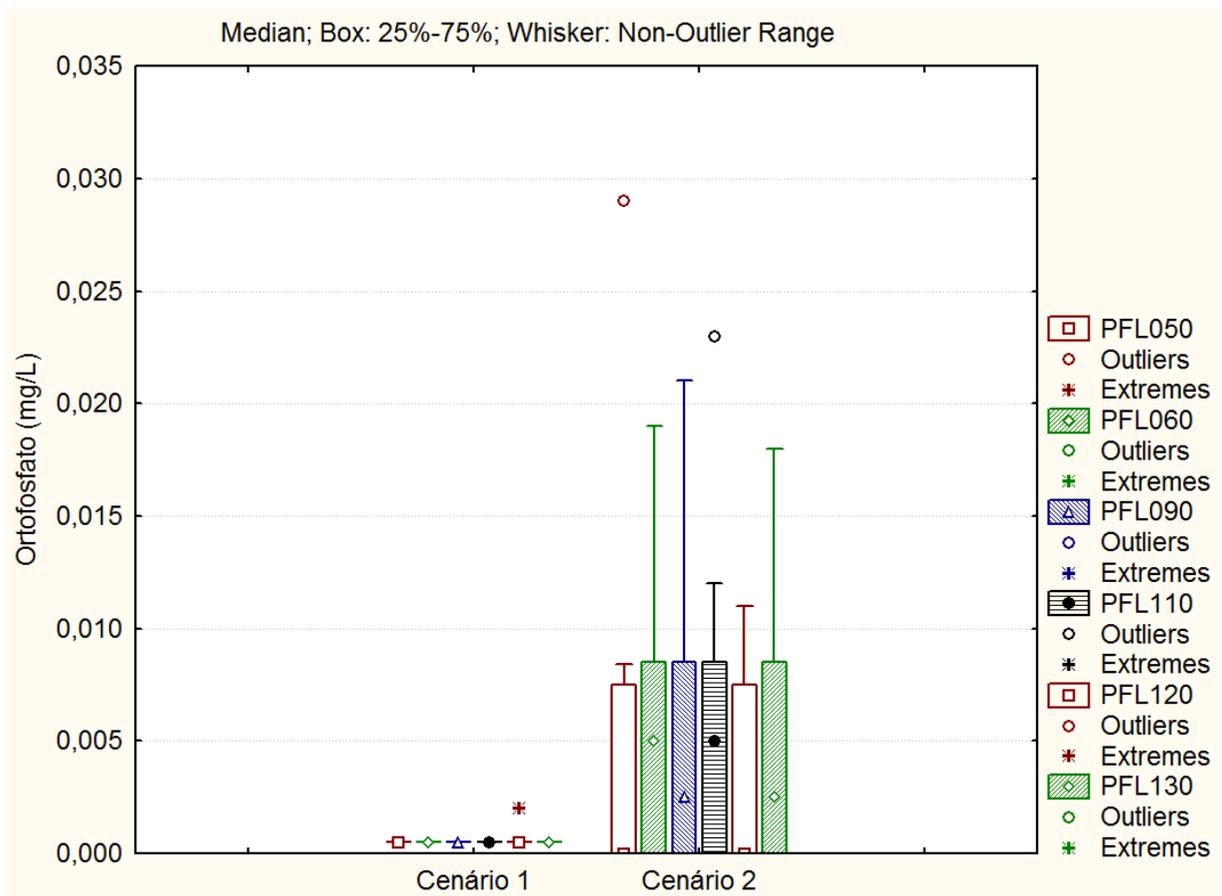
\* P-orto/P - Razão entre ortofosfato (P-orto) e fósforo total (P).

Analisando-se os valores apresentados na Tabela 6.22, é possível constatar que a parcela de fósforo na forma de ortofosfato é muito baixa em relação às concentrações de fósforo total, correspondendo entre 4,3 e 10% da concentração de fósforo total, indicando que boa parte do

fósforo encontra-se em outras formas, principalmente, sobre a forma de fosfatos orgânicos. Os baixos valores encontrados demonstram as baixas concentrações de fósforo inorgânico dissolvido na água, ou seja, prontamente disponível para as comunidades vegetais aquáticas (algas e macrófitas), originando, conseqüentemente, uma limitação ao aumento da produtividade primária. Estes resultados corroboram com aqueles obtidos para a clorofila-*a* e com aqueles obtidos no estudo dos níveis de trofia do reservatório.

Os níveis de ortofosfato acabam por se manter sempre baixos também em virtude do grande efeito diluidor do reservatório e da rápida assimilação pelos produtores primários. Segundo Esteves (1998), nos lagos tropicais, devido à alta temperatura da água, o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o ortofosfato (fósforo inorgânico dissolvido) seja ainda mais rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa. Esse é um dos principais motivos pelo qual, nestes lagos, excetuando os eutrofizados artificialmente, a concentração de ortofosfato é muito baixa, geralmente abaixo do limite inferior de detecção da maioria dos métodos analíticos atualmente disponíveis.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.39 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro ortofosfato.



**Figura 6.39** - Variações obtidas para o ortofosfato, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.39, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para o Cenário 2 (após a construção do barramento) são maiores que as variações obtidas para o Cenário 1 (ausência do barramento), sendo, em geral, maiores os valores medianos observados. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças.

Estes resultados demonstram uma provável influência da implantação do barramento sobre o comportamento deste parâmetro. Uma possível explicação reside no aumento do tempo de residência da água no reservatório (Cenário 2) em relação ao rio (Cenário 1). Conforme discutido anteriormente, os microorganismos decompositores, principalmente, as bactérias presentes no meio são os responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Com o aumento no tempo de residência da água em condições intermediárias (semi-lênticas), há um aumento no tempo para as bactérias realizarem a hidrólise do fósforo orgânico e polifosfatos, liberando como produto os ortofosfatos (fósforo solúvel) na coluna d'água. Contudo, há que se considerar também a influência da evolução das fontes de emissão de nutrientes no reservatório ao longo do tempo, quais sejam, as atividades agrícolas e pecuárias

desenvolvidas no entorno, bem como o lançamento de efluentes das concentrações urbanas existentes no entorno e na bacia de contribuição do rio Capivari e rio das Mortes. Neste caso, o barramento atua favorecendo os processos de decomposição natural da carga orgânica afluente, tendo em vista o aumento do tempo de residência da água.

#### **6.1.18 Nitrogênio Amoniacal**

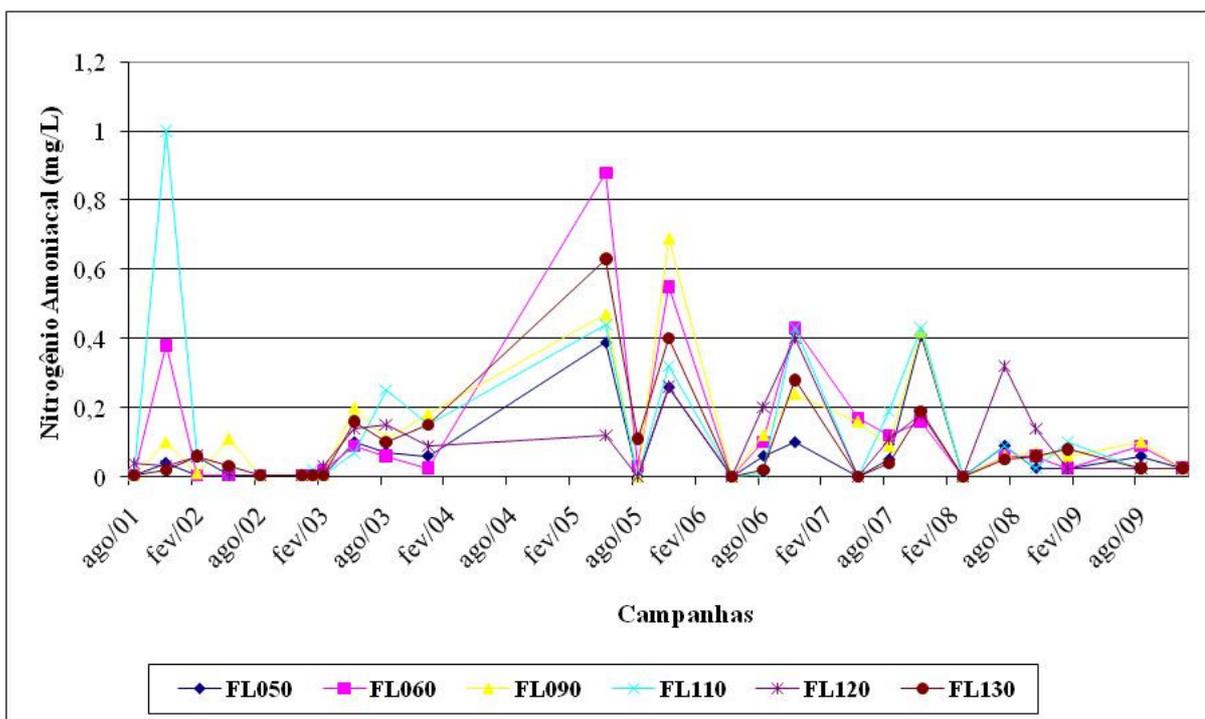
As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e cianobactérias presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, a drenagem das águas pluviais, associada às deficiências do sistema de limpeza pública, constitui fonte difusa de difícil caracterização (CETESB, 2009).

Como visto, o nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Pode-se associar as etapas de degradação da poluição orgânica por meio da relação entre as formas de nitrogênio. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato, denota que as descargas de esgotos se encontram distantes (von Sperling, 1996; CETESB, 2009).

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos e são caracterizados como macronutrientes, pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o eutrofizado. O controle da eutrofização, através da redução do aporte de nitrogênio é comprometido pela multiplicidade de fontes, algumas muito difíceis de serem controladas como a fixação do nitrogênio atmosférico, por parte de alguns gêneros de algas. Por isso, deve-se investir preferencialmente no controle das fontes de fósforo. Deve-se lembrar também que os processos de tratamento de esgotos empregados atualmente no Brasil não contemplam a remoção de nutrientes e os efluentes finais tratados lançam elevadas concentrações destes nos corpos d'água (CETESB, 2009).

Pelas legislações federais e estaduais em vigor, o nitrogênio amoniacal é padrão de classificação das águas naturais e padrão de emissão de esgotos. A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas (CETESB, 2009).

A Figura 6.40 apresenta o gráfico das séries temporais de nitrogênio amoniacal em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.23 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para este parâmetro. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090.



**Figura 6.40** - Séries temporais de nitrogênio amoniacal nos pontos de coleta.

**Tabela 6.23** - Dados estatísticos de nitrogênio amoniacal (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	0,41	0,41	0,07	0,11	0,03	0,01	0,07
FL060	0	0,88	0,88	0,13	0,21	0,05	0,01	0,12
FL090	0	0,69	0,69	0,12	0,17	0,08	0,01	0,15
FL110	0	1,00	1,00	0,14	0,23	0,03	0,01	0,18
FL120	0	0,32	0,32	0,09	0,11	0,04	0,01	0,14
FL130	0	0,63	0,63	0,09	0,15	0,04	0,01	0,11

A Figura 6.40 demonstra um padrão de variação semelhante para a concentração de nitrogênio amoniacal em todos os pontos analisados. Como para o fósforo, a maior parte dos picos amostrais foram obtidos no período chuvoso, nos meses de novembro/2001, maio/2005 (exceção), novembro/2005, novembro/2006, novembro/2007 e julho/2008. Estes valores podem estar associados ao escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados, contribuindo para o aumento de matéria orgânica (dejetos de animais, detritos de plantas e animais) e compostos nitrogenados na água (Ruas, 2006; CETESB, 2009). Os resultados obtidos encontram-se no intervalo compreendido entre 0 (abaixo do limite de detecção, 0,01 mg/L) e 1,0 mg/L. Estes valores, associados aos valores médios e medianos apresentados na Tabela 6.23, demonstram a presença de concentrações de nitrogênio amoniacal muito baixas em todo o trecho estudado. Ressalta-se que não foram observadas quaisquer influências

advindas do enchimento do reservatório sobre as concentrações de nitrogênio amoniacal obtidas neste período (dezembro/2002 a fevereiro/2003).

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 estabelece os limites máximos para a concentração de nitrogênio amoniacal em função do pH, conforme demonstrado na Tabela 6.24.

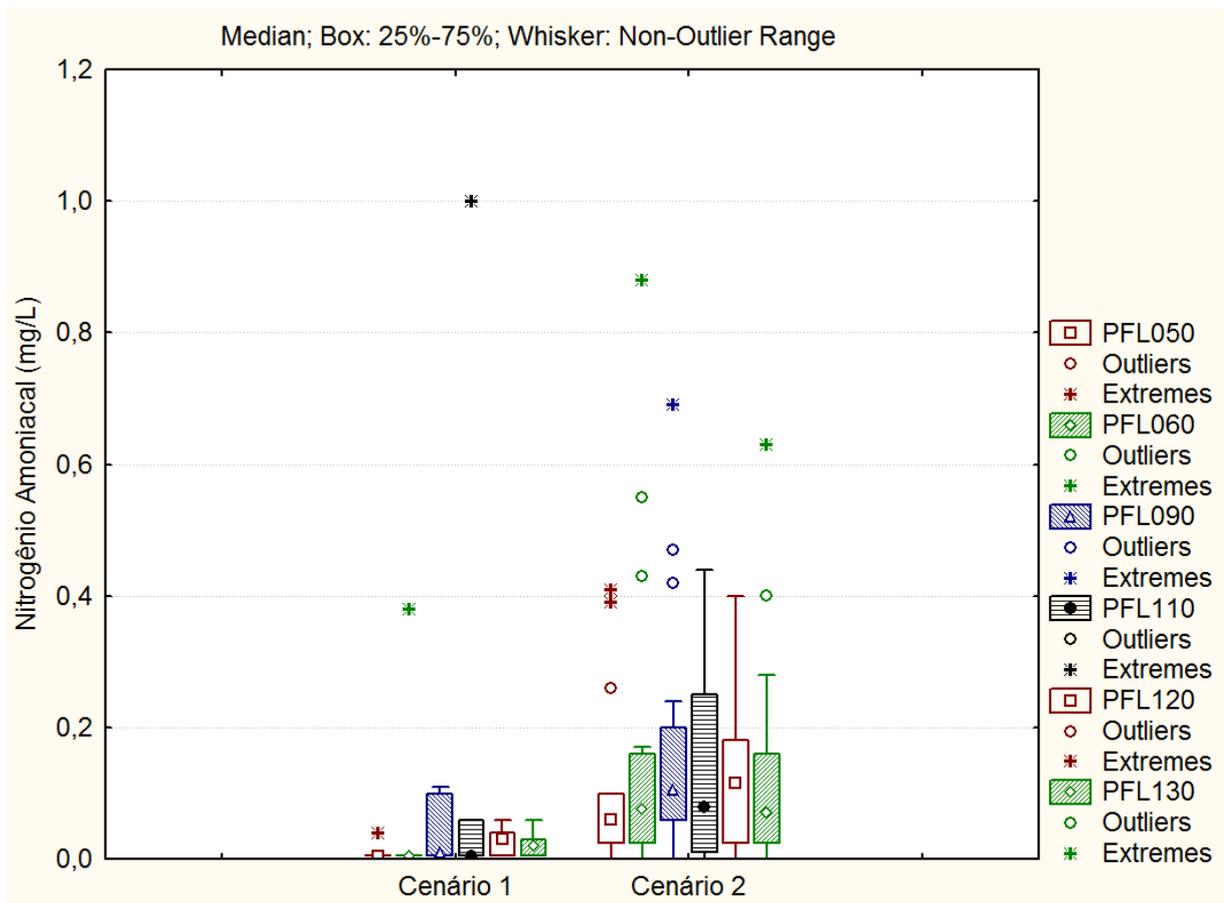
**Tabela 6.24** - Limites máximos para o parâmetro nitrogênio amoniacal, segundo a DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.

Faixas de pH	Limite Permitido (mg/L)
pH ≤ 7,5	3,7
7,5 < pH ≤ 8,0	2,0
8,0 < pH ≤ 8,5	1,0
pH > 8,5	0,5

Fonte: Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.

A partir da Figura 6.40 e da Tabela 6.24, constata-se que os maiores valores para a concentração de nitrogênio amoniacal foram obtidos nas campanhas de novembro/2001, maio/2005 e novembro/2005. Conforme discutido anteriormente, todos estes valores foram encontrados na faixa situada entre 0 (<0,01) e 1,0 mg/L. Com base na Figura 6.16 e na Tabela 6.7, observa-se que o maior valor para o pH foi obtido no ponto FL 090, na campanha de maio/2002, sendo o valor medido 8,56. Nesta campanha, o valor medido para a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 0,11 mg/L. Os demais valores obtidos para o pH situaram-se no intervalo compreendido entre 6,26 e 8,06. Nestas condições, a concentração de nitrogênio amoniacal permitida é de até 1,0 mg/L que, por sua vez, foi a concentração máxima de nitrogênio amoniacal encontrada durante o estudo. Dessa maneira, não houve violação dos limites estabelecidos pela legislação, não havendo assim riscos ou restrições aos usos da água neste trecho da bacia em relação a este parâmetro.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.41 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro nitrogênio amoniacal.



**Figura 6.41** - Variações obtidas para o nitrogênio amoniacoal, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.41, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para o Cenário 2 (após a construção do barramento) são maiores que as variações obtidas para o Cenário 1 (ausência do barramento), sendo, também, maiores os valores medianos observados, indicando uma tendência no aumento das concentrações deste parâmetro após a implantação do barramento. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças.

São realizadas aqui as mesmas considerações apresentadas para o parâmetro ortofosfato. A provável explicação reside no fato de que o barramento atua favorecendo os processos de decomposição natural da carga orgânica afluyente e da matéria orgânica oriunda da morte de organismos aquáticos, tendo em vista o aumento do tempo de residência da água, aumentando, assim, na coluna d'água os produtos de degradação, como a amônia e outros compostos. Contudo, há que se considerar que o barramento age apenas como fator intensificador do processo natural de degradação, tendo em vista a influência da evolução das fontes de emissão de nutrientes no reservatório ao longo do tempo, quais sejam, as atividades

agrícolas e pecuárias desenvolvidas no entorno do reservatório, bem como o lançamento de efluentes das concentrações urbanas existentes no entorno e na bacia de contribuição do rio Capivari e rio das Mortes. De qualquer maneira, as concentrações de amônia ainda foram muito baixas, mesmo após a implantação do reservatório.

Segundo a UNESCO/WHO/UNEP (1996) águas não poluídas contêm pequenas concentrações de amônia e compostos de amônia, geralmente inferiores a 0,1 mg/L. As concentrações totais de amônia medidas em águas superficiais são tipicamente menores que 0,2 mg/L, mas podem alcançar até 2,0 a 3,0 mg/L. Concentrações maiores podem indicar poluição orgânica por esgotos domésticos, efluentes industriais e águas oriundas do escoamento superficial de solos fertilizados. Flutuações naturais também ocorrem como resultado da morte e decaimento de microorganismos aquáticos, particularmente o fitoplâncton e bactérias em águas ricas em nutrientes. Diante destas considerações, os resultados obtidos para este parâmetro (concentrações médias em torno de 0,14 mg/L) indicam que as águas do reservatório da UHE Funil encontram-se pouco alteradas.

#### **6.1.19 Nitrato**

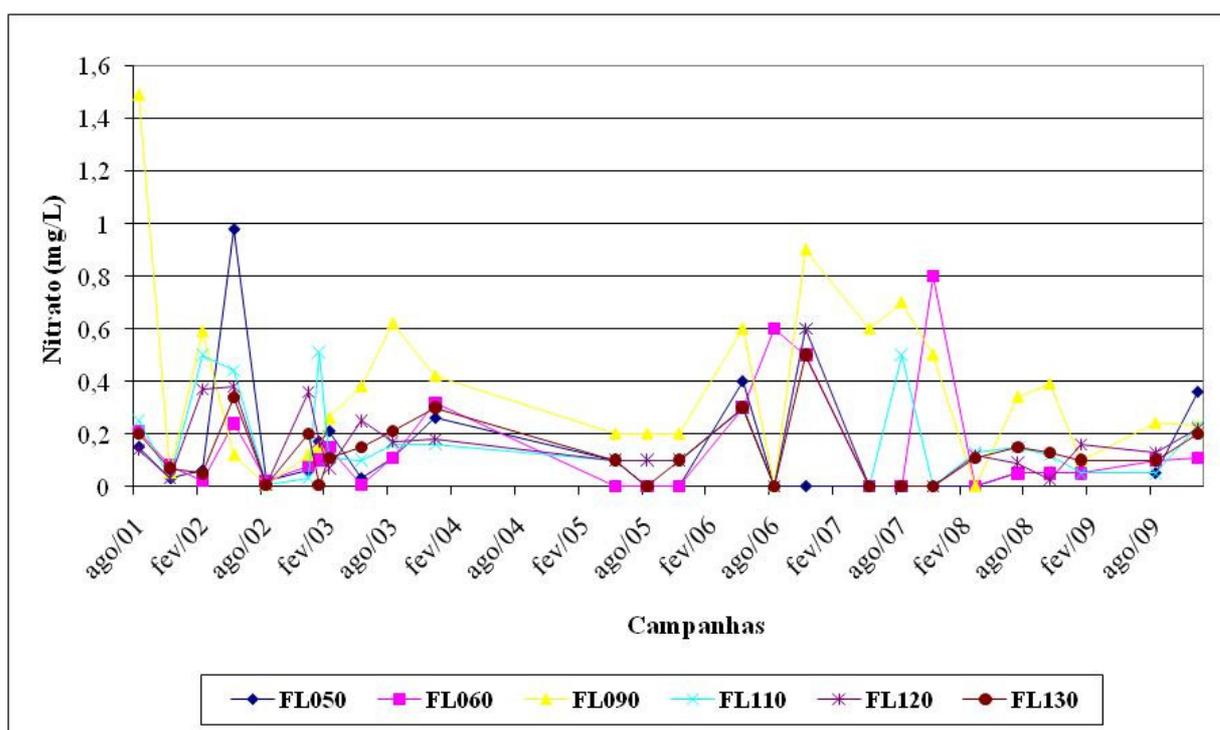
Conforme exposto anteriormente, os nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) correspondem a forma mais oxidada do nitrogênio encontrado no meio aquático. Nas zonas de autodepuração natural em rios, são normalmente encontrados no final do processo, nas zonas de águas limpas. Segundo a UNESCO/WHO/UNEP (1996), os nitratos podem ser bioquimicamente reduzidos a nitritos pelo processo de desnitrificação, geralmente em condições anaeróbias. As fontes naturais de nitratos nas águas superficiais incluem rochas ígneas (vulcânicas), águas drenagem dos solos e restos/detritos de animais e plantas. O nitrato é um nutriente essencial para os vegetais aquáticos e variações sazonais podem ser causadas pelo crescimento e decaimento destes organismos. As concentrações naturais de nitrato nas águas superficiais, que raramente excedem 0,1 mg/L, podem ser elevadas pelo lançamento de águas residuárias municipais e industriais, incluindo o chorume originado em aterros sanitários. Em áreas rurais e suburbanas, o uso de fertilizantes inorgânicos a base de nitrato torna-se uma fonte significativa.

Quando influenciadas por atividades humanas, as águas superficiais podem conter concentrações de nitrato acima de 5,0 mg/L, embora, frequentemente, sejam encontrados níveis abaixo de 1,0 mg/L. Concentrações excessivas, maiores ou iguais a 5,0 mg/L, normalmente indicam poluição por dejetos humanos e animais ou por águas de escoamento

superficial de solos fertilizados. Em casos de poluição extrema, as concentrações podem alcançar 200 mg/L. Em lagos, concentrações de nitrato acima de 0,2 mg/L de nitrogênio nitrato (NO<sub>3</sub>-N) tendem a estimular o crescimento algal e indicam possíveis condições eutróficas (UNESCO/WHO/UNEP, 1996).

Os nitratos são tóxicos, causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue "azul"). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg/L o valor máximo permitido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

A Figura 6.42 apresenta o gráfico das séries temporais de nitrato em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.25 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para este parâmetro. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090.



**Figura 6.42** - Séries temporais de nitrato nos pontos de coleta.

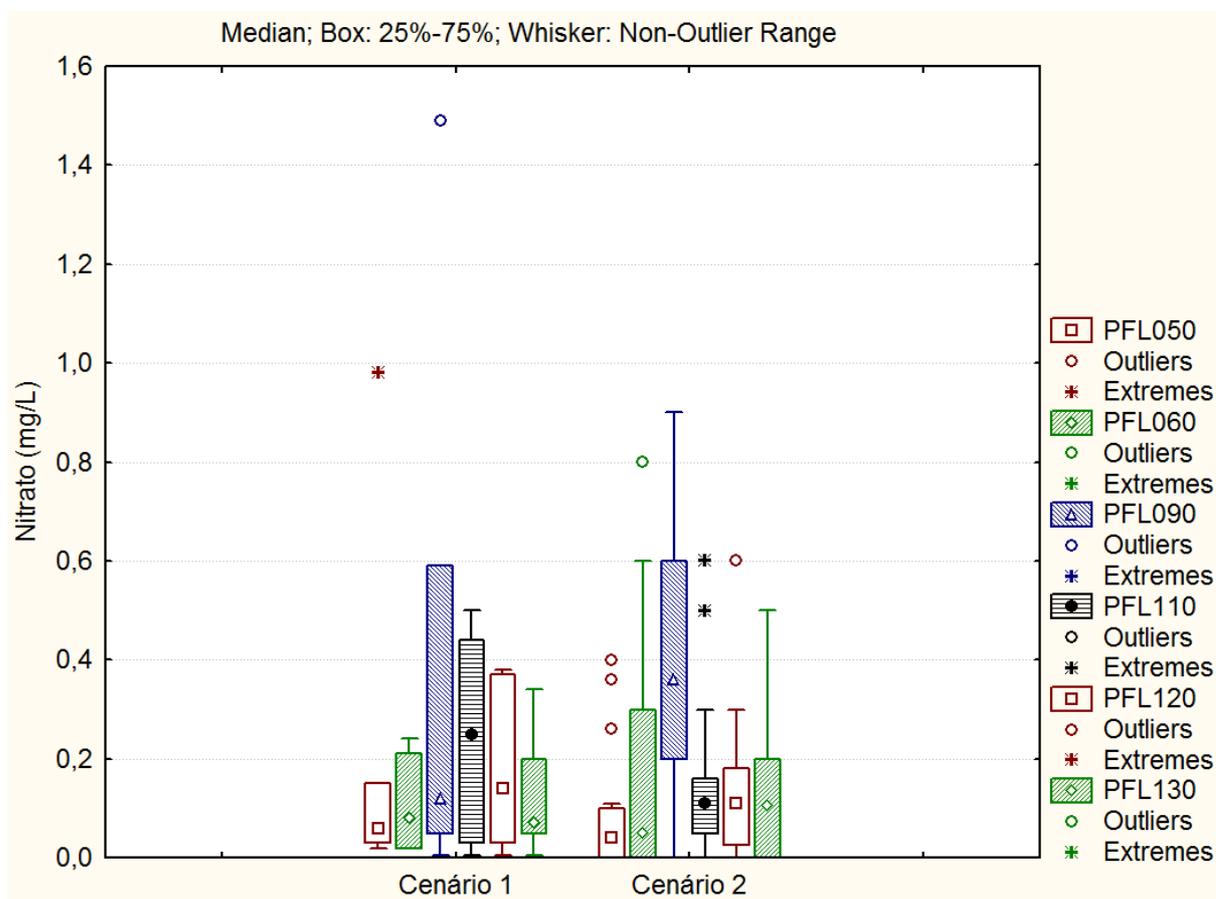
**Tabela 6.25** - Dados estatísticos de nitrato (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor		Amplitude	Média	Desvio		Percentil	
	Mínimo	Máximo			Padrão	Mediana	- 25%	- 75%
FL050	0	0,98	0,98	0,12	0,21	0,05	0,00	0,14
FL060	0	0,80	0,80	0,15	0,20	0,08	0,01	0,20
FL090	0	1,49	1,49	0,36	0,33	0,25	0,13	0,57
FL110	0	0,60	0,60	0,18	0,18	0,12	0,05	0,25
FL120	0	0,38	0,38	0,16	0,15	0,13	0,04	0,21
FL130	0	0,50	0,50	0,13	0,13	0,11	0,02	0,20

A Figura 6.42 demonstra, em geral, um padrão semelhante de variação considerando os pontos estudados, com exceção do ponto FL090. Este padrão se assemelha ao encontrado para o parâmetro nitrogênio amoniacal. Os maiores valores foram encontrados em meses que compreendem as duas estações, seca e chuvosa, quais sejam, agosto/2001, fevereiro/2002, maio/2002, janeiro/2003, agosto/2003, dezembro/2003, maio/2006, novembro/2006 e novembro/2007. Os resultados obtidos no período chuvoso podem ser explicados pelo maior aporte de matéria decorrente do aumento do escoamento superficial na bacia de contribuição, de solos fertilizados e contendo excrementos animais. Já as altas concentrações obtidas em períodos secos podem ser associadas ao constante processo de degradação de matéria orgânica proveniente dos despejos sanitários provenientes das concentrações urbanas de Ijaci e Macaia (além de loteamentos e propriedades rurais no entorno) e das bacias de contribuição do rio das Mortes e rio Capivari. Os valores encontrados situaram-se entre 0 (abaixo do limite de detecção, ou seja, < 0,01 mg/L) e 1,0 mg/L, exceto para o ponto FL090 (rio das Mortes), onde foi registrada a concentração de 1,49 mg/L em agosto/2001. Ressalta-se a pequena influência do enchimento do reservatório, representada pela pequena oscilação no período compreendido entre dezembro/2002 e fevereiro/2003, tendo em vista a inundação de áreas fertilizadas e contaminadas com excrementos de animais.

Os valores médios e medianos apresentados na Tabela 6.25, em geral, demonstram a baixa concentração de nitrato no reservatório da UHE Funil em todo o período estudado. A maior média e maior amplitude foram obtidas no ponto FL090 (rio das Mortes) e as menores, no ponto FL050 (rio Grande). A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008, assim como a Portaria n° 518/2004 do Ministério da Saúde (padrão de potabilidade), estabelece como limite máximo, para águas de Classe 2, a concentração de 10 mg/L. Nenhum dos valores obtidos ultrapassou esse limite, não havendo assim riscos ou restrições aos usos da água neste trecho da bacia em relação a este parâmetro.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.43 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro nitrato.



**Figura 6.43** - Variações obtidas para o nitrato, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.43, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para os dois cenários são semelhantes, com exceção do ponto FL090, que apresenta uma tendência de aumento nas concentrações de nitrato no Cenário 2. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças.

Estes resultados demonstram que a implantação do barramento sobre o curso hídrico possui pouca ou nenhuma influência sobre o comportamento encontrado para este parâmetro. É provável que as variações encontradas estejam relacionadas com as fontes de emissão de nutrientes no reservatório, ao longo do tempo, quais sejam, as atividades agrícolas e pecuárias desenvolvidas no entorno do reservatório, bem como o lançamento de efluentes das concentrações urbanas existentes no entorno e na bacia de contribuição do rio Capivari e rio das Mortes.

Outros estudos também demonstram a inexistência de relação entre as concentrações de nitrato e a implantação de barramentos nos cursos hídricos, associando as variações encontradas aos usos do solo na bacia e influências das variações climáticas. Ruas (2006), ao estudar as influências da implantação de três PCHs sobre a qualidade da água do rio Pomba, no triângulo mineiro, concluiu que não havia nenhuma relação direta entre a formação dos reservatórios e a concentração de nitratos nas águas do rio Pomba. Honorato (2008) ao estudar a qualidade da água do rio Preto, antes durante e após a implantação do AHE Queimado, em Unaí/MG, também não encontrou nenhuma relação entre a implantação do barramento e as variações observadas na concentração de nitrato.

#### **6.1.20 Ferro Dissolvido**

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água. O carbonato ferroso é solúvel e, frequentemente, encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro. Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e a ocorrência de processos de erosão das margens. Também é importante a contribuição devida a efluentes industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem atividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, processo conhecido por decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido (CETESB, 2009).

O ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição. Por estes motivos, o ferro dissolvido (ou solúvel) constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. É também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais (CETESB, 2009).

A Figura 6.44 apresenta o gráfico das séries temporais de ferro dissolvido em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.26 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para este parâmetro. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

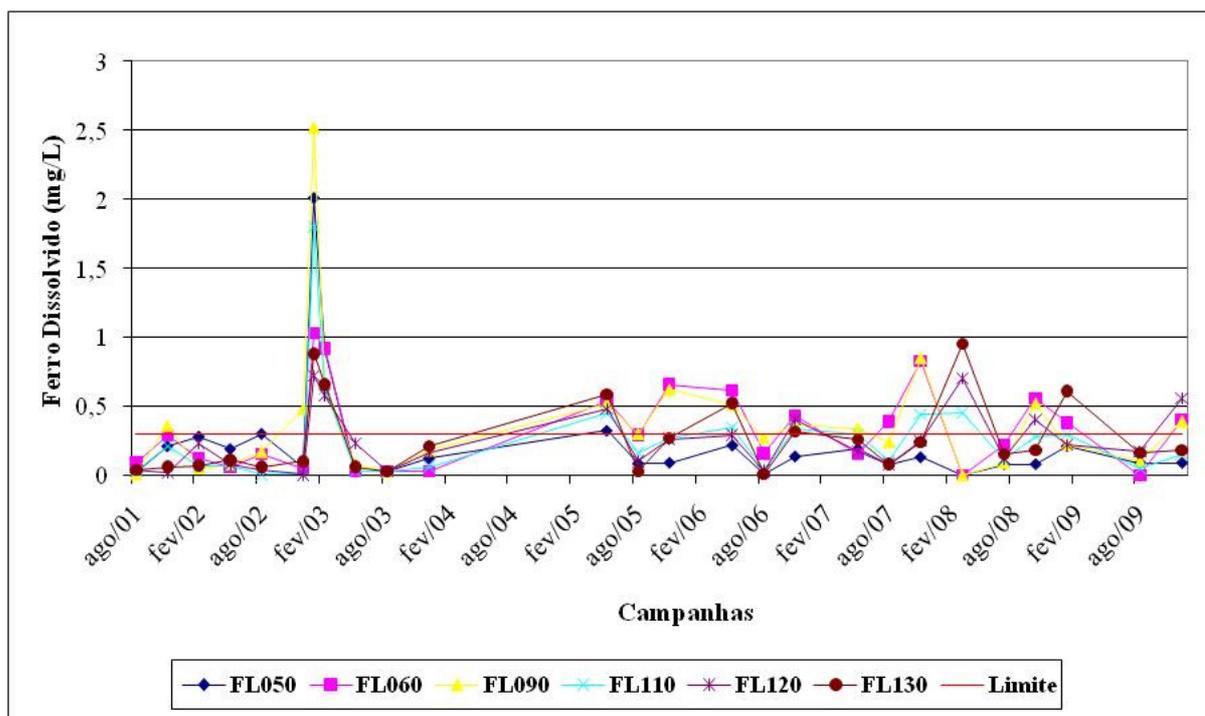


Figura 6.44 - Séries temporais de ferro dissolvido nos pontos de coleta.

Tabela 6.26 - Dados estatísticos de ferro dissolvido (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	2,01	2,01	0,23	0,40	0,11	0,08	0,21
FL060	0,03	1,03	1	0,32	0,30	0,26	0,07	0,51
FL090	0	2,52	2,52	0,38	0,49	0,29	0,09	0,50
FL110	0	1,8	1,8	0,26	0,36	0,16	0,05	0,33
FL120	0	0,72	0,72	0,24	0,21	0,20	0,08	0,37
FL130	0	0,88	0,88	0,26	0,27	0,17	0,06	0,30

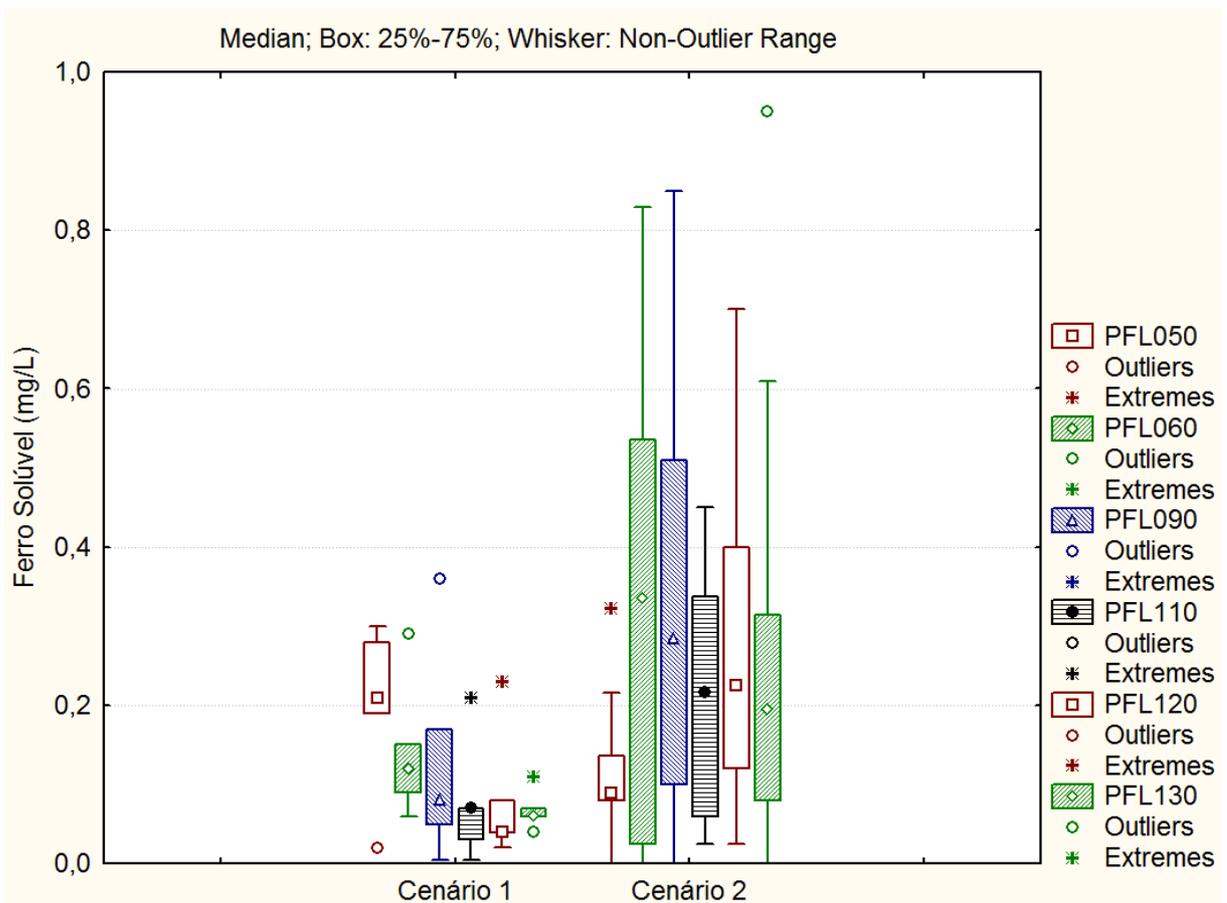
A Figura 6.44 demonstra que o padrão de variação obtido é muito semelhante, considerando todos os pontos amostrais, sendo influenciado pelas variações entre estações secas e chuvosas. Este padrão se deve ao maior carreamento de sólidos devido a intensificação do escoamento superficial no período chuvoso. Os resultados obtidos situaram-se entre 0 (abaixo do limite de detecção, 0,01 mg/L) e 2,52 mg/L. No entanto, os valores médios apresentados na Tabela 6.26 demonstram que a concentração de ferro dissolvido se situou, na maior parte do tempo, entre 0,229 mg/L (FL050) e 0,383 mg/L. As maiores médias foram obtidas para os pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes), demonstrando a grande carga de sólidos que estes dois afluentes carregam para o reservatório. Tal comportamento é semelhante ao observado para o parâmetro "sólidos dissolvidos". Ressalta-se a grande influência do período de enchimento do reservatório, associado a estação chuvosa, nas concentrações de ferro dissolvido, representada no gráfico pelo grande distúrbio nas campanhas de janeiro e

fevereiro/2003. Este comportamento pode ter ocorrido em decorrência da inundação de novas áreas, aumentando temporariamente a quantidade de sólidos dissolvidos (e, conseqüentemente, de ferro dissolvido) na coluna d'água.

A DN Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008 estabelece como limite máximo, para corpos hídricos na Classe 2, a concentração de 0,3 mg/L. Foram encontrados valores acima do limite máximo em todos os pontos em diversas campanhas, principalmente nos meses de novembro a fevereiro (estação chuvosa). Segundo os estudos ambientais da UHE Funil, a presença de concentrações elevadas de ferro total nas águas da região provavelmente estão relacionadas às características geoquímicas locais. As águas pluviais acabam desprendendo partículas do solo, como óxidos metálicos, e carreando para dentro dos corpos d'água mais próximos, aumentando a concentração desse metal nas águas (Limnos, 2009).

Destacam-se os valores médios obtidos para os pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes), 0,324 e 0,383 mg/L, respectivamente. Tais valores encontram-se acima do limite estabelecido pela legislação, podendo ser resultado das atividades minerárias (dragas de areia) desenvolvidas nestes afluentes, principalmente, no rio das Mortes. Levando em consideração que, de um modo geral, as concentrações encontradas foram relativamente baixas, as maiores implicações sobre os usos da água estariam relacionadas ao abastecimento humano, conforme exposto anteriormente.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.45 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro ferro dissolvido.



**Figura 6.45** - Variações obtidas para o ferro solúvel, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.45, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas para o Cenário 2 (após a construção do barramento) são maiores que as variações obtidas para o Cenário 1 (ausência do barramento), sendo, em geral, maiores os valores medianos observados. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual foram verificadas diferenças significativas no ponto FL120.

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)										
By variable Fe Solúvel										
Marked tests are significant at p < .05000										
variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	81,00000	195,0000	24,00000	1,56525	0,117526	1,56991	0,116437	5	18	0,129632
PFL060	43,50000	232,5000	28,50000	-1,22984	0,218759	-1,23166	0,218075	5	18	0,226812
PFL090	37,00000	239,0000	22,00000	-1,71432	0,086471	-1,71559	0,086238	5	18	0,094327
PFL110	36,00000	240,0000	21,00000	-1,78885	0,073639	-1,79018	0,073426	5	18	0,079586
<b>PFL120</b>	<b>31,00000</b>	245,0000	16,00000	<b>-2,16153</b>	<b>0,030655</b>	<b>-2,16421</b>	<b>0,030449</b>	5	18	<b>0,030253</b>
PFL130	34,00000	242,0000	19,00000	-1,93793	0,052633	-1,94032	0,052341	5	18	0,055395

**Figura 6.46** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro ferro solúvel.

O ferro e o manganês, na ausência de oxigênio dissolvido, como no caso de águas subterrâneas ou no fundo de lagos, se apresentam na forma solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ). Contudo, numa grande quantidade de tipos de solos e em águas com oxigênio dissolvido (águas

superficiais, por exemplo), o ferro e manganês se apresentam na forma insolúvel ( $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ). Dessa forma, estes elementos, oriundos da dissolução de compostos dos solos e despejos industriais, geralmente são constituídos por sólidos em suspensão ou dissolvidos (Ruas, 2006). Portanto, tendo em vista as boas condições de oxigenação das águas do rio Grande, no trecho estudado (discutidas no tópico "oxigênio dissolvido"), apesar de ser observado um aumento nas variações e nos valores máximos obtidos para a concentração de ferro dissolvido após a implantação do barramento, é provável que este aumento se dê em função das próprias características geoquímicas dos solos na bacia de contribuição e, assim, com o aumento das taxas de erosão nas margens do reservatório, associado ao aumento do escoamento superficial durante as estações chuvosas, há um aumento nas concentrações de ferro na água. Além disso, mesmo após a implantação do barramento, as concentrações continuaram baixas, abaixo de 1,0 mg/L (Figura 6.45).

Outros fatores que intensificam as concentrações desse parâmetro na água são as atividades de extração de areia desenvolvidas nos grandes afluentes, com destaque para o rio das Mortes, bem como a presença de despejos provenientes de indústrias metalúrgicas na bacia do rio das Mortes, levando em consideração que, segundo a CETESB (2009), esta tipologia de indústrias desenvolve atividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, gerando efluentes ricos em ferro.

### **6.1.21 Ferro Total**

O parâmetro ferro total corresponde a soma das parcelas de ferro nas suas duas formas: solúvel e em suspensão. Segundo os estudos ambientais (Limnos, 2009), o ferro é um elemento comum a geoquímica dos solos da região.

A Figura 6.47 apresenta o gráfico das séries temporais de ferro total em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.27 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para este parâmetro. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

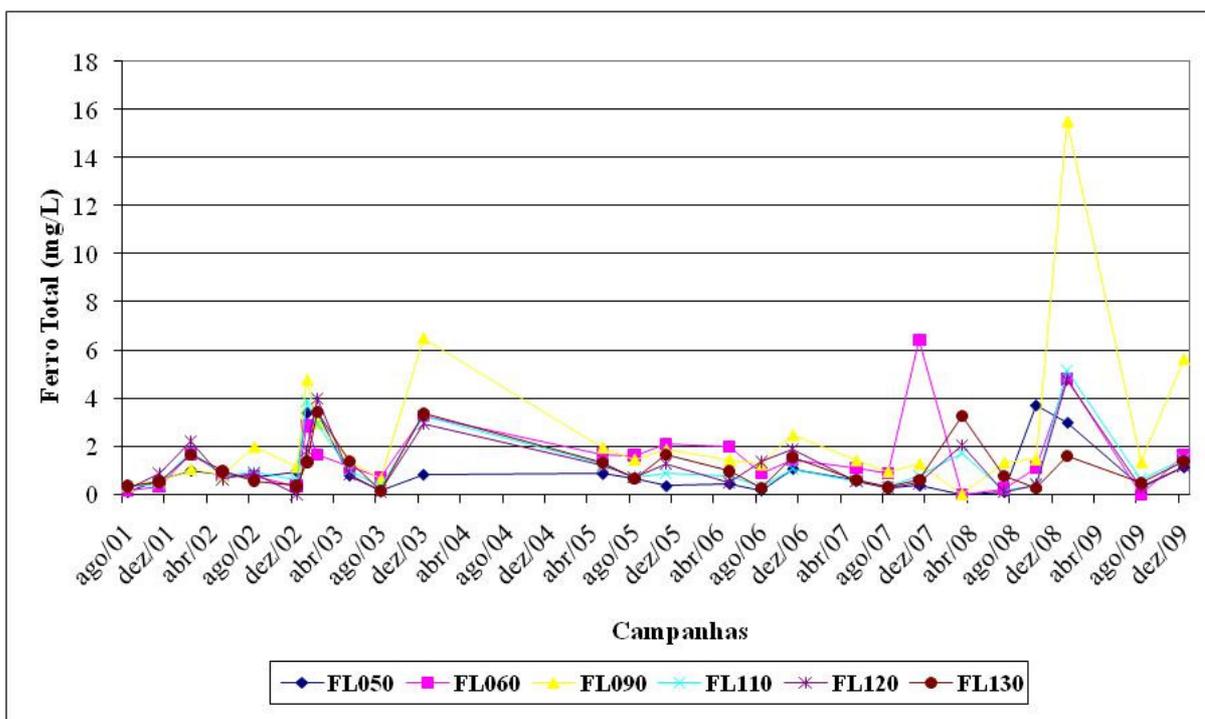


Figura 6.47 - Séries temporais de ferro total nos pontos de coleta.

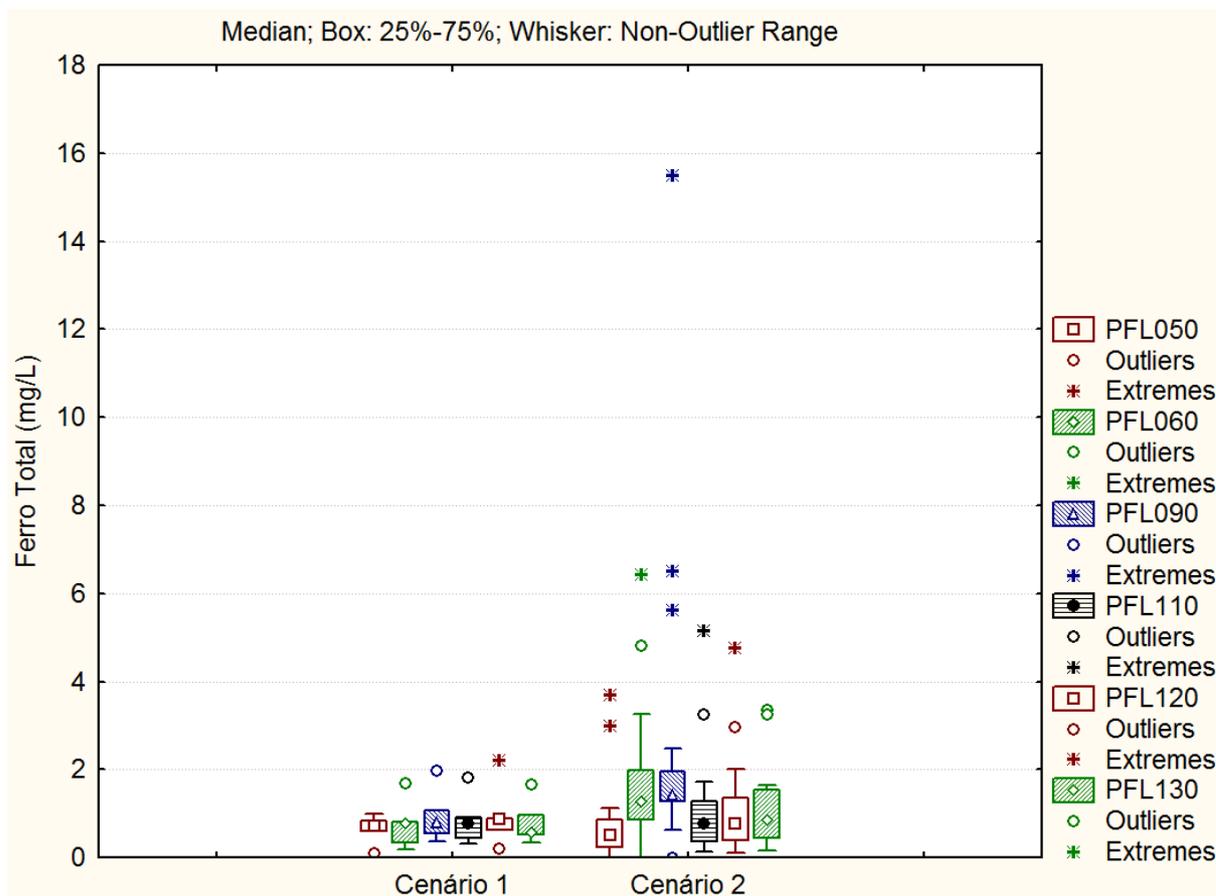
Tabela 6.27 - Dados estatísticos de ferro total (mg/L) dos pontos de coleta.

Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0,1	3,7	3,6	0,99	1,09	0,70	0,34	0,99
FL060	0,01	4,81	4,8	1,52	1,47	1,13	0,70	1,68
FL090	0,36	5,63	5,27	2,37	3,09	1,41	1,08	1,97
FL110	0,13	5,14	5,01	1,25	1,23	0,77	0,48	1,42
FL120	0,01	4,75	4,74	1,21	1,19	0,84	0,42	1,70
FL130	0,17	3,24	3,07	1,14	0,94	0,86	0,48	1,50

Como demonstrado para o ferro dissolvido, as variações obtidas para o ferro total também são muito semelhantes, sendo fortemente influenciadas pela sazonalidade. Os maiores valores foram sempre obtidos nos meses que compreendem o período chuvoso, em virtude da maior lixiviação dos solos e escoamento superficial nesta estação. As concentrações obtidas para o ferro total situaram-se entre 0,01 e 15,5 mg/L. Como pode ser observado na Tabela 6.27, em geral, os valores médios situaram-se muito próximos, sendo as maiores médias obtidas para os pontos FL060 (rio Capivari) e FL090 (rio das Mortes), o que pode estar relacionado com o grande aporte de sólidos proveniente desses dois afluentes, comprovando as tendências discutidas para os parâmetros sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e ferro solúvel. No caso do rio das Mortes, é provável que outras fontes poluidoras (como indústrias metalúrgicas e atividades minerárias) também estejam contribuindo com a carga de ferro, justificando os altos valores encontrados. O período de enchimento é representado por um pequeno distúrbio

nas séries temporais, nos meses de janeiro e fevereiro/2003, em decorrência da inundação das novas áreas, aumentando temporariamente a quantidade de sólidos na coluna d'água.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.48 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro ferro total.



**Figura 6.48** - Variações obtidas para o ferro total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.48, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas demonstram a existência de uma pequena tendência de aumento no Cenário 2 (após a implantação do barramento), sendo esta diferença mais marcante para os pontos FL060 e FL090. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual não foram verificadas diferenças.

A Tabela 6.28 apresenta as parcelas médias do ferro total que correspondem ao ferro dissolvido.

**Tabela 6.28** - Relação entre as concentrações médias de ferro solúvel e ferro total.

Ponto de Coleta	Ferro Solúvel (mg/L)	Ferro Total (mg/L)	Fe Sol./Fe total (%)
FL050	0,229	0,991	23,11
FL060	0,324	1,52	21,31
FL090	0,383	2,37	16,16
FL110	0,258	1,25	20,64
FL120	0,245	1,205	20,33
FL130	0,262	1,138	23,02
<b>Média Geral</b>	<b>0,283</b>	<b>1,411</b>	<b>20,05</b>

A partir dos valores apresentados na Tabela 6.28, é possível constatar que o ferro dissolvido (ou solúvel) corresponde em média a apenas 20% dos quantitativos obtidos para o ferro total. Isso significa que boa parte do ferro presente na água equivale a parcela insolúvel, geralmente em suspensão, demonstrando a grande contribuição de sedimentos ricos em ferro, provenientes do maior escoamento superficial dos solos em toda a bacia de contribuição, em decorrência das precipitações, bem como de atividades minerárias (presença de dragagens) desenvolvidas no rio das Mortes e no rio Capivari, além dos efluentes industriais provenientes do desenvolvimento da metalurgia na sub-bacia do rio das Mortes, conforme discutido para o ferro solúvel. Dessa maneira, não é possível estabelecer uma relação entre a implantação do barramento e o comportamento deste parâmetro.

### 6.1.22 Manganês Total

O manganês e seus compostos são usados na indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários, entre outros usos. Ocorre naturalmente na água superficial e subterrânea, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pela contaminação da água. Raramente atinge concentrações de 1,0 mg/L em águas superficiais naturais e, normalmente, está presente em quantidades de 0,2 mg/L ou menos (CETESB, 2009).

Este elemento desenvolve coloração negra na água, podendo se apresentar nos estados de oxidação  $Mn^{+2}$  (mais solúvel) e  $Mn^{+4}$  (menos solúvel). Concentração menor que 0,05 mg/L geralmente é aceita por consumidores, devido ao fato de não ocorrerem, nesta faixa de concentração, manchas negras ou depósitos de seu óxido nos sistemas de abastecimento de água. É muito usado na indústria do aço. O manganês é um elemento essencial para muitos organismos, incluindo o ser humano. A principal exposição humana ao manganês é por

consumo de alimentos. O padrão de aceitação para consumo humano do manganês é 0,1 mg/L, conforme Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (CETESB, 2009).

A Figura 6.49 apresenta o gráfico das séries temporais de manganês total em cada um dos seis pontos de coleta, ao longo de todas as campanhas. Já a Tabela 6.29 apresenta alguns dados estatísticos relacionados às variações obtidas para este parâmetro. Ressalta-se que só não foram realizadas coletas para este parâmetro em março/2008, nos pontos FL050, FL060 e FL090, e em agosto/2009, no ponto FL060.

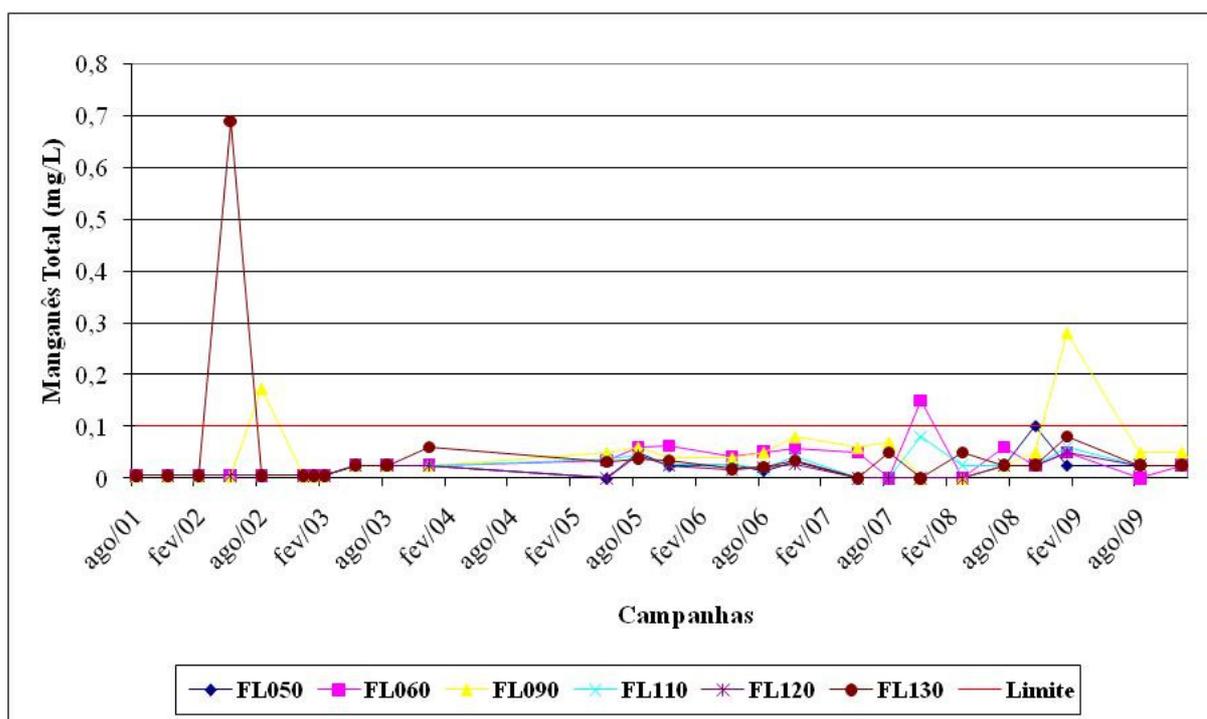


Figura 6.49 - Séries temporais de manganês total nos pontos de coleta.

Tabela 6.29 - Dados estatísticos de manganês total (mg/L) dos pontos de coleta.

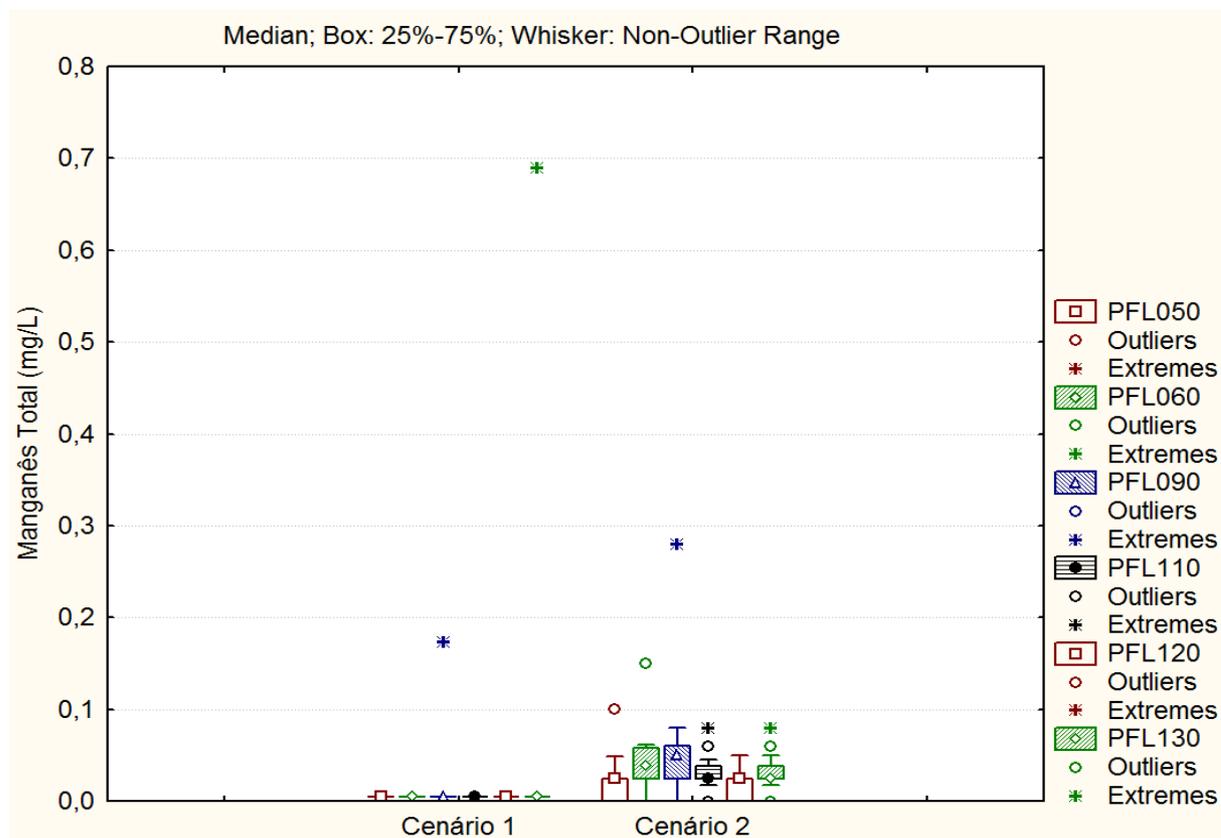
Ponto de Coleta	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude	Média	Desvio Padrão	Mediana	Percentil - 25%	Percentil - 75%
FL050	0	0,10	0,10	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03
FL060	0	0,15	0,15	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05
FL090	0,01	0,28	0,28	0,05	0,06	0,03	0,01	0,05
FL110	0	0,08	0,08	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03
FL120	0	0,05	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03
FL130	0	0,69	0,69	0,05	0,13	0,03	0,01	0,03

Analisando-se os resultados apresentados na Figura 6.49 e na Tabela 6.29, constatam-se os baixos valores obtidos para a concentração de manganês total ao longo do tempo. Além disso, é possível perceber uma pequena variação dos dados em função da sazonalidade, sendo os maiores valores encontrados, na maioria das vezes, nas estações chuvosas, tendo em vista o

aumento do aporte de sedimentos na água nestes períodos. As variações situaram-se entre 0 (abaixo do limite de detecção, 0,01 mg/L) e 0,1 mg/L, com exceção dos valores obtidos nas campanhas de maio/2002 (FL130), agosto/2002 (FL090), novembro/2007 (FL060) e janeiro/2009. Estes maiores valores foram considerados como eventos isolados, podendo tratar-se de fontes de poluição pontuais nestes períodos. Ressalta-se que não foram observadas influências do enchimento do reservatório sobre o comportamento deste parâmetro.

A DN Conjunta COPAM/CERH estabelece como limite para a Classe 2 a concentração de 0,1 mg/L. Conforme citado anteriormente, apenas nas campanhas de maio/2002 (FL130), agosto/2002 (FL090), novembro/2007 (FL060) e janeiro/2009 houve violação do padrão legal. No entanto, na grande maioria das campanhas, representadas pelos baixos valores médios e medianos apresentados na Tabela 6.29, os valores de manganês total situaram-se abaixo deste limite, não sendo, portanto, verificados quaisquer riscos e restrições em relação aos usos da água no trecho em estudo.

Em relação ao estudo das possíveis influências advindas da implantação do barramento, a Figura 6.50 apresenta a avaliação dos dois cenários de cada um dos seis pontos de coleta estudados, para o parâmetro manganês total.



**Figura 6.50** - Variações obtidas para o manganês total, considerando o Cenário 1 (ausência de barramento) e Cenário 2 (após a construção do barramento), nos pontos amostrais.

Analisando-se a Figura 6.48, constata-se que as variações ("boxplots": 25%-75%) obtidas demonstram a existência de uma pequena tendência de aumento no Cenário 2 (após a implantação do barramento), com valores medianos ligeiramente maiores. Para a verificação da existência de diferenças estatísticas significativas entre os Cenários 1 e 2, utilizou-se o Teste de Mann-Whitney, através do qual foram verificadas diferenças significativas, condizendo os pontos FL060 e FL110.

Mann-Whitney U Test (Planilha Geral - 1)										
By variable Mn										
Marked tests are significant at p <,05000										
variable	Rank Sum Cenário 1	Rank Sum Cenário 2	U	Z	p-level	Z adjusted	p-level	Valid N Cenário 1	Valid N Cenário 2	2*1sided exact p
PFL050	40,00000	236,0000	25,00000	-1,49071	0,136038	-1,52737	0,126669	5	18	0,150435
<b>PFL060</b>	<b>30,00000</b>	246,0000	15,00000	<b>-2,23607</b>	<b>0,025348</b>	<b>-2,26135</b>	<b>0,023738</b>	5	18	<b>0,024250</b>
PFL090	40,00000	236,0000	25,00000	-1,49071	0,136038	-1,50680	0,131862	5	18	0,150435
PFL110	25,00000	251,0000	10,00000	<b>-2,60875</b>	<b>0,009088</b>	<b>-2,67917</b>	<b>0,007381</b>	5	18	<b>0,006716</b>
PFL120	40,00000	236,0000	25,00000	-1,49071	0,136038	-1,53859	0,123906	5	18	0,150435
PFL130	41,00000	235,0000	26,00000	-1,41618	0,156725	-1,43291	0,151884	5	18	0,173556

**Figura 6.51** - Resultado do Teste de Mann-Whitney para o parâmetro manganês total.

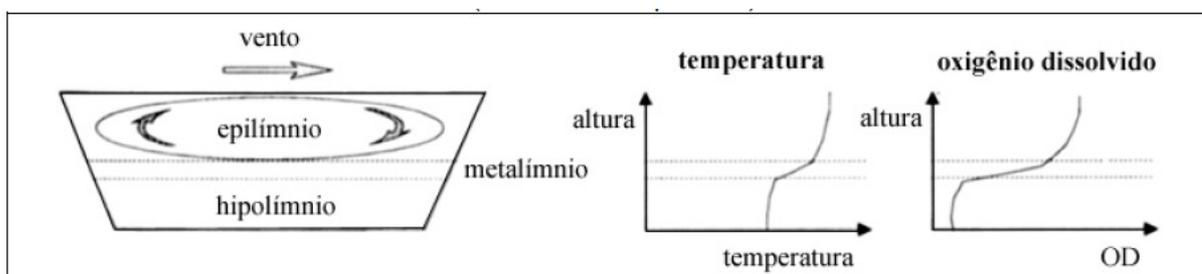
Cabem aqui as mesmas considerações realizadas para o ferro solúvel. O ferro e o manganês, na ausência de oxigênio dissolvido, como no caso de águas subterrâneas ou no fundo de lagos, se apresentam na forma solúvel ( $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ ). Contudo, numa grande quantidade de tipos de solos e em águas com oxigênio dissolvido (águas superficiais, por exemplo), o ferro e manganês se apresentam na forma insolúvel ( $Fe^{3+}$  e  $Mn^{4+}$ ). Dessa forma, estes elementos, oriundos da dissolução de compostos dos solos e despejos industriais, geralmente são constituídos por sólidos em suspensão ou dissolvidos (Ruas, 2006). Portanto, tendo em vista as boas condições de oxigenação das águas do rio Grande, no trecho estudado, apesar de ser observado um aumento nas variações e nos valores máximos obtidos para a concentração de manganês total após a implantação do barramento, é provável que este aumento se dê em função das próprias características geoquímicas dos solos na bacia de contribuição, associadas às influências da sazonalidade, além da influência da presença de despejos industriais na bacia de contribuição.

Em outros estudos foram encontrados resultados semelhantes, corroborando com os resultados obtidos neste trabalho. Ruas (2006), ao estudar as influências da implantação de três PCHs sobre a qualidade da água do rio Pomba, no triângulo mineiro, também concluiu pela inexistência de relações entre a implantação dos reservatórios e as concentrações encontradas para ferro solúvel, ferro total e manganês total, associando às variações observadas no comportamento destes metais à própria composição geoquímica dos solos da bacia deste curso hídrico, associas também às influências das variações sazonais e eventuais

contribuições por despejos de fontes antrópicas. Flauzino (2008) ao estudar a qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Miranda, no triângulo mineiro, encontrou baixos valores de cobre, manganês e ferro na água, associando-os à presença natural nos solos da bacia de contribuição.

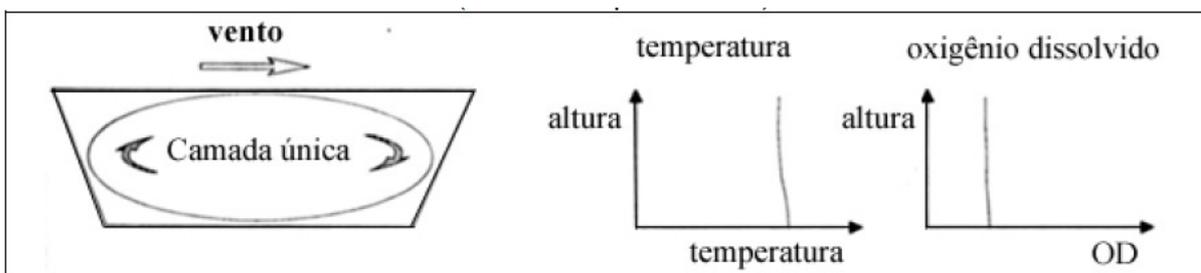
## 6.2 Avaliação dos perfis térmicos e de oxigênio dissolvido

Segundo von Sperling (1996), o perfil vertical de temperatura em lagos e reservatórios varia com as estações do ano. Tal variação de temperatura afeta diretamente a densidade da água e, em decorrência, a capacidade de mistura e estratificação do corpo d'água. Durante o verão e os meses mais quentes do ano, a temperatura superficial da água tende a ser bem mais elevada que a temperatura do fundo, devido a radiação solar. Assim, a densidade da água superficial torna-se inferior a camada do fundo, criando diferentes camadas ao longo da coluna d'água, quais sejam, epilímnio (camada superior, mais quente e menos densa, com maior circulação), metalímnio/termoclina (camada de transição) e hipolímnio (camada inferior, mais fria, mais densa, com maior estagnação). As diferenças de densidade podem ser tão significativas que acabam por causar uma completa estratificação da coluna d'água que, por sua vez apresenta um perfil clinogrado, impedindo a mistura completa entre estas camadas, conforme representação esquemática na Figura 6.52.



**Figura 6.52** - Representação do fenômeno da estratificação térmica. Fonte: adaptado de von Sperling (1996).

Já nas estações mais frias, há uma diminuição da temperatura da camada superior, causando uma homogeneização da temperatura ao longo de toda a coluna d'água, permitindo os movimentos de circulação em toda a profundidade, desde que haja uma força externa, geralmente, representada pela ação dos ventos (Figura 6.53). Neste caso, a coluna d'água apresenta um perfil ortogrado, com temperatura semelhante da superfície ao fundo. Assim, os ambientes lênticos (lagos e reservatórios) estão permanentemente sujeitos a uma alternância de processos de estratificação e de circulação (von Sperling, 1999a, apud Ruas, 2006).



**Figura 6.53** - Representação do corpo d'água em circulação completa. Fonte: adaptado de von Sperling (1996).

Segundo Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008) a estratificação e a desestratificação térmica são acompanhadas por uma série de outras alterações físicas e químicas na água. Destacam-se a distribuição vertical dos gases dissolvidos na água, como o oxigênio e o gás carbônico; a distribuição vertical de nutrientes, com o acúmulo de substâncias e elementos químicos no hipolímnio durante a estratificação; e concentrações verticais mais homogêneas na coluna de água, ou precipitação e recirculação totais. Ocorrem também modificações na distribuição dos organismos do fitoplâncton e do zooplâncton e acúmulo de certos componentes da comunidade, como bactérias nos gradientes de temperatura e densidade.

Segundo von Sperling (1996), em períodos de estratificação térmica do reservatório, os níveis de oxigênio dissolvido tendem a sofrer uma depleção ao longo da coluna d'água, devido à falta de reoxigenação através da ausência de difusão vertical e circulação total da massa d'água, tornando as concentrações de OD no hipolímnio extremamente baixas. Esta baixa concentração ou ausência de oxigênio dissolvido no fundo do lago (ou reservatório) tende a induzir a ressolubilização de compostos, anteriormente precipitados, ou seja, tais substâncias passam do estado oxidado (presença de oxigênio) para o estado reduzido (ausência de oxigênio), causando uma deterioração da qualidade da água no fundo pela concentração de elementos tóxicos, compostos orgânicos e nutrientes. O fato tende a se agravar em momentos de inversão térmica, caracterizada pelo resfriamento brusco da camada superficial do lago, que acontece normalmente no inverno, causando uma homogeneização brusca da temperatura ao longo de toda a profundidade e, conseqüentemente, originando um revolvimento total do lago. Este fenômeno faz com que os compostos reduzidos, presentes anteriormente apenas no hipolímnio, se distribuam ao longo de toda a coluna d'água, causando déficit nas concentrações de oxigênio e deterioração de toda a massa d'água, trazendo conseqüências tanto para a qualidade da água quanto para a biota.

Branco (1986, apud Mucci, 2004) aceita o estabelecimento da estratificação em lagos com profundidades superiores a 12 metros já que 99% da radiação solar é absorvida nos 10

primeiros metros, decrescendo rapidamente a partir dos 12 metros. O reservatório da UHE Funil possui uma profundidade média de 7,72 metros, apresentando, assim, um bom potencial de circulação na coluna d'água, de acordo com estes critérios. No entanto, segundo o levantamento batimétrico realizado para este corpo hídrico (HAC, 2006) em alguns pontos do reservatório, a profundidade máxima supera os 12 metros, atingindo 32,10 metros na região próxima ao barramento. Nestes locais, o reservatório encontra-se sujeito a potenciais processos de estratificação da coluna d'água.

Segundo von Sperling (2005), lagos e reservatórios podem apresentar diferentes padrões e frequências de mistura, conforme detalhado nas tabelas 6.30 e 6.31.

**Tabela 6.30** - Classificação para lagos e reservatórios quanto ao padrão de circulação.

<b>Classificação</b>	<b>Padrão de Circulação</b>
Holomíticos	Circulação total (ao longo de toda a coluna d'água).
Meromíticos	Circulação parcial. A camada superior, que circula, chama-se mexolímnia. A camada inferior, que não circula, chama-se monimolímnia.
Amíticos	Ausência de circulação. Usualmente cobertos com gelo, em altitudes bastante elevadas.

Fonte: von Sperling (1999a) e von Sperling (2005).

**Tabela 6.31** - Classificação para lagos e reservatórios quanto a frequência de circulação.

<b>Classificação</b>	<b>Frequência de mistura</b>	<b>Exemplos</b>
Monomítico	Uma vez ao ano.	Lagos tropicais, durante o inverno.
Dimítico	Duas vezes ao ano.	Lagos temperados.
Oligomítico	Poucas vezes ao ano.	Lagos grandes em regiões frias.
Polimítico	Várias circulações por ano.	Lagos rasos com circulações diárias, desprotegidos das ações dos ventos, localizados em regiões quentes. Influência das variações diurnas de temperatura.

Fonte: von Sperling (1999a; 2005).

von Sperling (1999a) afirma que no caso de ambientes aquáticos tropicais, as variações de temperatura são ainda mais marcantes, tendo em vista o fato de que as diferenças de densidade são cada vez maiores na medida em que se avança para faixas mais altas de temperatura. Desta maneira, um lago ou reservatório tropical que apresenta, por exemplo, temperatura de 28°C na camada superior e de 25°C junto ao fundo, estará provavelmente

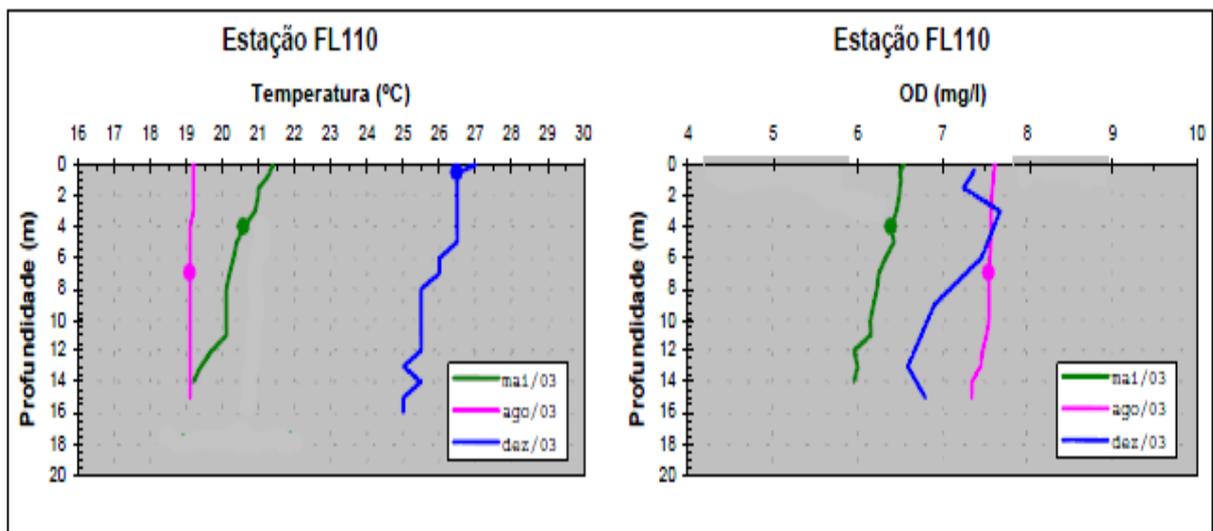
estratificado devido às fortes diferenças de densidade. Já no período noturno, quando a temperatura superficial pode cair alguns poucos graus, este mesmo ambiente pode entrar na fase de circulação devido à semelhança nos valores da densidade na superfície e no fundo. Branco (1986 apud Mucci, 2004) aceita que uma estabilidade de estratificação perfeita ocorre em lagos tropicais com temperaturas superficiais das águas entre 20°C e 30°C, como ocorre na maior parte do tempo nos padrões de temperatura observados para o reservatório da UHE Funil.

Face ao exposto, por se tratar de um reservatório localizado em região subtropical, de acordo com as Tabelas 6.30 e 6.31, o reservatório em estudo apresenta características de lagos oligomíticos. Em relação aos padrões de circulação, conforme discutido no estudo dos parâmetros morfométricos (Item 5.7, do Capítulo 5), o reservatório apresenta uma dificuldade média em promover misturas completas ao longo da coluna d'água, podendo ser classificado como meromítico (circulação parcial) em determinados momentos e holomítico (circulação total) em outros, de acordo com as estações do ano e intensidade da ação dos ventos. De acordo com o estudo do potencial de estratificação do reservatório da UHE Funil realizado para o ano de 2003 (Holos, 2004), os resultados obtidos a partir do cálculo do Índice Densimétrico de Froude, indicaram que, teoricamente, o reservatório teve tendência para permanecer completamente misturado em janeiro, fevereiro e dezembro, e fracamente estratificado no restante do ano, havendo uma tendência pouco mais acentuada para a estratificação nos meses de agosto e setembro. Por outro lado, nesses meses, as baixas temperaturas do ambiente e as maiores velocidades do vento teriam de se incumbir de reduzir ainda mais essa tendência para a estratificação. Tais dados corroboram com os resultados obtidos no presente trabalho.

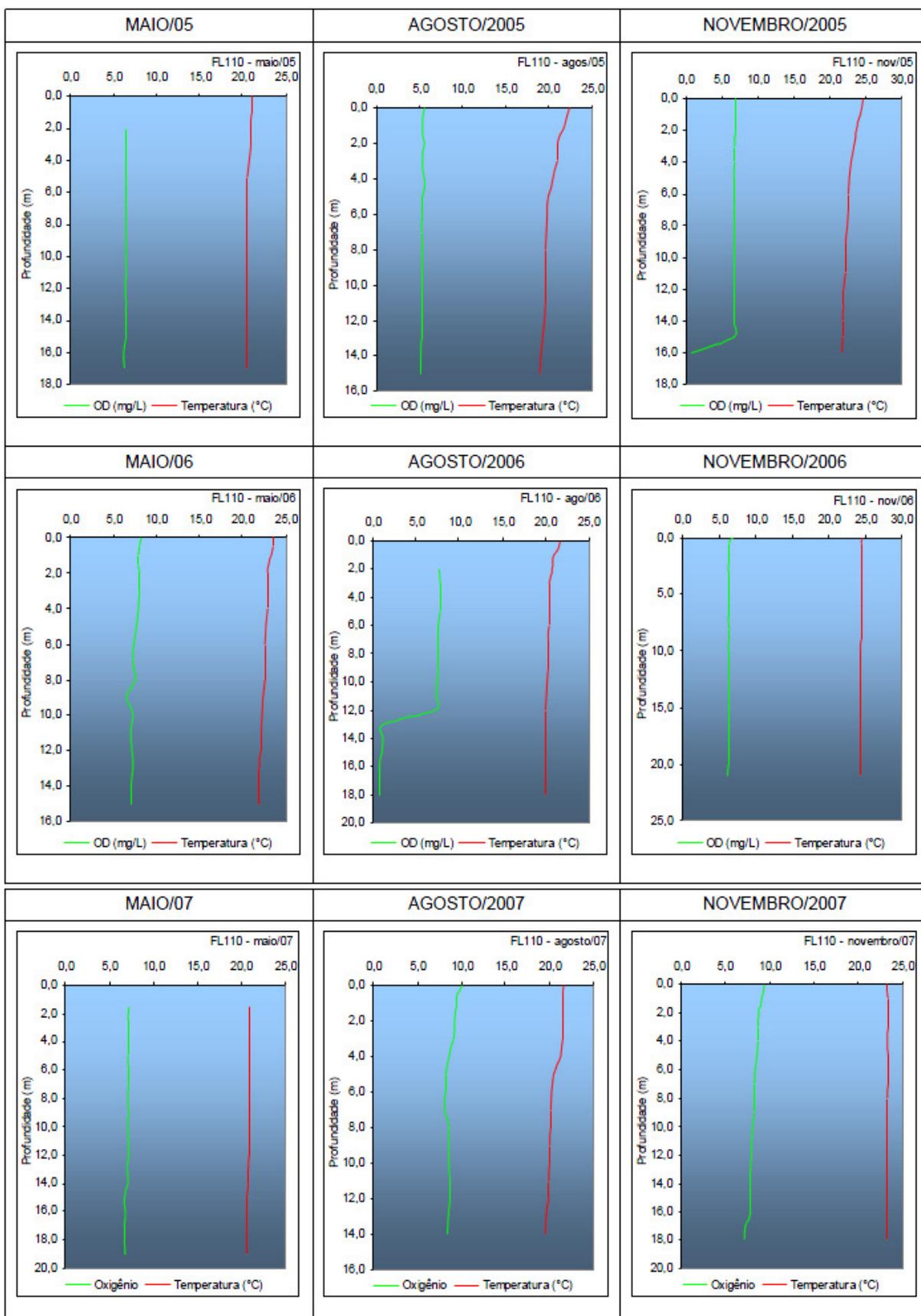
Para avaliar estas tendências, a partir da formação do reservatório e início da operação do empreendimento (maio/2003), iniciou-se o monitoramento dos perfis térmico e de oxigênio dissolvido para acompanhar os padrões de circulação e estratificação do copo hídrico. Conforme exposto no Capítulo 5, os resultados explorados no âmbito deste trabalho referem-se às estações FL110 (porção mediana do reservatório) e FL120 (região a montante do barramento), que por sua vez apresentam as maiores profundidades e características predominantemente lênticas.

Dessa maneira, os resultados obtidos para os perfis térmicos e de oxigênio dissolvido são apresentados nas Figuras 6.54, 6.55 e 6.56, para o ponto FL110; e 6.57, 6.58 e 6.59, para o ponto FL120. Ressalta-se que os gráficos apresentados foram retirados dos relatórios de

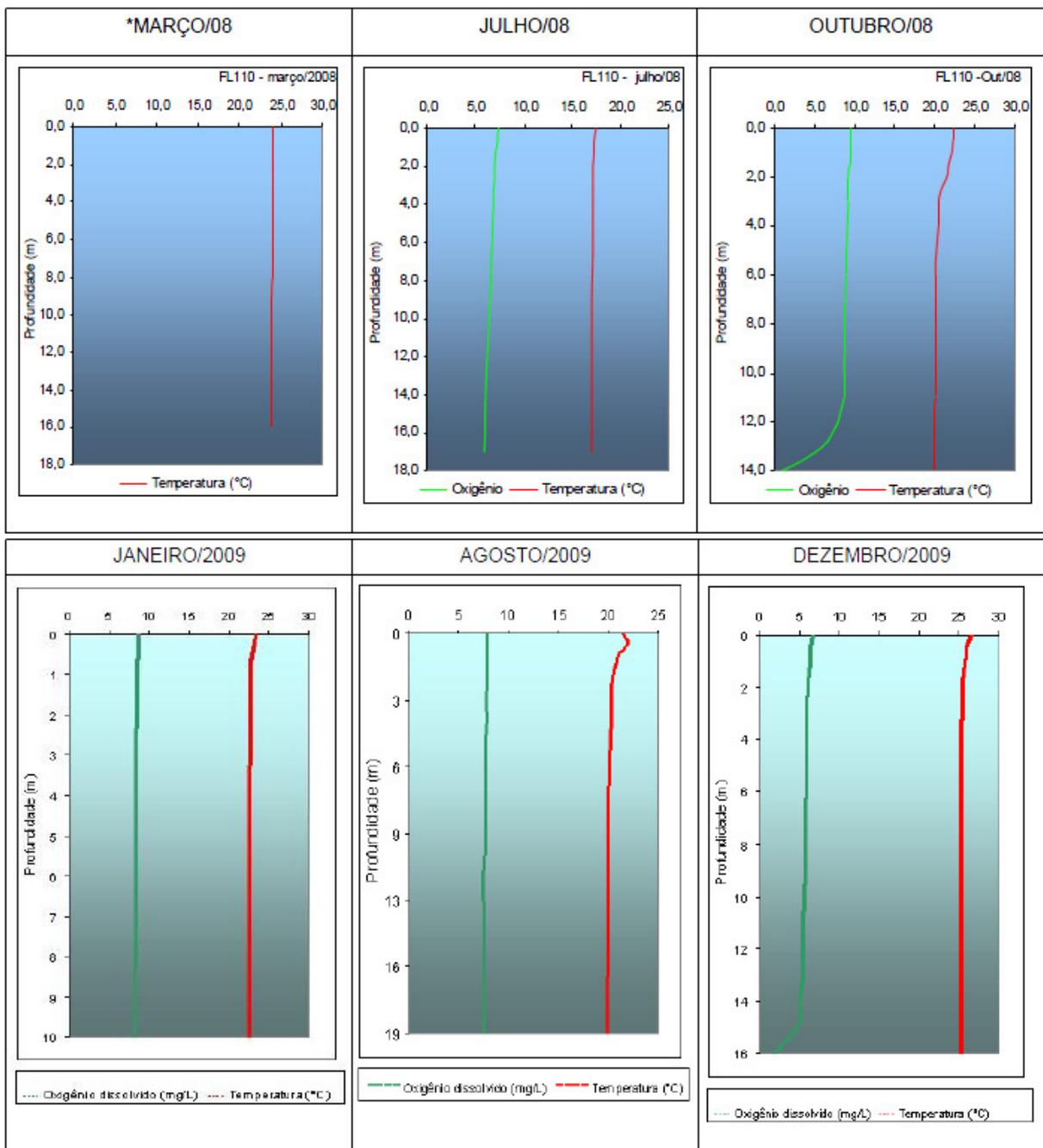
monitoramento da qualidade da água do reservatório da UHE Funil (Holos, 2004) e Limnos (2009 e 2010), tendo em vista a impossibilidade de acesso a todos os resultados de medição dos perfis. Dessa forma, tais resultados serão apresentados apenas para discutir as tendências encontradas para o potencial de estratificação e padrões de mistura do reservatório ao longo do tempo, tendo em vista os resultados obtidos no estudo morfométrico e demais características discutidas anteriormente.



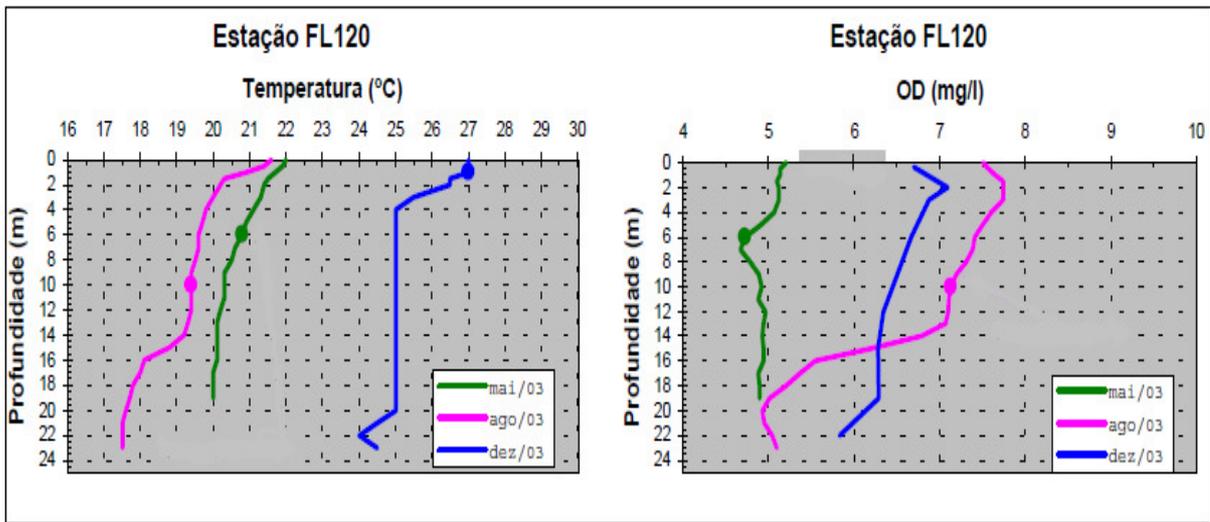
**Figura 6.54** - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL110, nas campanhas de 2003. Fonte: Holos (2004).



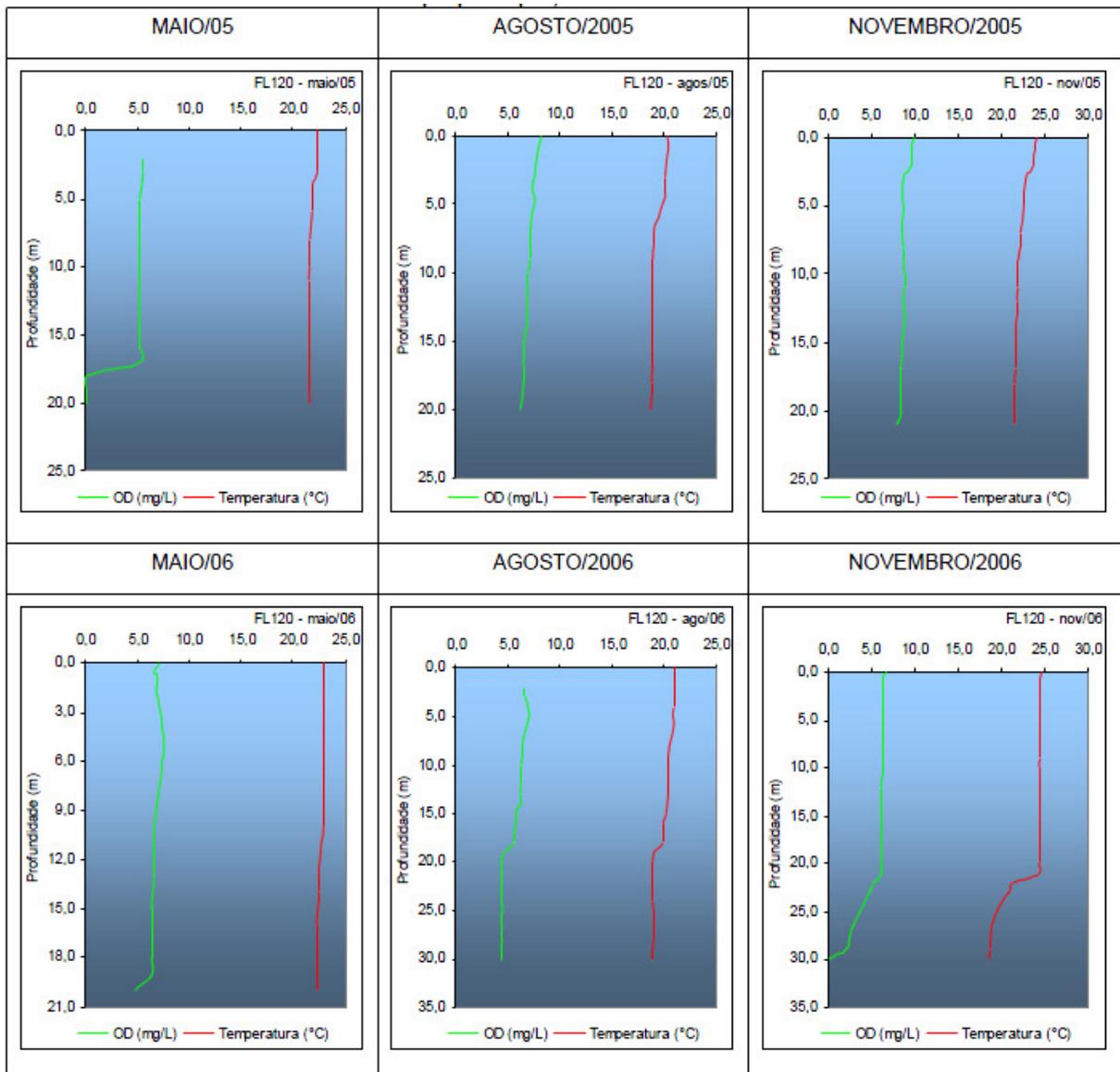
**Figura 6.55** - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL110, nas campanhas de 2005 a 2007. Fonte: Limnos (2009).

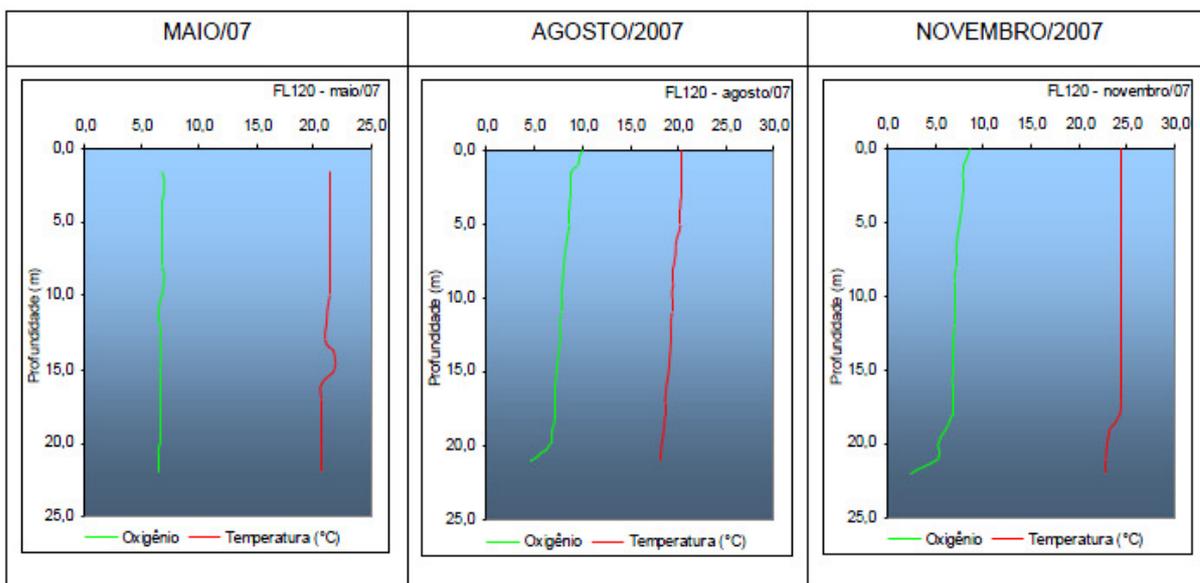


**Figura 6.56** - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL110, nas campanhas de 2008 a 2009 (ausência de perfil de oxigênio dissolvido em março/2008).  
 Fonte: Limnos (2009 e 2010).

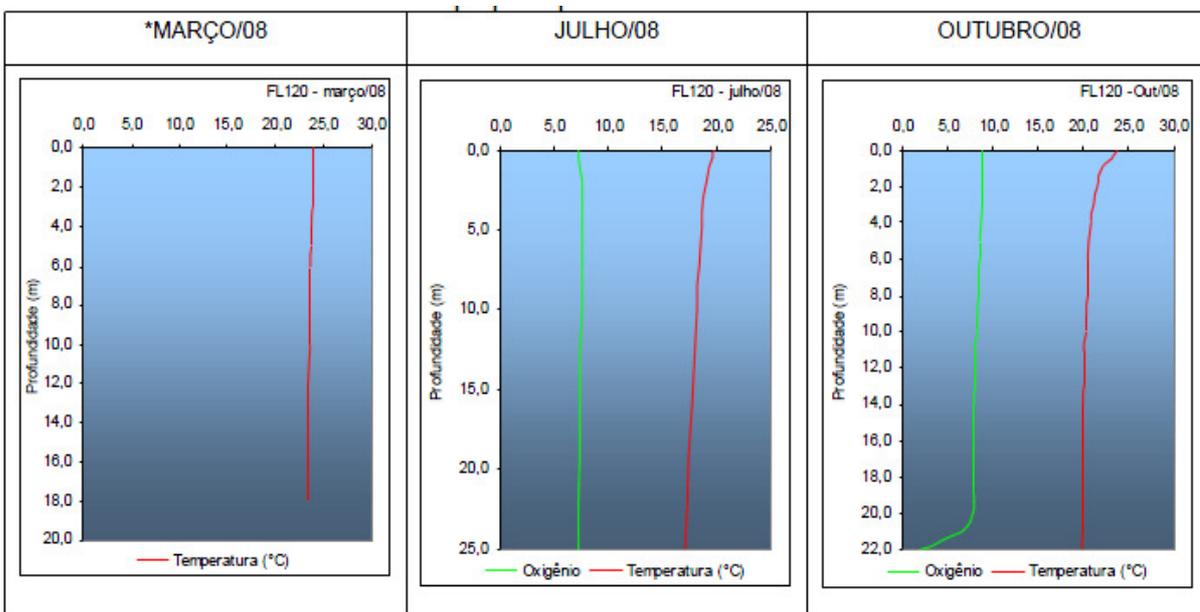


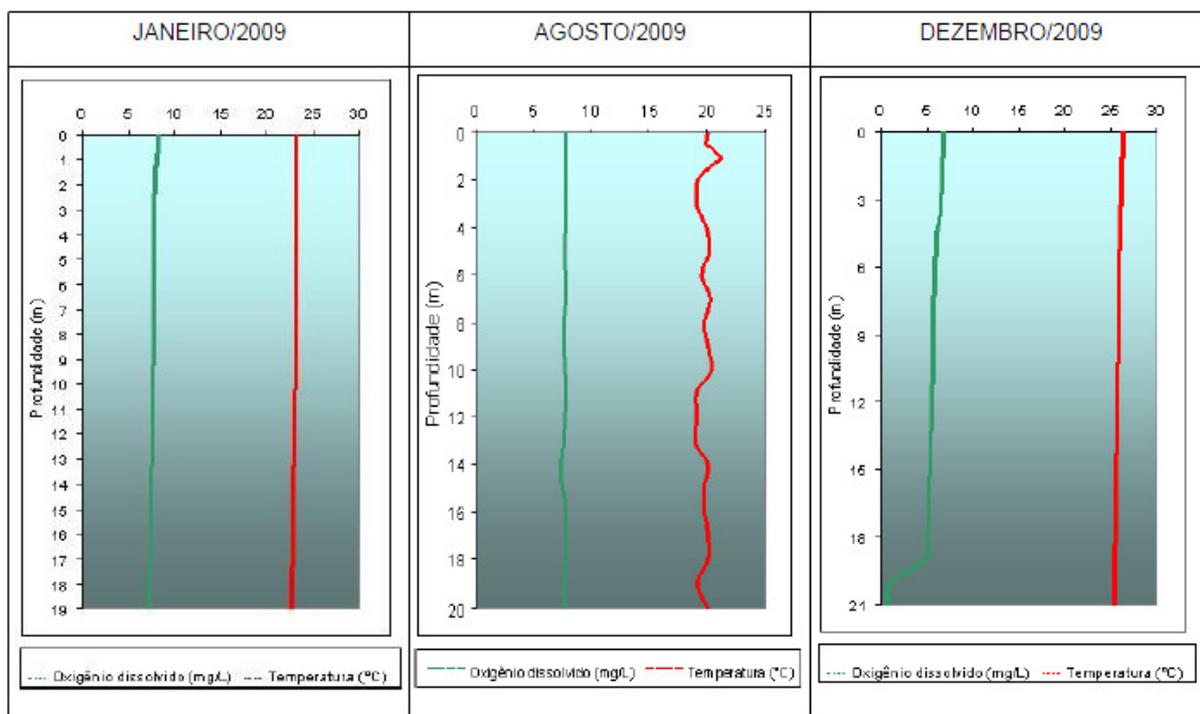
**Figura 6.57** - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL120, nas campanhas de 2003. Fonte: Holos (2004).





**Figura 6.58** - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL120, nas campanhas de 2005 a 2007. Fonte: Limnos (2009).





**Figura 6.59** - Perfis térmicos e de oxigênio dissolvido obtidos no ponto FL120, nas campanhas de 2008 a 2009 (ausência de perfil de oxigênio dissolvido em março/2008).  
 Fonte: Limnos (2009 e 2010).

Os gráficos de perfil térmico obtidos ao longo do monitoramento no evidenciam a diferença entre as temperaturas das águas nas diferentes campanhas. Em relação à estação FL 110, a partir das Figuras 6.54 a 6.56 é possível constatar que na maioria das campanhas observou-se um perfil térmico ortogrado, ou seja, com a temperatura praticamente constante ao longo de toda a massa d'água, tornando possível a ocorrência de mistura em toda a massa de água. O perfil clinogrado, ou seja, apresentando a completa distinção entre epilímnio, metalímnio e hipolímnio foi observado claramente apenas em maio/2003 e dezembro/2003.

Já nas campanhas de novembro/2005, agosto/2006, agosto/2007 e outubro/2008, foi observada uma ligeira diminuição da temperatura ao longo da coluna d'água, acompanhada por uma diminuição de oxigênio dissolvido. No entanto, esta diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido pode estar relacionada com o decaimento da concentração de oxigênio dissolvido. Conforme discutido anteriormente, segundo Branco (1986, apud Mucci, 2004) a radiação solar incidente é praticamente toda absorvida ao longo dos 10 primeiros metros da coluna d'água, limitando a atividade fotossintética a esta camada, havendo então uma diminuição natural da concentração do oxigênio dissolvido com o aumento da profundidade. Destaca-se, em agosto/2006, a queda brusca na concentração de oxigênio dissolvido próxima ao fundo, podendo esta estar relacionada com o fato de que na interface sedimento-água

podem ocorrer perdas substanciais de oxigênio na água em razão da atividade bacteriana e da oxidação química (Esteves, 1998).

Os resultados de perfil térmico medidos na estação FL120 (Figuras 6.57 a 6.59) indicaram a ocorrência de estratificação térmica, nos meses de agosto e dezembro de 2003, agosto/2005, agosto e novembro de 2006 e novembro de 2007. Esses resultados indicam que houve a formação de camadas com diferentes densidades, que impediram a mistura completa da água, desde a superfície até o hipolímnio. Essa estabilidade térmica contribuiu para a redução das concentrações de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água. No entanto, como observado na estação FL110, na maioria das campanhas observou-se um perfil térmico ortogrado, ou seja, com a temperatura praticamente constante ao longo de toda a massa d'água, tornando possível a ocorrência de circulações completas. Ressalta-se a ocorrência de padrões de estratificação (perfil clinogrado) mais marcantes neste ponto do reservatório, podendo este estar relacionado com a maior profundidade máxima neste ponto do reservatório.

Nas campanhas de maio/2005, maio/2006, agosto/2007, outubro/2008 e dezembro/2009, observou-se o declínio natural do oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água, com uma queda brusca no hipolímnio, independente do gradiente térmico da coluna d'água, podendo esta estar associada à atividade bacteriana e da oxidação química da matéria orgânica no fundo. Ressalta-se que o padrão de decaimento da concentração de oxigênio pode também estar relacionado a uma estratificação mais branda da coluna d'água, como proposto por Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008), que afirmam que as diferenças de densidade se acentuam com temperaturas mais elevadas, razão porque o processo de estratificação e estabilização do lago é maior mesmo quando as diferenças térmicas entre temperaturas da superfície e da profundidade são relativamente pequenas.

Os gráficos de perfil térmico e de oxigênio dissolvido demonstram a ocorrência de estratificação da coluna d'água, tanto em meses mais quentes quanto em meses mais frios, não demonstrando um padrão evidente de ocorrência de estratificação nos meses compreendidos pelo verão. Uma provável explicação para este fato pode estar relacionada com os horários em que foram realizadas as medições. Segundo Ruas (2006), coletas realizadas em horários diferentes ao longo do dia para as campanhas de um mesmo mês, acabam por influenciar a temperatura na superfície, para mais ou para menos, e assim, aumentando ou diminuindo a amplitude média em relação à temperatura do fundo do reservatório, que tende a ser mais estável ao longo do dia. De qualquer maneira, o padrão de

estratificação térmica mais marcante foi obtido na estação FL120, em novembro/2006 (verão), com quase 10° C de diferença entre epilímnio e hipolímnio.

A ocorrência de padrões de estratificação mais evidentes nos meses de verão é descrita na literatura. von Sperling *et al* (2004), ao analisarem o perfil térmico do lago de Águas Claras, constataram que as oscilações verticais (diferenças entre superfície e fundo) são naturalmente superiores nos meses mais quentes do ano. Por outro lado, nos meses de inverno ocorre um resfriamento da camada superficial, provocando um aumento da densidade das águas naquela região. Desta forma, a densidade na superfície do lago assume valores próximos àqueles encontrados nas camadas inferiores, gerando, conseqüentemente, um processo de circulação vertical da massa líquida mediante a atuação dos ventos. As diferenças de temperatura entre superfície e fundo apresentaram, portanto, os valores mínimos nos meses mais frios.

Face ao exposto, os resultados obtidos no presente trabalho comprovam as tendências discutidas no estudo dos parâmetros morfométricos do reservatório (tópico 5.7, Capítulo 5), uma vez que, ao comparar os perfis térmicos e de oxigênio dissolvido, constata-se uma dificuldade de circulação que pode ser classificada como de "baixa a média", sendo esta condicionada principalmente pelo volume e desenvolvimento do volume: por se tratar de um reservatório de grande volume e, ainda, tendo em vista o resultado obtido para o desenvolvimento do volume ( $D_v = 0,72$ , ou seja,  $< 1$  - menor exposição a ação dos ventos), apresenta grande tendência aos processos de estratificação. Por outro lado, os resultados obtidos para as profundidades média e relativa indicam uma boa capacidade de difusão vertical e, conseqüentemente, uma grande possibilidade do reservatório da UHE Funil em circular completamente, equilibrando, assim, a equação das variáveis envolvidas no processo de estratificação e circulação da massa d'água.

### **6.3 Avaliação da evolução do Índice de Qualidade da Água - IQA**

Em geral, o número de parâmetros estabelecidos pela legislação para se determinar a qualidade da água é grande, tornando difícil a integração de todas essas variáveis em um índice único. Dessa maneira, o Índice de Qualidade das Águas - IQA, desenvolvido pela "National Sanitation Foundation" e adaptado pela CETESB, torna-se uma alternativa viável, uma vez que o mesmo constitui-se do produtório ponderado nas notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade de um conjunto de nove indicadores sanitários específicos: coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio - DBO(5 dias, 20°C), nitrogênio total, fósforo total, temperatura da água, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido – OD. O IQA

torna-se, portanto, uma maneira de se traduzir a qualidade sanitária do sistema hídrico, apesar de não levar em consideração as variáveis hidrobiológicas (comunidades aquáticas) do ecossistema em questão.

A metodologia para o cálculo e análise do IQA foi apresentada no Item 5.6 do Capítulo 5. A Figura 6.60 apresenta a evolução do IQA ao longo do período analisado e a Figura 6.61 pode ser utilizada na interpretação dos resultados do IQA (reapresentação da Figura 5.14). Ressalta-se que para a determinação do parâmetro nitrogênio total, neste trabalho, foi considerada a soma das parcelas correspondentes ao nitrogênio amoniacal e ao nitrato. Considera-se que esta adaptação não prejudica os resultados obtidos, tendo em vista que, conforme exposto anteriormente, o nitrogênio é encontrado na água, principalmente, sob as formas de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. No entanto, a forma "nitrito" é muito instável, sendo rapidamente convertida a nitrato, o que faz com que as concentrações de nitrito na água sejam extremamente baixas. Tal fato, associado ao baixo peso do parâmetro nitrogênio amoniacal na equação 5.2 (Item 5.6, Capítulo 5) que é de apenas 0,1, ou seja, 10% do índice, não compromete o resultado global da equação, considerando-se que o valor obtido para a soma de nitrato e nitrogênio amoniacal representam a quase totalidade do nitrogênio presente na água.

<b>Campanha</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>IQA Médio</b>
ago/01	92	85	89	93	93	91	91
nov/01	78	74	62	71	61	71	70
fev/02	81	83	50	57	77	70	70
mai/02	78	82	82	76	83	82	81
ago/02	93	93	80	93	92	86	90
dez/02	80	80	78	87	80	78	81
jan/03	72	75	59	68	77	64	69
fev/03	68	68	67	61	57	57	63
mai/03	90	82	79	89	87	68	82
ago/03	87	92	86	92	90	90	89
dez/03	83,66	69	64	71	76	73	73
mai/05	77	76	70	70	78	76,09	74
ago/05	94	93	94	94	88	84	91
nov/05	82	83	77	82	50	87	77
mai/06	88	74	74	83	92	90	83
ago/06	87	73	87	54	82	91	79
nov/06	83	70	68	76	83	71	75
mai/07	94	76	91	93	92	95	90
ago/07	95	88	87	94	89	91	91

nov/07	80	64	75	77	79	86	77
mar/08	*	*	*	77	77	75	77
jul/08	77	74	80	86	86	86	81
out/08	77	85	79	82	93	91	84
jan/09	66	54	54	59	60	69	60
ago/09	83	*	81	82	83	83	82
dez/09	84	78	67	76	86	*	78
IQA Médio	83	78	75	79	80	80	79

**Figura 6.60** - Evolução do IQA ao longo das campanhas. \*Impossibilidade de cálculo do IQA.

<i>Intervalo</i>	<i>Classificação</i>	<i>Cor</i>
80-100	Qualidade Ótima	
52-79	Qualidade Boa	
37-51	Qualidade Aceitável	
20-36	Qualidade Ruim	
0-19	Qualidade Péssima	

**Figura 6.61** - Classificação da água de acordo com os valores de IQA. Fonte: LIMNOS (2008).

Analisando-se a Figura 6.60 em conjunto com a Figura 6.61, constata-se que a qualidade da água se manteve nos níveis classificados entre "bom" (verde) e "ótimo" (azul) na maior parte do período analisado. É possível perceber também as influências do período chuvoso na qualidade da água, sendo os menores valores (predomínio de cores verdes) encontrados nos meses de novembro a março e os maiores de maio a outubro. Tal fato pode ser explicado pelo maior escoamento superficial nos solos da bacia de contribuição, pela ação das precipitações, intensificando o carreamento de material alóctone (matéria orgânica, nutrientes, sedimentos e poluentes) para os cursos hídricos. Destaca-se a ocorrência do padrão de classificação "aceitável/razoável" para a qualidade da água nos pontos FL090, em fevereiro/2002 e FL120, em novembro/2005. Tais ocorrências foram consideradas como pontuais e podem ser atribuídas a eventos poluidores (lançamento de efluentes, por exemplo).

Já a Tabela 6.32 apresenta a classificação média da qualidade da água em todos os pontos, considerando o período analisado.

**Tabela 6.32** - Classificação média da qualidade da água nos pontos de coleta.

<b>Qualidade</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>
<b>Ótima (%)</b>	64	44	32	42,3	57,5	66
<b>Boa (%)</b>	36	56	64	57,7	38,5	44
<b>Razoável (%)</b>	0	0	4	0	3,8	0

A partir dos resultados apresentados na Tabela 6.32, constata-se que as estações de amostragem que mantiveram a melhor qualidade da água na maior parte do tempo analisado foram FL050 (rio Grande, remanso do reservatório), FL120 (imediatamente a montante do barramento) e FL130 (imediatamente a jusante do barramento). Por outro lado, os pontos FL060 (rio Capivari), FL090 (rio das Mortes) e FL110 (porção mediana do reservatório) apresentaram menores níveis de qualidade da água na maior parte do tempo, embora ainda sob a classificação "boa". Estes menores valores podem estar relacionados com a grande contribuição de sedimentos, matéria orgânica, nutrientes e poluentes oriundos da bacia de drenagem dos rios Capivari e das Mortes e, ainda, das concentrações urbanas existentes no entorno do reservatório, notadamente Ijaci e Macaia.

Flauzino (2008) ao realizar um estudo da qualidade da água do reservatório da UHE Miranda entre os anos de 2003 a 2007, encontrou variações espaciais e temporais no IQA, observando uma qualidade da água oscilando entre "razoável" e "boa" na maior parte do tempo, sendo os menores níveis de qualidade observados no período chuvoso, em função da maior contribuição de material externo, advindo da intensificação do escoamento superficial nestes períodos. Além disso, demonstrou também a influência das contribuições oriundas do uso e ocupação do solo na bacia de drenagem, encontrando baixos níveis de qualidade da água próximo as manchas urbanas, como a cidade de Indianópolis; e influências na qualidade da água em função de contribuições dos cursos d'água existentes na bacia. Todas estas constatações corroboram com os resultados obtidos neste trabalho.

Os resultados obtidos para o IQA ratificam aqueles obtidos e discutidos para os parâmetros físico-químicos, demonstrando mais uma vez a importância da influência da sazonalidade e dos usos e ocupação do solo na bacia de contribuição sob a evolução da qualidade das águas. A partir de uma análise geral, constata-se que, mesmo com a presença de tais contribuições/influências, a qualidade da água no trecho estudado vem se mantendo em níveis satisfatórios, mesmo após a implantação do barramento e formação do reservatório (fevereiro/2003), indicando um ambiente aquático ainda pouco alterado, que vem mantendo uma boa capacidade de assimilação e depuração de poluentes. Estes resultados podem estar refletindo também as boas condições de conservação do entorno do reservatório, diagnosticadas durante a elaboração do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial - PACUERA da UHE FUNIL (Bios, 2010), representadas dentre outras características, pela baixa exposição do solo, pela baixa ocorrência de processos

erosivos acelerados, pela conservação das pastagens e pelos resquícios de vegetação florestal espalhados no perímetro do reservatório.

#### **6.4 Avaliação dos parâmetros hidrobiológicos**

Até este ponto, foram discutidos apenas os resultados obtidos para as variáveis físicas, químicas e bacteriológicas, bem como suas consequências para o comportamento da qualidade da água do reservatório da UHE Funil. No entanto, tendo em vista que a qualidade da água nada mais é do que uma "integral espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico" (Tundisi, 1986), serão discutidos a seguir os resultados obtidos para o diagnóstico das comunidades biológicas que, por sua vez, constituem um reflexo da qualidade total dos ecossistemas (física, química e biológica). Para tanto, foram utilizados os resultados obtidos para a riqueza e a densidade do fitoplâncton e do zooplâncton, considerando o período de ausência de barramento (2001 e 2002), de enchimento do reservatório (dezembro/2002 a fevereiro/2003) e início da operação do empreendimento (a partir de maio/2003). No entanto, os resultados serão discutidos anualmente, conforme justificado no Item 5.6, no Capítulo 5.

Ressalta-se que a relação de espécies encontradas e os dados brutos referentes a riqueza e densidade dos grupos de organismos estudados encontram-se no Apêndice B e C.

##### **6.4.1 Fitoplâncton - riqueza e densidade**

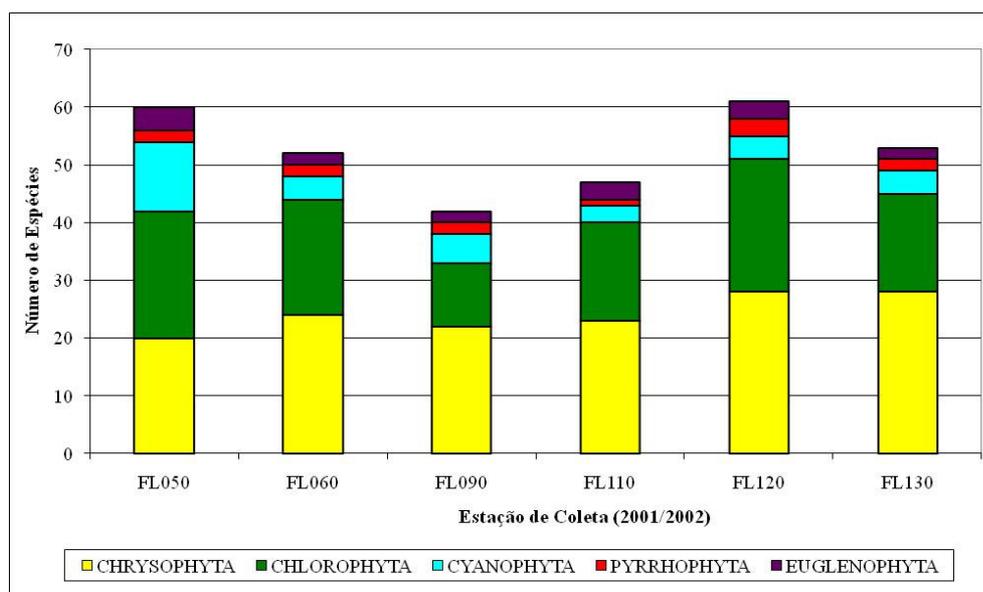
A comunidade fitoplanctônica é constituída pelo conjunto dos organismos aquáticos microscópicos que têm capacidade fotossintética e que vivem dispersos flutuando na coluna de água. Segundo Barbosa (2002), o fitoplâncton é considerado como o primeiro elo com o meio abiótico e, assim, esta comunidade de organismos configura-se na principal porta de entrada de matéria e energia, constituindo-se no mais relevante produtor primário de ecossistemas de águas abertas, e atuando como uma importante ferramenta para definição da fisiologia de sistemas aquáticos.

O conhecimento da dinâmica da comunidade fitoplanctônica, especificamente, é relevante não apenas por sua importância para a produção primária do ambiente pelágico, como também por serem as flutuações temporais e espaciais em sua composição e biomassa, indicadores eficientes das alterações naturais ou antrópicas nos ecossistemas aquáticos. Além disto, o curto tempo de geração das algas (horas-dias) permite que importantes processos sejam mais

bem compreendidos, tornando a comunidade fitoplanctônica útil como modelo para um melhor entendimento de outras comunidades e dos ecossistemas em geral (Bozelli & Huszar, 2003 apud Andrade, 2008).

Branco (1986 apud Mucci, 2004) afirma que, para fins de classificação ecológica, as algas também são consideradas bons indicadores de poluição devido a sua presença, quase invariável, em todos os corpos de águas doces e por incluírem espécies tolerantes e outras muito sensíveis à presença da poluição. Os organismos fitoplanctônicos não constituem e nem estão associados diretamente às causas da poluição, mas sua presença ou ausência constitui uma consequência desta. As algas podem morrer, ser beneficiadas ou se adaptar na presença do material poluidor, sendo o resultado do quadro ecológico característico da poluição e, refletindo-o, permitem-nos o conhecimento do mesmo.

As figuras 6.62 a 6.69 apresentam a variação temporal dos resultados obtidos para riqueza do fitoplâncton nas seis estações amostrais, considerando os períodos de pré-enchimento (2001 e 2002), enchimento (2002/2003) e operação do reservatório (2003 a 2009). Durante o monitoramento, foram encontrados alguns dos grupos fitoplanctônicos mais comuns em ambientes aquáticos tropicais de água doce. As divisões registradas foram: Chrysophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Pyrrophyta e Euglenophyta. Foi também registrada a presença de fitoflagelados não-identificados, os quais podem fazer parte de diferentes classes (ver tabelas de dados brutos no Apêndice B).



**Figura 6.62** - Riqueza do fitoplâncton, nos anos de 2001 e 2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.

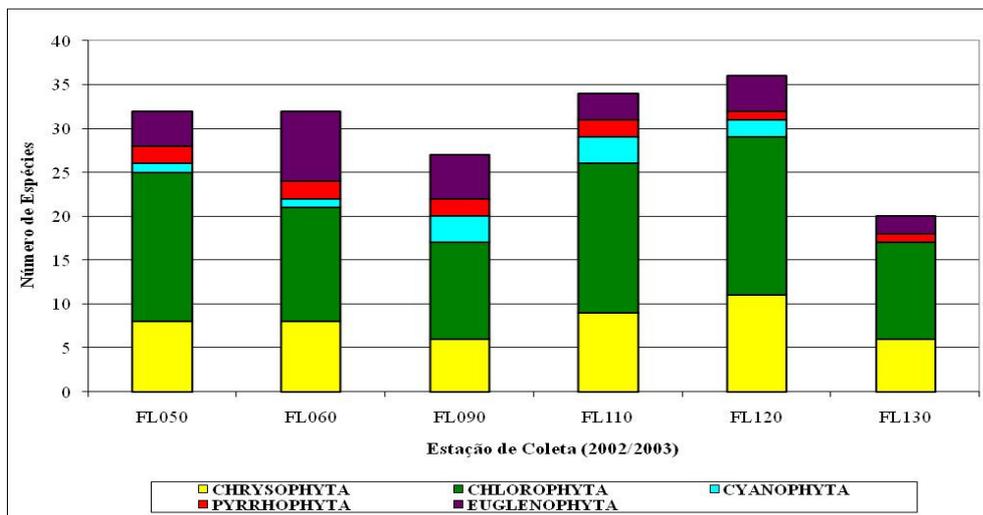


Figura 6.63 - Riqueza do fitoplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.

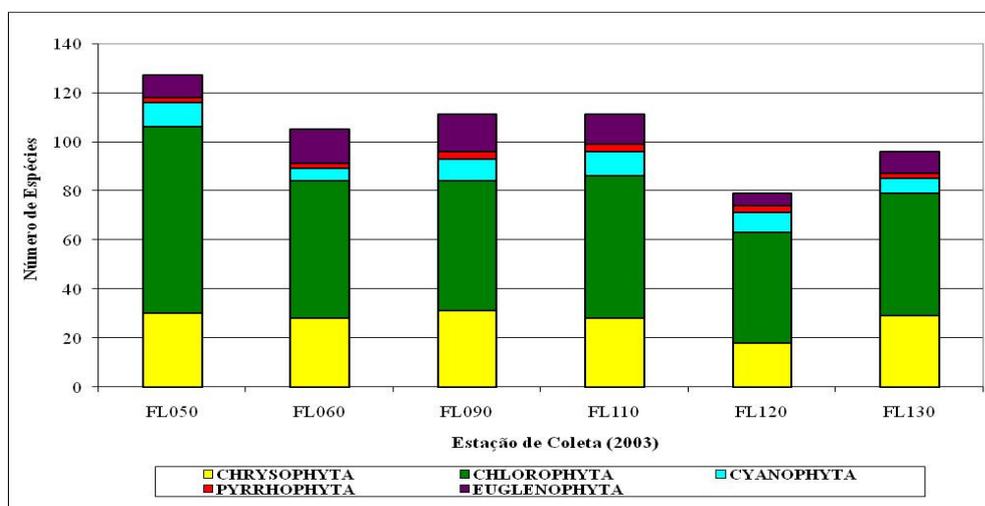


Figura 6.64 - Riqueza do fitoplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.

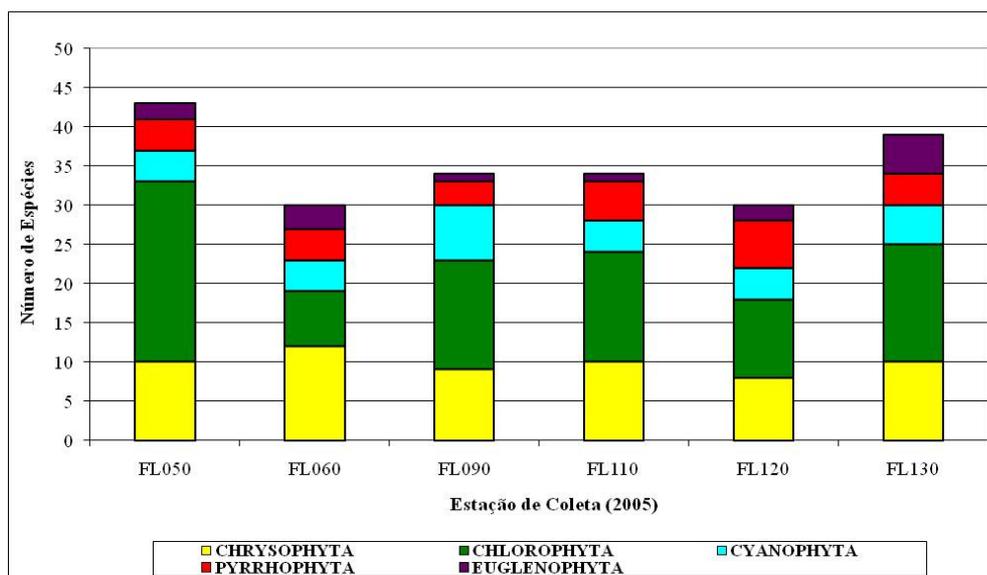


Figura 6.65 - Riqueza do fitoplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.

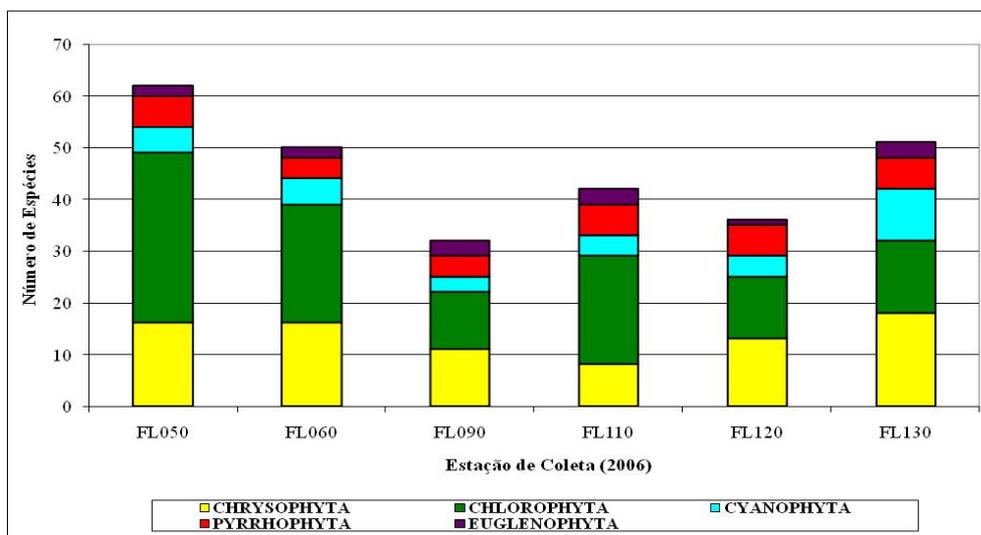


Figura 6.66 - Riqueza do fitoplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.

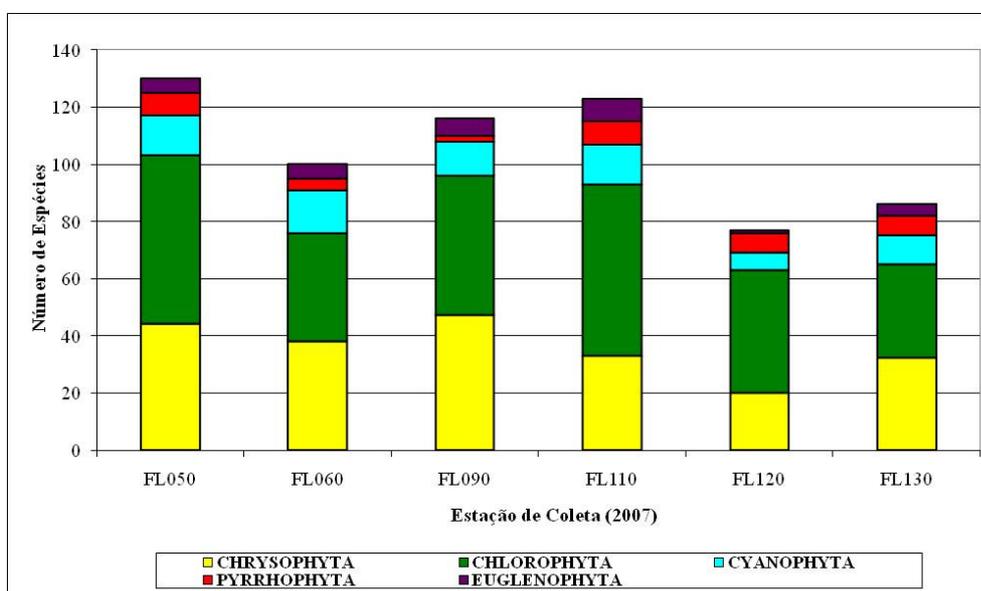


Figura 6.67 - Riqueza do fitoplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.

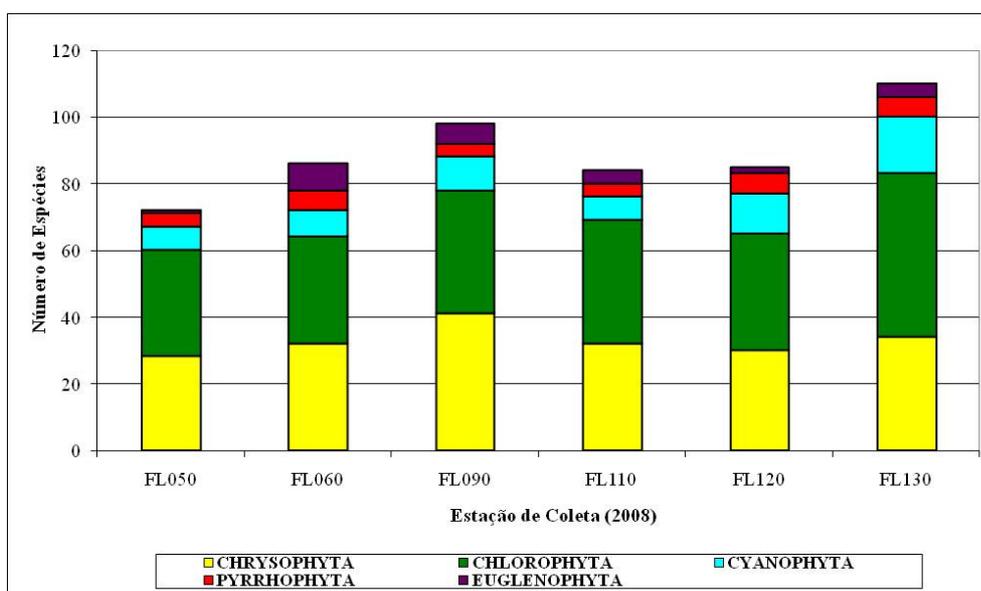
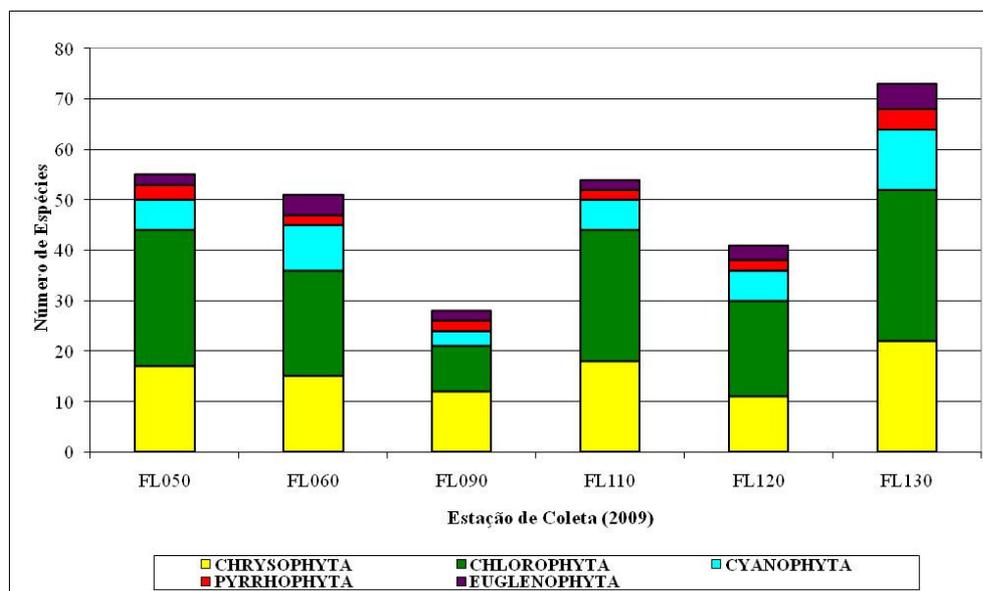


Figura 6.68 - Riqueza do fitoplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.



**Figura 6.69** - Riqueza do fitoplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.

A partir da análise das Figuras 6.62 a 6.69 percebe-se a evolução da comunidade fitoplanctônica ao longo dos períodos estudados. Em geral, foram encontrados de médios a altos valores de riqueza de organismos, considerando todas as estações monitoradas na área do UHE Funil. As maiores riquezas de organismos registradas nesse estudo ocorreram nas campanhas realizadas em 2003 e 2007. Nestes anos foram registrados, respectivamente, uma média de 104,83 e 105,33 unidades taxonômicas por estação, enquanto nos outros anos foram encontrados em média 52,5 "taxa" em 2001 e 2002; 30,17 em 2002/2003, 35 em 2005, 45,6 em 2006, 89,17 em 2008 e 50,33 "taxa" em 2009. Ressalta-se que a ocorrência de um maior número de taxa em 2003 coincide com os maiores níveis de fósforo total encontrados durante os estudos, indicando que as altas concentrações desse nutriente podem ter estimulado o grande desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica neste período.

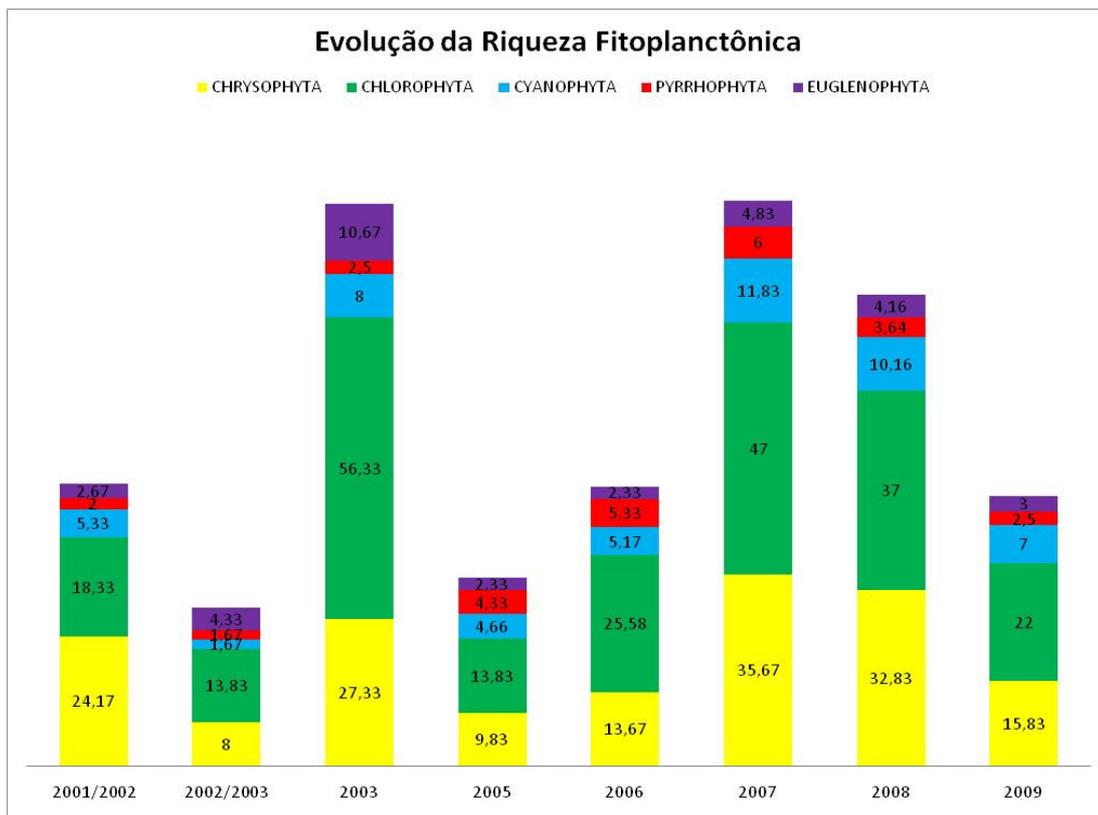
No período de 2003 a 2009, de maneira geral, foi encontrado um maior número de unidades taxonômicas nos pontos FL050 (rio Grande, remanso do reservatório), FL090 (rio das Mortes, remanso do reservatório), FL110 (porção mediana do reservatório) e FL130 (jusante do barramento). No caso do ponto FL050, é provável que os valores de riqueza estejam sendo influenciados pela contribuição constante oriunda nos dois reservatórios a montante: Itutinga e Camargos, que podem estar contribuindo com o desenvolvimento de uma maior riqueza. No caso do rio das Mortes, a provável explicação concentra-se no maior aporte de nutrientes advindos de sua bacia de contribuição, conforme discutido anteriormente, que acabam estimulando a produtividade primária neste trecho. Já os valores obtidos para a porção mediana do reservatório podem ser justificados pela condição lântica associada ao aporte de nutrientes constante oriundo nas localidades de Macaia e Ijaci, bem como das atividades

agrícolas desenvolvidas no entorno. As condições lênticas (ausência de turbulência) fornecem condições para que os organismos consigam se manter na coluna d'água e aproveitar os maiores teores de nutrientes. Esta última condição não é observada para o ponto FL130 que, por sua vez, apresenta condições lóticicas. Este, por sua vez, é diretamente influenciado pela região de montante (FL120), recebendo contribuições de espécimes planctônicas. Além disso, é provável que exista alguma fonte de nutrientes neste local como, por exemplo, o despejo de efluentes, que pode estar estimulando o desenvolvimento desta comunidade.

Nas campanhas realizadas em 2001 e 2002, houve predomínio da divisão Chrysophyta, que representou, em média, 46% dos organismos registrados, e de Chlorophyta, que foi representada, em média, por 35% das espécies encontradas. Já nas campanhas de monitoramento realizadas de 2003 a 2009 esse quadro se inverteu, com o predomínio em número de taxa para a divisão Chlorophyta, que representaram, em média, 45% das espécies obtidas e Chrysophyta, que representaram, em média, 31% dos organismos registrados nesse estudo. Chrysophyta é composta por organismos encontrados com maior facilidade em ambientes lóticos, pois os integrantes desse grupo são envolvidos por uma carapaça formada de sílica que os protege das águas turbulentas dos rios. Já as clorofíceas são mais sensíveis e por isso são encontradas com maior frequência em ambientes de águas mais calmas, como reservatórios, lagoas, dentre outros (Limnos, 2009). Contudo, conforme mostram os gráficos de composição do fitoplâncton, ambas as classes foram bastante representativas, tanto nos ambientes lóticos quanto nos lênticos.

Destacou-se também a divisão Cyanophyta que representou, em média, de 10% a 12% das espécies obtidas ao longo do período analisado. Dentre os gêneros mais frequentes, ou seja, encontrados em um maior número de estações e campanhas, podem ser citados *Anabaena*, *Chroococcales*, *Lyngbya*, *Microcystis*, *Oscillatoria*. Estas ocorrências devem ser constantemente monitoradas, tendo em vista que algumas das espécies de algas pertencentes a estes grupos de cianofíceas podem produzir substâncias tóxicas (toxinas) (CETESB, 2008).

A Figura 6.70 apresenta um resumo das variações obtidas, considerando os valores médios de riqueza para cada grupo ao longo do período de estudo.



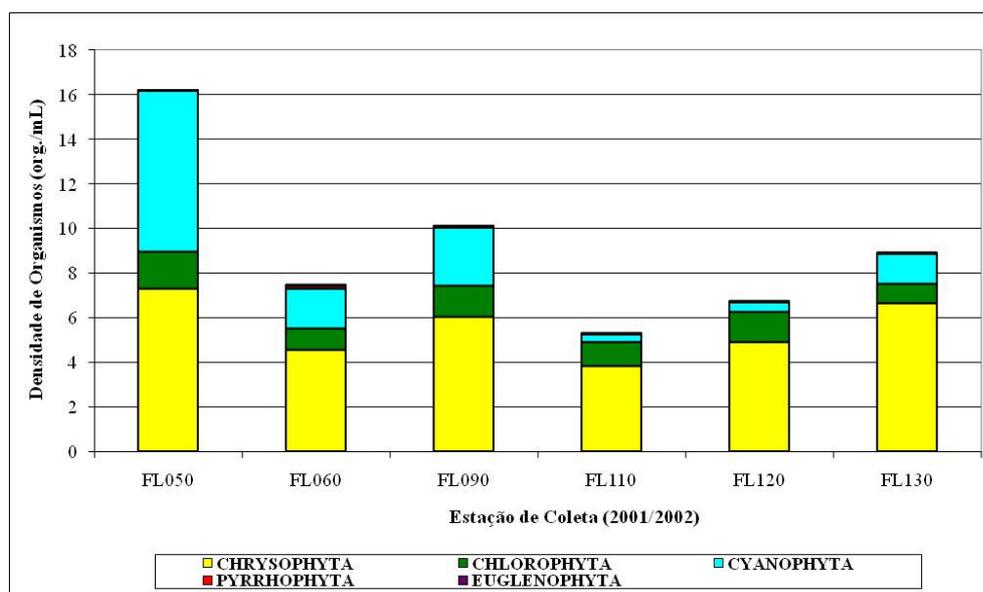
**Figura 6.70** - Evolução da riqueza média do fitoplâncton ao longo dos anos de monitoramento.

A Figura 6.70 apresenta uma compilação das informações discutidas anteriormente. É possível observar que, no período de pré-enchimento (2001/2002) havia uma riqueza média de 52 espécies. Na fase seguinte, no período de enchimento do reservatório (2002/2003), constata-se uma queda nos valores médios de riqueza para aproximadamente 30 espécies, o que pode estar relacionado com as condições de instabilidade no sistema aquático durante este período. Em seguida, com o reservatório completamente formado e em operação (a partir de 2003), são observadas oscilações entre os anos analisados, com picos de riqueza nos anos de 2003, 2007 e 2008, com, aproximadamente, 104, 105 e 88 espécies, respectivamente. Tais oscilações podem ser reflexo do período de estabilização do novo sistema (reservatório), com uma completa reestruturação da comunidade aquática em função das novas condições estabelecidas.

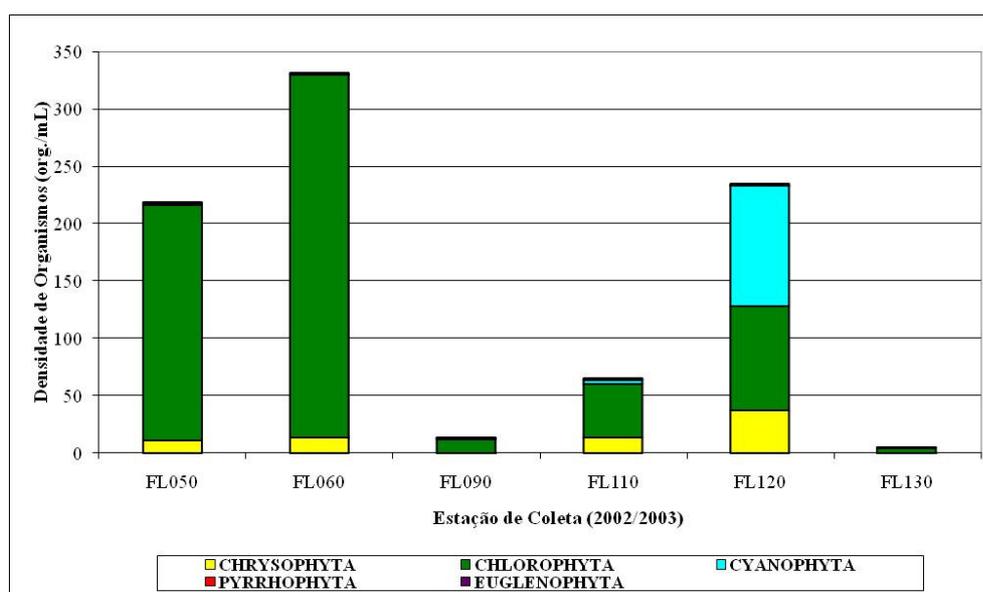
A partir da análise de todos os resultados, observa-se uma tendência de aumento da riqueza do fitoplâncton após a implantação do barramento, tendo em vista que houve um aumento na riqueza média global, que passou de 52,5 espécies (2001 e 2002 - Cenário 1) para 71,7 espécies (2003 a 2009). Segundo Ribeiro *et al* (2005) com a formação de um reservatório há um estabelecimento de condições lênticas (maior tempo de residência) e criação de áreas remansadas, devido às irregularidades da bacia, a partir da formação do reservatório,

associados a maior disponibilidade de nutrientes na coluna d'água. Portanto, há o estabelecimento de condições propícias ao desenvolvimento de uma comunidade algal mais diversa no ambiente formado, justificando assim os resultados obtidos.

Em relação ao estudo da variação da densidade dos grupos algais, as Figuras 6.71 a 6.78 apresentam a variação temporal dos resultados obtidos nas seis estações amostrais, considerando os períodos de pré-enchimento (2001 e 2002), enchimento (2002/2003) e operação do reservatório (2003 a 2009).



**Figura 6.71** - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2001/2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.



**Figura 6.72** - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.

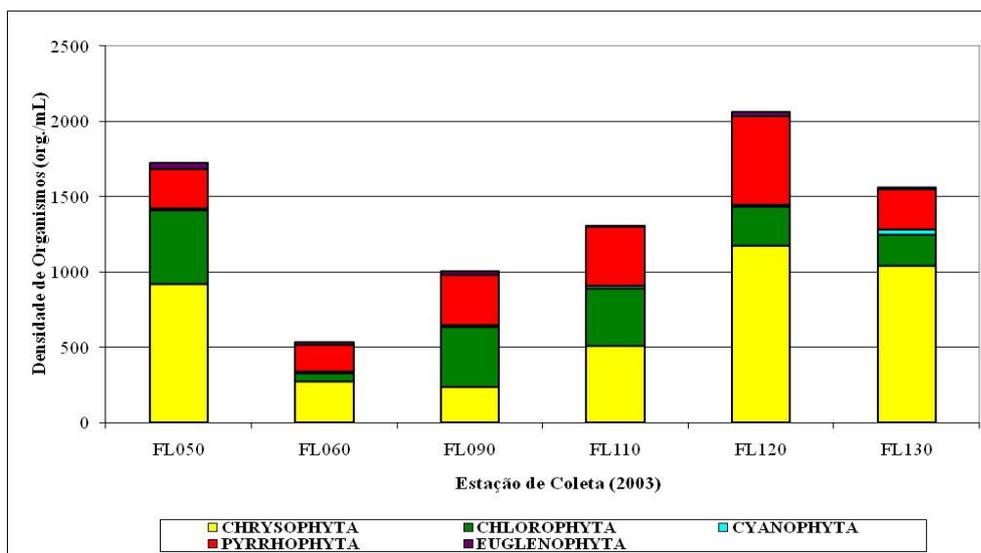


Figura 6.73 - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.

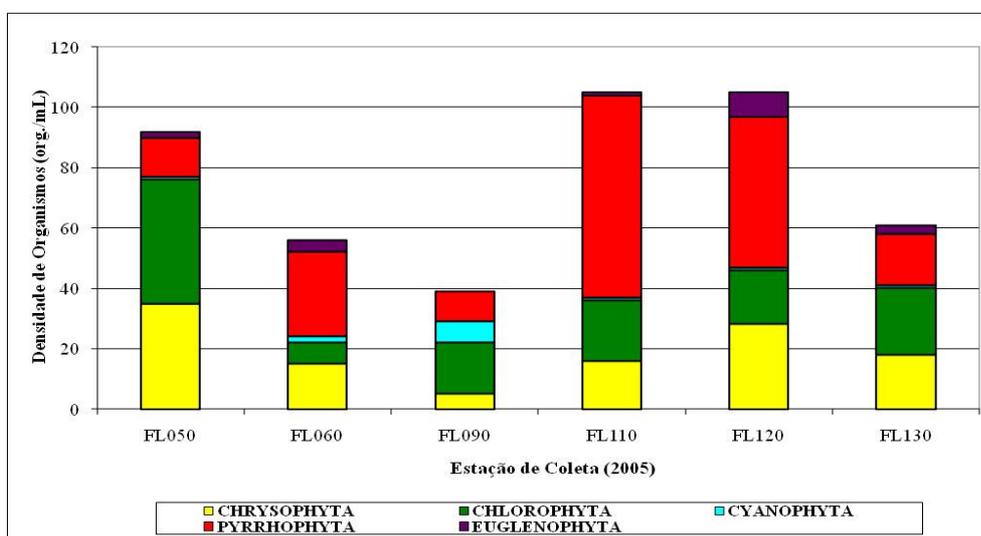


Figura 6.74 - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.

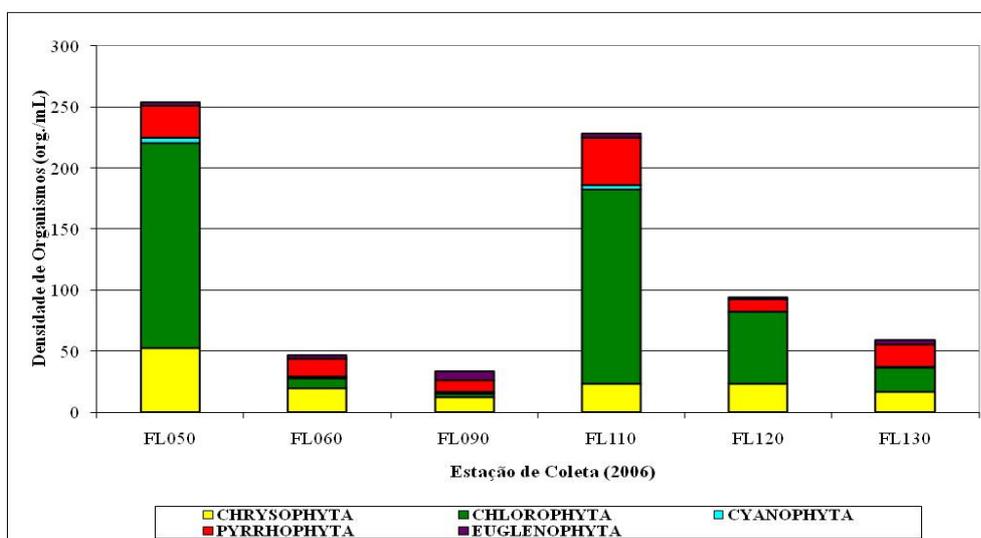


Figura 6.75 - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.

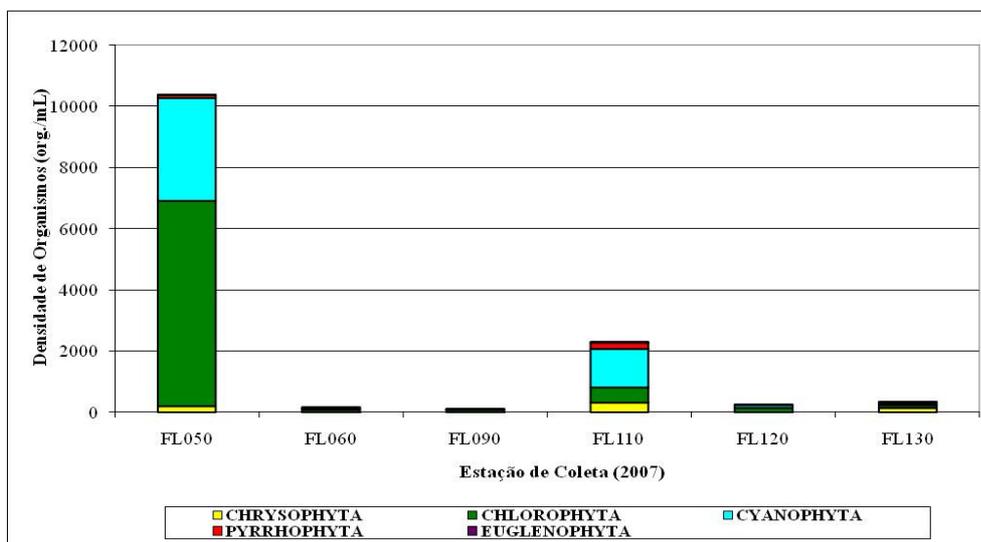


Figura 6.76 - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.

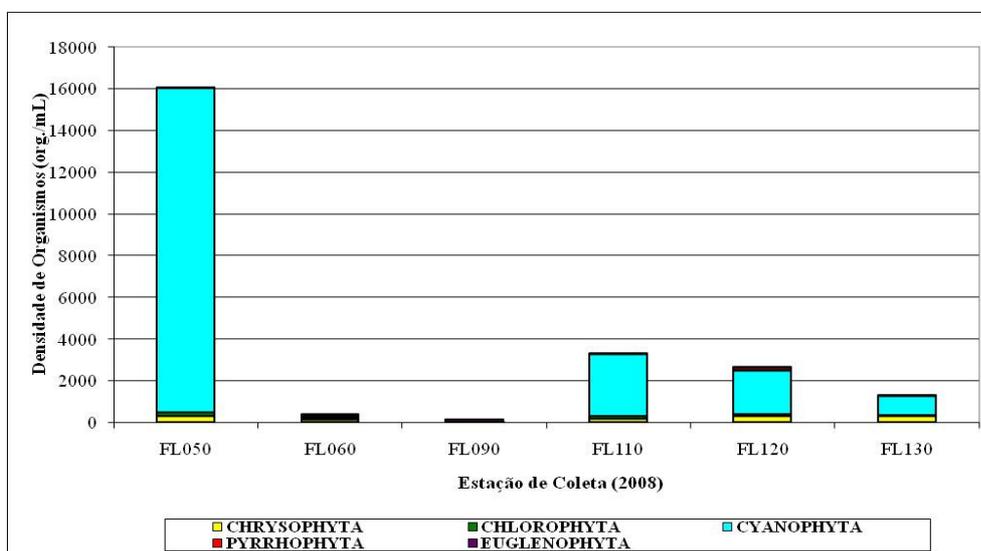


Figura 6.77 - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.

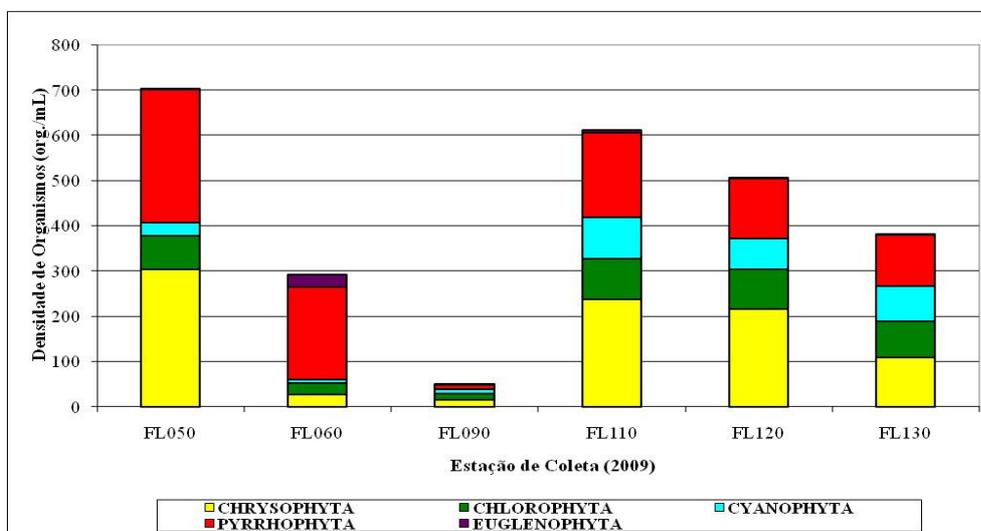


Figura 6.78 - Densidade (organismos/mL) do fitoplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.

A partir da análise das Figuras 6.71 a 6.78, é possível constatar a evolução das densidades de organismos fitoplanctônicos nas águas do reservatório da UHE Funil. Os maiores valores médios de densidade de organismos por estação foram obtidos nos anos de 2003, 2007 e 2008, seguindo um comportamento semelhante ao observado para a riqueza. Nestes anos foram registrados, respectivamente, uma média de 1364,5, 2229,5 e 3943,33 organismos/mL por estação, enquanto nos outros anos foram encontrados em média 9,1 org./mL em 2001 e 2002; 144 em 2002/2003, 76,33 em 2005, 119 em 2006 e 423,33 org./mL em 2009. Esses valores mostraram que houve um aumento significativo de densidade de organismos por ano, principalmente, entre as campanhas realizadas até o enchimento do reservatório e as campanhas realizadas após o início da operação do empreendimento.

Cyanophyta, Chlorophyta e Chrysophyta foram os grupos que apresentaram as maiores densidades ao longo de todo o estudo. As cianofíceas foram as principais responsáveis pelo aumento das densidades, representando mais de 54,27% dos organismos registrados ao longo de todo o estudo. Já as algas clorofíceas e crisofíceas contribuíram, respectivamente, com 22,74% e 14,63% de todos os organismos registrados. Assim como para a riqueza, os grupos Pyrrophyta e Euglenophyta foram os menos representativos, correspondendo, respectivamente, a 6,78% e 1,58%. Em geral, a participação das cianofíceas foi maior nos pontos FL050 (rio Grande, remanso do reservatório), FL110 (porção mediana do reservatório) e FL120 (imediatamente a montante do barramento), indicando a preferência de tais espécies por ambientes com características mais lânticas. Segundo a CETESB (2006) muitas destas algas possuem adaptações como mucilagens e aerótopos que fazem com que tenham vantagens sobre as outras espécies, dominando assim o ambiente.

As algas pertencentes a Cyanophyta, encontradas nas águas do reservatório e nos ambientes lóticos, são conhecidas por incluírem organismos potencialmente produtores de toxinas. No entanto, uma mesma espécie de cianobactéria pode apresentar linhagens tóxicas ou não-tóxicas e por isso, apesar de terem sido detectados gêneros que, segundo Sant'ana *et al* (2008), são conhecidos por incluírem espécies que já produziram toxinas em águas brasileiras (*Aphanocapsa sp.*, *Planktolyngbya sp.*, *Microcystis sp.*, etc), não significa que algum dos organismos encontrados no monitoramento das águas do reservatório da UHE Funil esteja produzindo tais substâncias.

Existe muita divergência a respeito das propriedades, origem e natureza das toxinas. As florações de cianofíceas podem ou não apresentar diferenças ao longo do tempo, com intervalos curtos, até diferenças sazonais e também espaciais, provavelmente decorrentes de

alterações entre variedades tóxicas e não tóxicas destas algas. Deste modo, uma mesma espécie pode ser ou não tóxica, o que depende de diversos fatores do meio. Se uma floração de algas for tóxica, pode ser tóxica ao zooplâncton, peixes e toda a cadeia alimentar, até mesmo para outros animais (incluindo o homem) que bebem a água (CETESB, 2006).

Cumprido ressaltar que não houve violação do limite máximo estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, que estabelece que o número de células de cianobactérias/mL não deve ultrapassar 50.000, tendo em vista que a maior densidade encontrada nas regiões do reservatório foi de 15.568 org./mL, em 2008, no ponto FL050. Ademais, em todo o período monitorado, ou seja, de 2001 a 2009, o valor médio encontrado para a densidade de cianofíceas, considerando todas as estações de amostragem, foi de 501,1 células/mL, muito abaixo do limite estabelecido pela legislação.

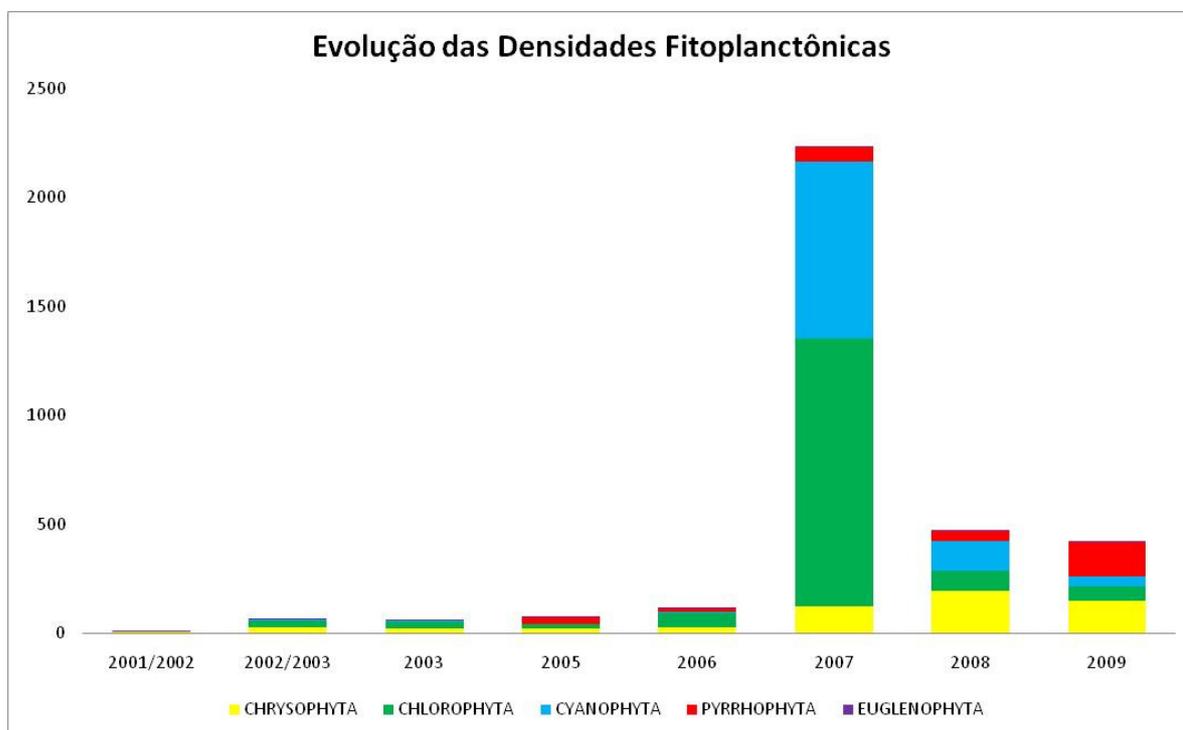
Os valores observados a partir de 2003 (início da operação da UHE), demonstraram, em geral, maiores densidades nas estações localizadas nos pontos FL050 (rio Grande, remanso do reservatório), FL110 (porção mediana do reservatório) e FL120 (a montante do barramento). A tendência encontrada para os pontos FL110 e FL120 já era esperada, levando em consideração que, normalmente, a participação do fitoplâncton tende a ser maior em ambientes de águas mais calmas, que apresentam maiores teores de nutrientes. No caso do ponto FL050, que ainda apresenta influências das condições lóxicas, é provável que os valores encontrados nas densidades sejam originados a partir da contribuição de montante, oriundas nos reservatórios de Itutinga e Camargos que, por sua vez, também apresentam boas condições para o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica (condições lênticas e disponibilidade de nutrientes).

A composição do fitoplâncton, em termos de densidade, mostrou que no início da etapa de operação (2003) a divisão fitoplanctônica que mais se destacou no reservatório estudado foi Chrysophyta, embora também tenha sido grande a participação das divisões Pyrrophyta e Chlorophyta. Nas estações situadas nos ambientes lóxicos, houve predomínio das divisões Chrysophyta e Cyanophyta. É provável que, durante a fase inicial de operação, o reservatório ainda apresentava algumas características comuns a ambientes lóxicos, o que pode ter sido favorecido pelo fato do reservatório ainda ser muito recente e/ou pelo reduzido período de residência do novo ambiente formado (10 dias para vazão média de longo período e 30 dias para vazão média mensal). Ribeiro *et al* (2005) afirmam que, quando comparadas com as condições existentes no ecossistema lótico, a formação de um reservatório leva a uma

mudança nas características bióticas e abióticas, sendo marcada inicialmente por um período de instabilidade limnológica, com novo aporte de nutrientes e matéria orgânica.

Em 2005 houve predomínio no reservatório das algas pertencentes a Pyrrophyta, Chrysophyta e Chlorophyta. Ressalta-se que a ocorrência excessiva de Pyrrophyta em algumas ocasiões pode estar relacionada com os aportes de nutrientes e matéria orgânica na água. Já em 2006 tais grupos também foram mais representativos, com o predomínio das clorofíceas, que são encontradas com maior frequência em ambientes de águas mais calmas. Por isso, foi notada a transformação lótico-lêntico. Em 2008 houve a dominância de algas cianofíceas especialmente nos trechos monitorados no reservatório (FL110 e FL120) e no rio Grande (FL050). A maior participação das cianobactérias no rio Grande a jusante do reservatório pode estar relacionada com as contribuições de montante, tendo em vista que esta estação amostral encontra-se imediatamente a jusante da estação FL120, onde também foram registradas maiores densidades desses organismos.

A Figura 6.79 apresenta um resumo das variações obtidas, considerando os valores médios de densidade para cada grupo ao longo do período de estudo.



**Figura 6.79** - Evolução da densidade média do fitoplâncton ao longo dos anos de monitoramento.

A partir da análise de todos os resultados e, ainda, comparando-os com a Figura 6.79, assim como observado para a riqueza, constata-se uma tendência de aumento da densidade do

fitoplâncton após a implantação do barramento, tendo em vista os maiores valores obtidos para a densidade de organismos a partir de 2003. As prováveis justificativas para tal incremento nas densidades são as mesmas discutidas para a riqueza, ou seja, com a criação de um ambiente com características predominantemente lânticas, associado à maior disponibilidade de nutrientes, tende a favorecer o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica em número de espécies e de densidades das respectivas populações de organismos. Ressaltam-se ainda as influências das maiores temperaturas médias e menores valores médios obtidos para sólidos totais, sólidos suspensos e turbidez (indicando aumento da transparência na zona fótica), após a implantação do barramento, que acabam por estimular o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica. É provável que as oscilações observadas para riqueza e densidade de organismos estejam vinculadas às características ambientais do novo ambiente em processo de estabilização, às variações sazonais (não discutidas neste trabalho) e às contribuições de material alóctone provenientes da bacia de contribuição.

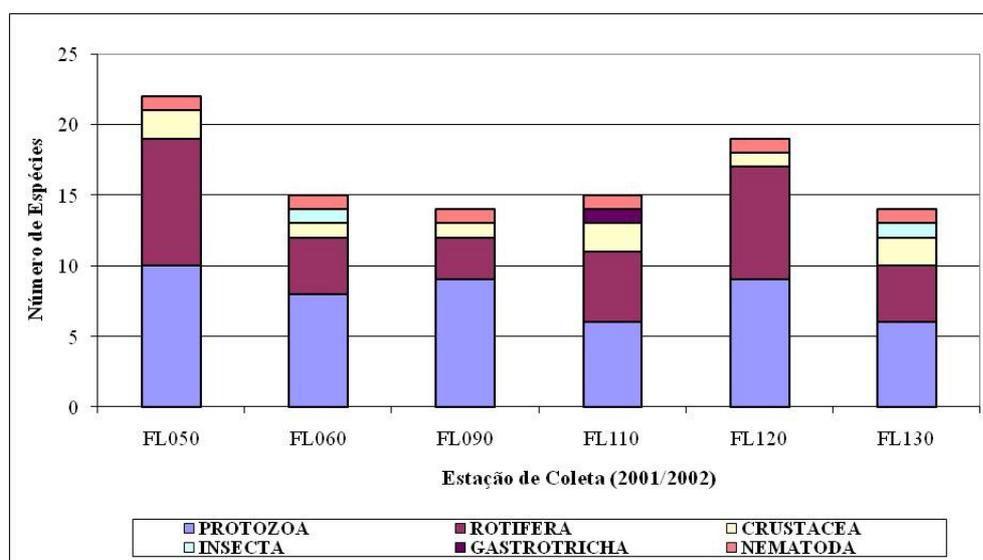
#### **6.4.2 Zooplâncton - riqueza e densidade**

A comunidade zooplanctônica é formada por animais microscópicos que vivem em suspensão, sendo protozoários, rotíferos, cladóceros e copépodes os grupos dominantes no ambiente de água doce. São importantes na manutenção do equilíbrio do ambiente aquático, podendo atuar como reguladores da comunidade fitoplanctônica (utilizando-a como alimento) e na reciclagem de nutrientes, além de servirem de alimento para diversas espécies de peixes. Além da sua importância na cadeia alimentar, o zooplâncton vem sendo avaliado como indicador da qualidade da água de lagos e reservatórios em diversos países, especialmente no monitoramento do processo de eutrofização através da relação entre as diversas alterações na comunidade zooplanctônica e o grau de trofia (CETESB, 2009).

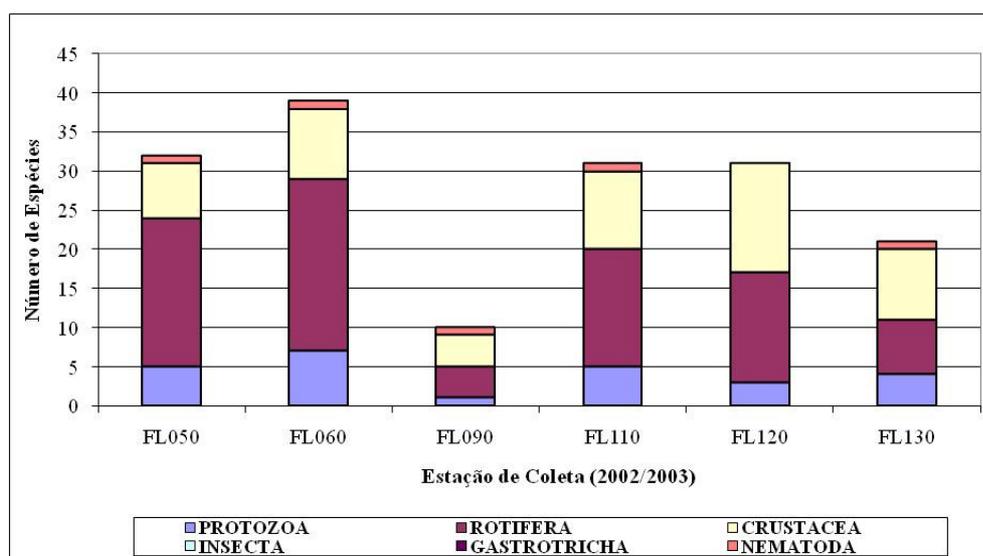
Uma das alterações da comunidade zooplanctônica associada ao aumento da poluição aquática, é a simplificação da cadeia alimentar e conseqüente redução do número de espécies, sendo as mais resistentes geralmente presentes em números elevados. Sabe-se atualmente que a riqueza planctônica é uma variável que sofre interferência de diversos fatores e o aumento do estado trófico muitas vezes promove a presença de um maior número de espécies, devido à redução da competição por recursos alimentares entre elas (Matsumura-Tundisi *et al.*, 2002 apud CETESB, 2009). Outro fator que interfere na riqueza é a influência de várzeas, matas ciliares, macrófitas, lagos e lagoas marginais e da descarga de rios nas proximidades do ponto de coleta, que carregam fauna oriunda destes ambientes e aumentam consideravelmente a

diversidade da comunidade planctônica, não estando necessariamente relacionados com grau de trofia do ambiente (CETESB, 2009).

As figuras 6.80 a 6.87 apresentam a variação temporal dos resultados obtidos para riqueza do zooplâncton nas seis estações amostrais, considerando os períodos de pré-enchimento (2001 e 2002), enchimento (2002/2003) e operação do reservatório (2003 a 2009). Durante o monitoramento, foram encontrados alguns dos grupos zooplanctônicos mais comuns em ambientes aquáticos tropicais de água doce. Os grupos registrados foram: Protozoa, Rotifera, Crustacea, Insecta, Gastrotricha e Nematoda (ver tabelas de dados brutos no Apêndice C).



**Figura 6.80** - Riqueza do zooplâncton, em 2001/2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.



**Figura 6.81** - Riqueza do zooplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.

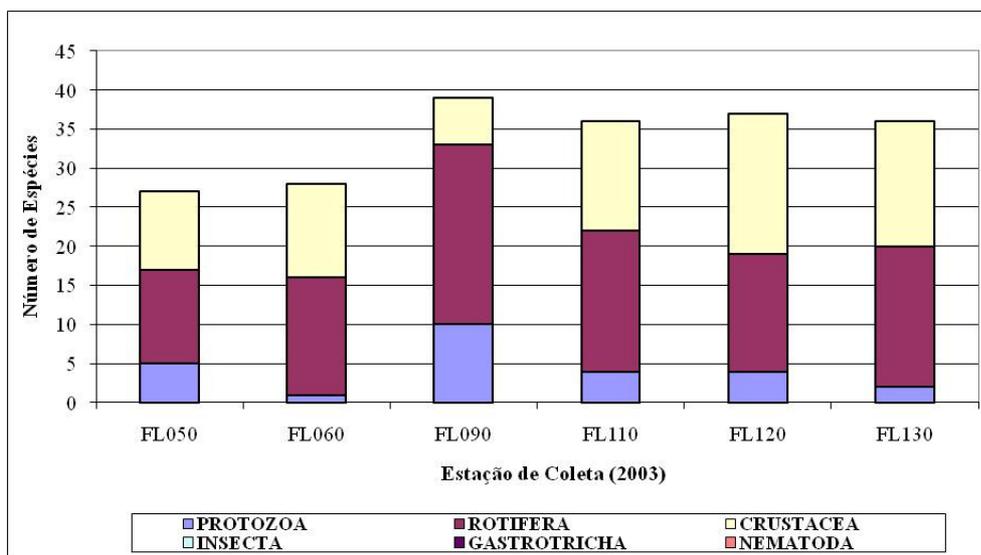


Figura 6.82 - Riqueza do zooplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.

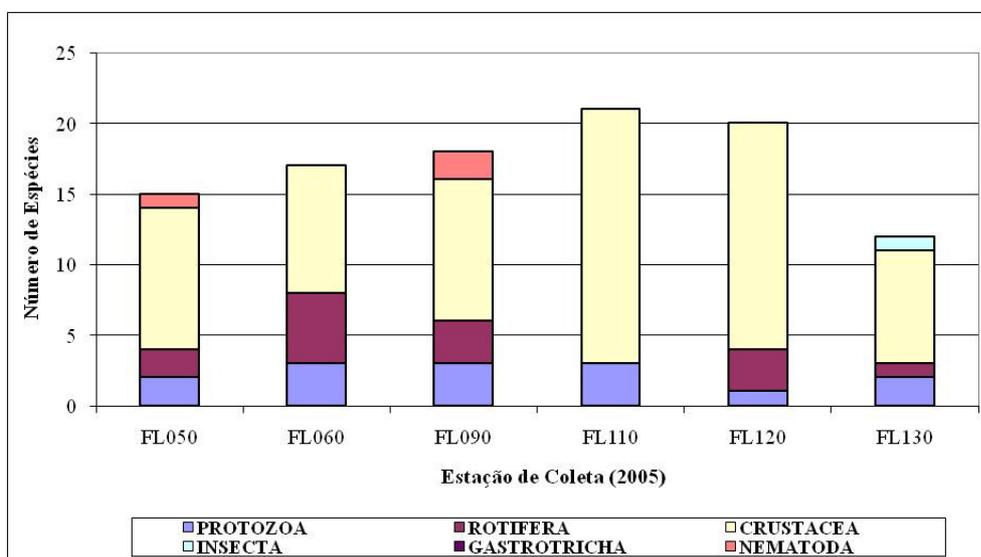


Figura 6.83 - Riqueza do zooplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.

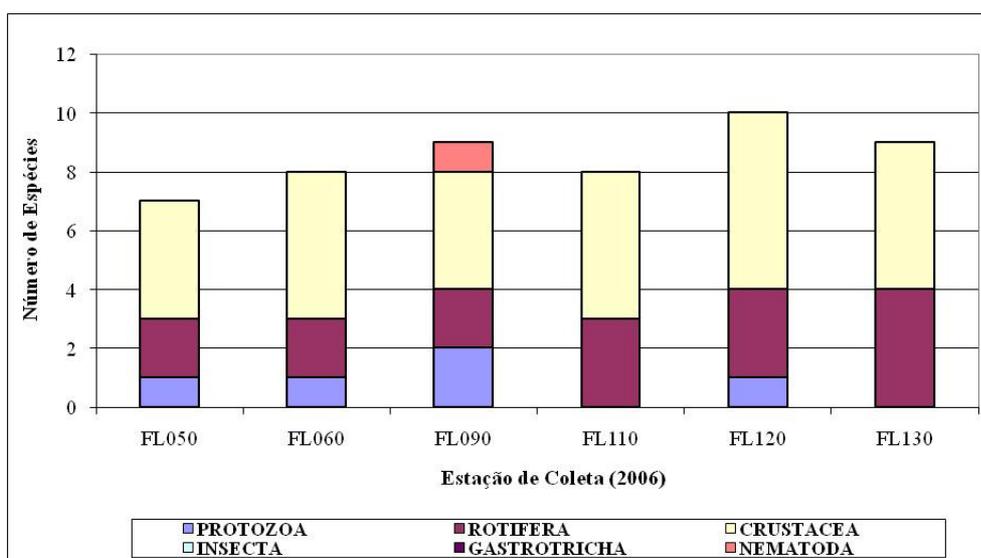


Figura 6.84 - Riqueza do zooplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.

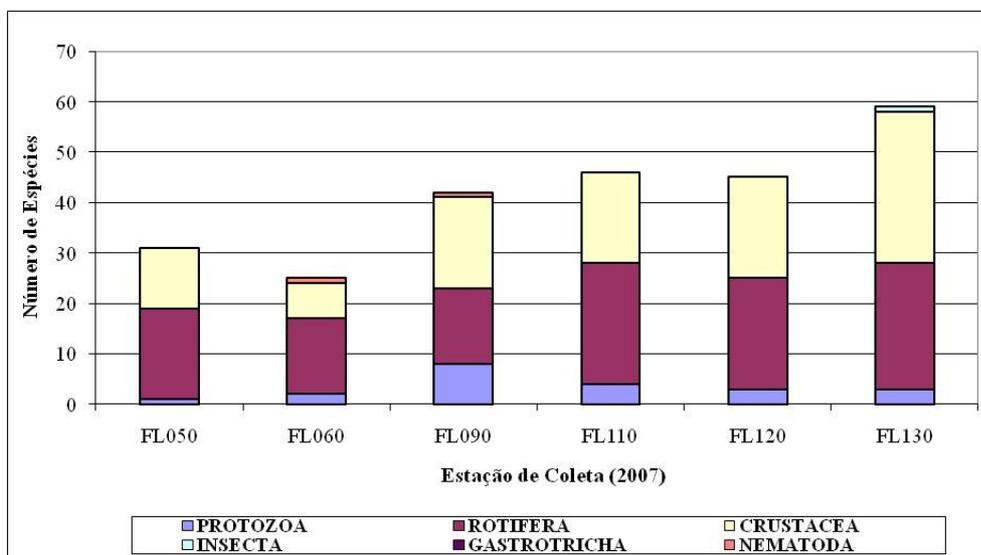


Figura 6.85 - Riqueza do zooplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.

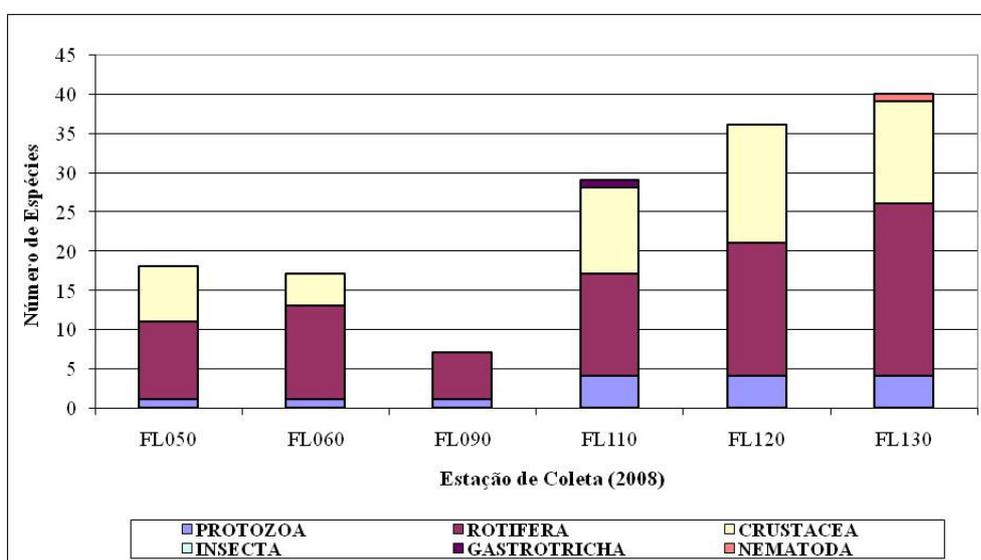


Figura 6.86 - Riqueza do zooplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.

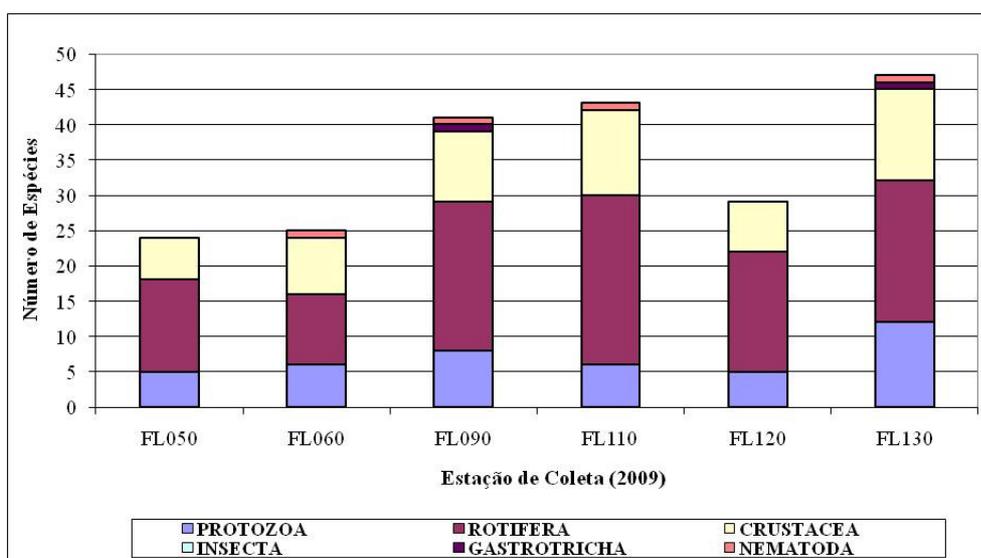
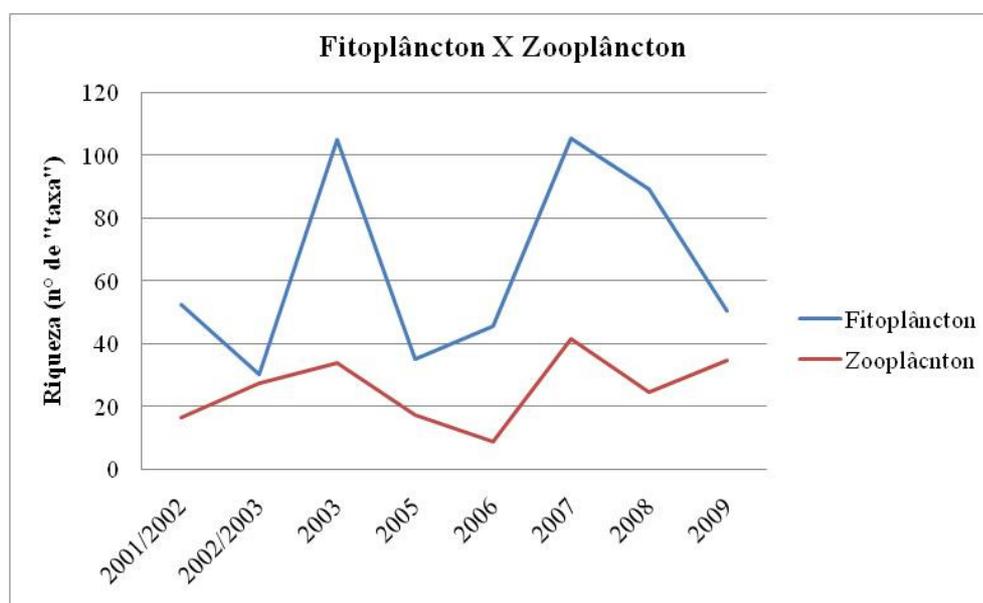


Figura 6.87 - Riqueza do zooplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.

Analisando-se as Figuras 6.80 a 6.87, constata-se que, de maneira geral, foram encontrados números de “taxa” variando entre valores baixos a médios da comunidade zooplânctônica nas amostragens realizadas em todo o período estudado. Estes valores mais baixos obtidos para a riqueza do zooplâncton podem estar associados à dominância de cianofíceas registradas em boa parte do período estudado. A dominância desses organismos restringe o desenvolvimento de outros grupos do fitoplâncton e, conseqüentemente, do zooplâncton já que os organismos fitoplanctônicos são produtores primários e por isso fazem parte da cadeia alimentar do zooplâncton. Ademais, conforme discutido anteriormente, vale ressaltar que muitas espécies cianofíceas possuem mecanismos de defesa contra herbivoria, como a produção de metabólitos secundários, tornando-as menos palatáveis.

As maiores riquezas de organismos registradas nesse estudo ocorreram nas campanhas realizadas em 2003, 2007, e 2009, acompanhando boa parte dos padrões evidenciados para o fitoplâncton, conforme pode ser observado na figura 6.88. Nestes anos foram registrados, respectivamente, uma média de 33,83, 41,33 e 34,83 unidades taxonômicas por estação, enquanto nos outros anos foram encontrados em média 16,5 "taxa" em 2001 e 2002; 27,33 em 2002/2003, 17,17 em 2005, 8,67 em 2006 e 24,5 em 2008.



**Figura 6.88** - Relação entre as variações de riqueza do Fitoplâncton e do Zooplâncton, considerando os números médios de taxa por estação de amostragem, por ano.

No período de 2003 a 2009, de maneira geral, foi encontrado um maior número de unidades taxonômicas nos pontos FL090 (rio das Mortes), FL110 (porção mediana do reservatório), FL120 (imediatamente a montante do barramento) e FL130 (jusante do barramento). No caso do rio das Mortes, a provável explicação concentra-se no maior aporte de matéria orgânica e

nutrientes advindos de sua bacia de contribuição (em relação aos outros afluentes), aumentando a produtividade primária e a disponibilidade de alimento, que estimulam o crescimento da comunidade de organismos zooplanctônicos neste trecho. Já os valores obtidos para a porção mediana do reservatório e região imediatamente a montante do barramento podem ser justificados pela condição lântica associada ao aporte de matéria orgânica e nutrientes constante oriundo nas localidades de Macaia e Ijaci, bem como das atividades agrícolas desenvolvidas no entorno. As condições lânticas (ausência de turbulência) fornecem condições para que os organismos consigam se manter na coluna d'água e aproveitar os maiores teores de alimento (algas e matéria orgânica em suspensão). Esta última condição não é observada para o ponto FL130 que, por sua vez, apresenta condições lólicas. Este ponto é diretamente influenciado pelo trecho de montante, ou seja, o ponto FL120.

Nas campanhas realizadas em 2001 e 2002, houve predomínio do filo Protozoa seguido por Rotifera, que representaram, em média, 48,5% e 33,33% das espécies registradas, respectivamente; e da classe Crustacea (ordens Copepoda e Cladocera), que foi representada, em média, por 9,1% das espécies encontradas. Já nas campanhas de monitoramento realizadas de 2003 a 2009 esse quadro se inverteu, com o predomínio em número de taxa para o filo Rotifera e para a classe Crustacea (filo Arthropoda), que representaram, respectivamente, em média, 45,26% e 40,27% das espécies obtidas; e Protozoa, que representaram, em média, 12,79% das espécies registradas nesse estudo. Houve predomínio de Crustacea sobre Rotifera apenas em 2005 e 2006.

Os protozoários são importantes na transferência de energia na cadeia trófica, se alimentando de fitoplâncton e bactérias e servindo de alimento para os outros organismos do zooplâncton como rotíferos e microcrustáceos. Possuem também importante papel no consumo de bactérias, reduzindo assim seu número em ambientes ricos em matéria orgânica, e são mais comuns em rios, onde a correnteza e as baixas concentrações de matéria orgânica favorecem os organismos menores e de curto ciclo de vida (Limnos, 2009; Meirinho, 2011). Tais considerações justificam os maiores valores de riqueza para estes organismos no período de pré-enchimento do reservatório (2001 e 2002).

Os Rotíferos tendem a ser generalistas, sendo comuns em todos os ambientes aquáticos, pois apresentam estratégias de alimentação e de reprodução que os permite sobreviver mesmo em ambientes com escassez de recursos alimentares. Vários dos organismos pertencentes a esse filo são filtradores, alimentando-se de material particulado, pequenos protozoários e bactérias,

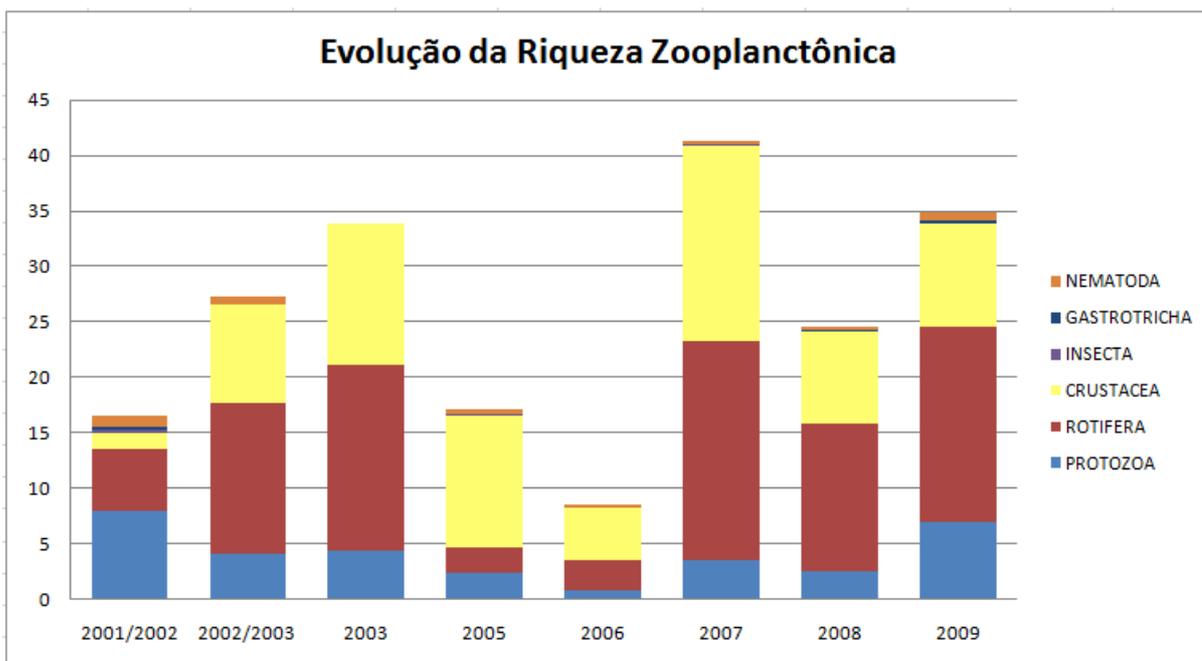
que são encontrados mesmo em ambientes onde a disponibilidade de recursos alimentares é baixa. Já os crustáceos incluem indivíduos indicadores de águas limpas, pois possuem brânquias alojadas em cavidades corporais que se entopem facilmente em presença de material orgânico particulado, causando a morte do organismo. Por isso os crustáceos são mais frequentes em ambientes lênticos, onde há menor probabilidade de suspensão de material particulado (Honorato, 2008; Limnos, 2009). Estas características apresentadas por rotíferos e crustáceos justificam a predominância destes dois grupos a partir do início da operação do empreendimento (reservatório implantado), devido ao estabelecimento de condições lênticas.

Destacam-se os baixos números de espécies de Insecta (Chironomidae), Gastrotricha e Nematoda. As larvas destes grupos, normalmente, são encontradas na região bentônica dos corpos hídricos, no entanto, a força da correnteza provoca movimentação dos sedimentos de fundo, suspendendo esses organismos para a região planctônica da coluna d'água. Altas populações destes organismos podem estar relacionadas a ocorrência de grandes concentrações de matéria orgânica na água, indicando, portanto, condições ambientais alteradas (Limnos, 2009).

Cumprе ressaltar que os resultados obtidos no período de enchimento do reservatório (2002/2003) são semelhantes aos resultados obtidos a partir do início da operação (a partir de 2003) do empreendimento. Apesar de ser uma fase caracterizada por uma instabilidade limnológica, a partir do enchimento há o estabelecimento de condições lênticas, justificando a diminuição da riqueza de protozoários e aumento da riqueza de crustáceos e rotíferos.

Destaca-se que, na maior parte do período estudado, dentre os crustáceos houve ocorrência frequente de gêneros pertencentes a ordem Cladocera, que apresentam espécies indicadoras da boa qualidade da água, como *Bosmina sp.*, *Bosminopsis sp.*, *Ceriodaphnia sp.* e *Daphnia sp.* Alguns desses organismos, por serem muito sensíveis, são amplamente utilizados em testes de ecotoxicidade de águas e efluentes. Destaca-se também que em todo o período de estudado foi verificada a presença de “taxa” característicos tanto de ambientes oligotróficos quanto eutróficos.

A Figura 6.89 apresenta um resumo das variações obtidas, considerando os valores médios de riqueza para cada grupo ao longo do período de estudo.



**Figura 6.89** - Evolução da riqueza média do zooplâncton ao longo dos anos de monitoramento.

A partir das variações demonstradas na Figura 6.89, observa-se uma tendência de aumento da riqueza do zooplâncton após a implantação do barramento, tendo em vista que houve um aumento na riqueza média global, que passou de 16,5 espécies (2001 e 2002 - Cenário 1) para 26,7 espécies (2003 a 2009). Seguindo as justificativas propostas para o fitoplâncton, com a formação de um reservatório há um estabelecimento de condições lênticas (maior tempo de residência) e criação de áreas remansadas, devido às irregularidades da bacia, a partir da formação do reservatório, associados a maior disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica na coluna d'água. Portanto, associando estas novas dinâmicas ao aumento da produtividade primária, são criadas condições propícias para o desenvolvimento de uma maior riqueza de organismos zooplanctônicos. Lansac-Tôha *et al* (2005) apud Honorato (2008) afirmam que o elevado tempo de residência da água tende a minimizar os efeitos dos processos hidrodinâmicos no corpo hídrico, favorecendo o desenvolvimento de espécies com ciclo de vida mais longo.

Em relação ao estudo da variação da densidade do zooplâncton, as Figuras 6.90 a 6.97 apresentam a variação temporal dos resultados obtidos nas seis estações amostrais, considerando os mesmos períodos analisados para a riqueza.

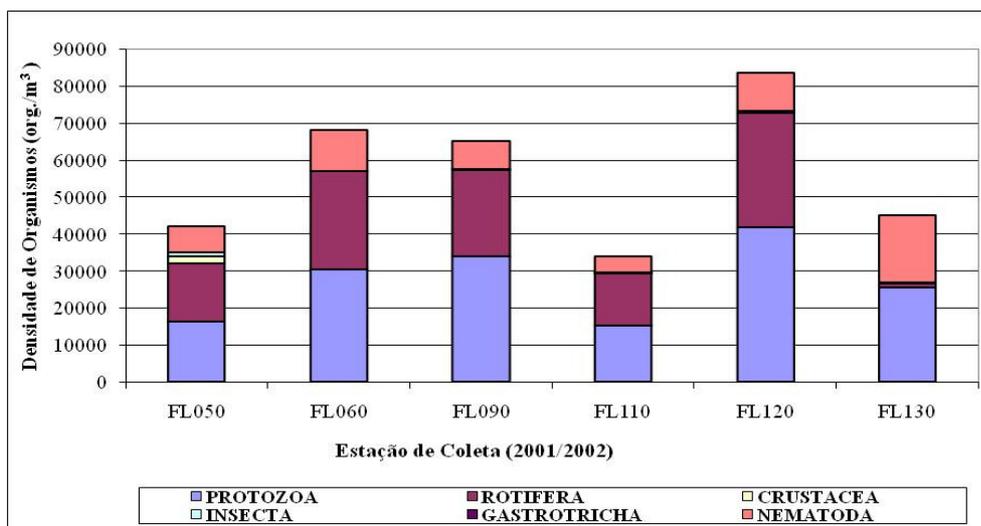


Figura 6.90 - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2001/2002 (pré-enchimento), nos pontos de coleta.

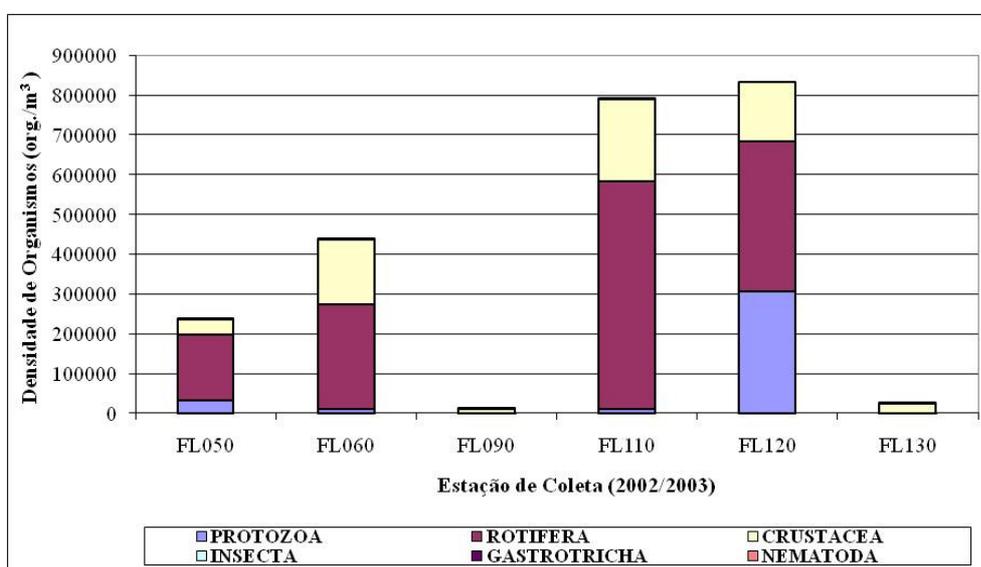


Figura 6.91 - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2002/2003 (enchimento), nos pontos de coleta.

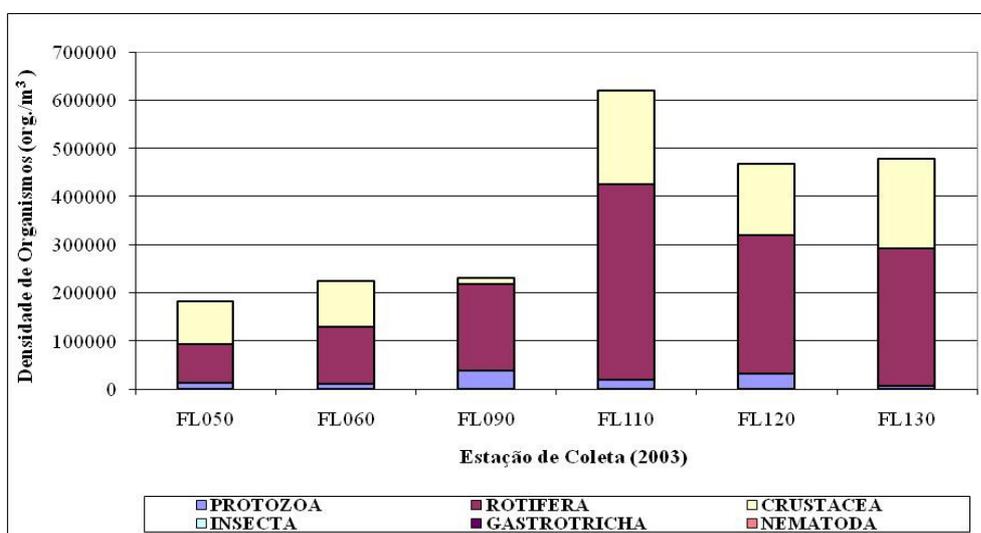


Figura 6.92 - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2003 (operação), nos pontos de coleta.

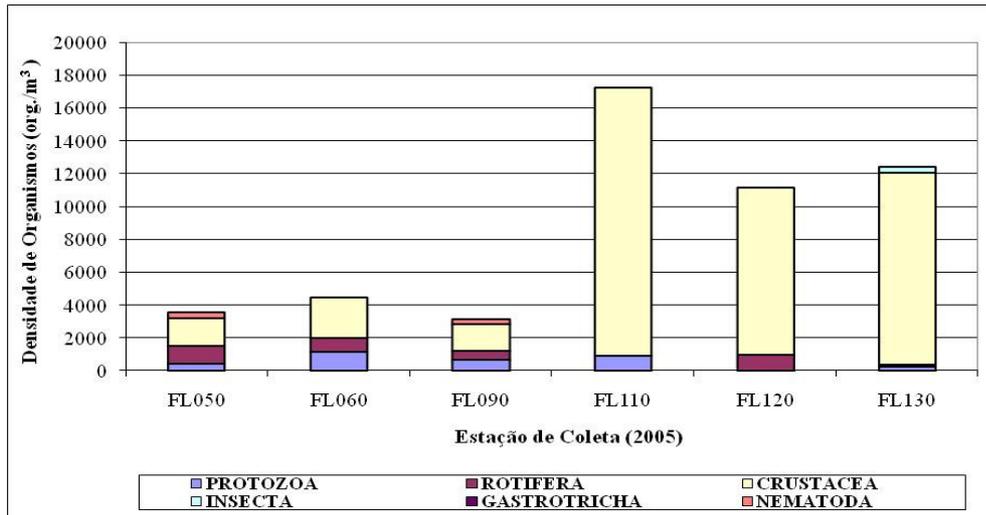


Figura 6.93 - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2005 (operação), nos pontos de coleta.

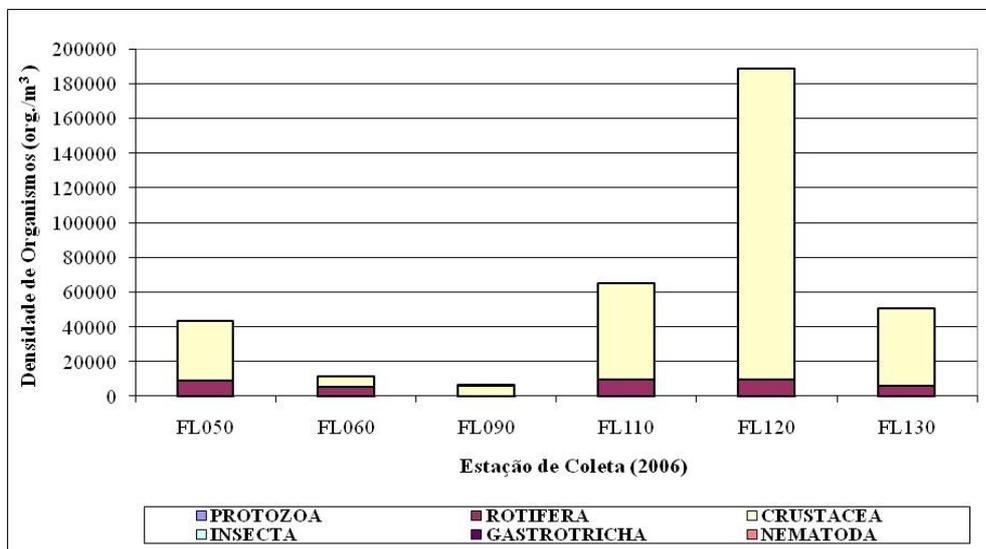


Figura 6.94 - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2006 (operação), nos pontos de coleta.

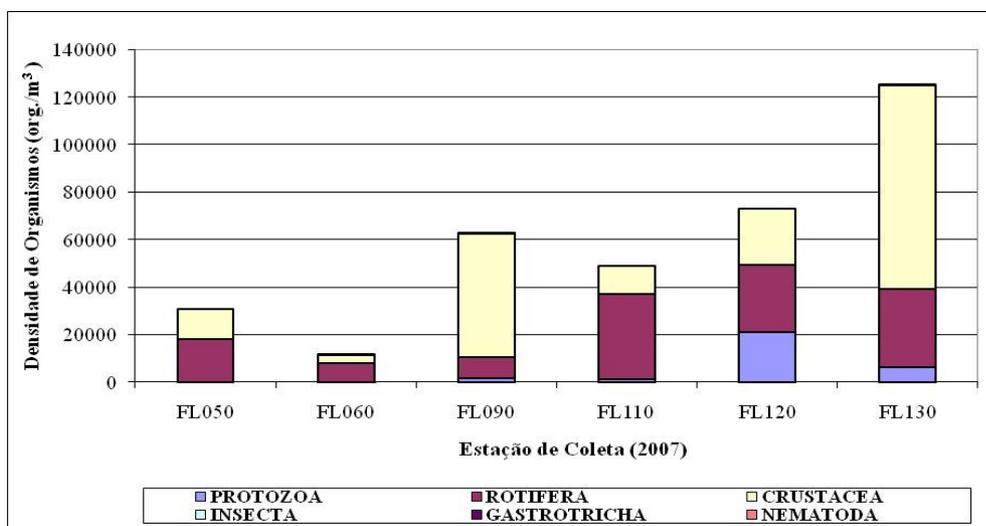
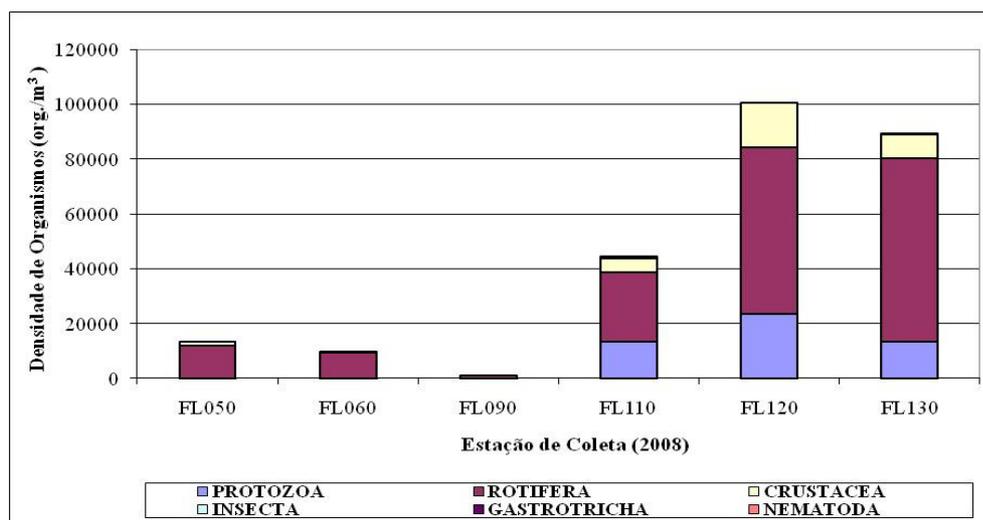
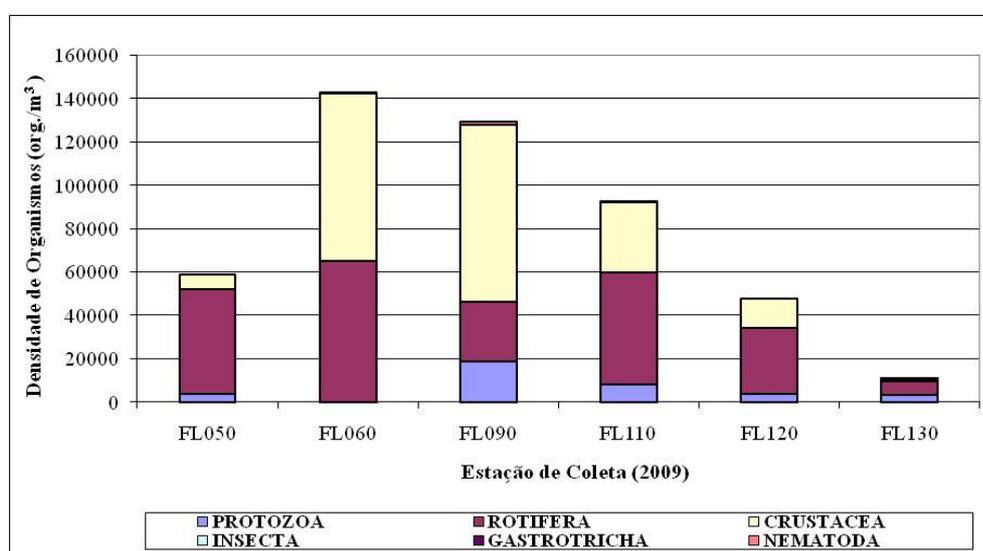


Figura 6.95 - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2007 (operação), nos pontos de coleta.



**Figura 6.96** - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2008 (operação), nos pontos de coleta.



**Figura 6.97** - Densidade (organismos/m<sup>3</sup>) do zooplâncton, em 2009 (operação), nos pontos de coleta.

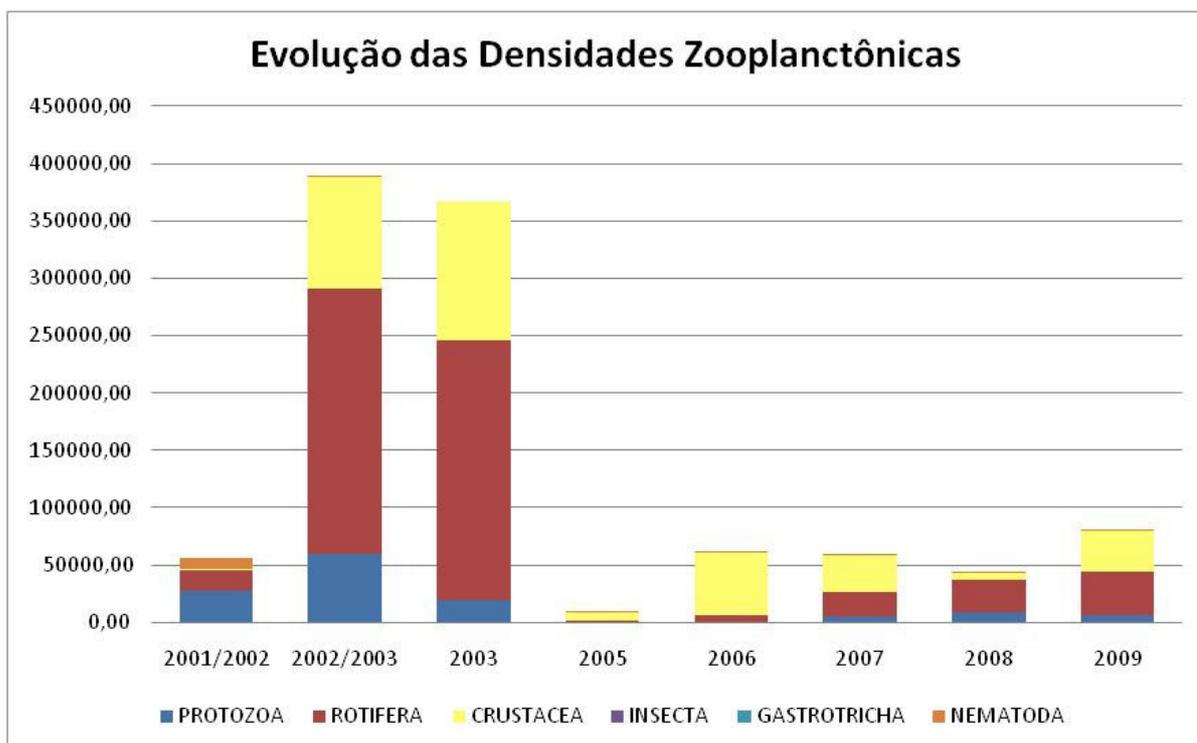
A partir da análise das Figuras 6.90 a 6.97, é possível constatar a evolução da densidade de organismos zooplancônicos nas águas do reservatório da UHE Funil. Os maiores valores médios de densidade de organismos por estação foram obtidos nos anos de 2002/2003 (enchimento do reservatório) e 2003 (reservatório formado, em operação), seguindo um comportamento semelhante ao observado para a riqueza apenas para o ano de 2003. Nestes dois períodos foram registrados, respectivamente, uma média de 388.833,33 366.833,33 organismos por metro cúbico por estação, enquanto nos outros anos foram encontrados em média 56.185,17 org./m<sup>3</sup> em 2001 e 2002, 8.632,67 em 2005, 60.637,5 em 2006, 58.685,83 em 2007, 42.971,17 em 2008 e 80.143,17 org./m<sup>3</sup> em 2009. Esses valores mostraram que houve uma "explosão" na densidade de organismos apenas nas campanhas realizadas no enchimento do reservatório e no início da operação do empreendimento.

Esta explosão de organismos obtida no período de enchimento e no primeiro ano de operação do empreendimento pode ser justificada pela instabilidade limnológica característica dessa fase de transição das condições lólicas para lênticas. Com a formação do reservatório, novas condições são estabelecidas no corpo hídrico, tendo em vista o aumento do tempo de residência associado a disponibilidade de nutrientes, matéria orgânica e novos habitats. Dessa maneira, inicialmente há uma explosão populacional das espécies na tentativa de colonizarem o novo ambiente. No entanto, com o passar do tempo, há uma estabilização gradual do ambiente e, conseqüente estabilização na cadeia trófica, a partir do estabelecimento de relações tróficas mais especializadas, determinando condições para que apenas as espécies mais aptas se estabeleçam com sucesso no novo ecossistema aquático, em um equilíbrio dinâmico. Trata-se do processo de sucessão ecológica no novo ambiente formado.

Nas campanhas realizadas em 2001 e 2002, houve predomínio do filo Protozoa seguido por Rotifera, que representaram, em média, 48,3% e 33,07% dos organismos registrados, respectivamente; e do filo Nematoda, que foi representado, em média, por 17,35% do total de organismos amostrados. Já nas campanhas de monitoramento realizadas de 2003 a 2009 esse quadro mudou, com o predomínio em número de organismos/m<sup>3</sup> para o filo Rotifera e para a classe Crustacea, que representaram, respectivamente, em média, 52,08% e 41,21% dos organismos obtidos; e Protozoa, que representaram, em média, 6,5% dos organismos registrados nesse estudo. Houve predomínio de Crustacea sobre Rotifera em 2005, 2006 e 2007.

Todos estes resultados corroboram para os obtidos para a riqueza do zooplâncton e, assim, valem as mesmas considerações realizadas para a riqueza, ou seja, com a mudança do regime hídrico de lólico para lêntico com exceção das densidades demonstradas pelos nematódeos em 2001 e 2002. Tais organismos, conforme citado anteriormente, tendem a habitar os sedimentos. No entanto, sob regimes lólicos, suas larvas podem ser suspensas pela ação da maior turbulência, justificando os valores encontrados apenas no período de pré-enchimento (ausência de barramento).

A Figura 6.98 apresenta um resumo das variações obtidas, considerando os valores médios de riqueza para cada grupo ao longo do período de estudo.



**Figura 6.98** - Evolução da densidade média do zooplâncton ao longo dos anos de monitoramento.

A partir das variações demonstradas na Figura 6.98, observa-se a ocorrência de picos na densidade média do zooplâncton apenas nos períodos de enchimento do reservatório (2002/2003) e início da operação da UHE Funil (2003). Nos outros anos de operação (2005 a 2009), os valores médios obtidos para as densidades são muito semelhantes aos valores obtidos no período de pré-enchimento do reservatório (2001/2002 - Cenário 1), não sendo observado um aumento significativo no número médio de organismos após a implantação do barramento (Cenário 2, excluindo 2003), em um período em que o reservatório encontra-se em fase de estabilização. Portanto, não é possível atribuir as variações obtidas para os valores de densidade do zooplâncton às influências impostas pela implantação do barramento. Há apenas uma alteração nos padrões de dominância dos grandes grupos zooplanctônicos, observada tanto para riqueza quanto para a densidade, sendo o padrão de dominância de protozoários seguidos por rotíferos, observado no regime lótico (Cenário 1), substituído pelo padrão de dominância de rotíferos seguidos por crustáceos, observado no regime lêntico (Cenário 2).

### **6.5 Avaliação integrada dos níveis de trofia e de qualidade da água do reservatório**

Conforme discutido exaustivamente ao longo deste trabalho, a análise integrada dos parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos, ao longo do tempo,

proporciona uma visão global da evolução da qualidade da água, do ecossistema aquático e dos graus de trofia de tais ambientes. A CETESB (2006) propôs uma análise integrada destes fatores para a determinação das características de represas ou lagos oligotróficos e eutróficos, apresentada na Tabela 6.33.

**Tabela 6.33** - Características de lagos oligotróficos e eutróficos.

<b>Fator</b>	<b>Sistemas Oligotróficos</b>	<b>Sistemas Eutróficos</b>
Nutrientes	Baixas concentrações e lenta reciclagem de nitrogênio, fósforo e sílica.	Altas concentrações e rápida reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo.
Oxigênio dissolvido	Freqüentemente próximo da saturação tanto no hipolímnio como no epilímnio.	Grande variação em relação à saturação: depressão no hipolímnio e supersaturação no epilímnio.
Comunidades Hidrobiológicas	Baixa biomassa de fitoplâncton, zooplâncton, zoobentos e peixes.	Alta biomassa de fitoplâncton, zooplâncton, zoobentos e peixes.
Radiação Solar Subaquática	Alta transparência na zona eufótica.	Baixa transparência na zona eufótica.
Bacia Hidrográfica	Lagos profundos com morfometria caracterizada por vales em forma de V. Bacia hidrográfica pouco modificada.	Lagos rasos com baixa estratificação. Bacia hidrográfica cultivada e muito modificada.

Fonte: CETESB, 2006.

Analisando-se os dados da Tabela 6.33 e comparando-os com todos os resultados discutidos ao longo deste trabalho, é possível constatar:

- Em relação ao fator "nutrientes", os resultados obtidos neste estudo demonstraram baixas concentrações para estes parâmetros (fósforo, ortofosfato, nitrogênio amoniacal e nitrato) na maior parte do tempo. Conforme as classificações de trofia com base nos IETs obtidos para fósforo e clorofila, o reservatório pode ser classificado como oligotrófico (na maior parte do tempo) a mesotrófico;
- Para o fator "oxigênio dissolvido - OD", foram observadas boas condições de oxigenação na maior parte do tempo, tanto na superfície quanto ao longo da coluna d'água, com exceção dos períodos onde o reservatório se encontrou estratificado e/ou quando houve depleção brusca do oxigênio no hipolímnio. Portanto, face às concentrações de OD é possível enquadrar o reservatório como oligotrófico na maior parte do tempo;
- A análise realizada para o fator "comunidades hidrobiológicas" demonstrou a existência de baixa biomassa para fitoplâncton e zooplâncton na maior parte do tempo. A exceção ocorreu em alguns anos onde houve pico de organismos: em 2003 e 2007

para o fitoplâncton; e em 2002/2003 e 2003 para o zooplâncton. No geral, as médias globais (considerando o reservatório formado - 2003 a 2009) obtidas foram de aproximadamente 115 org./mL para o fitoplâncton, e de 0,0172 org./mL (ou 17.164 org./m<sup>3</sup>) para o zooplâncton. Portanto, estes resultados enquadram o reservatório como oligotrófico (maior parte do tempo) a mesotrófico;

- Em relação ao fator "radiação solar subaquática", apesar de não terem sido monitorados os valores de transparência, se forem considerados os valores obtidos para a turbulência e série de sólidos que, por sua vez, em geral, sofreram diminuições após a implantação do barramento (e formação do reservatório), é possível inferir em maiores transparências na zona fótica. Esta condição enquadra o reservatório como um sistema oligotrófico na maior parte do tempo;
- E por fim, em relação ao fator "bacia hidrográfica", se forem considerados os baixos valores obtidos para profundidade média e profundidade relativa, bem como o valor obtido para o desenvolvimento do volume (abaixo de 1), o mesmo possui uma tendência a se enquadrar como um sistema potencialmente eutrófico. Em relação ao grau de alteração da bacia hidrográfica, segundo dados do PACUERA (Bios, 2010), o entorno do reservatório é caracterizado, dentre outras características, pela baixa exposição do solo, pela baixa ocorrência de processos erosivos acelerados, pela conservação das pastagens e pelos resquícios de vegetação florestal espalhados no seu perímetro. Por outro lado, na bacia hidrográfica do reservatório são desenvolvidas atividades agropecuárias, concentrações urbanas e atividades minerárias. Além disso, há uma intensa pressão pelo uso e ocupação do solo por empreendimentos imobiliários próximos à margem do reservatório com o objetivo de lazer e turismo.

Face ao exposto, e considerando ainda os demais resultados obtidos para os parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos, além dos resultados obtidos para o IQA e os IETs para o fósforo e clorofila, o reservatório da UHE Funil pode ser classificado, na maior parte do período estudado, como oligotrófico a mesotrófico, apresentando boas condições de qualidade da água, apesar de indicar também condições de alteração ambiental. No entanto, de acordo com os resultados obtidos no estudo morfológico do reservatório, o sistema hídrico apresenta um considerável potencial de eutrofização, tendo em vista, principalmente a grande área do espelho d'água (alta exposição a radiação solar), a baixa profundidade média e o considerável fator de envolvimento (proporção entre área do reservatório e área da bacia de contribuição). Este potencial tende a ser ditado pela evolução dos usos e ocupação do solo na

bacia hidrográfica, associada a presença ou ausência de boas práticas de manejo e conservação da qualidade do ecossistema aquático e dos ecossistemas presentes na bacia de contribuição.

### ***6.6 Comparação dos resultados obtidos com os impactos previstos para a qualidade da água, discutidos no EIA-RIMA***

Conforme exposto anteriormente, no tópico 5.1.2 - "Licenciamento ambiental da UHE Funil", uma das obrigações a que esteve sujeita a implantação e operação deste empreendimento foi a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, e respectivo Relatório Ambiental – RIMA, estabelecidas pela Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986. O Estudo de Impacto Ambiental aborda, dentre outras questões, o diagnóstico ambiental da área de influência, a análise dos impactos ambientais e a definição de medidas ambientais para o empreendimento.

Neste tópico será realizada uma verificação da ocorrência ou não dos impactos ambientais previstos para a qualidade da água e para o ecossistema aquático, face a implantação do barramento analisado, no âmbito do licenciamento ambiental. Assim, os resultados obtidos pelo monitoramento serão comparados com o prognóstico dos impactos ambientais apresentado no EIA (Consórcio AHE Funil, 1994). Para a qualidade das águas, os impactos ambientais foram identificados e avaliados segundo as fases de implantação e operação da UHE Funil.

Para a fase de implantação do empreendimento, estava prevista uma intensificação do desmatamento, devido ao início das obras de engenharia e a facilidade de acesso às poucas áreas de vegetação nativa ainda protegidas. Era prevista também uma movimentação de terras, pessoal da obra e de máquinas, sendo utilizadas áreas de empréstimo e de exploração de materiais para a construção das obras de infra-estrutura e da barragem. Essas atividades gerariam um maior carreamento de resíduos aos rios, aumentando os teores de sólidos em suspensão, matéria-orgânica, óleos e graxas nas águas da Área Diretamente Afetada, interferindo negativamente em sua qualidade. Além disso, o aporte de carga orgânica originária tanto da decomposição da vegetação removida como do lançamento de esgotos domésticos provocaria uma redução dos níveis de oxigênio dissolvido, refletindo diretamente no ecossistema aquático.

Esta situação agravaria as condições de desenvolvimento dos organismos, o que provocaria alterações na biota aquática. Haveria soterramento do zoobênton e o plâncton seria afetado pelo aumento da turbidez e consequente diminuição da penetração de luz. Além disso, o aporte de matéria orgânica na água provocaria restrição às possibilidades de usos da água.

No entanto, tendo em vista o caráter temporário bem como a restrição destes impactos aos períodos das obras, além de serem reversíveis e de abrangência local, e, ainda, uma vez que o presente estudo tem como objetivo principal avaliar as alterações da qualidade das águas decorrentes da transformação do ambiente aquático de lótico para lêntico, e não da influência de ações eventuais e inerentes às obras, os impactos ambientais previstos para esse período não serão discutidas neste trabalho.

Em relação à fase de operação do empreendimento (formação do reservatório), estava previsto no EIA que o represamento das águas reduziria substancialmente a velocidade das mesmas, fazendo com que o tempo de permanência das águas em um trecho fosse aumentado. Esta alteração no escoamento superficial provocaria uma tendência a sedimentação das substâncias em suspensão e, como as velocidades das reações químicas e bioquímicas nem sempre são significativamente alteradas, as transformações que antes ocorriam ao longo de um trecho de rio passariam a ocorrer no reservatório. Desse modo, estava prevista uma redução na turbidez e nos teores de sólidos nas águas, bem como do número de organismos coliformes uma vez que tais organismos possuem tempo médio de vida de 72 horas.

Estas previsões ocorreram parcialmente, tendo em vista que os resultados obtidos no âmbito do presente trabalho demonstraram uma redução na turbidez e nos teores de sólidos na água (exceto sólidos dissolvidos). No entanto, não foi observada redução no número de organismos coliformes como estava previsto, embora os valores obtidos para este parâmetro tenham sido atribuídos à presença de lançamento de efluentes sanitários e carreamento de dejetos oriundos na bacia de contribuição.

Segundo o EIA, o represamento das águas pode favorecer a redução dos níveis de oxigênio dissolvido, dependendo das condições do reservatório. No caso da UHE Funil, tendo em vista os níveis encontrados durante, a elaboração do diagnóstico, para o oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e série nitrogenada, em águas bioquimicamente oxidáveis, a previsão foi de que não haveria maiores problemas relacionados a diminuição do oxigênio dissolvido. Além disso, tendo em vista a pequena profundidade prevista para o reservatório, a tendência seria de que as águas se manteriam bem oxigenadas, favorecendo o equilíbrio na

distribuição de oxigênio dissolvido. Estas previsões foram confirmadas na maior parte do período estudado, tendo em vista os bons níveis de oxigenação da água do reservatório da UHE Funil. Cumpre ressaltar a ocorrência de depleções nos níveis de oxigênio ao longo da coluna d'água em determinadas campanhas, principalmente, em virtude de eventos de estratificação da massa d'água, embora, na maior parte do tempo, foram observadas águas bem oxigenadas ao longo de toda a profundidade do reservatório, na maioria das estações de coleta.

De acordo com o EIA, em relação ao problema da eutrofização do lago, os teores de fosfato e nitrogênio medidos na fase de elaboração do diagnóstico ambiental não se encontraram em níveis que indicassem um potencial eutrofizante. Dessa maneira, esperava-se que houvesse uma melhora gradativa nas condições físico-químicas da água. Os resultados obtidos durante o monitoramento demonstraram uma melhora para diversos parâmetros de qualidade da água, refletindo inclusive na manutenção do Índice de Qualidade da Água classificado como de "bom" a "ótimo". Tais resultados são reflexos da boa capacidade de depuração e assimilação de poluentes apresentada pelo reservatório. No entanto, conforme discutido anteriormente, o sistema hídrico apresenta um considerável potencial de eutrofização, tendo em vista, principalmente, a grande área do espelho d'água, a baixa profundidade média e o considerável fator de envolvimento, embora este potencial seja ditado predominantemente pelos usos e ocupação do solo na bacia de contribuição.

Segundo o EIA, após o enchimento do reservatório, na fase de operação do empreendimento, o controle do fluxo de água levaria a uma melhora significativa da qualidade da água no reservatório e a jusante sob todos os aspectos, tendo em vista a característica do reservatório funcionar como um tanque de sedimentação. Com esta melhora da qualidade da água haveria um aumento das possibilidades de seu uso para os diversos fins. A partir dos resultados discutidos, houve uma melhora na qualidade da água em relação a determinados parâmetros como, por exemplo, condutividade, dureza, turbidez, pH, sólidos (suspensos e totais) e fósforo total. No entanto, através da análise do IQA, o que se observa é a manutenção da qualidade da água em todo o período estudado, tendo em vista os valores médios globais de IQA obtidos para os Cenários 1 e 2, respectivamente, 79,9 e 80,4. Dessa maneira, em relação aos usos múltiplos previstos para as águas do trecho estudado, permanecem as mesmas condições encontradas anteriormente, devendo ser observados apenas os limites estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 que, quando violados, indicam restrições para determinados usos.

Em relação às comunidades hidrobiológicas, segundo o EIA, com a formação do reservatório, haveria uma transformação do ambiente lótico para um ambiente intermediário, com características predominantemente lênticas, nos locais mais planos e lóticis apenas nos locais mais encaixados (e a jusante do barramento). Esta transformação no ambiente aquático acarretaria modificações na estrutura e funcionamento da biota aquática, notadamente nos primeiros anos de operação. Era previsto o prevalecimento de populações mais adaptadas ao ambiente formado, as quais estariam submetidas às condições de qualidade da água impostas pelas alterações hidrodinâmicas e físico-químicas do corpo d'água. Poderia ocorrer a proliferação de espécies indesejáveis nos ambientes com características lênticas, como, por exemplo, representantes da ordem Diptera, composta de insetos capazes de transmitir doenças ou de perturbar atividades humanas. Por outro lado, inúmeras espécies do zoobênton poderiam entrar em extinção nestes locais.

Como havia sido previsto, a partir dos resultados obtidos no monitoramento, foi possível constatar uma completa reestruturação nas comunidades hidrobiológicas, com o incremento na riqueza e densidade de fitoplâncton e na riqueza do zooplâncton, a partir da formação do reservatório. Além disso, notou-se a substituição de grupos mais adaptados a ambientes lóticos, como por exemplo, espécies pertencentes a Chrysophyta (fitoplâncton) e a Protozoa (zooplâncton), por grupos mais sensíveis e adaptados a ambientes lênticos, como por exemplo, as espécies pertencentes a divisão Chlorophyta (fitoplâncton) e a classe Crustacea (zooplâncton), além de grupos generalistas e dominantes como as espécies pertencentes a Rotifera (zooplâncton). Em relação às espécies indesejáveis, ressalta-se o aumento brusco nas densidades de algas cianofíceas, embora os valores encontrados ainda tenham se mantido dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Em relação ao zoobênton, o prognóstico não pode ser verificado por não haver análises deste grupo no presente trabalho, tendo em vista as limitações metodológicas discutidas no Item 5.6 (Capítulo 5).

Segundo o EIA, passados os primeiros anos de operação do empreendimento, deveria ocorrer uma estabilização das características físico-químicas do reservatório e, conseqüentemente, das comunidades aquáticas às novas condições ambientais impostas pela implantação do barramento. Além disso, a exemplo de outros reservatórios existentes na bacia do rio Grande, o reservatório da UHE Funil tenderia a apresentar características oligotróficas, ou seja, baixas produtividades primária e secundária (baixa densidade fitoplanctônica), associada a uma baixa concentração de nutrientes presentes na água. Ademais, com o início da operação do empreendimento, ocorreria a normalização da vazão no trecho a jusante, observando-se a

recomposição da biota aquática que passaria a apresentar uma comunidade de organismos típica de ambientes lênticos, semelhante às comunidades existentes a montante.

É complexo identificar as influências advindas da estabilização do novo ambiente sobre as comunidades biológicas, tendo em vista que as variações observadas para tais comunidades também estão condicionadas às variações de sazonalidade bem como aos usos e ocupação do solo na bacia. No entanto, foi observada uma possível estabilização nas variações obtidas para a densidade do zooplâncton (a partir de 2005), podendo refletir em parte as influências advindas da estabilização do ambiente. Em relação aos graus de trofia do reservatório, os resultados confirmam as tendências discutidas pelo EIA, uma vez que, conforme discutido ao longo de todo o trabalho (análise integrada dos graus de trofia - Item 6.4), a maioria dos resultados encontrados na maior parte do período de monitoramento classificaram o reservatório como oligotrófico (condição predominante) a mesotrófico. No entanto, o potencial eutrofizante existe e deve ser considerado. E, por fim, a tendência de reestruturação da biota existente a jusante do barramento, sofrendo influências das comunidades existentes a montante, foi observada em vários anos estudados, levando em consideração os resultados obtidos para a estação FL130 (jusante do barramento) sendo influenciados pelos padrões obtidos para as comunidades hidrobiológicas existentes na estação FL120 (imediatamente a montante do barramento).

## 7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi avaliada a evolução dos parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos em um trecho do rio Grande, decorrente da transformação do sistema lótico em lântico, ocasionada pela instalação do barramento da UHE Funil, ao longo da fase anterior à instalação deste barramento até sua fase de operação. As conclusões apresentadas a seguir foram obtidas com base nos resultados e dificuldades encontrados no âmbito deste trabalho.

Os resultados obtidos permitiram caracterizar e acompanhar a evolução das condições físicas, químicas, bacteriológicas e hidrobiológicas da qualidade das águas do reservatório da UHE Funil e seus formadores, bem como as respectivas variações sazonais.

Em relação aos resultados obtidos no estudo dos parâmetros morfométricos do reservatório da UHE Funil, conclui-se que o reservatório estudado apresenta uma grande capacidade de diluição e assimilação de cargas poluidoras e um potencial variando de médio a alto para a ocorrência de eutrofização, tendo em vista os fatores relacionados com a produtividade primária. Em relação aos padrões de circulação e difusão vertical, a tendência demonstrada é a alternância de períodos de estratificação e de circulação completa da massa d'água. Boa parte destas condições foram observadas através dos resultados dos parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos, hidrobiológicos, Índice de Qualidade das Águas, estudo dos padrões de estratificação do reservatório e avaliação dos níveis de trofia do mesmo. Os resultados obtidos demonstram a importância das influências advindas da morfologia sobre a qualidade das águas do corpo hídrico, devendo as mesmas serem sempre avaliadas em conjunto com os demais parâmetros.

O reservatório da UHE Funil apresentou, algumas vezes, períodos de estratificação térmica, acompanhados por uma depleção dos níveis de oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água, e posterior processo de circulação da massa d'água. Tal situação era esperada, visto que a avaliação da morfologia do reservatório e das influências climáticas locais já apontava para a possível ocorrência da mesma, tendo o reservatório sido classificado como oligomítico e apresentando uma dificuldade média em promover misturas completas ao longo da coluna d'água, podendo ser classificado como meromítico (circulação parcial) em determinados momentos e holomítico (circulação total) em outros, de acordo com as estações do ano e intensidade da ação dos ventos. Este fato indica a necessidade de controle dos potenciais usos da água na porção inferior do reservatório, no hipolímnio, uma vez que em condições de anoxia, tendem a ser encontradas piores condições de qualidade da água. Portanto, para os

usos múltiplos das águas no reservatório, recomenda-se a utilização de águas oriundas das porções superficiais, de preferência na zona fótica (epilímnio).

Em relação ao potencial de eutrofização do reservatório, a partir dos resultados obtidos para as densidades do fitoplâncton não foram identificadas condições que determinassem um processo de eutrofização estabelecido. Além disso, os resultados obtidos para as séries de nutrientes (principalmente o fósforo), clorofila-*a*, Índices de Estado Trófico, dentre outras condições discutidas no Item 6.4, o reservatório da UHE Funil pôde ser classificado, na maior parte do período estudado, como oligotrófico a mesotrófico. No entanto, de acordo com os resultados obtidos no estudo morfológico do reservatório, o sistema hídrico apresenta um considerável potencial de eutrofização, tendo em vista, principalmente a grande área do espelho d'água (alta exposição a radiação solar), a baixa profundidade média e o considerável fator de envolvimento (proporção entre área do reservatório e área da bacia de contribuição). Este potencial tende a ser ditado pela evolução dos usos e ocupação do solo na bacia hidrográfica, associado a presença ou ausência de boas práticas de manejo e conservação da qualidade do ecossistema aquático e dos ecossistemas presentes na bacia de contribuição. Dessa maneira, recomenda-se o monitoramento intensivo do aporte de nutrientes ao reservatório e das comunidades vegetais aquáticas (algas e macrófitas aquáticas), visando a adoção de medidas preventivas e corretivas, caso necessárias.

Em relação às variações nos parâmetros, considerando os dois cenários estudados (ausência e presença do barramento), a partir dos resultados obtidos, conclui-se que os parâmetros de qualidade da água que sofreram uma possível influência da instalação do barramento no curso d'água foram sólidos suspensos, sólidos totais, turbidez, temperatura, pH a 25°C, condutividade elétrica a 25°C, dureza total, clorofila-*a*, fósforo total, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, fitoplâncton (riqueza e densidade) e zooplâncton (riqueza). Foi observada uma diminuição, mesmo que em pequena magnitude, para sólidos suspensos, sólidos totais, turbidez, pH a 25°C, condutividade elétrica a 25°C, dureza total e fósforo total; e um aumento, mesmo que pequeno, para temperatura, clorofila-*a*, nitrogênio amoniacal, ortofosfato, fitoplâncton (riqueza e densidade) e zooplâncton (riqueza). No entanto, apenas os parâmetros sólidos (suspensos e totais), temperatura, pH a 25°C, condutividade elétrica a 25°C e dureza total apresentaram diferenças significativas, do ponto de vista estatístico (Teste de Mann-Whitney -  $p < 0,05$ ), entre os dois cenários analisados, considerando um ou mais pontos amostrais.

Para os parâmetros ferro dissolvido, sólidos dissolvidos e manganês total, observou-se uma tendência de aumento após a implantação do barramento (e formação do reservatório), sendo tal aumento comprovado através do método estatístico utilizado, considerando um ou mais pontos amostrais. No entanto, verificou-se que este aumento se deve às próprias condições geoquímicas da bacia hidrográfica, associadas às variações sazonais e padrões de uso e ocupação dos solos.

Quanto aos parâmetros coliformes termotolerantes, DBO, DQO, ferro total, nitrato, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos e zooplâncton (densidade), constatou-se que as variações encontradas não indicaram possíveis influências significativas da implantação do barramento sobre o comportamento dos mesmos. É provável que tais variações estejam relacionadas, principalmente, com a evolução dos usos e ocupação do solo na bacia de contribuição associada às influências das variações climáticas. Cumpre ressaltar que para os parâmetros cloretos e cor aparente, tendo em vista a ausência de coletas na fase de pré-enchimento (Cenário 1), não foi possível realizar a análise das possíveis influências advindas da instalação do barramento e formação do reservatório.

Em relação ao atendimento dos limites estabelecidos para a classe 2 pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, foi constatada a ocorrência de violações para os parâmetros cor aparente, sólidos suspensos, turbidez, oxigênio dissolvido, DBO, cloretos, clorofila-*a*, fósforo total e ferro dissolvido. No entanto, tais ocorrências foram observadas tanto no período de pré-enchimento quanto no período pós-implantação do barramento, predominantemente associadas às influências do maior escoamento superficial originado pelas águas pluviais (período chuvoso) e/ou, ainda, a eventos poluidores pontuais, não sendo observadas influências advindas da implantação do barramento sobre tais violações. Cumpre ressaltar, ainda, na maior parte do período monitorado as águas apresentaram condições de qualidade satisfatórias, ou seja, tais violações ocorreram eventualmente.

Estes resultados podem ser comprovados pelas análises realizadas para o Índice de Qualidade das Águas - IQA, considerando todo o período analisado, que demonstraram que as águas no trecho estudado, são, em geral, de boa a ótima qualidade, indicando que a maioria dos trechos avaliados apresentam uma condição boa do ponto de vista sanitário, uma vez que apresentam pouca quantidade de material orgânico e de origem fecal, apresentam baixos sais dissolvidos e permanecem límpidas e bem oxigenadas na maior parte do ano. Além disso os resultados se mostraram favoráveis à manutenção da biota aquática e sem indícios de grandes problemas

quanto ao metabolismo do reservatório. De qualquer maneira, tais violações devem ser observadas com cautela pois indicam riscos e restrições para alguns dos usos múltiplos, como o abastecimento humano, a irrigação e a recreação de contato primário, pelo menos nos períodos de ocorrência, considerando o enquadramento do curso hídrico e seus usos preponderantes, estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.

Em relação à comparação dos resultados obtidos com o prognóstico de qualidade da água contemplado no Estudo de Impacto Ambiental elaborado para o licenciamento ambiental da UHE Funil, a maior parte das inferências realizadas em relação ao comportamento da qualidade da água do reservatório foram comprovadas através dos resultados obtidos no presente estudo. Esta constatação demonstra a grande importância de diagnósticos de qualidade da água bem elaborados e bem embasados, demonstrando que é possível a predição de determinadas condições de comportamento dos sistemas hídricos face a implantação de barramentos, sendo esta condição determinante para a elaboração de planos de gestão dos futuros reservatórios.

Através da comparação dos resultados obtidos com aqueles encontrados na literatura técnica, observou-se que, em parte, as tendências encontradas no âmbito deste trabalho encontram embasamento científico, tendo em vista que a literatura sobre o tema também demonstra a grande importância dos usos e ocupação do solo na bacia de contribuição e das influências advindas das oscilações entre estações secas e chuvosas. Por outro lado, ainda são poucos os trabalhos que demonstram as influências advindas da implantação de barramentos em rios sobre o comportamento dos diferentes parâmetros de qualidade da água, acompanhando toda a evolução do ecossistema aquático, considerando o período compreendido desde a inexistência do barramento até a fase de formação e estabilização do reservatório. Além disso, as especificidades características de outros barramentos localizados em regiões de clima tropical podem determinar diferentes padrões e tendências daquelas obtidas no presente estudo. Ademais, vale ressaltar a dificuldade de se aplicar os padrões e tendências obtidos a outros reservatórios, principalmente àqueles situados em regiões de climas temperados, tendo em vista que a dinâmica de processos físico-químicos e hidrobiológicos em reservatórios localizados em regiões de climas frios (processos de estratificação e eutrofização, por exemplo) é bem diferente daqueles de climas tropicais. Esta é a justificativa pelo pequeno uso de referências internacionais na elaboração da revisão bibliográfica e discussão dos resultados. Estes fatos, que podem ter limitado um pouco a discussão dos resultados

encontrados, demonstram a grande importância do desenvolvimento de trabalhos semelhantes, considerando outros reservatórios e outras bacias hidrográficas, sendo esta, conseqüentemente, uma das recomendações propostas neste trabalho.

Destacam-se, ainda, as limitações inerentes à curta série histórica disponível dos dados utilizados, principalmente em relação ao período de pré-enchimento do reservatório, e as limitações metodológicas, discutidas ao longo do capítulo 5, que podem determinar interferências nas análises estatísticas e, conseqüentemente, nos resultados alcançados.

Em relação à curta série histórica, apesar deste trabalho contemplar oito anos de monitoramento da qualidade da água, a frequência utilizada foi, em geral, quadrimestral, ou seja, foi realizada uma média de três campanhas por ano, embora tenha-se buscado a realização de coletas considerando os períodos seco, chuvoso e intermediário em cada ano. Para verificar a existência de possíveis influências advindas da implantação do reservatório sobre o comportamento da qualidade da água, as comparações foram feitas utilizando-se um total de 26 campanhas, para a maior parte dos parâmetros analisados, sendo 5 campanhas para o período de pré-enchimento (Cenário 1) e 18 para o período de operação do empreendimento (Cenário 2), desconsiderando-se as 3 campanhas do período de enchimento do reservatório.

Esta limitação do trabalho equivale à mesma limitação observada na determinação da viabilidade ambiental de aproveitamentos hidroenergéticos no âmbito do licenciamento ambiental, não só em Minas Gerais, mas também em todo o Brasil, tendo em vista que durante a elaboração dos diagnósticos ambientais e condução dos programas de monitoramento, são utilizadas as mesmas frequências de coletas e propostos os mesmos períodos para a condução dos trabalhos. Face ao exposto, há um comprometimento na avaliação da viabilidade ambiental, na identificação de impactos e proposição de medidas mitigadoras. Portanto, recomenda-se uma padronização das metodologias utilizadas no âmbito do licenciamento ambiental, considerando os mesmos critérios estabelecidos em pesquisas no âmbito científico. Recomenda-se, ainda, que as campanhas sejam realizadas com uma frequência, no mínimo, mensal, e que sejam iniciadas com maior antecedência à implantação desta tipologia de empreendimentos, permitindo assim a obtenção de uma série de dados bem mais confiável e representativa.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 30 set. 2009.

ALBA-TERCEDOR J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In: IV SIMPOSIO DEL AGUA EN ANDALUCIA (SIAGA), vol. II: 203-213, Almeria. Anais Eletrônicos. Disponível em: <[http://www.famu.org/mayfly/pubs/pub\\_a/pubalbj1996p203.pdf](http://www.famu.org/mayfly/pubs/pub_a/pubalbj1996p203.pdf)> Acesso em: 17 mar. 2011.

ANDRADE, R. S. *Dinâmica do fitoplâncton, qualidade de água e a percepção ambiental da comunidade de pescadores em açudes da bacia do rio Taperoá*. 2008. 150p. Dissertação (Mestrado - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

BARBOSA, J. E. L. *Dinâmica do Fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictmeral/sazonal) e de espaço (horizontal e vertical) no açude Taperoá II : trópico semi-árido nardestino*. 2002. 201f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos naturais)-Centro de Ciências Biológicas e da Saúde - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B.D. & STRIBLING, J.B. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2a ed. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C. 1999. Disponível em: <<http://water.epa.gov/scitech/monitoring/rsl/bioassessment/download.cfm>> Acesso em: 17 mar. 2011.

BASSO, E. R.; CARVALHO, S. R. Avaliação da qualidade da água em duas represas e uma lagoa no município de Ilha Solteira (SP). *Holos Environment*. v.7, n.1, p 17-29, 2007.

BIOS CONSULTORIA AMBIENTAL. Plano ambiental de conservação e uso do entorno do reservatório artificial da UHE FUNIL (PACUERA FUNIL). Belo Horizonte: Consórcio AHE Funil, 2010. 88p. 1 CD-ROM.

BOZELLI, R.L. & HUSZAR, V.L.M. Comunidades Fito e Zooplanctônicas continentais em tempo de avaliação. *Limnotemas 3*. Sociedade Brasileira de Limnologia. 2003.

BRANCO, S. M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. 3ª ed. São Paulo: CETESB /ASCETESB, 1986. 616p.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. *Cartilha de licenciamento ambiental / Tribunal de Contas da União; com colaboração do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis*. 2 ed. Brasília: TCU, 4ª Secretaria de Controle Externo, 2007. 83 p.

CACHAPUZ, C. P. B. B. (ORG.). *Usinas da Cemig: 1952-2005*. Rio de Janeiro: Centro de Memória da Eletricidade no Brasil, 2006. 304p.

CALIJURI, M.C.; DEBERDT, G.L.B. e MINOTI, R.T. A produtividade primária pelo fitoplâncton na represa de Salto Grande. In: ECOLOGIA DE RESERVATÓRIOS:

ESTRUTURA, FUNÇÃO E ASPECTOS SOCIAIS. Botucatu: FUNDIBIO/FAPESP, 1999. p. 109-148.

CARDOSO, S. J. *Influência da morfometria de lagos na diversidade fitoplanctônica*. 2009. 104p. Dissertação (Mestrado - Pós-Graduação em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

CEMIG & CETEC. *Guia ilustrado de peixes da bacia do rio Grande*. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais e Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 2000. 141p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Floração de algas cianofíceas e mortandade de peixes*. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 13 abr. 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo: Relatórios ambientais*. São Paulo: CETESB, 2008. 265p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 18 mar. 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. Apêndice A. Série Relatórios. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2009. 44p.

COLE, G.A. *Textbook of Limnology*. St. Louis: The C.V. Mosby Company, 1983. 401 p.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. *Barragens e Desenvolvimento: Um Novo Modelo para Tomada de Decisões - Um Sumário*. Comissão Mundial de Barragens. Novembro, 2000. 48P. Disponível em: <[http://www.fboms.org.br/old/doc/resumo\\_barragens.pdf](http://www.fboms.org.br/old/doc/resumo_barragens.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicação: Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.

CONSÓRCIO AHE FUNIL. *Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental*. 1994. 1 CD-ROM.

CONSÓRCIO AHE FUNIL. *Plano de Controle Ambiental*. 1999. 352p. 1 CD-ROM.

CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P. Impactos ambientais de reservatórios e perspectivas de uso múltiplo. *Revista Brasileira de Energia*. v. 4, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://www.sbpe.org.br/v4n1/v4n1t1.htm>>. Acesso em: 05 mai. 2004.

DIAS, N. L.; OKAWA, C. M. P.; ARAÚJO, A. A. M. de; GOBBI, M. F. Estudo dos impactos sobre o clima urbano regional do reservatório de Itaipu. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 15. Foz do Iguaçu, 1999.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). *Balanço Energético Nacional 2010: ano base 2009*. Rio de Janeiro : EPE, 2010. 271 p.

ESTEVES, F.A. *Fundamentos de limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FIA, R. Desempenho de sistemas alagados construídos no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro. 2008. 181p. Tese (Doutorado - Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FLAUZINO, F.S. Avaliação temporal e espacial da qualidade da água no lago da Usina Hidrelétrica de Miranda, Região do Triângulo - Minas Gerais. 2008. 193p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

FONSECA, H. S.; SALVADOR, N.N.B. Influência das atividades antrópicas, tipo de solo e erodibilidade de uma bacia hidrográfica na qualidade de suas águas. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Santa Catarina, 2003.

GASTALDINI, M. C. C.; SEFFRIN, G. F. F.; PAZ, M. F. Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do rio ibicuí utilizando o modelo QUAL2E. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 7, n. 3-4, p. 129-138, 2002.

GRIMM, A. M. Verificação de variações climáticas na área do lago de Itaipu. In: 5 CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1988.

GOOGLE MAPS BRASIL. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>>. Acesso em: 14 mar. 2011.

GORAYEB A., GOMES, R. B., ARAÚJO, L. F. P., SOUZA, M. J. N., ROSA, M. F., FIGUEIREDO, M. C. B. Aspectos ambientais e qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Curu - Ceará - Brasil. *Holos Environment*. v. 7, n. 2, p. 105-122. 2007.

GOULART, M.; CALLISTO, M.. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*. ano 2, n. 1, 9p., 2003.

HAC HIDROMETRIA LTDA. *Monitoramento Batimétrico do AHE Funil – Rio Grande*. Belo Horizonte: Consórcio AHE Funil, 2006. 39p. 1 CD-ROM.

HENRY, R. A variabilidade de alguns fatores físicos e químicos da água e implicações para amostragem: estudos de caso em quatro represas do estado de São Paulo. In: BICUDO, C. M.; BICUDO, D.C. *Amostragem em limnologia*. São Carlos: RiMa. p.245-262. 2004.

HICON ENGENHARIA LTDA. *AHE Funil – rio Grande - Estudos complementares de assoreamento e remanso do reservatório*. Consórcio AHE Funil, 2002. 32p. 1 CD-ROM.

HOLOS ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL LTDA. *1ª Etapa: Pré-enchimento – Relatório conclusivo de avaliação da situação de agosto de 2001 a agosto de 2002. Monitoramento limnológico e da qualidade das águas do AHE Funil*. Belo Horizonte: Consórcio AHE Funil, 2003a. 89p. 1 CD-ROM.

HOLOS ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL LTDA. *2ª Etapa: Enchimento – Relatório conclusivo de avaliação da situação de dezembro de 2002 a fevereiro de 2003. Monitoramento limnológico e da qualidade das águas do AHE Funil*. Belo Horizonte: Consórcio AHE Funil, 2003b. 82p. 1 CD-ROM.

HOLOS ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL LTDA. *3ª Etapa: Operação - Relatório Conclusivo de Avaliação da Situação de Março a Dezembro de 2003. Monitoramento limnológico e da qualidade das águas do AHE Funil*. Belo Horizonte: Consórcio AHE Funil, 2004. 386p. 1 CD-ROM.

HONORATO, D. *Variação Temporal de Parâmetros Limnológicos do Reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico de Queimado, Unaí - MG*. 2008. Monografia (Pós-Graduação *Latu sensu* em Tecnologia Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Grande em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010. 312p.

KÖEPPEN, W. *Climatologia: con um estúdio de los climas de la Tierra*. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

LAMPARELLI, M.C. *Grau de Trofia em Corpos d'Água no Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento*. 2004. 238p. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos). Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LANSAC-TÔHA, F. A.; BONECKER, C. C.; VELHO, L. F. M.. Estrutura da comunidade zooplanctônica em reservatórios. In: *Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais*. Editado por RODRIGUES, L.; THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.. São Carlos: Rima, 2005. p115-127.

LE CREN, E.D., LOWE-MCCONNELL, R.H. *The functioning of freshwater ecosystems*. Cambridge: IBP-Handbook, 22, Cambridge University Press, 1980. 588p.

LEITE, M. A.; MATSUMOTO, T. Avaliação da qualidade da água do reservatório de Ilha Solteira (Brasil), visando seu aproveitamento múltiplo. 2005. 6p. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/leite>>. Acesso em: 09 out. 2009.

LEITE, M.A.; ESPÍNDOLA, E.L.G. Análise do processo de eutrofização entre os reservatórios de Salto Grande (22° 44'S e 47° 15'W) e do Lobo (22° 10'S e 47° 57'W). In: *Recursos Hidroenergéticos: usos, impactos e planejamento integrado. Série Ciências da Engenharia Ambiental - Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental - CRHEA - SHS - EESC - USP*, p 107-116, 2001.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L., NASCIMENTO, N. O. A dimensão da qualidade da água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 10, n. 3, p. 219-228, 2005.

LIMBERGER, L. *O clima do oeste do Paraná: análise da presença do lago de Itaipu. Rio Claro*. 2007. 136p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2007.

LIMNOS LIMNOLOGIA E HIDROBIOLOGIA LTDA. *Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas do AHE Funil - 2ª Etapa de Operação - Maio/2005 a Março/2008*. Documento nº: 274/2008-A – RL 3663/08. 2008. 174p. 1 CD-ROM.

LIMNOS LIMNOLOGIA E HIDROBIOLOGIA LTDA. *Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas do AHE Funil - 2ª Etapa de Operação - Maio/2005 a Janeiro/2009*. Documento nº: 274/2008- B – RL 3939/09. 2009. 164p. 1 CD-ROM.

LIMNOS LIMNOLOGIA E HIDROBIOLOGIA LTDA. *Monitoramento Limnológico e da Qualidade das Águas do AHE Funil - Relatório Anual - Janeiro a Dezembro de 2009*. Documento nº: – B – RL 4374/10. 2010. 99. 1 CD-ROM.

LUND, J.W.; KIPLING, C.; LE CREN, D. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. *Hidrobiologia*, v. 11, p. 143-170, 1958.

MAKHLOUGH, A. *Water quality characteristics of Mengkuang Reservoir based on phytoplankton community structure and physico- chemical analysis*. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Biologia, Universiti Sains Malaysia, Malásia, 2008.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. G. & ROCHA, O.. Zooplankton diversity in eutrophic systems and its relation to the occurrence of cyanophycean blooms. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* v. 28, 671-674, 2002.

MAZINNI, A. L. D. A. *Dicionário Educativo de Termos Ambientais*. 2003. 384p.

MEIRINHO, P. A. Portal de Ecologia Aquática. São Paulo: PPG Ecologia, Depto. de Ecologia, IB, USP SP, Brasil. Disponível em: <[http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=167&Itemid=469](http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=167&Itemid=469)>. Acesso em: 15 abr. 2011.

MELO, G. L. *Estudo de qualidade da água do reservatório de Itaparica localizado na bacia do rio São Francisco*. 2007. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518/GM. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Publicação: Diário Oficial da União, 25 de março de 2004.

MOITA, R.; CUDO, K. J. Aspectos gerais da qualidade da água no Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO E SAÚDE NO BRASIL, 6., Brasília, 1991.

MOURA, M. Taxação de Uso de Água Provoca Polêmica. *O Estado de São Paulo*, São Paulo, 21 dez. 1997. Geral, p. 18.

MUCCI, J. L. N., SOUZA, A. de., VIEIRA, A. M. Estudo ecológico do Parque Guaraciaba em Santo André - São Paulo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. vol. 9, n. 1, p. 13-25, 2004.

MULLINS, M. L.; WHISENANT, A. S. Somerville Reservoir water quality study. 2004. 20p. Disponível em : <[http://www.tpwd.state.tx.us/publications/pwdpubs/mediabarrapwd\\_rp\\_v3400\\_0067](http://www.tpwd.state.tx.us/publications/pwdpubs/mediabarrapwd_rp_v3400_0067)>. Acesso em: 14 mar. 2011.

PEDRAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPÊO, M.L.M. Qualidade da água do reservatório de Itupararanga (bacia do Alto Sorocaba - sp). gradiente espacial horizontal. In: VIII CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL. Setembro, 2007.

PRANDI-ROSA, G.A.; FARACHE-FILHO, A. Avaliação de Parâmetros de Águas Superficiais em Mananciais do Município de Jales – SP. *Holos Environment*. v. 2, n. 1, p. 36-51. 2002.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Publicação: Diário Oficial da União, 09 de janeiro de 1997.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. *Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável*. 2005. 415p.

RIBEIRO, L. H. L. ; BRANDIMARTE, A. L. ; KISHI, R. T. . Formation of the Salto Caxias Reservoir (PR) - an approach on the eutrophication process. *Acta Limnologica Brasiliensia*, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 155-165, 2005.

RODRIGUES, W.; SOUZA, E. C. Valoração dos Danos Ambientais Causados pela Implantação da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães no Município de Porto Nacional – TO: Uma Aplicação do Método de Valoração Contingente. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. 15., 2008.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V.H. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall: New York, 1993. pp. 1-9.

RUAS, A. L. Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – estudo de caso do rio Pomba. 2006. 280p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M.T.P.; WERNER, V.R.; DOGO, C.R.; RIOS, F.R.; CARVALHO, L.R. Review of toxic species of cyanovacteria in Brazil. *Algological studies*. v. 126, n. 1, p. 249-263, 2008.

SOUZA-HOJO, D. M. Composição e alimentação da ictiofauna da área de influência da Usina Hidrelétrica de Funil, localizada no rio Grande, região sul do estado de Minas Gerais. 2008. 92p. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Aquicultura. Universidade Estadual Paulista. 2008.

STREY, L.; GONÇALVES-JR., A. C.; MARENGONI, N. G.; GOMES, G. D.; SCHWANTES, D. Monitoramento das características físico-químicas da qualidade da água nos reservatórios da ITAIPU na região oeste do Paraná. In: XVI Encontro de Química da Região Sul (16-SBQsul). Fundação Universidade Regional de Blumenau. 1p. 2008.

SILVA, W. M. da. *Caracterização do Reservatório de Nova Ponte (MG) nos meses de julho / 95 (período de seca) e fevereiro / 96 (período chuvoso) com ênfase na composição e distribuição do zooplâncton.* 1998. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Carlos. 1998.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Água na indústria. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil - capital ecológico, usos e conservação.* 3ª ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 367-398.

THIENEMANN, A. Der Bau des Seebeckens in seiner Bedeutung fur das Leben in See. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien*, v. 77, n. pp. 87-91, 1927.

TIMMS, B.V. *Lake geomorphology.* Adelaide: Gleneagles Press, 1992. 180 pp.

TUNDISI, J. G. Represas artificiais: perspectivas para o controle e manejo da qualidade da água para usos múltiplos. *RBE.* v. 1, n.1, p.37-47, 1986.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como Sistemas Complexos: Teoria, Aplicações e Perspectivas para Usos Múltiplos. In: *Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais.* Henry, R. ed. Botucatu: FUNDIBIO: FAPESP, p 19-30, 1999.

TUNDISI, J.G.; BICUDO, C.E.M. & MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnology in Brazil.* Brazilian Academy of Sciences (and) Brazilian Limnological Society, Rio de Janeiro. 1995. 376 p.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia.* São Paulo: Oficina dos Textos, 2008.631 p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. A Água. Publifolha, 2005. 120p.

UNESCO/WHO/UNEP. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.* 2 ed. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization and United Nations Environment Programme. London: F & FN Spon, 1996. 651p.

VELINI, E. D.; CAVENAGHI, A. L.; NEGRISOLI, E.; MARTINS, D.; ARRUDA, D. P.; TRINDADE, M. L. B.; SANTOS, S. C.; SIMIONATO, J. L. A. Avaliação da Qualidade da Água e Sedimento de dez reservatórios dos rios Tietê, Grande, Pardo e Mogi-Guaçu. 3 p. 1999. Disponível em: <[http // www.aneel.gov.br /biblioteca / Citene12001 /trabalhos%5C52](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/Citene12001/trabalhos%5C52)>. Acessado em: 10 out. 2009.

VON SPERLING, E. *Morfologia de lagos e represas.* ISBN: 85-900885-1-0. 1999a. 136p.

VON SPERLING, E. Profundidade Média de Lagos e Represas Brasileiros e sua Influência na Qualidade da Água. In: 20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Rio de Janeiro, 1999b.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.* 2ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 1996. 243p.

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 3ª Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 2005. 452p.

VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamentos de efluentes. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH*. Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 111-132, 1998.

VON SPERLING, E.; JARDIM, F. A.; GRANDCHAMP, C. A. P. Qualidade da Água durante a Formação de Lagos Profundos em Cavas de Mineração: Estudo de Caso do Lago de Águas Claras – MG. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 250-259, 2004.

WAX, P. Lake Water Quality Assessment for the Jamestown Reservoir Stutsman County, North Dakota. 14 p., 2006. Disponível em: <[http://www.ndhealth.govba/WQ/swbarZ7\\_PublicationsbarLakeReportsbarJamestown\\_Final](http://www.ndhealth.govba/WQ/swbarZ7_PublicationsbarLakeReportsbarJamestown_Final)>. Acesso em: 15 mar. 2011.

WETZEL, R.G. *Limnology*. Philadelphia: Saunders College, 1983. 767 p.

WETZEL, R.G.. *Limnologia. Tradução e prefácio de Maria José Boavida*. 2ª ed. Ed. Fundação Caloust Fulbenkian, Lisboa. 1993. 919 p.

ZIESLER, R.; ARDIZONE, G. D. *The Island Waters of Latin America*. Copescal Technical Paper. n 1. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 171., 1979.

## **APÊNDICES**

## Apêndice A: Dados brutos obtidos para os parâmetros físico-químicos.

**Tabela 1A - Dados brutos obtidos para o ponto FNL04/FL050 - rio Grande, remanso do reservatório.**

PARÂMETROS	Unidade	Pré - Enchimento					Enchi.	Enchi.	Enchi.	Operação			
		FNL04/FL050 (sub = epil.)	FNL04/FL050 (sub)	FNL04/FL050 (sub)	FNL04/FL050 (sub)	FNL04/FL050 (sub)							
		ago/01	nov/01	fev/02	mai/02	ago/02	dez/02	jan/03	fev/03	mai/03	ago/03	dez/03	mai/05
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	Ausentes	50	20	120	Ausentes	6	450	1392	6	2	70	70
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	21,8	22	49,2	84,6	72,6	38,1	37,1	42,9	19,3	18,64	20,6	21,6
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	1,5	1,9	2,13	1,7	0,58	2,06	1,24	1,1	---	---	---	---
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	2,9	2,7	2,2	3,5	1,3	2,6	3	5,5	---	---	---	---
Dureza Total	mg/L CaCO3	10,78	6,02	12,1	15,51	28	7,85	9,81	6,01	---	---	---	---
Ferro Solúvel	mg/L	0,02	0,21	0,28	0,19	0,3	0,06	2,01	0,91	---	---	---	---
Ferro Total	mg/L	0,1	0,6	1	0,84	0,73	0,95	3,39	3,44	---	---	---	---
Fósforo Total	mg/L	< 0,001	0,065	0,093	< 0,001	< 0,001	0,26	< 0,001	< 0,001	0,025	0,021	0,023	---
Manganês Total	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---
Nitrato	mg/L	0,15	0,03	0,06	0,98	0,02	0,06	0,17	0,21	---	---	---	---
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	---	---	---	---
Ortofosfato	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,010	< 0,010	< 0,010	---
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,7	6,9	8,4	8,4	6,77	7,6	6,5	6,6	---	---	---	---
pH in natura a 25° C		7,96	7,2	6,9	7,18	7,45	6,79	7,39	7,4	6,97	6,26	7,63	7,41
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	24,7	17,6	22,3	17,5	34,8	16,3	10,2	11,1	---	---	---	---
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	8	25	23,2	13,4	2	21	22,5	23	---	---	---	---
Sólidos Totais	mg/L	32,7	42,6	45,46	30,86	36,8	37,3	37,72	34,09	---	---	---	---
Temperatura da água	°C	18,9	20,5	20,9	19,5	18,8	25,6	22,1	19,9	20,7	18,6	27,5	22

Temperatura do ar	°C	19,9	23,5	23	27,1	27,8	32,6	25,9	29	18,5	18	28,5	21,8
Turbidez	UNT	2	13	10	4	4,3	15	25	17	---	---	---	---
Clorofila-a	µg/L	0,49	0,41	1,47	2,06	< 0,010	0,02	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---

Tabela 1A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL04/FL0													
		50 (sub)													
		ago/05	nov/05	mai/06	ago/06	nov/06	mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	ND	100	10	10	60	ND	ND	20	61	18	<1	700	***	33
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	18	18,9	24,3	17,4	19,3	23,8	20,7	124,8	20,1	17	23,2	131	59	20,5
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Dureza Total	mg/L CaCO3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Solúvel	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fósforo Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Manganês Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nitrato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Nitrogênio Amoniacal	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ortofosfato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Oxigênio Dissolvido	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
pH in natura a 25° C		7,51	7,31	7,37	7,39	7,46	7,22	7,51	7,35	7,19	7,1	7,34	6,74	7,34	7,47				
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Temperatura da água	°C	19,7	24,3	23	19,8	24,2	21,2	19,7	23,1	24,3	17	22,2	22,7	20,8	27				
Temperatura do ar	°C	21	30	23	21	26	19	23,2	23,8	26	18	31,8	24,8	23,1	31,5				
Turbidez	UNT	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Clorofila-a	µg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabela 1A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL04/F L050 (epil)																	
		mai/03	ago/03	dez/03	mai/05	ago/05	nov/05	mai/06	ago/06	nov/06	mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09
Cloretos	mg/L	---	---	---	ND	ND	ND	ND	ND	1,7	5,5	ND	ND	***	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2,97
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	***	---	---	---	---
Condutividade de Elétrica a 25° C	µS/cm	19,2	16,61	21,2	62,3	18,9	19,3	20,4	19	22,2	21,2	20,7	22,7	***	17	23,8	18	31	20,88
Cor Aparente	mg/L	5	< 5,00	15	25	15	15	25	15	40	20	5	200	***	10	40	50	---	---

Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,7	0,59	0,53	7,81	0,48	0,63	1,89	1,64	1,54	0,39	0,73	1,08	***	1,88	1,86	3,37	3	<2,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	2	2	4	---	ND	ND	---	ND	ND	---	ND	ND	***	---	17,5	17	27,5	10,2
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	6,51	6	6,52	---	4	4	---	5	5	---	6	7	***	---	5,7	2	7	6
Ferro Solúvel	mg/L	< 0,05	< 0,05	0,12	0,322	0,084	0,09	0,216	ND	0,136	0,19	0,08	0,13	***	0,08	0,08	0,21	0,09	0,09
Ferro Total	mg/L	0,79	0,13	0,82	0,85	0,678	0,347	0,437	0,163	1,066	0,57	0,24	0,37	***	0,1	3,7	2,98	0,34	1,13
Fósforo Total	mg/L	< 0,010	0,023	0,024	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01	ND	ND	***	<0,010	0,132	0,053	<0,010	<0,015
Manganes Total	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	ND	0,049	0,024	0,027	0,015	0,033	ND	ND	ND	***	<0,05	0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrato	mg/L	0,03	0,11	0,26	0,1	ND	ND	0,4	ND	ND	ND	ND	ND	***	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,36
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,1	0,07	0,06	0,39	ND	0,26	ND	0,06	0,1	ND	0,05	0,41	***	0,09	<0,05	<0,05	0,06	<0,05
Ortofosfato	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	***	0,029	<0,017	<0,017	<0,015	<0,015
Oxigênio Dissolvido	mg/L	8,3	8,29	7,18	7,6	7,7	7,3	7,94	7,18	7,59	7,35	8,82	6,46	***	5,05	8,96	7,19	8,32	6,62
pH in natura a 25° C		7,07	6,22	7,99	7,62	7,64	7,33	7,44	7,34	7,21	7,04	7,51	8,13	***	7,07	8	6,72	7,34	8,01
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	28	22,67	30,6	42	13	13	41	13	13	14	15	16	***	11	16	12	21	14
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	1	< 0,5	7,75	ND	4	ND	ND	4	7	7	6	6	***	4	64	21	3	5
Sólidos Totais	mg/L	29	23,17	38,35	42	17	13	41	17	20	21	21	22	***	15	80	33	24	19
Temperatura da água	°C	20,7	18,4	26,5	21,8	19,7	24,3	23	19,8	24,2	21,2	19,5	23,1	***	17	21,1	22,7	---	25,9
Temperatura do ar	°C	18,5	18	28,5	---	---	---	---	---	---	---	23,2	23,8	***	18	31,8	24,8	---	31,5
Turbidez	UNT	3,4	1,7	12,2	3,5	3,2	5,3	6,4	4,1	8,8	5,3	2,9	36,5	***	3,6	39	72	4,7	9,9
Clorofila-a	µg/L	2,67	0,27	0,66	1,1	0,2	ND	2,2	ND	1,5	---	---	---	***	1,4	3,2	0,5	0,8	<0,1

\*\*\* Não coletado.

--- Valores não medidos.

ND - Não Detectado

**Tabela 2A - Dados brutos obtidos para o ponto FNL03/FL060 - rio Capivari, remanso do reservatório.**

PARÂMETROS	Unidade	Pré - Enchimento																		
		Enchi.					Enchi.					Enchi.					Operação			
		FNL03/FL060 (sub = epil.)	FNL03/F L060 (sub = epil.)																	
ago/01	nov/01	fev/02	mai/02	ago/02	dez/02	jan/03	fev/03	mai/03	ago/03	mai/05	ago/05	nov/05	mai/06	ago/06	nov/06	mai/07	ago/07			
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	Ausentes	220	20	80	Ausentes	Ausente	160	56	68	64	360	ND	40	900	130	1020	400	< 10	
Condutividade de Elétrica a 25° C	µS/cm	34,4	25	42,6	37,3	36,2	44	32,3	20,5	25,3	26,09	23,1	22,4	22	22,3	51,6	30,5	25,1	28,1	
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,6	1,4	1,1	0,6	1,08	1,32	1,24	1,82	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	1,1	1,7	1,3	1,4	1,3	1,8	3,1	6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	10,78	12,05	14,12	11,63	22	9,81	7,85	6,19	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Ferro Solúvel	mg/L	0,09	0,29	0,12	0,06	0,15	0,05	1,03	0,92	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Ferro Total	mg/L	0,18	0,34	1,68	0,8	0,76	0,34	2,84	1,65	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Fósforo Total	mg/L	< 0,001	0,118	0,063	< 0,001	< 0,001	0,42	0,012	0,356	0,016	0,017	---	---	---	---	---	---	---	---	
Manganês Total	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Nitrato	mg/L	0,21	0,08	0,02	0,24	0,02	0,08	0,1	0,15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	< 0,01	0,38	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Ortofosfato	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	---	---	---	---	---	---	---	---	
Oxigênio Dissolvido	mg/L	5	8,2	7,4	8,4	7,23	5,9	7,4	6,1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
pH in natura a 25° C	---	8	7,3	7,4	7,68	7,87	6,63	6,94	7,64	7,05	7,16	7,34	7,39	7,3	7,44	7,55	7,36	7,27	7,47	

Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	49,2	37,9	31	11,6	23,3	12,7	11	9,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	2,4	22	20	20,8	3,8	25	18,67	12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Totais	mg/L	51,6	60	50,98	32,38	27,07	37,7	29,66	21,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Temperatura da água	°C	19,6	23	20	18,3	21,4	26,1	24,4	24	18,8	18,4	23	21	25,7	21	20,7	24,4	18	20,5
Temperatura do ar	°C	21,9	21,5	24	20	27,8	32,7	25,7	28	22,5	15	17,8	22	30	23	25	26	18	24,8
Turbidez	UNT	3,5	19	12	7,8	3,5	10	36	48	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Clorofila-a	µg/L	< 0,010	0,24	3,1	0,18	1,07	0,01	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabela 2A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL	FNL03/FL									
		060 (sub)	060 (epil)																
		nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09	mai/03	ago/03	dez/03	mai/05	ago/05	nov/05	mai/06	ago/06	nov/06		
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	ND	ND	ND	ND	2,7	ND		
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	2120	520	85	19	1200	---	160	---	---	---	---	---	---	---	---	---		
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	23	21,7	14	30,6	14	28,29	28,3	25,8	27,01	22,2	90,4	22,1	23,2	22,9	54,7	23,4		
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 1,00	< 5,00	16	80	40	50	40	35	70		
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,92	0,44	0,34	ND	1,1	0,42	1,06	1,77	0,59		
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	2,4	1,6	11,6	---	32,14	ND	---	ND	22,67		
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	---	---	9,02	9,5	7,02	---	6	9	---	10	6		
Ferro Solúvel	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,536	0,292	0,657	0,614	0,159	0,433		
Ferro Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	1,13	0,68	3,25	1,672	1,619	2,087	1,98	0,884	1,414		
Fósforo Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,016	0,014	0,042	0,012	0,019	ND	ND	0,019	0,016		
Manganês Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,035	0,059	0,062	0,042	0,051	0,058		

Nitrato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,01	0,11	0,32	ND	ND	ND	0,3	0,6	0,5
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,09	0,06	< 0,05	0,88	0,03	0,55	ND	0,1	0,43
Ortofosfato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,010	< 0,010	0,016	ND	0,017	ND	ND	0,019	ND
Oxigênio Dissolvido	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	8,49	7,53	6,89	7,6	7,6	6,5	8,21	4,78	6,84
pH in natura a 25° C	---	7,05	6,62	6,87	7,21	6,67	7,93	7,93	7,11	7,18	7,29	7,55	7,36	7,24	7,27	7,37	7,18
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	31,7	36,87	28,94	61	15	16	47	37	15
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	4	1,14	55,33	14	3	ND	4	11	24
Sólidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	35,7	38,01	84,27	75	18	16	51	48	39
Temperatura da água	°C	24,5	23,2	15,6	24,3	21,7	27,7	27,7	18,4	18,3	24,5	17,8	21	25,7	21	20,7	24,4
Temperatura do ar	°C	22,7	27	14	31,7	24,5	30,5	30,5	22,5	15	26	---	---	---	---	---	---
Turbidez	UNT	---	---	---	---	---	---	---	8,77	3,85	90,3	18	8,1	16,1	12,1	8,2	37,6
Clorofila-a	µg/L	---	---	---	---	---	---	---	1,89	1,87	1,33	2	0,5	ND	0,1	ND	0,6

Tabela 2A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL03/FL060	FNL03/FL060	FNL03/FL060	FNL03/FL060	FNL03/FL060	FNL03/FL060	FNL03/FL060	FNL03/FL060								
		(epil) mai/07	(epil) ago/07	(epil) nov/07	(epil) mar/08	(epil) jul/08	(epil) out/08	(epil) jan/09	(epil) ago/09	(epil) dez/09	(epil)						
Cloretos	mg/L	ND	ND	1,9	***	<1,00	<1,00	<1,00	---	2,22							
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	---	---	---	***	---	---	---	---	---							
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	22,7	28,1	40	0	30	31,6	23	111	28,15							
Cor Aparente	mg/L	50	30	80	***	100	40	80	---	---							
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,34	1,03	0,76	***	2,16	1,84	2,14	---	<2,0							
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	---	8	12	***	---	<5,0	22	---	13,6							
Dureza Total	mg/L CaCO3	---	9	15	***	---	14,3	5	---	8							
Ferro Solúvel	mg/L	0,15	0,39	0,83	***	0,22	0,56	0,38	---	0,4							
Ferro Total	mg/L	1,11	0,86	6,43	***	0,23	1,12	4,81	---	1,63							

Fósforo Total	mg/L	0,019	0,011	0,087	***	0,162	0,021	0,081	---	<0,015
Manganês Total	mg/L	0,05	ND	0,15	***	0,06	<0,05	0,05	---	<0,05
Nitrato	mg/L	ND	ND	0,8	***	<0,10	<0,10	<0,10	0,1	0,11
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,17	0,12	0,16	***	0,06	0,06	<0,05	0,09	<0,05
Ortofosfato	mg/L	ND	ND	0,014	***	<0,017	<0,017	<0,017	---	<0,015
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,7	8,63	6,16	***	7,32	8,8	3,95	---	6,41
pH in natura a 25° C	---	7,37	7,47	6,9	***	6,93	7,32	6,15	7,53	7,46
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	15	20	31	***	20	21	15	---	19
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	12	6	117	***	61	7	46	---	8
Sólidos Totais	mg/L	27	26	148	***	81	28	61	---	27
Temperatura da água	°C	18	19,4	22,6	***	15,2	22,3	21,4	16,6	27,5
Temperatura do ar	°C	24,8	24,8	24,5	***	14	31,7	24,5	21	30,5
Turbidez	UNT	11,6	7,1	29,9	***	63,5	13	93	---	20,3
Clorofila-a	µg/L	0,3	3,3	ND	***	0,7	0,8	1,5	---	<0,1

\*\*\* Não coletado.

--- Valores não medidos.

ND - Não Detectado

**Tabela 3A - Dados brutos obtidos para o ponto FNL02/FL090 - rio das Mortes, remanso do reservatório.**

PARÂMETROS	Unidade	Pré - Enchimento																		
		Pré - Enchimento					Enchi.			Enchi.			Enchi.			Operação				
		FNL02/FL090 (sub = epil.) ago/01	FNL02/F L090 (sub = epil.) nov/01	FNL02/F L090 (sub = epil.) fev/02	FNL02/F L090 (sub = epil.) mai/02	FNL02/F L090 (sub = epil.) ago/02	FNL02/F L090 (sub = epil.) dez/02	FNL02/F L090 (sub = epil.) jan/03	FNL02/F L090 (sub = epil.) fev/03	FNL02/F L090 (sub) mai/03	FNL02/F L090 (sub) ago/03	FNL02/F L090 (sub) mai/05	FNL02/F L090 (sub) ago/05	FNL02/F L090 (sub) nov/05	FNL02/F L090 (sub) mai/06	FNL02/F L090 (sub) ago/06	FNL02/F L090 (sub) nov/06	FNL02/F L090 (sub) mai/07	FNL02/F L090 (sub) ago/07	
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	Ausentes	50	120	16	150	Ausente	500	548			280	ND	200	800	10	280	300	50	
Condutividade de Elétrica a 25° C	µS/cm	25,9	46	48,2	51	65,4	62,9	44,8	39,8	40,7	45,97	29,1	32,9	31,5	47,3	23	25,9	42,4	52	

Cor	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Aparente																			
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L						1,32	0,91	1,45	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	0,4	1,4	3,1	1,1	1,09	2	4,1	4,4	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0,8	2,3	4,5	1,7	1,4	17,66	7,85	18,58	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Solúvel	mg/L	17,64	40,16	12,1	13,57	24,48	0,48	2,52	0,67	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Total	mg/L	< 0,01	0,36	0,05	0,08	0,17	1,14	4,76	2,97	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fósforo Total	mg/L	0,36	0,55	1,06	0,8	1,98	0,802	0,02	0,045	0,042	0,047	---	---	---	---	---	---	---	---
Manganês Total	mg/L	< 0,001	0,022	0,127	0,007	< 0,001	< 0,010	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nitrato	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,173	0,12	0,15	0,26	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1,49	0,05	0,59	0,12	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ortofosfato	mg/L	< 0,01	0,1	0,01	0,11	< 0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---
Oxigênio Dissolvido	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	7,6	7,8	6,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
pH in natura a 25° C	---	6,8	7,8	4,9	8,6	7,71	7,36	7,16	7,06	7,26	7,32	7,51	7,62	7,4	7,41	7,29	7,23	7,54	7,55
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	7,81	7,1	7,8	8,56	7,69	19	14,3	13,3	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	27,6	31,8	33,2	14,4	22,8	18	179	32,5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Totais	mg/L	7,6	420	430,57	23,4	15,4	36,99	193,34	45,81	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Temperatura da água	°C	35,25	431,8	463,72	37,8	38,2	25,2	24,2	22,5	19,3	20,4	24	21,2	25,3	22	20,4	23,3	19	21
Temperatura do ar	°C	22,5	21,5	20	21,5	21,1	32,9	25,2	28	22,5	23	19	22	29	24	25	26	18	28,6
Turbidez	UNT	29	22,7	23,5	28,6	27,8	20	190	43	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Clorofila-a	µg/L	4	140	170	8,3	6,5	0,03	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
		0,13	0,35	1,71	< 0,010	0,44													

Tabela 3A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL	FNL02/FL								
		090 (sub) nov/07	090 (sub) mar/08	090 (sub) jul/08	090 (sub) out/08	090 (sub) jan/09	090 (sub) ago/09	090 (sub) dez/09	090 (epil) mai/03	090 (epil) ago/03	090 (epil) dez/03	090 (epil) mai/05	090 (epil) ago/05	090 (epil) nov/05	090 (epil) mai/06	090 (epil) ago/06	090 (epil) nov/06	
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	ND	ND	ND	1,9	ND	ND

Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	130	470	51	30	900	***	1200	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Condutividade e Elétrica a 25° C	µS/cm	28,4	36,9	24	53,9	42	36	34,5	41,1	47,91	50 33,3	30,4	34,4	43,8	49,2	24,4	19,8
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	80	40	50	50	40	70
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	4	6,27	16	8,94	0,37	0,35	1,4	2,8	2,06
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	1,9	1,62	0,69	---	32,14	ND	---	ND	38,69
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	---	---	3,24 13,53	4,8 16	10,8 10,03	---	12	11	---	8	10
Ferro Solúvel	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,52	0,3	0,62	0,51	0,27	0,36
Ferro Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,08 1,4	<0,05 0,63	0,18 6,5	1,95	1,45	1,86	1,44	1,25	2,47
Fósforo Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,026	0,027	0,079	0,01	0,02	0,03	ND	ND	0,03
Manganês Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,08
Nitrato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	<0,05 0,38	<0,05 0,62	<0,05 0,42	0,2	0,2	0,2	0,6	ND	0,9
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,47	ND	0,69	ND	0,12	0,24
Ortofosfato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,2 < 0,010	0,11 < 0,010	0,18 0,015	ND	ND	0,021	ND	ND	ND
Oxigênio Dissolvido	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7,7	7,6	6,8	8,48	7,85	7,18
pH in natura a 25° C	---	7,23	6,84	6,85	7,66	6,67	7,47	7,93	7,04 7,35	8,1 7,5	6,73 7,27	7,72	7,51	7,4	7,44	7,28	7,31
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	52,2	65,4	46,75	23	23	29	52	16	21

Sólidos Suspensos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	9	1,67	130	27	ND	18	14	12	76
Sólidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	61,2	67,07	176,75	50	23	47	66	28	97
Temperatura da água	°C	22,2	23,1	14,9	23,6	21,2	20,4	24,7				19	21,2	25,3	22	20,4	23,3
Temperatura do ar	°C	24,1	27	18	32,1	25,2	24,3	31,3	18,7	18,7	26	---	---	---	---	---	---
Turbidez	UNT	---	---	---	---	---	---	---	22,5 13,37	23 4,72	30,5 238	17	10	33,4	21,9	9,2	88,5
Clorofila-a	µg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,8	1,07	0,53	ND	1,9	ND	3,8	ND	1,5

Tabela 3A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL02/FL090 (epil)								
		FNL02/FL090 (epil)								
		mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09
Cloretos	mg/L	1,6	1,7	ND	***	1,97	1,9	<1,00	<1,00	2,78
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL			---	***	---	---	---	---	---
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	32,8	52	---	***	25	74,6	40	83	34,3
Cor Aparente	mg/L	40	20	80	***	50	40	200	5	20
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,78	0,62	0,51	***	1,28	1,03	2,32	3	<2,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	---	ND	5,2	***	---	65,6	22	22,7	20,4
Dureza Total	mg/L CaCO3	---	16	8	***	---	12	5	13	11
Ferro Solúvel	mg/L	0,34	0,24	0,85	***	0,09	0,52	0,22	0,1	0,39

Ferro Total	mg/L	1,42	0,95	1,27	***	1,34	1,46	15,5	1,35	5,63
Fósforo Total	mg/L	0,03	0,04	0,03	***	0,053	0,038	0,21	0,027	<0,015
Manganês Total	mg/L	0,06	0,07	ND	***	<0,05	0,05	0,28	0,05	0,05
Nitrato	mg/L	0,6	0,7	0,5	***	0,34	0,39	0,1	0,24	0,23
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,16	0,09	0,42	***	0,06	0,07	0,06	0,1	<0,05
Ortofosfato	mg/L	ND	ND	ND	***	<0,017	<0,017	<0,017	<0,015	<0,015
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,7	8,92	6,27	***	8,75	8,79	6,84	7,44	7,21
pH in natura a 25° C	---	7,48	7,55	---	***	6,96	6,49	6,58	7,82	7,9
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	22	37	18	***	17	50	27	56	23
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	15	14	17	***	17	15	217	10	51
Sólidos Totais	mg/L	37	51	35	***	34	65	244	66	74
Temperatura da água	°C	19	19,8	---	***	15,1	23,1	21	20,3	26,4
Temperatura do ar	°C	---	28,6	---	***	18	32,1	25,2	24,3	31,2
Turbidez	UNT	16,7	13,4	25,6	***	19,1	25	260	13,2	70,4
Clorofila-a	µg/L	ND	3	1,3	***	0,2	<0,1	2,3	<0,1	<0,1

\*\*\* Não coletado.

---Valores não medidos.

ND - Não Detectado

**Tabela 4A - Dados brutos obtidos para o ponto FNL08/FL110 - porção mediana do reservatório.**

PARÂMETROS	Unidade	Pré -																	
		Enchimento				Enchi.				Enchi.				Operação					
		FNL08/FL110 (sub = epil.) ago/01	FNL08/F L110 (sub = epil.) nov/01	FNL08/F L110 (sub = epil.) fev/02	FNL08/F L110 (sub = epil.) mai/02	FNL08/F L110 (sub = epil.) ago/02	FNL08/F L110 (sub = epil.) dez/02	FNL08/F L110 (sub = epil.) jan/03	FNL08/F L110 (sub = epil.) fev/03	FNL08/F L110 (sub = epil.) mai/03	FNL08/F L110 (sub = epil.) ago/03	FNL08/F L110 (sub = epil.) mai/05	FNL08/F L110 (sub = epil.) ago/05	FNL08/F L110 (sub = epil.) nov/05	FNL08/F L110 (sub = epil.) mai/06	FNL08/F L110 (sub = epil.) ago/06	FNL08/F L110 (sub = epil.) nov/06	FNL08/F L110 (sub = epil.) mai/07	FNL08/F L110 (sub = epil.) ago/07
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	Ausentes	200	132	140	Ausentes	8	600	294	4	2	180	ND	20	50	ND	80	ND	ND
Condutividade de Elétrica a 25° C	µS/cm	37,1	34	40,5	44,3	35,6	44,6	40,2	25,8	26,1	26,81	22,3	22,3	22,5	25,1	23,8	22,8	29,4	28,7
Cor	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,4	1,6	2,6	1,4	0,63	1,7	0,74	1,82	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	0,8	1,8	3	2,8	1,1	2	3,7	5	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	13,72	12,05	14,12	0,01	18,36	7,85	7,85	8,26	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Solúvel	mg/L	0,03	0,21	0,07	0,07	< 0,01	< 0,01	1,8	0,63	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Total	mg/L	0,32	0,45	1,82	0,77	0,91	0,58	3,87	2,93	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Fósforo Total	mg/L	< 0,001	0,119	0,125	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,011	0,511	0,016	0,017	---	---	---	---	---	---	---	---
Manganês Total	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nitrato	mg/L	0,25	0,03	0,5	0,44	< 0,01	0,03	0,51	0,11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	< 0,01	1	0,06	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ortofosfato	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,01	---	---	---	---	---	---	---	---
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,6	5,7	8,5	8,1	6,18	6,1	7,8	6,1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
pH in natura a 25° C	mg/L	7,64	7,5	7,1	7,87	7,39	7,15	6,98	6,91	7,17	7,05	7,37	7,62	7,41	7,54	7,62	7,25	7,34	7,85
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	39,9	8,9	11	13	15,2	12,6	11,4	8,6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	2,4	35	314	67,4	9,4	25	27	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Totais	mg/L	42,3	43,9	324,98	80,44	24,64	37,57	38,44	28,56	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Temperatura da água	°C	22,8	23	20	21,2	22,1	28	24,6	22,6	21,4	19,2	20	22,3	24,7	23	21,7	24,7	21	21,6

Temperatura do ar	°C	29,5	22,5	23,5	23	33,6	31	25,3	28,5	24,5	16	20,6	22	29	25	27	26	19	29,1
Turbidez	UNT	3,4	13	160	25	1,6	8,3	58	52	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Clorofila-a	µg/L	2,29	0,38	5,86	0,57	1,46	0,02	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabela 4A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL08/FL1																
		10 (sub)	10 (epil)															
		nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09	mai/03	ago/03	dez/03	mai/05	ago/05	nov/05	mai/06	ago/06		
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	20	80	15	70	200	***	100	---	---	40	---	---	---	---	---	---	---
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	---	27,1	11	31,3	41	228	30,4	26,2	27,42	30,2	22,3	22,8	23,1	24,8	23,6		
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	4	< 5,00	28	40	25	40	30	20		
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,91	1,18	0,9	7,41	1,41	0,67	1,78	1,39		
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	2,8	8,62	12,8	---	25,93	ND	---	ND		
Dureza Total	mg/L CaCO3	---	---	---	---	---	---	---	9,52	9	9,03	---	6	8	---	4		
Ferro Solúvel	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,05	< 0,05	0,06	0,448	0,164	0,268	0,347	0,041		
Ferro Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	1,01	0,34	3,25	1,289	0,702	0,891	0,771	0,33		
Fósforo Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,014	0,024	0,031	0,018	ND	ND	ND	0,01		
Manganês Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,038	0,045	0,026	0,027	0,018		
Nitrato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,1	0,16	0,16	0,1	0,1	0,1	0,3	ND		
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	0,07	0,25	0,15	0,44	ND	0,32	ND	0,01		
Ortofosfato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,012	ND	ND	ND	0,01		
Oxigênio Dissolvido	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	7	7,9	7,38	6,1	8	5,4	8,09	7,8		
pH in natura a 25° C		---	6,49	7,09	****	6,39	7,82	7,76	7,13	7,1	7,66	7,66	7,58	7,44	7,51	7,54		
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	33,3	37,43	39,93	15	15	15	46	19		
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	4	1,33	41	20	4	ND	ND	ND		

Sólidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	37,3	38,76	80,93	35	19	15	46	19
Temperatura da água	°C	---	24,1	17,5	22,2	23,4	21,5	26,3	21	19,2	27	20,6	22,3	24,7	23	21,7
Temperatura do ar	°C	---	26	20	28,1	25,4	27,7	31,2	24,5	16	27	---	---	---	---	---
Turbidez	UNT	---	---	---	---	---	---	---	5,47	2,38	72,3	20	4,6	14,8	9	5,2
Clorofila-a	µg/L	---	---	---	---	---	---	---	1,35	1,33	0,44	1,9	0,5	2,2	2	ND

Tabela 4A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL08/FL110 (epil)									
		nov/06	mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09
Cloretos	mg/L	ND	ND	ND	ND	1,3	1,16	<1,00	<1,00	< 1,00	5,59
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	31,8	23,1	28,7	---	27,8	43	44,7	38	216	30,5
Cor Aparente	mg/L	70	25	10	40	60	30	30	80	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	2,45	0,56	0,46	0,88	0,25	1,53	1,37	2,06	2,5	<2,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O2	37,02	---	< 5,0	5,2	10,4	---	17,5	42	35,2	27,2
Dureza Total	mg/L CaCO3	6	---	9	9	8	---	7,5	3	10	10
Ferro Solúvel	mg/L	0,337	0,3	0,1	0,44	0,45	0,11	0,28	0,3	0,05	0,15
Ferro Total	mg/L	1,066	0,55	0,34	0,77	1,72	0,13	0,37	5,14	0,62	1,47
Fósforo Total	mg/L	0,012	0,011	ND	0,014	0,143	0,059	0,011	0,047	0,014	<0,015
Manganês Total	mg/L	0,041	ND	ND	0,08	< 0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05
Nitrato	mg/L	0,6	ND	0,5	ND	0,13	0,15	0,12	<0,10	<0,10	0,23
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,43	ND	0,19	0,43	ND	0,09	<0,05	0,1	<0,05	<0,05
Ortofosfato	mg/L	ND	ND	ND	ND	0,023	<0,017	<0,017	<0,017	<0,015	<0,015
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,81	7,13	9,07	6,09	6,75	7,01	9,47	7,08	7,9	6,51
pH in natura a 25° C		7,21	7,22	7,23	---	7,06	7,35	****	6,29	7,55	7,66
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	15	15	23	21	19	29	30	25	145	20
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	10	4	6	6	11	7	8	46	3	16
Sólidos Totais	mg/L	25	19	29	27	30	36	38	71	148	36
Temperatura da água	°C	24,7	---	21,6	---	24,1	17,5	22,1	22,7	20,9	26,3

Temperatura do ar	°C	---	21	29,1	---	26	20	28,1	25,4	27,7	31,2
Turbidez	UNT	44,2	5,6	4,1	8,3	17	7,2	16	110	6,3	47,7
Clorofila-a	µg/L	0,5	0,7	3	0,1	0,5	0,4	0,9	0,3	1,6	<0,1

\*\*\* Não coletado.

---Valores não medidos.

ND - Não Detectado.

**Tabela 5A - Dados brutos obtidos para o ponto FNL09/FL120 - imediatamente a montante do barramento.**

PARÂMETROS	Unidade	Pré - Enchimento														
		Enchi. Enchi. Enchi. Operação														
		FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub = epil.)	FNL09/FL120 (sub)					
ago/01	nov/01	fev/02	mai/02	ago/02	dez/02	jan/03	fev/03	mai/03	ago/03	mai/05	ago/05	nov/05	mai/06	ago/06		
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	Ausentes	165	---	30	4	34	45	176	10	2	30	10	10	ND	20
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	39,8	38	36,9	42	39,8	47,5	46,1	26,9	29	26,5	26	23	24,6	25,3	23,1
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,3	2,9	2,71	1,3	0,63	1,7	1,07	1	---	---	---	---	---	---	---
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	0,7	3,1	2,9	1,2	0,8	2,1	3,6	5,8	---	---	---	---	---	---	---
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	15,68	12,05	12,1	13,57	24,48	9,81	9,81	6,19	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Solúvel	mg/L	0,04	0,02	0,23	0,08	0,04	< 0,01	0,72	0,58	---	---	---	---	---	---	---
Ferro Total	mg/L	0,19	0,89	2,22	0,63	0,87	< 0,01	1,81	3,97	---	---	---	---	---	---	---
Fósforo Total	mg/L	< 0,001	0,28	0,111	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,014	0,977	0,019	< 0,010	---	---	---	---	---
Manganês Total	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---
Nitrato	mg/L	0,14	0,03	0,37	0,38	< 0,01	0,36	0,17	0,07	---	---	---	---	---	---	---
Nitrogênio Amoniaco	mg/L	0,04	0,03	0,06	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	---	---	---	---	---	---	---
Ortofosfato	mg/L	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,22	6	9,3	8	7,7	5,3	6,9	5,4	---	---	---	---	---	---	---

pH in natura a 25° C	---	7,92	7,5	7,4	8,06	7,6	7,08	6,77	6,87	7,15	7,01	7,54	7,52	7,42	7,35	7,34
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	50,7	9,8	10,3	12,5	15,9	14,4	12,9	8,7	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	4,8	167	136	19	1	35	20	22,5	---	---	---	---	---	---	---
Sólidos Totais	mg/L	55,46	176,8	146,34	31,53	16,85	49,4	32,89	31,18	---	---	---	---	---	---	---
Temperatura da água	°C	20	21	20,5	20,5	21	27,7	24,2	23	22	21,6	20	20,3	24,1	22	20,9
Temperatura do ar	°C	21,1	22,7	24,5	21,2	22,6	28,7	25,7	28	26	27	21,6	21	27	15	21
Turbidez	UNT	3,2	86	60	7,5	1,8	6,5	38	75	---	---	---	---	---	---	---
Clorofila-a	µg/L	< 0,010	0,14	1,3	< 0,010	0,75	0,14	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---	---	---

Tabela 5A - continuação...

PARÂMETRO S	Unidade	FNL09/FL12													
		0 (sub)	0 (epil)	0 (epil)											
		nov/06	mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09	mai/03	ago/03	dez/03	mai/05
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	ND
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	10	< 1	< 10	< 10	23	10	<1	360	---	9	---	---	74	---
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	24,4	33,9	30,8	---	26,8	29	32,7	18	139	31	29,3	26,09	29,5	25,1
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	9	< 5,00	17	40
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,31	0,43	0,65	4,58
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,42	2,35	12,8	---
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	11,02	9	9,03	---
Ferro Solúvel	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,23	< 0,05	0,16	0,483
Ferro Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,81	0,13	2,95	1,187
Fósforo Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,014	0,012	0,031	0,016
Manganês Total	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	< 0,05	< 0,05	< 0,05	ND
Nitrato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,25	0,17	0,18	0,1
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,14	0,15	0,09	0,12
Ortofosfato	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	< 0,010	< 0,010	0,011	ND
Oxigênio Dissolvido	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	6,35	7,5	6,7	6,6

pH in natura a 25° C	---	7,1	7,36	7,15	---	6,57	6,79	7,6	6,85	7,89	7,03	7,17	7,15	7,17	7,68
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	39,8	35,61	40,62	17
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,8	0,67	39,33	6
Sólidos Totais	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	42,6	36,28	79,95	23
Temperatura da água	°C	24,7	**	20,5	---	24	19,9	23,8	23,2	20,1	26,2	21,3	19,7	27	21,6
Temperatura do ar	°C	24	**	21,3	---	25	23	30,2	23,1	21,5	27,7	26	27	32	---
Turbidez	UNT	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	4,47	1,4	64,4	24
Clorofila-a	µg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	5,18	0,27	0,76	ND

Tabela 5A - continuação...

PARÂMETRO S	Unidade	FNL09/FL12													
		0 (epil)													
		ago/05	nov/05	mai/06	ago/06	nov/06	mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09
Cloretos	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	1,9	ND	ND	1,34	1,06	<1,00	<1,00	<1,00	5,63
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	24,2	24	26,5	24,4	22,1	25,2	30,8	30,6	26,2	42	34,3	44	163	30,8
Cor Aparente	mg/L	20	50	25	15	60	25	5	40	70	20	15	250	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	1,16	0,41	2,02	4,55	1,58	0,65	0,58	1,08	---	1,98	1,04	1,5	2	<2,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	40,42	31,34	---	ND	ND	---	ND	5,6	11,6	---	12,7	24	29	30,6
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	7	8	---	4	7	---	9	8	7	---	7,5	27	9	10
Ferro Solúvel	mg/L	0,1	0,262	0,292	0,031	0,4	0,17	0,08	0,25	0,7	0,12	0,4	0,22	0,17	0,56
Ferro Total	mg/L	0,724	1,273	0,494	1,35	1,869	0,55	0,25	0,46	2,02	0,12	0,4	4,75	0,25	1,16
Fósforo Total	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0,016	ND	0,01	0,201	0,038	0,011	0,057	0,014	<0,015
Manganês Total	mg/L	0,045	0,025	0,017	0,021	0,026	ND	ND	ND	ND	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05
Nitrato	mg/L	0,1	0,1	0,3	ND	0,6	ND	ND	ND	0,12	0,09	<0,05	0,16	0,13	0,22
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	ND	0,26	ND	0,2	0,4	ND	0,11	0,18	ND	0,32	0,14	<0,05	<0,05	<0,05
Ortofosfato	mg/L	ND	<0,017	<0,017	<0,017	<0,015	<0,015								

Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,6	7	6,97	7,02	6,81	6,81	8,67	5,85	7	7,54	8,87	6,63	7,76	6,71
pH in natura a 25° C	---	7,35	7,25	7,33	7,43	6,74	7,33	7,16	---	6,69	6,74	8,01	6,79	7,73	6,91
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	16	16	37	16	16	16	22	22	18	28	23	29	109	21
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	ND	ND	5	<3	7	6	6	<3	12	<3	<3	44	4	6
Sólidos Totais	mg/L	16	16	42	16	23	22	28	22	30	28	23	73	113	27
Temperatura da água	°C	20,3	24,1	22	21	24,7	21,5	20,3	---	24	19,2	21,5	23,2	20,5	26,1
Temperatura do ar	°C	---	---	---	---	---	---	21,3	---	25	23	30,2	23,1	21,5	27,7
Turbidez	UNT	3,4	25,4	4,7	3,3	24,9	4,7	3,1	4,1	24,2	5,2	5	120	4,3	15,8
Clorofila-a	µg/L	0,6	ND	ND	ND	1,6	0,9	2,7	< 0,05	0,6	1,2	0,8	53,5	<0,1	---

\*\*\* Não coletado.

---Valores não medidos.

ND - Não Detectado.

**Tabela 6A - Dados brutos obtidos para o ponto FNL10/FL130 - imediatamente a jusante do barramento.**

PARÂMETRO S	Unidade	Pré - Enchimento					Enchi.		Enchi.		Enchi.		Operação		
		FNL10/FL130 (sub)	FNL10/FL13 0 (sub)												
		ago/01	nov/01	fev/02	mai/02	ago/02	dez/02	jan/03	fev/03	mai/03	ago/03	dez/03	mai/05	ago/05	
Cloretos	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	ND	ND	
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	Ausentes	50	40	32	32	Ausente	360	468	2600	2	50	30	ND	
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	41,6	33	28,6	39,2	37,9	46,3	44,2	26,1	29,4	27,52	48,3	26,4	23,8	
Cor Aparente	mg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	8	< 5	11	40	20	
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	1,8	2,9	2,32	1,1	0,84	1,31	0,91	1,7	0,6	2,63	1,3	7,71	11,37	
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	2,6	3,3	3,2	1,9	1,1	1,7	3	5,5	5,04	3,92	14	---	11,37	
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	16,71	10,04	16,14	15,51	24,48	11,77	7,85	6,01	10,52	9,5	9,03	---	6	
Ferro Solúvel	mg/L	0,04	0,06	0,07	0,11	0,06	0,1	0,88	0,66	0,06	< 0,05	0,21	0,588	0,027	
Ferro Total	mg/L	0,34	0,52	1,66	0,96	0,56	0,35	1,34	3,42	1,38	0,17	3,35	1,308	0,65	
Fósforo Total	mg/L	< 0,001	0,076	0,115	< 0,001	< 0,001	0,343	0,84	0,919	0,025	0,024	0,032	ND	ND	

Manganês Total	mg/L	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,69	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,05	< 0,05	0,06	0,032	0,038
Nitrato	mg/L	0,2	0,07	0,05	0,34	< 0,01	0,2	< 0,01	0,11	0,15	0,21	0,3	0,1	ND
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	< 0,01	0,02	0,06	0,03	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,16	0,1	0,15	0,63	0,11
Ortofosfato	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,045	< 0,010	< 0,010	0,018	ND	ND
Oxigênio Dissolvido	mg/L	7	6,4	7,5	8	7,98	5,1	6,9	6,8	9,48	8,9	6,65	6,2	7,4
pH in natura a 25° C	---	7,83	7,4	7	8,16	7,41	7,18	7,01	7,1	7,23	7	7,03	7,61	7,4
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	44,9	10,3	7,7	12,7	16,6	14,1	10,3	9,4	38,3	37,56	64	18	16
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	16	118	192	26,4	15,62	70,7	23	43	4,8	< 0,5	48,66	6	ND
Sólidos Totais	mg/L	60,9	128,3	199,68	39,12	32,2	84,91	33,34	52,43	43,1	38,06	112,66	24	16
Temperatura da água	°C	20,2	20,7	23,3	22,6	18,8	29	25,7	26,3	22	19,5	25	22	24
Temperatura do ar	°C	18,9	24,1	25,5	25,1	17,1	24,2	24	19	23,5	26,5	32	24	28
Turbidez	FTU	3	60	85	15	1,6	24	33	68	7	1,65	70,9	9,8	2,3
Clorofila-a	µg/L	4,27	3,47	3,79	< 0,010	< 0,010	0,01	< 0,010	< 0,010	---	---	---	---	---

Tabela 6A - continuação...

PARÂMETROS	Unidade	FNL10/FL130												
		(sub)												
		nov/05	mai/06	ago/06	nov/06	mai/07	ago/07	nov/07	mar/08	jul/08	out/08	jan/09	ago/09	dez/09
Cloretos	mg/L	ND	1,3	2,82	<1,00	<1,00	<1,00	3,03						
Coliformes Termotolerantes	org/100 mL	ND	ND	ND	590	ND	ND	10	50	14	3	1700	***	15
Condutividade Elétrica a 25° C	µS/cm	24,7	26,5	23,8	25,3	33,2	95,7	29,7	25,1	21	34,3	57	120	29,9
Cor Aparente	mg/L	80	30	20	60	25	10	30	80	20	15	100	---	---
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	0,73	0,54	1,92	1,87	0,28	0,89	0,35	0,45	3,23	0,55	1,28	1,3	<2,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/L O <sub>2</sub>	7,37	---	30,47	37,03	---	ND	ND	9,2	---	5,5	24	37	<5,00
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	9	---	4	7	---	9	9	8	---	7,5	32	9	9
Ferro Solúvel	mg/L	0,27	0,522	ND	0,314	0,26	0,08	0,24	0,95	0,15	0,18	0,61	0,16	0,18
Ferro Total	mg/L	1,634	0,961	0,265	1,539	0,59	0,3	0,59	3,24	0,76	0,25	1,6	0,46	1,38
Fósforo Total	mg/L	0,016	ND	ND	0,011	ND	ND	0,014	0,102	0,02	<0,010	0,035	<0,010	<0,015

Manganês Total	mg/L	0,034	0,018	0,021	0,035	ND	0,05	ND	0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05
Nitrato	mg/L	0,1	0,3	ND	0,5	ND	ND	ND	0,11	0,15	0,13	0,1	0,1	0,2
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,4	ND	0,02	0,28	ND	0,04	0,19	ND	0,05	0,06	0,08	<0,05	<0,05
Ortofosfato	mg/L	0,013	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0,017	<0,017	<0,017	<0,015	<0,015
Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,1	5,51	6,57	6,46	8,27	8	5,87	6,65	4,52	8,18	6,75	6,61	6,67
pH in natura a 25° C	---	7,08	7,66	7,69	7,33	7,19	6,43	7,02	6,71	7,53	7,93	6,7	7,58	6,67
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	17	37	17	17	18	21	22	17	14	23	38	80	20
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	8	ND	ND	15	4	4	4	39	4	7	13	<3	4
Sólidos Totais	mg/L	25	37	17	32	22	25	26	56	18	30	51	80	24
Temperatura da água	°C	24	23	20	24	21	21,2	25,4	23	19,2	22,2	21,1	19,5	26,7
Temperatura do ar	°C	27	28	24	24	**	14,1	24,6	27	24	29,6	23,4	21,1	23,3
Turbidez	FTU	39,2	7,9	1	28,8	5,3	2,3	5	43,3	4,1	5	19	4,4	15,4
Clorofila-a	µg/L	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

\*\*\* Não coletado.

--- Valores não medidos.

ND - Não Detectado.

## Apêndice B: Dados brutos obtidos para o fitoplâncton.

**Tabela 1B** - Riqueza (número de espécies) e densidade (org./mL) do fitoplâncton.

Riqueza - 2001/2002	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2001/2002	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
CHRYSOPHYTA	20	24	22	23	28	28	24,17	CHRYSOPHYTA	7,32	4,56	6,02	3,8	4,9	6,64	5,54
CHLOROPHYTA	22	20	11	17	23	17	18,33	CHLOROPHYTA	1,63	0,95	1,423	1,13	1,36	0,857	1,225
CYANOPHYTA	12	4	5	3	4	4	5,33	CYANOPHYTA	7,22	1,79	2,59	0,31	0,438	1,367	2,2858333
PYRRHOPHYTA	2	2	2	1	3	2	2	PYRRHOPHYTA	0,0061	0,112	0,038	0,00023	0,0136	0,02216	0,032015
EUGLENOPHYTA	4	2	2	3	3	2	2,67	EUGLENOPHYTA	0,047	0,0102	0,06	0,0112	0,0094	0,0027	0,0234167
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>52</b>	<b>42</b>	<b>47</b>	<b>61</b>	<b>53</b>	<b>52,5</b>	<b>TOTAL</b>	<b>16,2231</b>	<b>7,4222</b>	<b>10,131</b>	<b>5,25143</b>	<b>6,721</b>	<b>8,88886</b>	<b>9,106265</b>
Riqueza - 2002/2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2002/2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
CHRYSOPHYTA	8	8	6	9	11	6	8	CHRYSOPHYTA	10,95	13,23	0,14	12,94	36,73	1,68	12,612
CHLOROPHYTA	17	13	11	17	18	11	13,83	CHLOROPHYTA	205,06	316,33	11,67	46,74	90,73	2,24	112,128
CYANOPHYTA	1	1	3	3	2	0	1,67	CYANOPHYTA	0,036	0,024	0,51	3,93	105,15	0	18,275
PYRRHOPHYTA	2	2	2	2	1	1	1,67	PYRRHOPHYTA	1,73	0,87	0,05	0,39	0,089	0,048	0,530
EUGLENOPHYTA	4	8	5	3	4	2	4,33	EUGLENOPHYTA	0,43	0,047	0,015	0,194	2,1	0,018	0,467
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>30,17</b>	<b>TOTAL</b>	<b>218,206</b>	<b>330,501</b>	<b>12,385</b>	<b>64,194</b>	<b>234,799</b>	<b>3,986</b>	<b>144,012</b>
Riqueza - 2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
CHRYSOPHYTA	30	28	31	28	18	29	27,33	CHRYSOPHYTA	918	268	237	508	1172	1038	690,16667
CHLOROPHYTA	76	56	53	58	45	50	56,33	CHLOROPHYTA	493	56	398	379	259	208	298,83333
CYANOPHYTA	10	5	9	10	8	6	8	CYANOPHYTA	12	11	12	18	17	36	17,666667
PYRRHOPHYTA	2	2	3	3	3	2	2,5	PYRRHOPHYTA	259	181	330	393	586	266	335,83333
EUGLENOPHYTA	9	14	15	12	5	9	10,67	EUGLENOPHYTA	40	16	24	6	31	15	22
<b>TOTAL</b>	<b>127</b>	<b>105</b>	<b>111</b>	<b>111</b>	<b>79</b>	<b>96</b>	<b>104,83</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1722</b>	<b>532</b>	<b>1001</b>	<b>1304</b>	<b>2065</b>	<b>1563</b>	<b>1364,5</b>
Riqueza - 2005	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2005	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
CHRYSOPHYTA	10	12	9	10	8	10	9,83	CHRYSOPHYTA	35	15	5	16	28	18	19,5
CHLOROPHYTA	23	7	14	14	10	15	13,83	CHLOROPHYTA	41	7	17	20	18	22	20,83

CYANOPHYTA	4	4	7	4	4	5	4,66	CYANOPHYTA	1	2	7	1	1	1	2,17
PYRRHOPHYTA	4	4	3	5	6	4	4,33	PYRRHOPHYTA	13	28	10	67	50	17	30,83
EUGLENOPHYTA	2	3	1	1	2	5	2,33	EUGLENOPHYTA	2	4	0	1	8	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>30</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	<b>TOTAL</b>	<b>92</b>	<b>56</b>	<b>39</b>	<b>105</b>	<b>105</b>	<b>61</b>	<b>76,33</b>
<b>Riqueza - 2006</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>	<b>Densidade - 2006</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>
CHRYSOPHYTA	16	16	11	8	13	18	13,67	CHRYSOPHYTA	52	19	12	23	23	16	24,67
CHLOROPHYTA	33	23	11	21	12	14	19	CHLOROPHYTA	168	8	3	159	59	20	69,5
CYANOPHYTA	5	5	3	4	4	10	5,17	CYANOPHYTA	5	2	1	4	0	1	2,17
PYRRHOPHYTA	6	4	4	6	6	6	5,33	PYRRHOPHYTA	26	14	10	39	10	18	19,5
EUGLENOPHYTA	2	2	3	3	1	3	2,33	EUGLENOPHYTA	3	3	7	3	2	4	3,67
<b>TOTAL</b>	<b>62</b>	<b>50</b>	<b>32</b>	<b>42</b>	<b>36</b>	<b>51</b>	<b>45,5</b>	<b>TOTAL</b>	<b>254</b>	<b>46</b>	<b>33</b>	<b>228</b>	<b>94</b>	<b>59</b>	<b>119</b>
<b>Riqueza - 2007</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>	<b>Densidade - 2007</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>
CHRYSOPHYTA	44	38	47	33	20	32	35,67	CHRYSOPHYTA	185	16	34	307	49	136	121,67
CHLOROPHYTA	59	38	49	60	43	33	47	CHLOROPHYTA	6712	46	22	474	62	71	1231,17
CYANOPHYTA	14	15	12	14	6	10	11,83	CYANOPHYTA	3390	27	18	1278	112	39	810,67
PYRRHOPHYTA	8	4	2	8	7	7	6	PYRRHOPHYTA	67	25	4	202	29	65	65,33
EUGLENOPHYTA	5	5	6	8	1	4	4,83	EUGLENOPHYTA	2	1	0	3	0	1	1,17
<b>TOTAL</b>	<b>130</b>	<b>100</b>	<b>116</b>	<b>123</b>	<b>77</b>	<b>86</b>	<b>105,33</b>	<b>TOTAL</b>	<b>10356</b>	<b>115</b>	<b>78</b>	<b>2264</b>	<b>252</b>	<b>312</b>	<b>2229,5</b>
<b>Riqueza - 2008</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>	<b>Densidade - 2008</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>
CHRYSOPHYTA	28	32	41	32	30	34	32,83	CHRYSOPHYTA	304	131	21	147	279	271	192,17
CHLOROPHYTA	32	32	37	37	35	49	37	CHLOROPHYTA	147	74	36	137	103	65	93,67
CYANOPHYTA	7	8	10	7	12	17	10,16	CYANOPHYTA	15568	92	6	2989	2103	899	3609,5
PYRRHOPHYTA	4	6	4	4	6	6	5	PYRRHOPHYTA	22	52	10	18	103	70	45,83
EUGLENOPHYTA	1	8	6	4	2	4	4,16	EUGLENOPHYTA	0	9	2	0	2	0	2,17
<b>TOTAL</b>	<b>72</b>	<b>86</b>	<b>98</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>110</b>	<b>89,17</b>	<b>TOTAL</b>	<b>16041</b>	<b>358</b>	<b>75</b>	<b>3291</b>	<b>2590</b>	<b>1305</b>	<b>3943,33</b>

Riqueza - 2009	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2009	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
<b>CHRYSOPHYTA</b>	17	15	12	18	11	22	15,83	<b>CHRYSOPHYTA</b>	303	26	14	236	214	108	150,17
<b>CHLOROPHYTA</b>	27	21	9	26	19	30	22	<b>CHLOROPHYTA</b>	73	26	14	91	89	80	62,17
<b>CYANOPHYTA</b>	6	9	3	6	6	12	7	<b>CYANOPHYTA</b>	30	6	10	91	68	78	47,17
<b>PYRRHOPHYTA</b>	3	2	2	2	2	4	2,5	<b>PYRRHOPHYTA</b>	295	205	10	186	132	113	156,83
<b>EUGLENOPHYTA</b>	2	4	2	2	3	5	3	<b>EUGLENOPHYTA</b>	2	28	2	6	2	2	7
<b>TOTAL</b>	55	51	28	54	41	73	50,33	<b>TOTAL</b>	703	291	50	610	505	381	423,33

**Tabela 2B** - Lista de taxa encontrados para o fitoplâncton.

ESPÉCIES	2001/2002					
	FNL02/FL090	FNL03/FL060	FNL04/FL050	FNL08/FL110	FNL09/FL120	FNL10/FL130
<b>CHLOROPHYTA</b>						
<i>Actinotaenium</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0	0	1	1	1	1
Cladophoraceae N.I.	0	0	1	1	1	1
<i>Closterium aciculatum</i>	0	1	0	1	1	0
<i>Closterium littorale</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Closterium rostratum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Closterium setaceum</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Closterium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium venus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Cosmarium obtusatum</i>	0	1	0	1	1	1
<i>Cosmarium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Crucigenia fenestra</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Dicloster</i> sp.	1	1	0	0	1	0
<i>Dictyosphaerium agharhiam</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Euastrum</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Golenkinia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Gonatozygon</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Hyaloraphydium</i> sp.	0	1	0	0	1	0
<i>Hyalotheca</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Micractinium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Micrasterias papillifera</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Monoraphidium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
N.I.	1	0	0	0	0	0
<i>Oedogonium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Pediastrum duplei</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Penium spirostriolatum</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Radiocystis</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Scenedesmus bernardii</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Scenedesmus</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Spirogyra</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Spondylosium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum rotula</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Staurastrum</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Tetraedron lobulatum</i>	0	1	0	1	1	0
<i>Ulotrix zonata</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Uronema</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Zygnema</i> sp.	1	0	0	0	0	0
Zygnemataceae N.I.	0	0	1	0	0	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						

<i>Achnanthes</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Amphipleura</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Amphora</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Anomoeoneis</i> sp.	0	1	0	1	1	1
<i>Asterionella</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Aulacoseira ambigua</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseira granulata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Caloneis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Cyclotella</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Cymbella</i> sp.	0	1	0	1	1	1
<i>Dinobryon sertularia</i>	0	0	1	0	1	0
<i>Dinobryon</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Eunotia</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<i>Fragilaria</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Frustulia rhomboides</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Frustulia</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Gomphonema</i> sp.	0	0	1	0	1	1
<i>Gyrosigma scalproides</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Gyrosigma</i> sp.	1	0	0	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.	1	0	0	1	1	1
<i>Melosira varians</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Navicula</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Neidium productum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Pinnularia dactylus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Stauroneis</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Stenopterobia</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Surirella biseriata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Surirella linearis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Surirella robusta</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra rumpens</i>	0	1	1	0	0	1
<i>Synedra</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra ulna</i>	0	1	1	0	1	1
<i>Synura</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Tabellaria fenestrata</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Tabellaria</i> sp.	1	1	0	0	1	0
<b>CYANOPHYTA</b>						
<i>Coelomorum</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Geitlerinema</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Limnothrix</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Lyngbya</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Merismopedia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Nostocaceae N.I.	1	1	1	0	1	0
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	1	1	1	1	1
Oscillatoriaceae N.I.	0	0	0	0	0	1
<i>Phormidium</i> sp.	1	0	1	0	0	0

<i>Planktothrix agardhii</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Pseudanabaena</i> sp.	1	1	1	0	0	1
Scytonemataceae N.I.	0	0	1	1	1	0
<i>Snowella</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
<i>Euglena acus</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Euglena</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Lepocinclis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Trachelomonas armata</i>	0	0	1	0	0	0
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.	0	1	0	0	1	0
<i>Peridinium cinctum</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Peridinium</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>52</b>	<b>60</b>	<b>47</b>	<b>61</b>	<b>53</b>

ESPÉCIES	2002/2003					
	FNL02/FL090	FNL03/FL060	FNL04/FL050	FNL08/FL110	FNL09/FL120	FNL10/FL130
<b>CHLOROPHYTA</b>						
<i>Ankistrodesmus bibraianus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Arthodesmus crassus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Arthodesmus incus</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Chlamydomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium aciculatum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Closterium rostratum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Closterium setaceum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Coelastrum reticulatum</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Coenochloris hindakii</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium punctulatum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.	0	0	1	0	1	0
<i>Desmidium laticeps</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Eudorina elegans</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eutetramorus fotti</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Gonatozygon pilosum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Gonatozygon</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Kirchneriella obesa</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Micrasterias papillifera</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Monoraphidium arcuatum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Mougeotia</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Oedogonium</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Oocystis borcei</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Pandorina morum</i>	1	1	1	1	0	0
<i>Pediastrum duplei</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	1	0	1	0
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Spirogyra</i> sp.	0	0	0	0	1	0

<i>Staurastrum iversinii</i>	0	1	1	0	1	1
<i>Staurastrum rotula</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Staurodesmus dejectus</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Staurodesmus triangularis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Tetrallantos lagerheimii</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Ulotrix zonata</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Volvox aureus</i>	1	1	1	1	0	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
<i>Achnanthes</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Amphipleura</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Aulacoseira ambigua</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Aulacoseira distans</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Aulacoseira granulata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	0	1	0	0
<i>Dinobryon bavaricum</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Dinobryon sertularia</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Eunotia asterionelloides</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Eunotia flebuosa</i>	0	1	0	0	1	1
<i>Eunotia pectinalis</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Fragilaria</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Navicula</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Pinnularia divergens</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Stauroneis phenicenteron</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Stenopterobia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Surirella linearis</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Surirella robusta</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Synedra ulna</i>	1	0	1	1	1	0
<b>CYANOPHYTA</b>						
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0	1	0
Nostocaceae N.I.	0	1	0	1	1	0
<i>Oscillatoria curviceps</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Oscillatoria limnetica</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Oscillatoria nitida</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Oscillatoria sancta</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
<i>Euglena acus</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Euglena agilis</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Euglena</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Lepocinclis ovum</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Lepocinclis salina</i>	1	1	0	1	1	0
<i>Lepocinclis</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Phacus longicauda</i>	0	1	0	0	1	1
<i>Phacus orbiculares</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Strombomonas</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Trachelomonas armata</i>	1	1	1	0	0	.1
<i>Trachelomonas sidneyensis</i>	0	1	0	0	0	0

<i>Trachelomonas volvocina</i>	0	1	0	0	1	0
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
<i>Peridiniopsis</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Peridinium cinctum</i>	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>17</b>

ESPÉCIES	2003					
	FNL02/FL090	FNL03/FL060	FNL04/FL050	FNL08/FL110	FNL09/FL120	FNL10/FL130
<b>CHLOROPHYTA</b>						
<i>Actinastrum gracillimus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Actinotaenium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Ankistrodesmus densus</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Ankistrodesmus gracilis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Arthrodesmus</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Botryococcus braunii</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Botryosphaera</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Chlamydomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium setaceum</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Closterium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Coelastrum astroideum</i>	1	1	1	0	1	0
<i>Coelastrum cambricum</i>	0	1	1	1	0	1
<i>Coelastrum microporum</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Coelastrum reticulatum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Coelastrum sphaericum</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Cosmarium binum</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Cosmarium botrytis</i>	0	1	0	0	1	1
<i>Cosmarium commissurale</i>	1	1	1	0	1	1
<i>Cosmarium denticulatum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Cosmarium ralfsii</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Cosmarium reniforme</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Cosmarium</i> sp.	1	0	1	1	0	1
<i>Crucigenia fenestra</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Crucigenia</i> sp.	1	0	1	1	0	1
<i>Desmidium baileyi</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Desmidium</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Dictyosphaerium</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Dymorphococcus lunatus</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Elakatotri1</i> sp.	0	0	1	1	1	1
<i>Euastrum denticulatum</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Euastrum didelta</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Euastrum</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<i>Eutetramorus</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Golenkinia radiata</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Golenkinia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Gonatozygon</i> sp.	0	0	1	1	0	1

<i>Hyalotheca</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Kirchneriella lunaris</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Kirchneriella obesa</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Kirchneriella</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Micractinium pusillum</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Micrasterias decedentata</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Micrasterias laticeps</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Micrasterias</i> sp.	0	0	1	1	0	1
<i>Monoraphidium contortum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Monoraphidium</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Mougeotia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Mougeotiopsis</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Nephrocytium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Netrium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Oedogonium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Oocystis lacustris</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Oocystis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Pandorina</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Pediastrum duplei</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Pediastrum tetras</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Penium</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Pleodorina</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Pleurotaenium</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Scenedesmus acutus</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Scenedesmus bijugus</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Scenedesmus opoliensis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus ovalternus</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Sorastrum</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Spirogyra</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Spondylosium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum arctiscon</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Staurastrum dilatatum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Staurastrum iversinii</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum leptocladum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Staurastrum orbiculare</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Staurastrum polymorphum</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum quadrangulare</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Staurastrum rotula</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Staurastrum sebaldi</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum setigerum</i>	1	1	1	0	1	0
<i>Staurastrum</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum trifidum</i>	1	1	1	1	1	1

<i>Staurodesmus cuspidatus</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Staurodesmusdickiei</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Staurodesmus</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Teillingea granulata</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Tetraedron caudatum</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Tetraedron gracilis</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Tetraedron minimum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Tetraedron</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Tetraedron trigonium</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Treubaria</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Tetrallantos</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Willea</i> sp.	1	0	0	0	1	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
<i>Actinella</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Amphipleura</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Amphora</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Aulacoseira ambigua</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseira granulata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseira</i> sp.	0	1	1	1	0	1
<i>Caloneis</i> sp.	1	0	0	0	0	1
<i>Cyclotella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Dinobryon bavaricum</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Dinobryon sertularia</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Dinobryon</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Epipyxis ramosa</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Epithemia</i> sp.	1	1	0	1	0	1
<i>Eunotia asterionelloides</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eunotia monodon</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Eunotia robusta</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Eunotia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Eunotia tauntoniensis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Fragilaria</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Gomphoneis</i> sp.	1	0	1	0	1	1
<i>Gomphonema</i> sp.	1	0	1	1	0	1
<i>Gyrosigma</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Mallomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Melosira varians</i>	1	0	0	0	1	0
<i>Pennales</i> N.I.	1	1	1	1	0	1
<i>Nitzschia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Navicula</i> sp.	0	1	1	1	0	1
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Rhizosolenia longiseta</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Stauroneis</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Surirella biseriata</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Surirella linearis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Surirella robusta</i>	1	1	1	1	1	1

<i>Surirella</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Synedra ulna</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Synedra</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synura</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Synura uvella</i>	1	1	1	1	0	1
<b>CYANOPHYTA</b>						
<i>Anabaena flosOaquae</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Anabaena</i> sp.	1	0	0	1	0	1
<i>Aphanothece</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Chroococcus</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Coelasphaerium</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Gomphosphaeria</i> sp.	1	0	1	0	1	0
<i>Lyngbya</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Merismopedia</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Mylosarcina</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<i>Oscillatoria sancta</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Pseudanabaena</i> sp.						
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
<i>Euglena acus</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Euglena o1yuris</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Euglena polimorpha</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Euglenas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena te1ta</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena viridis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lepocinclis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Phacus contortus</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Phacus longicauda</i>	1	1	0	0	1	0
<i>Phacus orbiculares</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Phacus</i> sp.	1	1	0	0	0	1
<i>Phacus tortus</i>	1	1	0	1	0	1
<i>Phacus tripteris</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Strombomonas</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Trachelomonas armata</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Trachelomonas hispida</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Trachelomonas megalochanta</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Gymnodinium</i> sp.	1	0	0	1	1	0
<i>Peridinium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>111</b>	<b>105</b>	<b>127</b>	<b>103</b>	<b>79</b>	<b>96</b>

2005

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

**ESPÉCIES**

**CHLOROPHYTA**

Chlorococcales N. I.	1	0	1	1	0	0
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	1	0	1	1	1	0
<i>Ankistrodesmus cf. densus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ankistrodesmus cf. falcatus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Chlorella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Monoraphidium</i> sp.1	1	0	0	0	0	0
<i>Monoraphidium</i> sp.2	1	1	1	1	1	1
<i>Kirchneriella</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Selenastrum</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Tetraedron</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Tetraedron caudatum</i>	0	0	1	1	0	0
Coccomyxaceae	0	0	0	0	0	0
<i>Elakatothrix</i> sp.	0	0	1	1	1	0
<i>Coelastrum microporum</i>	1	0	1	1	1	0
<i>Coelastrum reticulatum</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Pediastrum duplex</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Pediastrum tetras</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Oocystis</i> sp.	0	0	1	0	0	0
Palmellaceae	0	0	0	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Crucigenia crucifera</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Crucigenia quadrata</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Scenedesmus bijugus</i>	0	1	1	0	0	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Actinotaenium</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.	1	0	1	0	0	1
<i>Cosmarium cf. decoratum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Micrasterias</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Staurastrum</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Staurastrum smithii</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Staurastrum rotula</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Stauroidesmus</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Stauroidesmus cf. dejectus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Stauroidesmus cf. incus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Stauroidesmus obsoletus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Sphaeroszma</i> sp.	0	1	1	1	0	0
<i>Teilingia</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Xanthidium</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Penium</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Mougeotia</i> sp.	0	0	1	0	1	1
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
Chrysophyceae N.I.	0	1	1	1	1	0
Dinobryaceae	0	0	0	0	0	0
<i>Dinobryon</i> sp.	1	1	1	1	0	0

Mallomonas sp.	1	1	0	0	1	0
Rhizosolenia sp.	0	0	0	0	1	0
Aulacosira sp.	1	1	1	1	1	1
Cyclotella sp.	0	1	1	1	1	1
Thalassiosira sp.	0	0	1	1	1	0
Pennales N.I.	1	1	1	1	1	1
Synedra sp.	0	1	0	0	0	1
Fragilaria sp.	1	1	0	1	0	0
Eunotia sp.	1	0	1	0	0	0
Amphipleura sp.	0	0	1	0	0	0
Amphiprora sp.	0	0	1	0	0	0
Cymbella sp.	0	0	0	0	0	1
Pinnularia sp.	0	1	0	1	0	0
Navicula sp.	0	0	1	1	0	1
Surirella sp.	0	1	1	0	0	0
<b>CYANOPHYTA</b>						
Chroococcales N.I.	1	0	1	0	0	0
Anabaena sp.	0	0	0	1	1	1
Aphanocapsa sp.	0	0	1	0	0	0
Microcystis sp.	0	1	1	0	0	0
Pseudanabaena sp.	1	0	1	1	0	0
Geitlerinema sp.	0	0	0	1	1	0
Lyngbya sp.	1	1	1	0	1	0
Oscillatoria sp.	1	1	1	1	1	1
Oscillatoria sp.1	0	0	0	1	0	0
Planktolynbya sp.	1	1	1	1	1	1
Planktolynbya limnetica	1	0	0	0	0	0
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
Euglenales N. I.	1	1	1	1	1	1
Euglena sp.	0	1	0	0	0	0
Phacus sp.	0	1	0	0	0	0
Strombomonas sp.	0	1	0	0	0	1
Trachelomonas sp.	0	1	0	0	0	0
Trachelomonas cf. similis	0	1	0	0	0	0
Trachelomonas hispida	1	0	0	0	0	0
Trachelomonas volvocina	0	1	1	1	0	1
Oedogonium sp.	0	1	1	0	1	1
Tetraplekton sp.	0	0	0	0	1	0
Closterium sp.	0	0	1	0	0	0
Closterium kuetzingii	1	0	0	1	0	0
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
Cryptomonas sp.	1	1	1	1	1	1
Rhodomonas sp.	0	0	0	0	1	0
Gymnodinium sp.	0	0	1	1	1	0
Peridinium sp.	1	1	1	1	1	0
Peridinium pussilum	0	1	0	1	0	1
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>38</b>	<b>52</b>	<b>41</b>	<b>29</b>	<b>24</b>

ESPÉCIES

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

**CHLOROPHYTA**

Chlorococcales N. I.	1	1	1	1	1	0
<i>Ankistrodesmus cf. densus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ankistrodesmus cf. falcatus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Chlorella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Closteriopsis</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Quadrigula</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Kirchneriella cf. obesa</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Monoraphidium</i> sp.1	1	1	1	1	1	0
<i>Monoraphidium</i> sp.2	1	1	1	1	1	1
<i>Tetraedron caudatum</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Schroederia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Elakatothrix</i> sp.	0	1	0	0	1	0
<i>Coelastrum reticulatum</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Pediastrum duplex</i>	1	1	0	0	1	0
<i>Pediastrum simplex</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Pediastrum tetras</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Oocystis</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Golenkinia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Crucigenia crucifera</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Crucigenia retangularis</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Scenedesmus bijugus</i>	0	1	1	1	0	1
<i>Scenedesmus cf. ovalternus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Tetrallantus</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Ulothrix</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<i>Cosmarium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cosmarium</i> sp.1	0	0	0	1	0	0
<i>Cosmarium cf. ralfsii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Euastrum</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Staurastrum smithii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum rotula</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Staurastrum cf. leptocladum</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Stauroidesmus</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Stauroidesmus cf. dejectus</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Stauroidesmus cf. incus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Sphaerosozma</i> sp.	0	0	1	1	1	0
<i>Teilingia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Penium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Mougeotia</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
Chrysophyceae N.I.	0	0	0	0	1	0

<i>Dinobryon</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Dinobryon</i> cf. <i>sertularia</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Dinobryon</i> cf. <i>bavarium</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Synura</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Mallomonas</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Melosira</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Aulacosira</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cyclotella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cyclotella</i> sp.	0	0	1	1	1	1
<i>Thalassiosira</i> sp.	1	1	1	1	1	1
Pennales N.I.	0	0	0	0	0	1
<i>Cocconeis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Synedra</i> sp.1	0	1	0	0	0	0
<i>Fragilaria</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Eunotia</i> sp.	0	1	0	1	1	0
<i>Amphipleura</i> sp.	0	0	1	0	1	0
<i>Amphiprora</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Amphora</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	0	0	1	1
<i>Gomphonema</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Gyrosigma</i> sp.	1	0	1	0	1	1
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<i>Navicula</i> sp.	1	1	1	0	0	1
<i>Surirella</i> sp.	1	1	1	0	0	1
<b>CYANOPHYTA</b>						
Cyanophyceae N.I	0	0	1	1	1	0
Chroococcales N.I.	1	1	0	1	0	1
<i>Pseudanabaena</i> sp.	1	0	1	0	1	0
<i>Arthrospira</i> sp.	1	1	1	0	0	1
<i>Geitlerinema</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Limnothrix</i> sp.	0	1	1	1	0	0
<i>Lyngbya</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Phormidium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Planktolynghya</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Planktolynghya limnetica</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Spirulina</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
Euglenales N. I.	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Phacus</i> sp.	0	1	0	0	1	0
<i>Trachelomonas</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Trachelomonas</i> cf. <i>similis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Trachelomonas hispida</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Trachelomonas volvocina</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Oedogonium</i> sp.	1	1	0	0	0	1
<i>Closterium</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<b>PYRRHOPHYTA</b>						

<i>Peridinium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Peridinium pussilum</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Cryptomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>30</b>

2007

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

**ESPÉCIES**

<b>CHLOROPHYTA</b>						
Chlorophyceae N. I.	0	0	0	1	0	0
Chlorococcales N. I.	1	1	1	1	1	1
Chlorococcales N. I.1	0	0	1	1	1	0
Chlorococcales N. I.2	0	0	0	1	0	0
Chlorococcales N. I.3	0	0	1	1	0	1
<i>Botryococcus</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Ankistrodesmus cf. densus</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Ankistrodesmus cf. falcatus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Chlorella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Chlorella cf. vulgaris</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Closteriopsis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Closteriopsis</i> sp.1	1	1	1	1	1	1
<i>Closteriopsis</i> sp.2	1	1	0	1	1	0
<i>Closteriopsis</i> sp.3	0	1	0	0	0	0
<i>Eremosphaera</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Quadrigula</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Kirchneriella</i> sp.	0	0	0	1	1	0
<i>Kirchneriella cf. lunaris</i>	1	0	1	0	1	1
<i>Kirchneriella cf. obesa</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Monoraphidium</i> sp.	1	0	0	1	1	0
<i>Monoraphidium</i> sp.1	1	1	1	1	1	1
<i>Monoraphidium contortum</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Monoraphidium cf. griffithii</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Selenastrum</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Tetraedron caudatum</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Tetraedron minimum</i>	0	0	0	0	1	0
Chlorococcaceae	1	0	1	1	1	1
<i>Schroederia</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Coccomyxaceae	0	0	1	1	0	0
<i>Elakatothrix</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Coelastrum astroideum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Coelastrum pulchrum</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Coelastrum reticulatum</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Coelastrum sphaericum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Golenkinia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
Hydrodictyaceae	0	1	1	1	1	0
<i>Pediastrum duplex</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Pediastrum simplex</i>						

<i>Pediastrum tetras</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Micractinium</i> sp.	1	0	0	1	0	0
<i>Sphaerocystis</i> sp.	1	1	1	1	1	0
<i>Oocystis</i> sp.	1	0	1	1	1	0
<i>Crucigenia</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Crucigenia crucifera</i>	1	0	1	0	1	0
<i>Crucigenia quadrata</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Crucigenia retangularis</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Crucigenia cf. fenestrata</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	1	1	1	0	0
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Scenedesmus bijugus</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Tetrastrum caudatum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Tetrallantus langerheinii</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Tetrastrum cf. langerheinii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Tetrastrum cf. heteracanthum</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Ulothrix</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Chlamydomonas</i> sp.	1	0	0	1	1	1
Volvocaceae	0	0	0	0	0	0
<i>Eudorina</i> sp.	0	1	0	1	1	0
<i>Closterium</i> sp.	1	0	0	0	1	0
<i>Closterium</i> sp.1	1	1	0	0	0	0
<i>Closterium</i> sp.2	1	0	0	0	0	0
<i>Closterium moniliferum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Closterium kuetzingii</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Closterium setaceum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.	0	1	1	1	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.1	1	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium asphaerosporum</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Cosmarium bioculatum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Cosmarium botrytis</i>	1	0	1	1	1	0
<i>Cosmarium conspersum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium reniforme</i>	0	1	0	0	1	1
<i>Cosmarium pseudoconatum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium punctulatum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium trilobulatum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Euastrum</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Euastrum</i> sp.1	0	0	1	0	0	0
<i>Micrasterias</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Micrasterias truncata</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Pleurotaenium</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Spondylosium pulchrum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Staurastrum</i> sp.1	0	0	0	1	1	0

<i>Staurastrum hirsutum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Staurastrum leave</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Staurastrum limmeticum</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Staurastrum quadrangulare</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Staurastrum pingue</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum smithii</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Staurastrum rotula</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Staurastrum tetracerum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Staurastrum trifidum</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Staurastrum cf. arctiscon</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum cf. leptocladum</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Staurastrum cf. tetracerum</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Stauroidesmus sp.</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Stauroidesmus convergens</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Stauroidesmus cuspidatus</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Stauroidesmus jaculiferus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Stauroidesmus cf. dejectus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Stauroidesmus cf. incus</i>	1	0	1	1	1	0
<i>Sphaerosozma sp.</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Teilingia sp.</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Gonatozygon sp.</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Mougeotia sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Mougeotia sp.1</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Mougeotia sp.2</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Mougeotia sp.3</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Spirogyra sp.</i>	1	0	1	1	0	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
Chrysophyceae N.I.	1	0	0	0	0	0
<i>Dinobryon sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Dinobryon cf. bavarium</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Synura sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Mallomonas sp.</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Melosira sp.</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Melosira sp.1</i>	1	1	0	1	0	1
<i>Melosira sp.2</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Melosira cf. varians</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Aulacosira sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Cyclotella sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Thalassiosira sp.</i>	1	1	1	1	1	1
Pennales N.I.	1	1	1	1	1	1
Pennales N.I.1	1	0	1	0	0	0
<i>Achnanthes sp.</i>	0	1	1	1	0	1
<i>Achnanthes sp.1</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Achnanthes minutissima</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis sp.</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Synedra sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra sp.1</i>	0	1	1	0	0	1
<i>Synedra sp.2</i>	1	0	0	1	0	0

<i>Synedra acus</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra goulardii</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Synedra ulna</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra cf. berolinensis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Synedra cf. ulna</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Fragilaria</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Tabellaria</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Eunotia</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Eunotia</i> sp.1	0	1	0	0	0	0
<i>Eunotia camelus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Eunotia pectinalis</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Eunotia cf. camilus</i>	0	0	0	1	0	0
Naviculaceae N.I	1	0	0	1	0	0
<i>Amphipleura</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Amphiprora</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Amphora</i> sp.	1	0	0	1	0	0
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cymbella naviculiformes</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Diploneis</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Frustulia</i> sp.	1	0	0	1	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.	1	1	1	1	1	0
<i>Gomphonema</i> sp.1	0	1	0	0	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.2	0	0	0	0	0	1
<i>Gomphonema gracile</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Gomphonema truncatum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Gomphonema cf. grac ile</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Gyrosigma</i> sp.	1	0	1	1	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Pinnularia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.2	1	1	1	0	0	0
<i>Pinnularia maior</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Navicula</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Navicula</i> sp.1	0	1	1	1	0	0
<i>Stauroneis</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Campylodiscus</i> sp.	0	0	0	1	1	0
<i>Hantzschia</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Surirella</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Surirella</i> sp.1	1	1	1	0	0	0
<i>Surirella</i> sp.2	1	1	1	1	0	1
<i>Surirella</i> sp.3	0	1	1	0	0	1
<i>Surirella acus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Surirella ulna</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Surirella sigma</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Surirella robusta</i>	1	1	1	1	1	1
<b>CYANOPHYTA</b>						
Cyanophyceae N.I.	0	0	0	1	0	0
Cyanophyceae N.I. 1	0	0	0	0	1	0

Chroococcales N.I.	0	0	1	0	0	0
Chroococcales N.I. 1	1	1	1	1	0	1
Chroococcales N.I. 2	1	0	1	1	0	1
Chroococcales N.I. 3	0	0	0	0	0	1
Chroococcales N.I. 4	0	1	1	0	0	0
<i>Aphanocapsa</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanothece</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Chroococcus</i> sp.	0	1	1	0	1	0
<i>Microcystis</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Merismopedia</i> sp.	0	1	1	0	0	0
<i>Merismopedia glauca</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Merismopedia tenuissima</i>	1	1	1	1	0	0
Nostocales N.I	1	0	0	0	0	0
<i>Anabaena solitaria</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Raphidiopsis fernandoi</i>	1	0	0	0	0	0
Oscillatoriales N.I.	1	1	1	0	0	1
<i>Geitlerinema</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Limnothrix</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Lyngbya</i> sp.	1	1	1	1	1	0
<i>Oscillatoria</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Oscillatoria</i> sp.1	1	0	0	0	0	0
<i>Oscillatoria limosa</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Planktolynghya</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Planktolynghya limnetica</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Spirulina</i> sp.	1	1	1	1	0	1
Pseudanabaenac eae N.I.	1	1	1	1	0	1
<i>Pseudanabaena</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Gymnodinium</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Peridiniaceae	1	1	1	1	1	1
<i>Peridinium</i> sp.	1	0	1	1	1	0
<i>Peridinium pussilum</i>						
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
Euglenales N. I.	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i> sp.	0	1	0	0	0	1
<i>Euglena</i> sp.1	1	0	0	0	0	0
<i>Euglena</i> sp.2	1	0	1	1	0	0
<i>Euglena acus</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena cf. acus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Phacus</i> sp.	1	0	0	1	0	0
<i>Phacus longicauda</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Strombomonas</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.	1	1	0	1	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.1	1	0	0	1	1	0
<i>Trachelomonas</i> sp.2	0	1	0	0	0	0
<i>Trachelomonas hispida</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Trachelomonas similis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Trachelomonas volvocina</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Oedogonium</i> sp.	1	0	1	0	1	1

<i>Tetraplekton</i> sp.	0	0	1	0	0	0
Fitoflagelado N.I.	1	0	1	0	0	1
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cryptomonas</i> sp.1	1	1	1	1	1	1
<i>Cryptomonas</i> sp.2	0	0	1	1	0	0
<i>Rhodomonas</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>128</b>	<b>103</b>	<b>130</b>	<b>133</b>	<b>77</b>	<b>70</b>

2008

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

**ESPÉCIES**

<b>CHLOROPHYTA</b>						
<i>Closterium</i> sp.	1	0	0	1	0	1
<i>Closterium</i> sp.1	0	0	0	1	0	0
<i>Closterium</i> sp.2	1	0	0	0	0	0
<i>Closterium acutum</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Closterium gracile</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Closterium moniliferum</i>	1	1	0	1	1	0
<i>Closterium kuetzingii</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Closterium setaceum</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Closterium venus</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.	1	0	1	1	0	1
<i>Cosmarium asphaerosporum</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Cosmarium bioculatum</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Cosmarium botrytis</i>	1	0	1	0	1	0
<i>Cosmarium candianum</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Cosmarium conspersum</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Cosmarium pseudoconnatum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Cosmarium sphaerosporum</i>	0	1	1	0	0	1
<i>Cosmarium reniforme</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Cosmarium cf. ralfsii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Desmidium grevillei</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Euastrum dubium</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Hyalotheca</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Netrium</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Pleurotaenium</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Pleurotaenium trabecula</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Sphaeroszma</i> sp.	0	0	1	0	1	0
<i>Staurastrum</i> sp.	0	1	0	0	1	0
<i>Staurastrum</i> sp.1	0	1	0	1	0	0
<i>Staurastrum</i> sp.2	0	0	0	1	0	0
<i>Staurastrum chaetoceras</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum cuspidatus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Staurastrum gracile</i>	1	1	0	0	1	1
<i>Staurastrum hirsutum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Staurastrum limneticum</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum margaritaceum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Staurastrum muticum</i>	0	0	0	0	1	0

<i>Staurastrum rotula</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum smithii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum tetracerum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Staurastrum trifidum</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Staurastrum wolleanum</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Stauroidesmus</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Stauroidesmus dickiei</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Stauroidesmus convergens</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Stauroidesmus cuspidatus</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Stauroidesmus dejectus</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Stauroidesmus incus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Stauroidesmus jaculiferus</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Teilingia</i> sp.	1	0	1	1	1	0
<i>Mougeotia</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Mougeotia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0
<i>Gonatozygon</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Spirogyra</i> sp.	1	0	0	0	0	1
Chlorococcales N.I.	1	1	1	1	1	1
Chlorococcales N.I. 1	0	0	1	0	0	1
<i>Acanthosphaera</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Botryococcus</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Chlorella</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Chlorella vulgaris</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Closteriopsis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Closteriopsis</i> sp.1	0	0	1	1	1	1
<i>Coelastrum</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Coelastrum astroideum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Coelastrum pulchrum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Coelastrum reticulatum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Coelastrum sphaericum</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Crucigenia retangularis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Crucigenia cf.fenestrata</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Dictyosphaerium</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Dimorphococcus</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Kirchneriella cf. lunaris</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Kirchneriella cf. obesa</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Golenkinia</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Micractinium</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Monoraphidium</i> sp.	1	1	1	1	1	0
<i>Monoraphidium contortum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Nephrocytium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Oocystis</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Pediastrum duplex</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Pediastrum simplex</i>	0	0	1	0	0	0

<i>Pediastrum tetras</i>	0	1	1	0	1	1
<i>Scenedesmus</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Scenedesmus bijugus</i>	0	1	1	1	0	1
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>	0	1	1	0	1	1
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Schroederia</i> sp.	0	1	1	0	0	1
<i>Selenastrum</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Selenastrum bibraianum</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Sphaerocystis</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Eudorina</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Pandorina</i> sp.	1	0	1	1	0	0
<i>Geminella</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
Chrysophyceae N.I.	1	1	0	0	0	0
<i>Dinobryon</i> sp.	1	1	0	1	1	0
<i>Dinobryon cf. bavarium</i>	1	1	1	1	0	0
<i>Dinobryon cf. sertularia</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Mallomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synura</i> sp.	1	0	1	1	1	0
<i>Aulacosira</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Aulacosira</i> sp.1	0	0	0	0	1	1
<i>Aulacoseira</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseira</i> sp.1	0	0	0	1	1	1
<i>Cyclotella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cyclotella</i> sp.1	0	0	1	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.1	0	0	0	1	1	1
<i>Melosira cf. varians</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Urosolenia</i> sp.	0	1	1	1	1	1
Pennales N.I.	0	0	0	0	0	1
<i>Achnanthes</i> sp.	1	1	0	0	0	1
<i>Achnanthes minutissima</i>	1	1	1	0	0	1
<i>Amphipleura</i> sp.	1	1	0	0	1	1
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cocconeis</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Eunotia</i> sp.	1	1	1	0	1	1
<i>Eunotia</i> sp.1	1	0	1	0	0	1
<i>Eunotia flexuosa</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Eunotia cf. flexuosa</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Eunotia cf. camelus</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Frustularhom boides</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Gomphonema</i> sp.1	1	1	1	0	0	1
<i>Gomphonema cf. gracile</i>	1	0	0	0	0	0

<i>Gyrosigma</i> sp.	1	0	0	1	0	0
<i>Navicula</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Nitzschia</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Nitzschia</i> cf. <i>sigma</i>	0	1	0	1	0	1
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Pinnularia</i> sp.1	1	0	1	1	0	0
<i>Stauroneis</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Stauroneis</i> <i>phonicenterum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Surirella</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Surirella</i> sp.1	1	0	1	0	0	0
<i>Surirella</i> sp.2	1	1	1	0	0	0
<i>Synedra</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra</i> sp.1	0	1	1	0	0	1
<i>Synedra</i> <i>acus</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Surirella</i> <i>robusta</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra</i> <i>ulna</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Tabellaria</i> sp.	0	0	1	1	1	1
<b>CYANOPHYTA</b>						
Chroococcales N.I.	0	1	1	1	1	0
Chroococcales N.I. 1	0	0	1	0	0	1
<i>Aphanocapsa</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanocapsa</i> sp.1	0	0	0	0	1	0
<i>Aphanothece</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Merismopedia</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Merismopedia</i> cf. <i>glauca</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Merismopedia</i> <i>tenuissima</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Microcystis</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Microcystis</i> <i>protocystis</i>	0	0	1	0	0	0
Nostocales N.I.	1	1	0	0	1	0
<i>Anabaena</i> sp.	1	0	1	0	0	1
<i>Raphidiopsis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
Scytonemataceae N.I.	0	1	0	0	0	0
<i>Lyngbya</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Geitlerinema</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Oscillatoria</i> sp.1	0	0	0	0	1	1
<i>Oscillatoria</i> <i>limosa</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Phormidium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Planktolyngbya</i> sp.	1	1	1	1	1	1
Pseudanabaenaceae N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Pseudanabaena</i> sp.	0	1	1	0	0	1
<i>Pseudanabaena</i> <i>galeata</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Peridinium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Peridinium</i> <i>pusillum</i>	1	1	1	1	1	1
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
Euglenales N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Euglena</i> <i>acus</i>	1	1	0	0	0	1

<i>Phacus</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Phacus longicauda</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Phacus tortus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Lepocinclis</i> sp.	0	1	0	0	0	1
<i>Strombomonas</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.1	1	0	1	1	0	1
<i>Trachelomonas</i> sp.2	0	0	0	0	0	1
<i>Trachelomonas armata</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Trachelomonas volvocina</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Oedogonium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Ophiocystium</i> sp.	0	1	0	0	1	1
Fitoflagelado N.I.	1	1	1	1	1	0
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>93</b>	<b>98</b>	<b>104</b>	<b>94</b>	<b>79</b>	<b>104</b>

2009

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

ESPÉCIES

<b>CHLOROPHYTA</b>						
<i>Closterium gracile</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Closterium kuetzingii</i>	1	1	0	1	0	0
<i>Closterium moniliferum</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Closterium</i> sp.	1	1	0	0	0	1
<i>Cosmarium asphaerosporum</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Cosmarium bioulatum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Cosmarium candianum</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Cosmarium</i> cf. <i>ralfsii</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Cosmarium conspersum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Cosmarium</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Desmidium bayleyi</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Desmidium grevillei</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Hyalotheca</i> sp.	1	1	0	1	0	1
<i>Micrasterias laticeps</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Micrasterias radiosa</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Pleurotaenium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Pleurotaenium trabecula</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Sphaeroszoma</i> sp.	0	0	0	1	1	0
<i>Staurastrum chaetoceras</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum gracile</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Staurastrum hirsutum</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Staurastrum limneticum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Staurastrum margaritaceum</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Staurastrum rotula</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Staurastrum smithii</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Staurastrum trifidum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Staurodesmus convergens</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Staurodesmus cuspidatus</i>	0	1	1	1	0	1

<i>Staurodesmus jaculiferus</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Staurodesmus</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Staurodesmus subcruciatum</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Teilingia</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Gonatozygon</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Mougeotia</i> sp.	1	1	1	0	0	1
<i>Spirogyra</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Zygnema</i> sp.	0	1	0	0	1	0
Chlorococcales N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Actinastrum</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Chlorella</i> sp.	0	0	1	1	0	1
<i>Closteriopsis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Coelastrum pulchrum</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Coelastrum reticulatum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Coelastrum sphaericum</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Dimorphococcus</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Golenkinia</i> sp.	0	1	1	1	0	0
<i>Kirchneriella</i> cf. <i>lunaris</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Kirchneriella obesa</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Monoraphidium contortum</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Monoraphidium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Oocystis</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Pediastrum duplex</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Pediastrum simplex</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Pediastrum tetras</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>	0	1	1	0	1	0
<i>Scenedesmus bijugus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Scenedesmus opoliensis</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Scenedesmus</i> sp.	0	0	1	1	0	1
<i>Schroederia</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Selenastrum</i> sp.	1	0	1	0	0	0
<i>Sphaerocystis</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Tetraedron tumidulum</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Tetrallantus</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Ulothrix</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Chlamydomonas</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Eudorina</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Pandorina</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<b>CHRYSOPHYTA</b>						
Chrysophyceae N.I.	0	1	0	0	0	1
<i>Dinobryon</i> sp.	1	1	1	1	1	0

<i>Mallomonas</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Synura</i> sp.	0	0	1	1	1	0
<i>Aulacoseira</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Cyclotella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Melosira</i> sp.1	0	0	0	1	1	1
<i>Melosira varians</i>	1	0	0	1	0	1
<i>Urosolenia</i> sp.	0	1	1	1	1	1
Pennales N.I.	0	0	0	0	0	1
<i>Achnanthes minutissima</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Achnanthes</i> sp.	0	1	0	0	0	1
<i>Amphipleura</i> sp.	0	1	0	0	0	1
<i>Cymbella</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Eunotia</i> cf. <i>camelus</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Eunotia</i> cf. <i>flexuosa</i>	0	1	1	1	0	1
<i>Eunotia</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Eunotia</i> sp.1	1	0	1	0	0	1
<i>Frustulia rhomboides</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Gomphonema</i> sp.1	0	1	1	0	0	1
<i>Gyrosigma</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Navicula</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Nitzschia</i> cf. <i>sigma</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Pinnularia</i> sp.	1	1	1	1	0	1
<i>Stauroneis phonicentrum</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Stauroneis</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Surirella robusta</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Surirella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Surirella</i> sp.1	0	0	1	0	0	0
<i>Synedra</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synedra ulna</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Tabellaria</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<b>CYANOPHYTA</b>						
Chroococcales N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanocapsa</i> cf. <i>elachista</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Aphanocapsa</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanocapsa</i> sp.1	0	0	0	0	1	0
<i>Chroococcus</i> sp.1	0	0	1	0	0	0
<i>Dactylococcopsis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Merismopedia</i> sp.	0	1	0	0	1	1
<i>Merismopedia tenuissima</i>	0	1	0	1	1	0
<i>Microcystis protocystis</i>	1	1	1	0	0	0
<i>Microcystis</i> sp.	0	0	1	0	0	1
Nostales N.I.	0	0	1	0	0	0
<i>Aphanizomenom</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Anabaena</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Raphidiopsis</i> sp.	0	1	0	0	0	0
Scytonemataceae N.I.	0	1	0	0	0	0

<i>Geitlerinema</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Oscillatoria</i> sp.	1	0	0	1	0	1
Oscillatoriaceae N.I.	0	1	0	0	0	0
<i>Phormidium</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Planktolyngbya</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Pseudanabaena</i> sp.	1	1	1	0	0	1
Pseudanabaenaceae N.I.	1	1	1	1	0	1
<i>Peridinium pusillum</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Peridinium</i> sp.	0	1	1	1	0	1
<i>Gymnodinium</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<b>EUGLENOPHYTA</b>						
Euglenales N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena acus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Euglena oxyuris</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Euglena</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Lepocinclis</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Phacus tortus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Trachelomonas armata</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Trachelomonas</i> sp.1	1	0	1	1	0	1
<i>Trachelomonas</i> sp.2	0	0	0	0	0	1
<i>Trachelomonas volvocina</i>	0	1	0	1	1	1
<i>Oedogonium</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<b>PYRRHOPHYTA</b>						
<i>Cryptomonas</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>81</b>	<b>83</b>	<b>82</b>	<b>48</b>	<b>73</b>

1 - Presença; 0 - Ausência.

## Apêndice C: Dados brutos obtidos para o zooplâncton.

**Tabela 1C** - Riqueza (número de espécies) e densidade (org./m<sup>3</sup>) do zooplâncton.

Riqueza - 2001/2002	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2001/2002	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	10	8	9	6	9	6	8	PROTOZOA	16250	30260	33970	15160	41830	25370	27140,00
ROTIFERA	9	4	3	5	8	4	5,5	ROTIFERA	15680	26620	23160	14040	30870	1130	18583,33
CRUSTACEA	2	1	1	2	1	2	1,5	CRUSTACEA	1890	0	200	220	470	150	488,33
INSECTA	0	1	0	0	0	1	0,33	INSECTA	1100	0	0	0	0	230	221,67
GASTROTRICHA	0	0	0	1	0	0	0,17	GASTROTRICHA	0	0	0	1	0	0	0,17
NEMATODA	1	1	1	1	1	1	1	NEMATODA	6990	11270	7640	4310	10320	17980	9751,67
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>16,5</b>	<b>TOTAL</b>	<b>41910</b>	<b>68150</b>	<b>64970</b>	<b>33731</b>	<b>83490</b>	<b>44860</b>	<b>56185,17</b>
Riqueza - 2002/2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2002/2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	5	7	1	5	3	4	4,17	PROTOZOA	31000	11000	1000	9000	307000	2000	60166,67
ROTIFERA	19	22	4	15	14	7	13,5	ROTIFERA	166000	262000	4000	574000	376000	4000	231000
CRUSTACEA	7	9	4	10	14	9	8,83	CRUSTACEA	37000	162000	4000	207000	150000	19000	96500
INSECTA	0	0	0	0	0	0	0	INSECTA	0	0	0	0	0	0	0
GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0	GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0
NEMATODA	1	1	1	1	0	1	0,83	NEMATODA	3000	1000	1000	1000	0	1000	1166,67
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>39</b>	<b>10</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>27,33</b>	<b>TOTAL</b>	<b>237000</b>	<b>436000</b>	<b>10000</b>	<b>791000</b>	<b>833000</b>	<b>26000</b>	<b>388833,33</b>
Riqueza - 2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2003	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	5	1	10	4	4	2	4,33	PROTOZOA	13000	11000	37000	18000	32000	6000	19500
ROTIFERA	12	15	23	18	15	18	16,83	ROTIFERA	81000	117000	180000	406000	287000	285000	226000
CRUSTACEA	10	12	6	14	18	16	12,67	CRUSTACEA	87000	96000	14000	196000	149000	186000	121333,33
INSECTA	0	0	0	0	0	0	0	INSECTA	0	0	0	0	0	0	0
GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0	GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0
NEMATODA	0	0	0	0	0	0	0	NEMATODA	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>39</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>36</b>	<b>33,83</b>	<b>TOTAL</b>	<b>181000</b>	<b>224000</b>	<b>231000</b>	<b>620000</b>	<b>468000</b>	<b>477000</b>	<b>366833,33</b>

Riqueza - 2005	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2005	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	2	3	3	3	1	2	2,33	PROTOZOA	416	1133	625	883	83	216	559,33
ROTIFERA	2	5	3	0	3	1	2,33	ROTIFERA	1083	865	550	0	850	117	577,5
CRUSTACEA	10	9	10	18	16	8	11,83	CRUSTACEA	1700	2467	1633	16330	10181	11731	7340,33
INSECTA	0	0	0	0	0	1	0,17	INSECTA	0	0	0	0	0	317	52,83
GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0	GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0
NEMATODA	1	0	2	0	0	0	0,5	NEMATODA	333	0	283	0	0	0	102,67
TOTAL	15	17	18	21	20	12	17,17	TOTAL	3532	4465	3091	17213	11114	12381	8632,67
Riqueza - 2006	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2006	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	1	1	2	0	1	0	0,83	PROTOZOA	966	300	750	0	317	0	388,83
ROTIFERA	2	2	2	3	3	4	2,66	ROTIFERA	7941	4856	500	9467	8925	5824	6252,167
CRUSTACEA	4	5	4	5	6	5	4,83	CRUSTACEA	34233	6082	4533	55465	179040	44376	53954,83
INSECTA	0	0	0	0	0	0	0	INSECTA	0	0	0	0	0	0	0
GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0	GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0
NEMATODA	0	0	1	0	0	0	0,17	NEMATODA	0	0	250	0	0	0	41,67
TOTAL	7	8	10	8	10	9	8,67	TOTAL	43140	11238	6033	64932	188282	50200	60637,5
Riqueza - 2007	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2007	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	1	2	8	4	3	3	3,5	PROTOZOA	0	746	1422	1074	20917	6323	5080,33
ROTIFERA	18	15	15	24	22	25	19,83	ROTIFERA	17873	7020	9097	35940	28289	32864	21847,17
CRUSTACEA	12	7	18	18	20	30	17,5	CRUSTACEA	12962	3345	51681	11945	23731	85437	31516,83
INSECTA	0	0	0	0	0	1	0,17	INSECTA	0	0	0	0	0	433	72,17
GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0	GASTROTRICHA	0	0	0	0	0	0	0
NEMATODA	0	1	1	0	0	0	0,33	NEMATODA	0	746	270	0	0	0	169,33
TOTAL	31	25	42	46	45	59	41,33	TOTAL	30835	11857	62470	48959	72937	125057	58685,83
Riqueza - 2008	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual	Densidade - 2008	FL050	FL060	FL090	FL110	FL120	FL130	Média Anual
PROTOZOA	1	1	1	4	4	4	2,5	PROTOZOA	354	260	100	13444	23426	13356	8490

<b>ROTIFERA</b>	10	12	6	13	17	22	13,33	<b>ROTIFERA</b>	11353	8900	825	25186	60809	66705	28963
<b>CRUSTACEA</b>	7	4	0	11	15	13	8,33	<b>CRUSTACEA</b>	1510	390	0	5074	16268	8892	5355,67
<b>INSECTA</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>INSECTA</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>GASTROTRICHA</b>	0	0	0	1	0	0	0,17	<b>GASTROTRICHA</b>	0	0	0	808	0	0	134,67
<b>NEMATODA</b>	0	0	0	0	0	1	0,17	<b>NEMATODA</b>	0	0	0	0	0	167	27,83
<b>TOTAL</b>	18	17	7	29	36	40	24,5	<b>TOTAL</b>	13217	9550	925	44512	100503	89120	42971,17
<b>Riqueza - 2009</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>	<b>Densidade - 2009</b>	<b>FL050</b>	<b>FL060</b>	<b>FL090</b>	<b>FL110</b>	<b>FL120</b>	<b>FL130</b>	<b>Média Anual</b>
<b>PROTOZOA</b>	5	6	8	6	5	12	7	<b>PROTOZOA</b>	3647	974	18558	8045	3852	3091	6361,17
<b>ROTIFERA</b>	13	10	21	24	17	20	17,5	<b>ROTIFERA</b>	48505	64027	27667	51590	30495	6661	38157,5
<b>CRUSTACEA</b>	6	8	10	12	7	13	9,33	<b>CRUSTACEA</b>	6401	77027	81542	32179	13266	562	35162,83
<b>INSECTA</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>INSECTA</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>GASTROTRICHA</b>	0	0	1	0	0	1	0,33	<b>GASTROTRICHA</b>	0	0	100	0	0	293	65,5
<b>NEMATODA</b>	0	1	1	1	0	1	0,67	<b>NEMATODA</b>	0	217	1442	425	0	293	396,17
<b>TOTAL</b>	24	25	41	43	29	47	34,83	<b>TOTAL</b>	58553	142245	129309	92239	47613	10900	80143,17

**Tabela 2C** - Lista de *taxa* encontrados para o zooplâncton.

ESPÉCIES	2001/2002					
	FNL02/FL090	FNL03/FL060	FNL04/FL050	FNL08/FL110	FNL09/FL120	FNL10/FL130
<b>CLADOCERA</b>						
<i>Bosmina</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Bosmina tubiceu</i>	0	0	1	0	1	0
Chironomidae N.I.	0	1	0	0	0	1
<b>COPEPODA</b>						
Copepoda Calanoida nauplio	0	0	1	1	0	0
Copepoda Ciclopoida nauplio	1	0	0	1	0	0
<b>NEMATHELMINTHES</b>						
<i>Gastrotricha</i> N.I.	0	0	0	1	0	0
<b>NEMATODA N.I.</b>	1	1	1	1	1	1
<b>PROTOZOA</b>						
<i>Arcella gibbosa</i>	1	0	1	1	0	0
<i>Arcella hemisphaerica</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella lobostoma</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Arcella rotundata</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Arcella vulgaris</i>	1	1	1	0	1	1
<i>Campanella</i> sp.	0	0	1	0	1	0
<i>Campanella umbellaria</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Centropyxis aculeata</i>	1	1	0	0	0	1
Ciliata N.I.	1	1	1	1	1	0
<i>Cyphoderia</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Diffugia</i> sp.	1	1	1	1	1	0
<i>Euglypha filifera</i>	0	1	1	0	1	0
<i>Euglypha</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Paramecium</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Trinema</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<b>ROTIFERA</b>						
Brachionidae N.I.	0	0	0	0	1	1
<i>Cephalodella</i> sp.	1	1	0	1	1	0
<i>Colurella</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Digononta</i> N.I.	0	1	1	0	1	0
<i>Keratella americana</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Keratella cochlearis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Lecane</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Lepadella</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Ploesoma</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Polyarthra</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Trichocerca</i> sp.	0	0	1	1	1	0
<b>TARDIGRADA N.I.</b>	0	0	0	0	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>19</b>	<b>13</b>
ESPÉCIES	2002/2003					
	FNL02/FL090	FNL03/FL060	FNL04/FL050	FNL08/FL110	FNL09/FL120	FNL10/FL130
<b>ARTHROPODA N.I.</b>	0	1	0	0	0	0
<b>ARTHROPODA N.I.</b>	0	0	0	0	0	1

<b>CLADOCERA</b>						
<i>Bosmina hagmanni</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Bosmina longirostris</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Bosminopsis deitersi</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Bosminopsis negrensis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Daphnia ambigua</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Diaphanosoma birgei</i>	0	1	0	1	1	0
<i>Moina micrura</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Moina minuta</i>	1	1	0	1	1	1
<b>COPEPODA</b>						
Calanoida N.I.	0	0	0	1	1	0
Calanoida nauplio	1	1	1	0	1	1
Ciclopoida copepodito	0	1	0	1	1	1
Ciclopoida nauplio	1	1	1	1	1	1
<i>Halicyclops</i> sp.	1	1	0	1	1	0
<i>Metacyclops</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Notodiaptomus</i> sp.	0	0	1	0	1	0
<i>Thermocyclops</i> sp.	0	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	0	1
<b>NEMATODA N.I.</b>						
<b>PROTOZOA</b>						
<i>Arcella brasiliensis</i>	0	1	1	1	0	0
<i>Arcella lobostoma</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Arcella megastoma</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Arcella rotundata</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Arcella vulgaris</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Campanella umbellaria</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Centropyxis aculeata</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Codonella cratera</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Diffflugia</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<i>Euglypha leavis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Euglypha</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Vorticella microstoma</i>	0	1	0	0	1	1
<b>ROTIFERA</b>						
<i>Anuraeopsis fissa</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Ascomorpha ecaudis</i>	1	1	0	0	1	0
<i>Ascomorpha ovalis</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Ascomorpha saltans</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Asplanchnopus hyalinus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Brachionus falcatus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Brachionus patulus</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Brachionus quadridentatus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Cephalodella tenuiseta</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Collotheca</i> sp.	0	0	0	1	1	0
<i>Colurella</i> sp.	0	1	1	1	0	0
<i>Conochillus</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Conochillus unicornis</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Dicranophorus caudatus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Epiphanes clavulata</i>	0	1	1	0	0	0

<i>Euchlanis dilatata</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Filinia terminalis</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Helarthra intermedia</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Kellicottia</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Keratella americana</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Keratella cochlearis</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Keratella tropica</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Lecane lunaris</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Lepadella patella</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Lepadella</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Platyias quadricornis</i>	0	1	1	0	1	0
<i>Ploesoma hudsoni</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Polyarthra dolichoptera</i>	0	1	1	1	1	0
<i>Polyarthra rematra</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Proales</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Synchaeta stylata</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Trichocerca bicristata</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Trichocerca capucina</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Trichocerca ratus</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Trichocerca</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Trichocerca tenuior</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Trichotria tetractis</i>	0	1	0	0	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>40</b>	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>21</b>

ESPÉCIES	2003					
	FNL02/FL090	FNL03/FL060	FNL04/FL050	FNL08/FL110	FNL09/FL120	FNL10/FL130
<b>CLADOCERA</b>						
<i>Alona guttata</i>	1	1	0	0	0	1
<i>Alona</i> sp.	0	0	0	1	1	0
<i>Bosmina hagmanni</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Bosmina longirostris</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Bosmina</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Bosmina tubiceu</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Bosminopsis deitersi</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Ceriodaphnia pulcella</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Daphnia laevis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Daphnia</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Diaphanosoma birgei</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Diaphanosoma</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Moina micrura</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Moina</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Neonato</i> N.I.	0	1	0	1	1	1
<b>COPEPODA</b>						
<i>Argyrodiaptomus furcatus</i>	0	1	0	0	1	1
<i>Argyrodiaptomus</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Atheyella fuhrmani</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Eucyclops</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Mesocyclops longisetus</i>	0	0	0	1	0	1

<i>Mesocyclops</i> sp.	0	0	0	0	1	0
Copepoda Calanoida copepodito	0	1	1	0	1	1
Copepoda Calanoida nauplio	1	1	1	0	0	0
Copepoda Ciclopoida copepodito	0	0	1	1	1	0
Copepoda Ciclopoida N.I.	0	0	1	0	0	0
Copepoda Ciclopoida nauplio	1	1	1	1	1	1
<i>Notodiaptomus</i> sp.	0	1	1	1	0	0
<i>Thermocyclops longisetus</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Thermocyclops minutus</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Thermocyclops</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<b>PROTOZOA</b>	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella arenaria</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Arcella hemisphaerica</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella quadrata</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Arcella</i> sp.	0	0	1	0	0	0
<i>Arcella vulgaris</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Centropyxis aculeata</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Centropyxis</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Cyphoderia ampulla</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Diffflugia acuminata</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Diffflugia oblonga</i>	1	0	0	1	1	0
<i>Diffflugia</i> sp.	1	0	0	1	0	1
<i>Diffflugia urceolata</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Epistylis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Euglypha acanthophora</i>	0	0	0	0	1	0
Ciliata N.I.	1	0	0	0	0	0
<i>Vorticella</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<b>ROTIFERA</b>	1	0	0	1	0	0
<i>Anuraeopsis navicula</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Brachionus falcatus</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Cephalodella nana</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Cephalodella</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Collothea</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Colurella uncinata</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Conochillus unicornis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Dicranophorus</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Encentrum</i> sp.	1	1	0	1	1	1
<i>Filinia longiseta</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Filinia opoliensis</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Gastropus</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Helarthra intermedia</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Kellicottia longispina</i>	1	1	1	1	1	0
<i>Keratella americana</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Keratella cochlearis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Keratella serrulata</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Keratella</i> sp.	1	0	0	0	1	1
<i>Keratella tropica</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Lecane hastata</i>	0	0	0	0	0	1

<i>Lecane levistyla</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Lecane ludwigi</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lecane</i> sp.	1	1	1	0	0	0
<i>Lecane bulla</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Lepadella</i> sp.	1	0	0	0	0	0
Bdelloidea N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Philodina</i> sp.	1	1	1	1	0	0
<i>Platylas quadricornis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Polyarthra rematra</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Polyarthra vulgaris</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Proales</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Ptygura libera</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Rotaria rotaria</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca bidens</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Trichocerca pusilla</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Trichocerca similis</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Trichocerca ornata</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Trichocerca ratus</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Trichocerca</i> sp.	0	1	0	0	1	0
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>36</b>

2005

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

**ESPÉCIES**

**PROTOZOA**

CILIOPHORA N.I.	0	1	1	0	0	0
<i>Arcella</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Arcella vulgaris</i>	1	0	1	0	0	0
Centropxyidae	1	0	0	0	0	0
<i>Centropyxis</i> sp.	1	1	0	0	1	1
<i>Centropyxis ecornis</i>	0	1	0	0	0	0

**ROTIFERA**

Bdelloidea N .I.	1	1	1	0	1	1
<i>Brachionus angularis</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Brachionus falcatus</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Keratella cochlearis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Monostyla</i> sp.	1	0	0	1	1	0
<i>Monostyla lunaris</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Trichocerca</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Polyarthra vulgaris</i>	0	1	0	0	0	0

**CLADOCERA**

<i>Bosmina</i> sp.	1	0	0	0	0	1
<i>Bosmina hagmanni</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Bosminopsis</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Bosminopsis deitersi</i>	0	1	0	0	1	1
<i>Ceriodaphnia</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Ceriodaphnia comuta</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Moina</i> sp.	1	1	1	1	1	0
<i>Moina micrura</i>	0	0	0	0	1	0

<i>Moina minuta</i>	0	0	1	1	0	1
<i>Diaphanosoma</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<b>COPEPODA</b>						
Copepodito calanoida	1	1	0	1	1	1
Nauplii calanoida	1	0	0	0	1	1
Copepodito cyclopoida	1	1	1	1	1	1
Nauplii cyclopoida	1	1	1	1	1	1
<b>Chironomidae N.I.</b>	0	0	0	0	0	1
<b>NEMATODA N.I.</b>	1	0	1	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>14</b>

2006

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

ESPÉCIES

**PROTOZOA**

CILIOPHORA N.I.	1	0	1	0	0	0
<i>Vorticella</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella vulgaris</i>	0	1	1	0	0	0
<i>Centropyxis</i> sp.	0	0	0	0	1	0

**ROTIFERA**

Bdelloidea N.I.	0	1	1	1	1	1
<i>Asplanchna</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Brachionus</i> sp.	1	0	0	0	0	1
<i>Brachionus angularis</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Euchlanis</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Keratella americana</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Keratella cochlearis</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Platygaster quadricornis</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Lecane</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Lecane luna</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Trichocerca</i> sp.	0	0	1	0	1	1
<i>Polyarthra</i> sp.	0	1	1	0	0	1
<i>Polyarthra remata</i>	0	1	0	0	1	0
<i>Hexarthra</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Hexarthra mira</i>	0	1	1		0	1
<i>Filinia terminalis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Testudinella patina</i>	0	0	0	1	0	0

**CLADOCERA**

<i>Bosmina</i> sp.	1	0	1	1	1	1
<i>Bosmina hagamanni</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Bosminopsis</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Bosminopsis deitersi</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Chydorus</i> sp.	0	1	0	0	0	0
<i>Ceriodaphnia</i> sp.	1	0	0	1	1	1
<i>Daphnia</i> sp.	0	0	0	1	1	0
<i>Daphnia gessneri</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Moina</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Moina micrura</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Moina minuta</i>	0	0	0	0	1	1

<i>Diaphanosoma</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<b>COPEPODA</b>						
Copepodito calanoida	0	1	1	1	0	1
Nauplii calanoida	0	0	1	1	1	1
Copepodito cyclopoida	1	1	0	1	1	1
Nauplii cyclopoida	1	1	1	0	1	1
Chironomidae N. I.	1	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>20</b>

2007

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

ESPÉCIES						
<b>PROTOZOA</b>						
CILIOPHORA N.I.	1	0	0	1	1	0
<i>Vorticella</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<i>Arcella costata</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Arcella discoidea</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Arcella vulgaris</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Centropyxis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Centropyxis ecornis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Cyclopyxis</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Cyphjoderidae ampulla</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Diffugia</i> sp.	1	0	0	1	1	0
<i>Diffugia</i> sp.1	0	0	0	1	0	1
<b>ROTIFERA</b>						
Bdelloidea N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Collotheca</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Brachionus angularis</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Brachionus calyciflorus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Brachionus falcatus</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Brachionus mirus</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Euchlanis</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Kellicottia bostoniensis</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Keratella americana</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Keratella cochlearis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Keratella lenzi</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Notholca</i> sp.	1	0	0	0	1	0
<i>Platylabus patulus</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Thrichotria</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Colurella</i> sp.	1	0	0	1	0	1
<i>Lepadella patella</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lecane bulla</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Lecane flexilis</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Lecane cf. elasma</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Monostyla bulla</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ascomorpha</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Cephalodella</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<i>Trichocerca</i> sp.	0	1	0	1	1	0
<i>Trichocerca similis</i>	0	1	0	1	1	1

<i>Pleosoma</i> sp.	0	1	1	1	1	0
<i>Polyarthra</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Polyarthra remata</i>	0	0	0	0	1	1
Conochilidae N.I.	0	0	0	0	1	0
<i>Conochilus</i> sp.	1	0	1	1	0	1
<i>Ptygura</i> sp.	0	0	1	1	0	0
<i>Pleosoma</i> sp.	0	0	1	1	0	1
<i>Hexarthra</i> sp.	0	0	1	0	0	1
<i>Filinia</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Filinia opoliensis</i>	1	0	1	1	0	1
<i>Filinia terminalis</i>	0	0	0	0	1	0
CLADOCERA						
<i>Bosmina</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Bosmina hagmanni</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Bosminopsis</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Bosminopsis deitersi</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Biapertura</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Ceriodaphnia</i> sp.	1	0	1	0	1	1
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Moina</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<i>Moina minuta</i>	1	1	0	1	1	1
<i>Diaphanosoma</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Diaphanosoma birgei</i>	1	0	0	0	0	0
COPEPODA						
Copepodito calanoida	1	0	0	1	1	1
Nauplii calanoida	1	0	1	1	1	1
Copepodito cyclopoida	1	0	1	1	1	1
Nauplii cyclopoida	1	1	1	1	1	1
<i>Microcyclops</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Microcyclops anceps</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Thermocyclops decipiens</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Thermocyclops minutus</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Tropocyclops prasinus</i>	0	0	1	1	0	1
Nauplii harpacticoida	1	0	0	0	0	0
Chironomidae N.I.	0	0	0	0	0	1
NEMATODA N.I.	1	1	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>38</b>

2008

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

ESPÉCIES

PROTOZOA

CILIOPHORA N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Arcella</i> sp.	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella</i> sp.1	1	0	0	1	1	1
<i>Arcella</i> sp.2	0	0	0	0	0	0
<i>Arcella costata</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Arcella discoides</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Arcella gibbosa</i>	0	0	0	0	0	1

<i>Arcella megastoma</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Arcella polypora</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Arcella vulgaris</i>	0	1	0	1	1	1
<i>Centropyxis</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Centropyxis aculeata</i>	1	0	1	0	0	0
<i>Cyphoderia ampulla</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Diffflugia</i> sp.1	0	0	0	0	0	0
<i>Diffflugia corona</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Epistylis</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Euglypha</i> sp.	1	1	0	0	0	0
<i>Euglypha</i> sp.1	0	0	0	0	0	1
<i>Euglypha acanthophora</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Trinema lineare</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Vorticella</i> sp.						
<b>ROTIFERA</b>						
Bdelloidea N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Collotheca</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Anuraeopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Anuraeopsis fissa</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Anuraeopsis navicula</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Brachionus</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Brachionus mirus</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Euchlanis</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Kellicotia bostoniensis</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Keratella americana</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Keratella cochlearis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Keratella tropica</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Mytilina</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Platyias quadricornis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Thrichotria</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Thrichotria tetractis</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Colurella</i> sp.	0	0	0	1	0	1
<i>Lepadella acuminata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lepadella patella</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Lecane</i> sp.1	0	0	0	1	0	1
<i>Lecane</i> sp.2	0	0	0	0	1	0
<i>Lecane bulla</i>	1	0	0	1	0	1
<i>Lecane curvicornis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane inermis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane flexilis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane luna</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Lecane pyriformis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane signifera</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Cephalodella</i> sp.	0	0	0	1	0	0
<i>Notommata</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Polyarthra</i> sp.	1	1	1	1	1	1
<i>Synchaeta</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Trichocerca</i> sp.	1	0	0	1	0	1

<i>Trichocerca cylindrica</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca similis</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Trichocerca tetraetes</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Conochilus</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Pleosoma</i> sp.	0	1	1	1	1	1
<i>Ptygura</i> sp.	0	0	1	1	1	0
<i>Testudinella patina</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Filinia longiseta</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Hexarthra</i> sp.	0	1	0	1	0	0
<b>CLADOCERA</b>						
Bosminidae	0	0	0	0	0	0
<i>Bosmina hagmanni</i>	0	0	0	0	1	1
<i>Bosmina longirostris</i>	0	0	1	1	1	1
<i>Bosmina tubicen</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Bosminopsis deitersi</i>	0	1	1	1	1	1
<i>Disparalona dadayi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Moina minuta</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Moina minuta</i>	0	0	0	1	1	1
<b>COPEPODA</b>						
Nauplii calanoida	0	1	0	0	1	0
Copepodito calanoida	0	0	0	0	1	0
<i>Notodiaptomus</i> sp.	0	0	0	0	0	0
Copepodito cyclopoida	0	0	1	0	1	1
Nauplii cyclopoida	1	1	1	1	1	1
Copepodito cyclopidae	0	0	1	1	0	1
Nauplii cyclopidae	0	0	1	1	1	1
<i>Mesocyclops</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Microcyclops</i> sp.	0	0	0	0	1	0
<i>Microcyclops anceps</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Paracyclops chiltoni</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Thermocyclops decipiens</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Thermocyclops minutus</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Tropocyclops prasinus</i>	0	0	0	0	0	1
Harpacticoida N.I.	0	0	0	0	0	0
Nauplii harpacticoida	0	1	0	0	0	0
Ostracoda N.I.	0	0	0	0	0	0
Acarina N.I.	0	0	0	0	0	0
Chironomidae N.I.	0	0	0	0	0	0
GASTROTRICHA N.I.	0	0	0	1	0	1
NEMATODA N.I.	1	1	0	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>39</b>

2009

FNL02/FL090 FNL03/FL060 FNL04/FL050 FNL08/FL110 FNL09/FL120 FNL10/FL130

**ESPÉCIES**

**PROTOZOA**

CILIOPHORA N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Vorticella</i> sp.	1	0	0	1	1	1

<i>Arcella costata</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Arcella discoidea</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Arcella gibbosa</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Arcella hemisphaerica</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Arcella megastona</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Arcella sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Arcella sp.1</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Arcella vulgaris</i>	0	1	0	1	1	1
<i>Centropyxis aculeata</i>	1	0	1	0	0	1
<i>Centropyxis discoidea</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Centropyxiste sp.</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Cyphoderia ampulla</i>	0	0	1	0	0	1
<i>Diffflugia corona</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Diffflugia sp.</i>	0	0	1	0	1	1
<i>Diffflugia sp.1</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Euglyphidae</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Euglypha acanthophora</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Euglypha sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Euglypha sp.1</i>	1	1	0	0	0	0
<i>Trinem alineare</i>	0	1	0	1	0	0
<i>Lesquereusia spiralis</i>	0	0	0	0	0	0
<b>ROTIFERA</b>						
ROTATORIA N.I.	0	0	1	0	0	0
Bdelloidea N.I.	1	1	1	1	1	1
<i>Collotheca sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Anuraeopsis fissa</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Anuraeopsis navicula</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Arcomorpha sp.</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Brachionus dolabratus</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Brachionus falcatus</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Brachionus mirus</i>	1	0	0	1	1	1
<i>Brachionus patulus</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Brachionus sp.</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Kellicottia bostoniensis</i>	1	1	1	1	0	1
<i>Keratella americana</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Keratella cochlearis</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Keratella lenzi</i>	1	1	0	1	1	0
<i>Keratella tropica</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Macrochaetus collins</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Mytilina sp.</i>	1	0	0	0	0	1
<i>Platyias quadricornis</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Platyias sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Thrichotria tetractis</i>	0	0	1	1	0	0
<i>Colurella sp.</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Lepadella sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lecane bulla</i>	1	0	0	1	0	1
<i>Lecane closterocerca</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane curvicornis</i>	0	0	0	0	0	0

<i>Lecane flexilis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Lecane leontina</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lecane luna</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lecane lunaris</i>	1	1	1	1	0	0
<i>Lecane sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Lecane sp.1</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Lecane sp.2</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Cephalodella sp.</i>	1	0	0	1	0	0
<i>Scaridium sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Trichocercidae</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca sp.</i>	1	1	0	1	0	1
<i>Synchaetidae</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Synchaeta sp.</i>	0	0	1	1	1	0
<i>Polyarthra sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Conochilus sp.</i>	0	1	0	0	0	1
<i>Conochilus coenobasis</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Hexarthra sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Filinia longiseta</i>	0	0	0	1	1	0
<i>Filinia terminalis</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Testudinella patina</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Trichocerca similis</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Ptygura sp.</i>	0	0	0	0	1	0
<i>Pleosoma sp.</i>	1	1	1	1	1	1
<b>CLADOCERA</b>						
<i>Alonella dadayi</i>	0	0	1	0	0	0
<i>Bosmina hagmanni</i>	0	0	0	1	1	1
<i>Bosmina longirostris</i>	0	1	1	1	0	1
<i>Bosmina tubicen</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Bosmina inopis deitersi</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Alona guttata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Alona sp.</i>	1	0	0	0	0	0
<i>Ephemeroporus barroisi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Euryalona orientalis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Kurzia latissima</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Ceriodaphnia cornuta</i>	0	0	0	0	0	1
<i>Simocephalus serrulatus</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Ilyocryptus spinifer</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Macrothrix sp.</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Macrothrix squamosa</i>	0	1	0	0	0	0
<i>Moina sp.</i>	1	0	1	1	1	1
<i>Moina minuta</i>	0	0	0	1	0	0
<i>Diaphanosoma sp.</i>	1	0	0	1	0	1
<b>COPEPODA</b>						
Copepodito calanoida	1	1	0	1	0	1
Nauplii calanoida	1	1	0	1	1	1
Argirodiaptus sp.	0	1	0	0	0	0
Notodiaptomus sp.	0	0	0	0	0	0
Cyclopoida N.I.	1	0	0	0	1	1

Copepodito cyclopoida	0	1	1	0	1	1
Nauplii cyclopoida	1	1	1	1	1	1
<i>Mesocyclops</i> sp.	0	0	0	0	0	0
<i>Thermocyclops copepodito</i>	0	0	0	1	0	1
<i>Thermocyclops minutus</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Tropocyclops prasinus</i>	0	0	0	0	0	0
Harpacticoida N.I.	1	0	0	0	0	0
Nauplii harpacticoida	0	0	0	1	0	0
<i>Potamocaris</i> sp.	1	0	0	0	0	0
Chironomidae N.I.	0	0	0	0	0	0
GASTR OTR ICHA N.I.	1	0	0	0	0	1
NEMATOD A N.I.	1	1	0	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>43</b>	<b>30</b>	<b>47</b>

1 - Presença; 0 - Ausência.