

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ESTUDO DO CONTEÚDO DE CALOR E SUAS
INFLUÊNCIAS SOBRE VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS EM
RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Tales Heliodoro Viana

Belo Horizonte

2009

**Estudo do conteúdo de calor e suas influências sobre
variáveis limnológicas em reservatórios de abastecimento
de água**

Tales Heliodoro Viana

Tales Heliodoro Viana

**Estudo do conteúdo de calor e suas influências sobre
variáveis limnológicas em reservatórios de abastecimento
de água.**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito final à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Limnologia

Orientador: Eduardo von Sperling

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2009

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais pelo apoio e meios fornecidos na execução deste trabalho;

Ao Eng. Valter Vilela Cunha pelo apoio e incentivo, da mesma forma aos amigos Ronaldo de Luca Ferraz Gonçalves e Jorge Sadala e em especial aos colegas e amigos da Divisão de Recursos Hídricos, e a Biol. Andressa Drumond e aos estagiários Luana, Alysson, e Mariana;

Aos colegas, coletores, Tec. químicos, Biólogos, que tão abnegadamente fazem as amostragens nos reservatórios, em especial ao Arlindo; ao Fernando Jardim e ao Adilson pelo enorme apoio e força nos momentos difíceis e na retomada do caminho;

Aos amigos do ICB-UFMG, Biol. Prof. Dr. Marcos Callisto, Biol. Josy, Biol. Adriana, Biol. Dr. José Fernandes B. Neto.

Ao André, Bruno e Guilherme pela inestimável ajuda na análise estatística e a amiga Sílvia pelas dicas na estatística.

Aos colegas e professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, cujo incentivo e apoio constante foram decisivos a cada momento.

Ao meu orientador Dr. Eduardo Von Sperling pelo incentivo, apoio e entusiasmo.

Aos meus amigos, aos colegas de trabalho.

Aos meus pais.

Ao meu filho, também biólogo, Filipe, pelo apoio, incentivo, exemplo, carinho e ajuda.

A Maria Eugênia, pelo estímulo e pela paciência nos momentos difíceis e principalmente pelo profundo amor e respeito que a mim devotou e por tudo de bom que em mim plantou e semeou em cada dia de nossa vida em comum.

E à vida, expressão maior da própria natureza.

As leis naturais não são forças externas às coisas, mas representam a harmonia e o movimento inerente às próprias coisas.

I Ching.

Se o caminho que apontamos parecer excessivamente árduo, mesmo assim pode ser descoberto. Se fácil fosse, como poderia ser negligenciado por tanta gente?

Todas as coisas boas de fato são difíceis, quão raras.

Spinoza – Ética

(adaptação)

RESUMO

Este trabalho resgatou e produziu séries históricas de parâmetros físicos, químicos e biológicos da qualidade das águas em seis reservatórios construídos para o abastecimento público, no estado de Minas Gerais, Brasil. Retrata a evolução de alguns destes parâmetros, calcula os conteúdos de calor bem como o comportamento térmico destes reservatórios, informando a atual situação de calor e da qualidade das águas represadas.

Os reservatórios estudados foram construídos entre as décadas de 1960 e 1990. Vargem das Flores ao final dos anos 60, Serra Azul (na região do alto São Francisco) e Juramento (na região do médio São Francisco) no início dos 80 e Rio Manso ao final desta. Ao final da década de 90 foram construídos os reservatórios do Ribeirão (Medina) e o do Soberbo (Pedra Azul), na região do médio Jequitinhonha no semi-árido mineiro.

Foram executadas medições de temperatura nos perfis verticais das águas durante as coletas de rotina e coletas de 24 horas (nictemerais), calculados os conteúdos de calor de cada um dos reservatórios. Foi sugerido um modelo conceitual simplificado de funcionamento dos fluxos dos diversos materiais e da energia do hipólímnio e epilímnio. O modelo informa os fluxos de nutrientes e substâncias como sendo regulados pelos padrões de temperatura e calor.

A evolução temporal dos padrões de comportamento térmico e suas influências sobre os biótopos em estudo foram discutidas. Foram recuperados os dados relacionados à qualidade das águas, nos seus aspectos físicos e químicos mais relevantes e hidrobiológicos. Os parâmetros morfométricos destas estruturas foram calculados e utilizados na avaliação das condições atuais e a influência das estruturas de engenharia dos barramentos na qualidade das águas.

Foram obtidas correlações positivas entre o conteúdo de calor dos reservatórios e as variáveis limnológicas avaliadas. Foi observado que, no reservatório onde o uso da descarga de fundo é eficaz, há modificações nos conteúdos de calor e conseqüentemente nas populações fitoplanctônicas. Sugere-se que haja uma diminuição do tempo de residência hidráulica em cada reservatório de abastecimento, não captação das águas no corpo dos lagos e sim a jusante, após a passagem destas águas por válvulas dispersoras.

ABSTRACT

This work has recovered and produced historical series of physical, chemical and biological water quality parameters in six reservoirs built for public water supply in the state of Minas Gerais, Brazil. It pictures the evolution of some of these parameters, and calculates the heat contents, as well as the thermal behavior of these reservoirs informing the current situation of heat and quality of the dammed waters.

The studied reservoirs were built between the decades of 1960 and 1990. Vargem das Flores in the end of the 1960 decade, Serra Azul (in upper São Francisco river valley), and the Juramento (in the medium São Francisco river valley) in the beginning of the 1980 decade, and Rio Manso in the end of this. At the end of the 1990 decade the reservoirs of Ribeirão (in Medina) and Soberbo (in Pedra Azul) were built in the medium Jequitinhonha river valley, in the semi-arid region of Minas Gerais.

Temperature measurements in the vertical profiles of the water bodies were carried out during the routine sampling and eventually in 24-hour sampling (diel) and the heat contents in each reservoir were calculated in all the recovered data. A simplified operation conceptual model of the flux of several materials and of energy in the hypolimnion and in the epilimnion was built. The model informs the flux of nutrients and substances as being regulated by patterns of temperature and heat.

The evolution in time of thermal patterns and its possible influence over the studied biotopes physiology were discussed. Data related to water quality, in its most important physical and chemical aspects, and hydrobiological data, was recovered. The morphometric parameters of these structures were calculated and the data was used in the evaluation of current conditions and of influence of the engineering structures which compose the dam in the water quality .

Positive correlations between the heat content of the reservoirs and the evaluated limnological variables were obtained. It was observed that, in the reservoir where the use of the bottom discharge is efficient, there are changes in the heat content and, consequently, in the phytoplanktonic populations. A reduction in the time of hydraulic residence in each reservoir is suggested, as well as the captation of the water down river from the dam, after its passage by the dispersing valves and not in the water body.

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS | <i>vi</i> |
| LISTA DE FIGURAS | <i>vii</i> |
| LISTA DE TABELAS | <i>xii</i> |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 4 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 4 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 4 |
| 3 REVISÃO DA LITERATURA | 5 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E MORFOMÉTRICA DOS RESERVATÓRIOS | 14 |
| 4.1.1 Situação geográfica e informações georeferenciadas dos reservatórios estudados..... | 17 |
| 4.1.2 Descrição da estrutura hidrológica simplificada dos reservatórios estudados..... | 18 |
| 4.1.3 Caracterização morfométrica dos reservatórios..... | 19 |
| 4.2 LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS AMOSTRAIS EM CADA RESERVATÓRIO | 25 |
| 4.3 ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS EM ESTUDO | 26 |
| 4.4 PLANO DE AMOSTRAGEM DOS RESERVATÓRIOS EM ESTUDO | 29 |
| 4.5 PARÂMETROS SELECIONADOS E METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM E DE ANÁLISE..... | 31 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 37 |
| 5.1 MORFOMETRIA | 37 |
| 5.2 PARÂMETROS ANALISADOS | 39 |
| 5.2.1 Análises quantitativas da comunidade fitoplanctônica..... | 39 |
| 5.2.2 Análises do número de taxa da comunidade fitoplanctônica..... | 45 |
| 5.2.3 Análises dos pigmentos fotossintetizantes..... | 49 |
| 5.2.3.1 Análises das concentrações de Clorofila <i>a</i> | 49 |
| 5.2.3.2 Análises das concentrações de Feofitina <i>a</i> | 52 |
| 5.2.3.3 Análises das relações entre as concentrações de Clorofila <i>a</i> e Feofitina <i>a</i> | 55 |
| 5.2.4 Análises dos parâmetros físicos e físico-químicos dos reservatórios estudados | 58 |
| 5.2.5 Análises dos parâmetros funcionais e construtivos dos reservatórios estudados..... | 70 |
| 5.2.6 Sugestão de modelo conceitual de funcionamento dos reservatórios estudados..... | 73 |
| 5.2.7 Análises das temperaturas médias epilimnéticas e hipolimnéticas dos reservatórios estudados...76 | |
| 5.2.8 Discussão sobre as resistências térmicas relativas (RTR) dos reservatórios estudados..... | 80 |
| 5.2.9 Análise dos Índices de tropicalidade dos reservatórios estudados..... | 81 |
| 5.3.0 Avaliações nictemerais dos conteúdos de calor e temperaturas dos reservatórios estudados..... | 82 |
| 5.3.1 Análises dos conteúdos de calor dos reservatórios estudados..... | 88 |
| 5.3.2 Estatística analítica dos parâmetros limnológicos estudados dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento..... | 95 |
| 6 CONCLUSÕES | 110 |
| 7 RECOMENDAÇÕES | 113 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 115 |
| 9 ANEXOS | 118 |
| 9.1 Cronograma de amostragem contendo data e número de cada amostragem nos reservatórios estudados(Anexo)..... | 119 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- anm - altura em relação ao nível do mar
- Cal – caloria
- Cl *a* – Clorofila a
- Fe *a* – Feofitina a
- JU – Reservatório do Juramento em Juramento (MG)
- Kcal – quilocaloria
- OD – Oxigênio dissolvido
- RM – Reservatório do Rio Manso em Brumadinho (MG)
- RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte
- RI – Reservatório do Ribeirão em Medina (MG)
- RTR – Resistência Térmica Relativa
- SA – Reservatório do Serra Azul em Juatuba (MG)
- SB – Reservatório do Soberbo em Pedra Azul (MG)
- Secchi – Medida de leitura do disco de Secchi
- TDH – Tempo de detenção hidráulica
- VF – Reservatório de Vargem das Flores em Betim / Contagem (MG)
- Sinómia: Vargem das Flores e Várzea das Flores

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| • Figura 3.1 – Tempos de detenção hidráulica em relação ao tipo de estrutura física... | 8 |
| • Figura 4.1 – Localização geográfica de cada reservatório no estado de Minas Gerais... | 15 |
| • Figura 4.2 – Cotas altimétricas dos reservatórios em estudo... | 16 |
| • Figura 4.3.a – Áreas dos reservatórios em km ² ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 22 |
| • Figura 4.3.b – Volumes dos reservatórios em m ³ ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 22 |
| • Figura 4.3.c – Desenvolvimento dos volumes dos reservatórios ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 22 |
| • Figura 4.3.d – Profundidades máximas, médias e relativas dos reservatórios ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 23 |
| • Figura 4.3.e – Comprimentos máximos dos reservatórios ao nível das ogivas dos vertedouros | 23 |
| • Figura 4.3.f – Larguras máximas e médias dos reservatórios ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 23 |
| • Figura 4.3.g – Perímetros dos reservatórios ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 24 |
| • Figura 4.3.h – Desenvolvimentos dos perímetros dos reservatórios ao nível das ogivas dos vertedouros..... | 24 |
| • Figura 4.4 – Indicação do ponto amostral, E1, ponto limnológico..... | 25 |
| • Figura 4.5 – Estrutura básica de captação utilizada em cada reservatório estudado..... | 26 |
| • Figura 5.1 - Variação da concentração de organismos fito planctônicos por mL em 136 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1984 e 2005..... | 40 |
| • Figura 5.2 - Variação da concentração de organismos fito planctônicos por mL em 108 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005..... | 40 |
| • Figura 5.3 - Variação da concentração de organismos fito planctônicos por mL em 97 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005..... | 41 |
| • Figura 5.4 - Variação da concentração de organismos fito planctônicos por mL em 108 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005..... | 41 |
| • Figura 5.5 - Variação da concentração de organismos fito planctônicos por mL em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005..... | 41 |
| • Figura 5.6 - Variação da concentração de organismos fito planctônicos por mL em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005..... | 42 |
| • Figura 5.7 - Variação do número de taxa de organismos fito planctônicos identificados em 138 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1982 e 2005..... | 46 |
| • Figura 5.8 - Variação do número de taxa de organismos fito planctônicos identificados em 152 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005..... | 46 |

| | |
|---|----|
| • Figura 5.9 - Variação do número de taxa de organismos fito planctônicos identificados em 97 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005..... | 47 |
| • Figura 5.10 - Variação do número de taxa de organismos fito planctônicos identificados em 99 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005. | 47 |
| • Figura 5.11 - Variação do número de taxa de organismos fito planctônicos identificados em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005..... | 48 |
| • Figura 5.12 - Variação do número de taxa de organismos fito planctônicos identificados em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1989 e 2005..... | 48 |
| • Figura 5.13 - Variação da concentração de Clorofila a em 75 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1989 e 2005..... | 50 |
| • Figura 5.14 - Variação da concentração de Clorofila a em 47 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005..... | 50 |
| • Figura 5.15 - Variação da concentração de Clorofila a em 76 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005..... | 50 |
| • Figura 5.16 - Variação da concentração de Clorofila a em 71 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005..... | 51 |
| • Figura 5.17 - Variação da concentração de Clorofila a em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005..... | 51 |
| • Figura 5.18 - Variação da concentração de Clorofila a em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005..... | 51 |
| • Figura 5.19 - Variação da concentração de Feofitina a 75 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1989 e 2005..... | 52 |
| • Figura 5.20 - Variação da concentração de Feofitina a em 67 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1985 e 2005..... | 52 |
| • Figura 5.21 - Variação da concentração de Feofitina a em 76 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005..... | 53 |
| • Figura 5.22 - Variação da concentração de Feofitina a em 63 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005..... | 53 |
| • Figura 5.23 - Variação da concentração de Feofitina a 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005..... | 53 |
| • Figura 5.24 - Variação da concentração de Feofitina a em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005..... | 54 |

- Figura 5.25 - Variação da relação Cl a/Fe a em 75 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1989 e 2005.....55
- Figura 5.26 - Variação da relação Cl a/Fe a em 67 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1985 e 2005.....56
- Figura 5.27 - Variação da relação Cl a/Fe a em 76 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.....56
- Figura 5.28 - Variação da relação Cl a/Fe a em 75 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.....56
- Figura 5.29 - Variação da relação Cl a/Fe a em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.....57
- Figura 5.30 - Variação da relação Cl a/Fe a em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.....57
- Figura 5.31 - Variação da transparência em 127 medições na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1982 e 2005.....59
- Figura 5.32 - Variação da transparência em 146 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005.....60
- Figura 5.33 - Variação da transparência em 82 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.....60
- Figura 5.34 - Variação da transparência em 206 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.....60
- Figura 5.35 - Variação da transparência em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.....61
- Figura 5.36 - Variação da transparência em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.....61
- Figura 5.37 - Variação da cor e da turbidez médias nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo.....63
- Figura 5.38 - Variação do pH médio nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo.....65
- Figura 5.39 - Variação das concentrações médias de ferro total nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo.....66
- Figura 5.40 - Sugestão de modelo conceitual funcional para reservatórios com estrutura térmica estável e alto conteúdo de calor.....74
- Figura 5.41 - Sugestão de modelo conceitual funcional para reservatórios com estrutura térmica instável e baixo conteúdo de valor.....74
- Figura 5.42 - Variação das temperaturas médias, do epilímnio e do hipolímnio no reservatório de Vargem das Flores em 166 medições entre 1982 e 2005.....78
- Figura 5.43 - Variação das temperaturas médias, do epilímnio do hipolímnio no reservatório do Serra Azul em 227 medições entre 1982 e 2005.....78
- Figura 5.44 - Variação das temperaturas médias, do epilímnio e do hipolímnio no reservatório do Rio Manso em 130 amostras, entre 1988 e 2005.....78
- Figura 5.45 - Variação das temperaturas médias, do epilímnio e do hipolímnio no reservatório do Juramento em 220 amostras, entre 1985 e 2005.....79

| | |
|---|----|
| • Figura 5.46 - Variação das temperaturas médias, do epilímnio e do hipolímnio no reservatório do Ribeirão em 22 amostras, entre 1999 e 2005..... | 79 |
| • Figura 5.47 - Variação das temperaturas médias, do epilímnio e do hipolímnio no reservatório do Soberbo em 17 amostras, entre 1999 e 2005..... | 79 |
| • Figura 5.48 - Diagrama profundidade-tempo das variações na temperatura da água e dos conteúdos de calor em 24 horas no reservatório de Vargem das Flores e Serra Azul | 82 |
| • Figura 5.49 - Diagrama profundidade-tempo das variações na temperatura da água e dos conteúdos de calor em 24 horas no reservatório do Rio Manso e Juramento..... | 83 |
| • Figura 5.50 - Diagrama profundidade-tempo das variações na temperatura da água e dos conteúdos de calor em 24 horas no reservatório de Ribeirão e Soberbo | 84 |
| • Figura 5.50.1 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório de Vargem das Flores durante as medições nictemerais de temperatura da água..... | 85 |
| • Figura 5.50.2 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Serra Azul durante as medições nictemerais de temperatura da água..... | 86 |
| • Figura 5.50.3 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Rio Manso durante as medições nictemerais de temperatura da água..... | 86 |
| • Figura 5.50.4 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Juramento durante as medições nictemerais de temperatura da água..... | 87 |
| • Figura 5.50.5 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Ribeirão durante as medições nictemerais de temperatura da água..... | 87 |
| • Figura 5.50.6 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Soberbo durante as medições nictemerais de temperatura da água..... | 88 |
| • Figura 5.51 - Variação do conteúdo de calor no reservatório de Vargem das Flores em 166 amostras entre 1982 e 2005 | 90 |
| • Figura 5.52 - Variação do conteúdo de calor no reservatório do Serra Azul em 227 amostras entre 1982 e 2005..... | 91 |
| • Figura 5.53 - Variação do conteúdo de calor no reservatório do Rio Manso em 130 amostras entre 1988 e 2005..... | 92 |
| • Figura 5.54 - Variação do conteúdo de calor no reservatório do Juramento em 220 amostras entre 1985 e 2005..... | 93 |
| • Figura 5.55 - Variação do conteúdo de calor no reservatório do Ribeirão em 22 amostras entre 1999 e 2005..... | 94 |
| • Figura 5.56 - Variação do conteúdo de calor no reservatório do Soberbo em 17 amostras entre 1999 e 2005..... | 94 |
| • Figura 5.57 - Variação das medianas dos conteúdos de calor nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio manso e Juramento..... | 95 |
| • Figura 5.58 - Variação das medianas dos conteúdos de calor nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio manso e Juramento..... | 96 |

- Figura 5.59 - Variação dos conteúdos médios de calor nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....97
- Figura 5.60 – Variação das medianas das medianas da transparência do Secchi nos reservatórios de V. das Flores, Serra Azul, Rio manso e Juramento.....98
- Figura 5.61 - Variação das medianas das concentrações dos organismos fito planctônicos nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....98
- Figura 5.62 - Variação das medianas das concentrações dos organismos fito planctônicos nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento nos períodos hidrológicos chuvosos e das secas.....99
- Figura 5.63 - Variação temporal das concentrações médias dos organismos fito planctônicos nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....99
- Figura 5.64 - Variação das medianas dos valores de taxa encontrados nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....101
- Fig.5.64a – Variação das medianas dos valores dos Taxa encontrados nos reservatórios de Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores por estação hidrológica chuvosa e seca.101
- Figura 5.65 - Variação temporal das médias anuais dos valores dos taxa observados nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....102
- Figura 5.66 - Variação das medianas das concentrações de clorofila *a* nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....103
- Figura 5.67 - Variação das medianas das concentrações de Clorofila *a* por estação hidrológica nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....103
- Figura 5.68 - Variação das concentrações médias de Clorofila *a* nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....104
- Figura 5.69 - Variação das concentrações médias de Feofitina *a* nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....104
- Figura 5.70 - Variação da mediana das concentrações de Feofitina *a* por estação hidrológica período chuvoso e seco nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....105
- Figura 5.71 - Variação temporal das concentrações médias de Feofitina *a* nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....105
- Figura 5.72 - Variação da mediana da relação das concentrações de Clorofila *a* / Feofitina *a* nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....106
- Figura 5.73 - Variação da mediana da relação das concentrações de Clorofila *a* / Feofitina *a* nas estações hidrológicas chuvosa e seca nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....106
- Figura 5.74 - Variação dos valores médios da relação das concentrações de clorofila *a* / Feofitina *a* nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.....107

TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 4.1 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo e as cotas altimétricas das soleiras das ogivas dos vertedouros..... | 18 |
| Tabela 4.2 – Parâmetros morfométricos dos reservatórios em estudo..... | 21 |
| Tabela 4.3 – Planos amostrais básicos dos reservatórios estudados..... | 29 |
| Tabela 4.4 – Relação de parâmetros físicos, químicos e biológicos utilizados nos monitoramentos dos reservatórios em estudo e seus métodos analíticos..... | 31 |
| Tabela 4.5 – Cronograma de amostragem contendo data e número de cada amostragem nos reservatórios estudados(Anexo)..... | 119 |
| Tabela 5.0 - Valores médios, desvio padrão, val. mínimos e máximos, nº de dados e coeficiente de variação dos parâmetros estudados, nos reservatórios (V.Flores, S.Azul, R.Manso, Juramento, Ribeirão, Soberbo)..... | 67 |
| Tabela 5.1 – Matriz de 21 dos parâmetros de qualidade das águas dos reservatórios estudados..... | 69 |
| Tabela 5.2 – Matriz binária sobre estruturas e funcionamento dos reservatórios estudados..... | 71 |
| Tabela 5.3 – Coeficientes de correlação de Spearman entre a variável calor e as demais Variáveis analisadas..... | 107 |

1 INTRODUÇÃO

A água tem sido um dos principais referenciais da história evolutiva da humanidade. As grandes civilizações sempre estiveram ligadas a grandes rios e de alguma forma deixaram, de maneira marcante, estruturas construídas ou fatos relacionados às coleções hídricas.

Atualmente as coleções hídricas assumem papel estratégico e político no contexto das grandes cidades em todo o mundo, haja vista as necessidades da civilização moderna e a ampliação dos usos da água pelos seres humanos em todos os processos de produção e nos usos diários.

Este trabalho resgatou dados e informações acerca de seis reservatórios utilizados para abastecimento público de água, sendo três na Região Metropolitana de Belo Horizonte e três na Região Norte do estado de Minas Gerais, na área do semi-árido mineiro.

Estudos de longa duração em reservatórios urbanos e utilizados para abastecimento público são raros e de difícil execução no Brasil, pelos custos destes trabalhos de monitoramento e de levantamento de suas características físicas, químicas e biológicas.

A concepção destes reservatórios levou em conta suas características físicas, como uma grande unidade de sedimentação de partículas, e, à época de sua construção, muito pouco se questionou acerca de sua evolução nos aspectos relacionados a seu metabolismo biológico e às variações de suas características físicas, químicas e biológicas.

Problemas ambientais antes relegados a plano secundário, hoje constituem foco de inúmeros trabalhos relacionados com o aquecimento global e suas possíveis conseqüências à sanidade ambiental destas coleções hídricas em particular.

O papel amortecedor destas coleções hídricas, no que toca à captação, processamento e armazenamento desta energia, é em termos globais, quase insignificantes, mas para as populações que dependem diretamente destes recursos pode ser fator de impedimento de usos mais nobres. Desta forma, estar à mercê de possíveis modificações físicas e suas conseqüências sobre a química aquática e a biologia de seus componentes pode ser estrategicamente perigoso pela possibilidade de haver uma indisponibilização destes recursos para o seu uso mais nobre, o abastecimento público.

O desconhecimento do metabolismo interno destes reservatórios, pela falta de trabalhos sistemáticos, principalmente no Brasil, de acompanhamento de seus processos metabólicos, constitui um risco ambiental e estratégico de difícil avaliação.

As alterações dos padrões térmicos e das estruturas físicas criadas pelas variações de calor podem alterar de forma significativa os padrões de fluabilidade de partículas (biológicas ou inertes), que podem modificar a composição das comunidades fitoplanctônicas das camadas superficiais, causando a sedimentação de determinados grupos planctônicos em detrimento de outros, ou mesmo a precipitação de substâncias metabolicamente importantes à fisiologia de determinados grupos biológicos.

Da mesma forma, a qualidade química destas coleções hídricas esta intrinsecamente relacionada ao comportamento térmico, tendo sobre a biota destas águas expressivo papel no que toca à liberação e disponibilização de nutrientes às populações biologicamente ativas em todos os estratos verticais e horizontais da coleção hídrica.

A interação destas duas forças, química e física, agindo como importante fator de seleção biológica (seletividade do meio), pode vir a constituir fator de sobrevivência ou desaparecimento temporário de determinados grupos sistemáticos de organismos. Tal fenômeno se dá porque reações físico-químicas podem ser viabilizadas pela disponibilização ou não de nutrientes essenciais, tais como fosfatos presentes no hipólímnio, ou solubilizando compostos reduzidos e desta forma, fomentando processos relacionados à produtividade primária do plâncton ou mesmo diminuindo a qualidade organoléptica e os padrões de qualidade, o que pode gerar necessidades de maiores insumos nos processos de tratamento destas águas tornando-o mais oneroso ao longo do tempo.

O conhecimento das estruturas térmicas e seus comportamentos ao longo do tempo constituem importante acervo de informações que podem possibilitar a correta e oportuna operação das estruturas físicas, tais como descargas profundas e comportas, e desta forma traduzir tais ações em melhoria da qualidade das águas e ampliação da vida útil destes reservatórios de acumulação.

Os dados que culminaram com a execução deste trabalho, começaram a ser obtidos a partir do início na década de 1980, quando foram iniciados os monitoramentos sistemáticos dos reservatórios do Serra Azul e do Juramento e da perda do reservatório da Pampulha,

ocasionada pela ocupação desordenada de sua bacia e conseqüente aporte de sedimentos e águas servidas, que culminaram em 1981 com a desativação da unidade produtora (estação de tratamento de água - ETA) que ali havia, dadas as constantes e persistentes florações de cianobactérias (*Anabaena*) produzindo forte odor de hexaclorobenzeno (BHC), devido possivelmente a liberação de geosmina ou 2metilisobaneol.

As condições ambientais hoje reinantes, na maioria dos grandes reservatórios de água, qualquer que seja sua utilização principal, têm possibilitado o aparecimento de florações de cianobactérias, constituindo-se em um grande problema de saúde ambiental e pública.

Isto representa uma perda de diversidade biológica nestes biótopos, e constitui uma potencial fonte de contaminação destes mananciais como fontes de abastecimento humano e animal, haja vista serem estes organismos passíveis de sintetizar e conseqüentemente liberar ao meio aquático, cianotoxinas, cuja retirada das águas é um processo complexo, oneroso e de difícil mensuração. Pode-se considerar que as cianobactérias são sobreviventes das condições adversas que as coleções hídricas vêm apresentando, no que se refere aos aportes de nutrientes de diversas origens e em diferentes concentrações.

Os reservatórios abordados neste estudo têm uma função principal, qual seja a de manter disponíveis volumes de água de características tais, que o custo de sua utilização não venha a inviabilizar seu uso, e ainda permitir a manutenção da qualidade com menor susceptibilidade a variações temporais de curto prazo, em contra posição aos processos de tratamento de águas efetuados em ambientes lóticos. Esta função não pode ser negligenciada, a qualquer tempo que seja. O custo econômico-financeiro das estruturas físicas, biológicas e ambientais é incomensurável e, aos dias de hoje, por si só, constituem patrimônio insubstituível, em todos os seus aspectos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as relações existentes entre a dinâmica dos conteúdos de calor de cada reservatório e os processos de produtividade primária pelas relações com a comunidade fito planctônica. Sugerir a revisão dos conceitos que norteiam a construção e operação de reservatórios para abastecimento e a utilização técnica das estruturas de descarga destes reservatórios como forma de ampliar e melhorar a vida útil destas unidades.

2.2 Objetivos específicos

- estudar a dinâmica temporal dos conteúdos de calor dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Juramento, Rio Manso, Ribeirão e Soberbo, no estado de Minas Gerais em regiões com diferentes características climatológicas, geológicas e altitudes diferentes em relação ao nível do mar.
- estabelecer as relações dos conteúdos de calor (com as medições físicas de entrada de luz transparência do disco de Secchi), das morfometrias de cada estrutura, dos volumes, dos tempos de residência hidráulica e outros parâmetros relacionados;
- estabelecer as relações, entre os comportamentos térmicos de cada reservatório e de suas comunidades fitoplanctônicas em função dos períodos chuvosos e secos do ano hidrológico.

3 REVISÃO DA LITERATURA

O calor ou frio são as primeiras sensações percebidas ao contato com a água.

Nas regiões tropicais o contato com as coleções de águas rasas permite perceber um acentuado calor na massa líquida, como um todo, no entanto há situações, principalmente em lagos e reservatórios mais profundos, onde a percepção de calor nas superfícies e a percepção de frio em camadas um pouco abaixo da superfície é significativo. Esta informação sensorial permite-nos inferir a existência de diferentes estratos ou camadas de calor nas diversas profundidades, traduzidas na verdade como variações de temperatura.

A unidade termodinâmica, conhecida como temperatura e sua transformação em unidades de calor, permite a quantificação da energia contida em diferentes ambientes, tanto lóticos quanto lênticos bem como de diferentes situações geográficas ao longo destes ambientes.

A existências destas diferenças de temperatura, nos ambientes lênticos, permite que se delimite duas camadas contíguas no eixo vertical da massa d água. A camada mais superficial com uma situação dinâmica ativa, influenciada pelos ventos e pela radiação solar direta e pelas precipitações pluviométricas, é denominada zona limnética ou epilímnio.

A camada mais profunda, em contato direto com o fundo do reservatório ou lago, pouco influenciada pelas condições reinantes na superfície, com uma situação de dinâmica caracteristicamente mais estável, pouco ou quase nunca influenciada diretamente pela ação de ventos e eventualmente influenciada pela entrada de águas mais frias, foi denominada de zona profunda ou Hipolímnio (COLE, 1983).

O plano de máxima relação de decréscimo da temperatura entre as duas camadas é denominado de Termoclina, o termo Clinolimnion, pode ser encontrado também para definir esta região, sendo conceituado como a região onde a razão de queda da temperatura varia de forma exponencial com a profundidade (HUTCHINSON, 1975).

A existência destas camadas com variações de temperatura gera variações nas quantidades de calor, cria o fenômeno da estratificação térmica por modificação nas densidades da água

Hutchinson (1975) traçou um relato sobre os primeiros estudos realizados na Europa, sobre as características térmicas de lagos e rios feitas por diversos pesquisadores a partir do século XIX. Neste relato, são citadas as dificuldades operacionais que tais estudos enfrentavam na sua execução, haja vista a ausência de equipamentos apropriados. Modificações substanciais neste tipo de pesquisa começam a acontecer na década de 1950, com o advento dos termômetros elétricos e com os trabalhos de Mortimer e Moore em 1953, quando uma maior acurácia, praticidade e velocidade na obtenção de dados de temperatura, permitiu a rápida execução dos antes penosos trabalhos de medição das temperaturas nos lagos.

No seu relato, Hutchinson (1975) cita que diversos termos relacionados às questões de variações de temperatura e calor nos lagos já haviam sido criados no século anterior e no início do século XX, tais como, *Sprungschicht* por Richer em 1892, o termo *termoclina* por Birge em 1897 e a *camada de descontinuidade de temperatura* por Wedderburn em 1907.

O significado ambiental e prático do estudo das temperaturas e conseqüentemente da termodinâmica dos corpos hídricos está no fato de que, devido às características peculiares da água, as variações de calor no meio líquido produzem modelos comportamentais da massa líquida que influem, de maneira fundamental, nos ciclos físicos e químicos dos lagos (WETZEL, 1983). Conseqüentemente todos os processos biológicos são diretamente afetados e da mesma forma a qualidade das águas acumuladas.

Os rios de ambientes tropicais irão influir diretamente na estrutura térmica dos lagos e dos reservatórios pelo aporte de fluxo com temperaturas diferentes. Estes rios, de uma maneira geral, têm mantidas as temperaturas de suas águas, dentro da faixa de variação da temperatura média anual do solo da área em que se localiza o ponto de medição. Se esta medição ocorre na porção do rio localizada nas proximidades das nascentes (região denominada de “ritral” do fluxo), a tendência é que seja mais baixa que aquelas temperaturas mensuradas nas regiões de planície (regiões denominadas de “potamais” do fluxo). No entanto as variações anuais e diárias de temperatura são pouco significativas em termos absolutos (SCHÄFER, 1984).

Kennedy (1999) conceitua reservatórios como estruturas construídas para usos específicos, em locais específicos, constituindo um espaço multidimensional, definido por parâmetros relacionados à localização geográfica, à sua forma e modo de construção e a parâmetros relacionados à sua operação específica, diferentemente dos lagos naturais.

Segundo Henry (1999), os reservatórios são ecossistemas de transição entre os sistemas lóticos e lênticos, para tal afirmativa baseou-se nos tempos de detenção hidráulica (TDH) ou tempo teórico de residência da água. Citando Straskraba *et al.* (1993), Henry '(1999) corrobora a importância do TDH afirmando que “ reservatórios com tempo de residência abaixo de 10 dias podem ser considerados como ambientes lóticos, enquanto que reservatórios artificiais serão considerados ambientes lênticos quando seu tempo de detenção hidráulica (TDH) for maior que 200 dias, possuir zona lacustrina e puderem desenvolver estratificação térmica”.

Deve-se considerar que estas estruturas denominadas reservatórios formam no seu todo um conjunto de múltiplos compartimentos, os quais são decorrentes de padrões temporários na sua estrutura vertical, massas d água superpostas nos períodos de estratificação térmica ou podem ter um caráter de maior duração dos padrões de temperatura nas áreas isoladas devido ao padrão dendrítico do lago ou reservatório.

Alguns autores têm realizado estudos na tentativa de modelar a estrutura térmica principalmente de lagos, os quais diferem substancialmente dos grandes reservatórios de acumulação, para geração hidroelétrica, bem como dos reservatórios de acumulação para abastecimento humano, reservatórios estes que foram o objeto deste estudo, sendo que estes constituem pelas suas características construtivas, pelos seus tempos de retenção hidráulica, dimensões, forma e volumes de retirada das águas, estruturas intermediárias entre os rios (estruturas lóticas) e os verdadeiros lagos (estruturas lênticas).

Por sua vez, o termo reservatório é demasiado amplo, pois o “modus operandi” da estrutura como um todo irá definir o denominado Tempo de Detenção Hidráulica (TDH). Diferentemente do lagos e dos reservatórios usados para geração de energia elétrica, os reservatórios construídos para abastecimento de água potável, possuem um modo de operação e funcionamento diferente, modo este caracterizado por reduzidas retiradas das águas superficiais mais quentes e o armazenamento das águas de pior qualidade aos usos que se pretendem no futuro.

Há ainda nesta forma de operação uma atenção acentuada aos volumes acumulados e na manutenção das vazões mínimas a jusante, não dispondo estes reservatórios de vertedouros com estruturas de controle de vazão. Desta forma há um gradiente funcional dos tempos de retenção hidráulica entre os ambientes lóticos (rios), os ambientes lênticos rápidos

(reservatórios para a geração de energia elétrica), os ambientes lênticos lentos (reservatórios para abastecimento de água potável), os ambientes lênticos verdadeiros (lagos naturais), conforme a figura 3.1

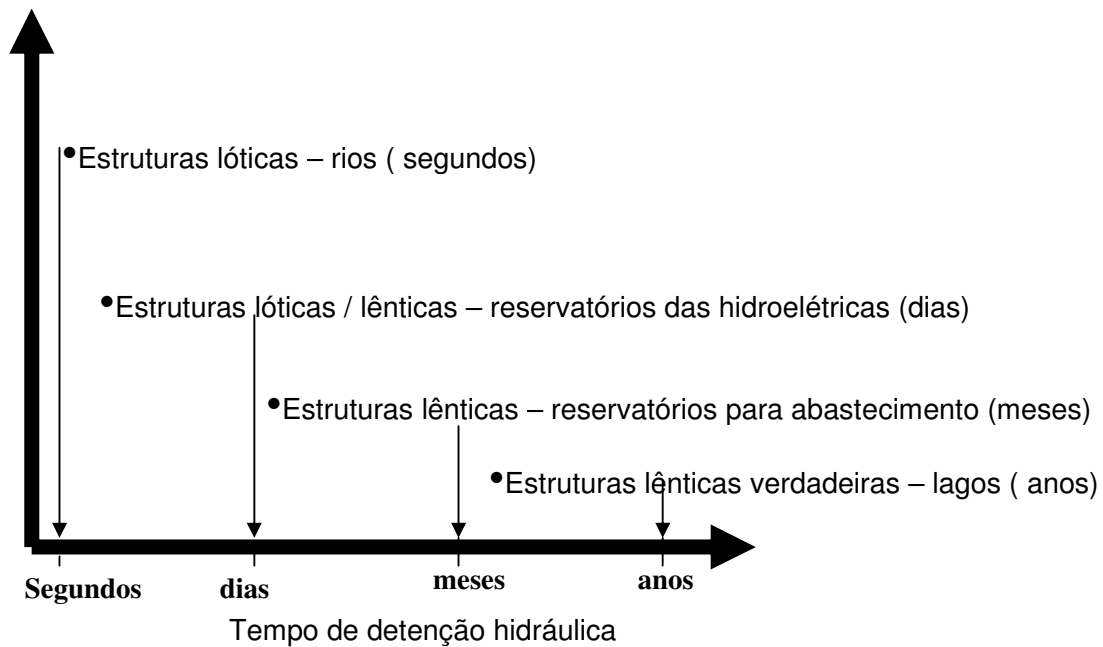


Figura 3.1- Tempos de detenção hidráulica em relação ao tipo de estrutura física.

A limnologia contemporânea brasileira, praticamente foi iniciada na década de 1970, mesmo tendo havido anteriormente diversos estudos nos açudes nordestinos na década de 1930 por diversos pesquisadores visitantes e mesmo os estudos de Hermann Kleerekoper na represa de Santo Amaro (Guarapiranga) em São Paulo, quando foram estudados os efeitos da estratificação térmica sobre as condições físico-químicas e biológicas no hipolímnio, ao mesmo tempo em que foram identificados nestes reservatórios períodos de circulação e estratificação diários (ESTEVES, 1998).

A estratificação de reservatórios no Brasil é reestudada por Tundisi (1984) quando cita que aspectos como a distribuição vertical da temperatura das águas em reservatórios tropicais

têm conseqüências sobre os fatores bióticos, pelo acúmulo de nutrientes e poluentes no fundo dos reservatórios. Outros aspectos relacionados às condições térmicas e à conseqüente estratificação dos reservatórios de hidroelétricas foram discutidas em função da operação das estruturas físicas construtivas destes, tais como torres de tomada em diversos níveis e comportas, e a importância dos efeitos de seu tipo de uso sobre as características químicas da massa d'água.

Ampliando este espectro de considerações, Henry e Tundisi (1988) citam ainda uma tríade de relações, composta pela luz, pelos nutrientes e pelos seres vivos autótrofos, que seria modificada pelas alterações nos padrões de estratificação e tendo como conseqüência direta, alteração da produtividade do ecossistema aquático e conseqüente mudança das relações biológicas ali existentes.

Henry (1993) destaca a importância da luz, dos nutrientes e da estrutura térmica, na distribuição dos organismos fitoplanctônicos na coluna d'água. A temperatura e a quantidade de calor existentes num reservatório influíram decisivamente nas comunidades deste ecossistema, bem como na qualidade das águas armazenadas e liberadas a jusante das barragens.

Ressalta-se a importância da luz como fonte de energia primária, tanto nos processos metabólicos como no aquecimento da massa líquida. Esteves (1998) cita que a radiação no comprimento do vermelho no espectro eletromagnético sofre 80% de absorção já no primeiro metro de profundidade, transferindo a esta camada a energia térmica relativa a este percentual de absorção diferentemente dos outros comprimentos de onda, os quais são absorvidos ao longo do perfil, sendo esta energia transformada em energia calorífica, a qual é transmitida molécula a molécula no meio líquido.

Desta forma, os lagos tropicais tendem a ter diferenças de temperatura e calor em relação aos padrões observáveis nos lagos temperados, haja vista os foto-períodos, o posicionamento do sol e das demais forçantes climáticas, fatos estes que dificultam a comparação entre biótopos de diferentes latitudes. Se as diferenças de altitude forem também computadas outras dificuldades no processo comparativo entre os lagos ou reservatórios podem ser evidenciadas.

Henry (1999) refere-se às mesmas alterações na qualidade das águas, especificamente aos parâmetros físicos e químicos, citados por Tundisi (1984), relacionado-os à influência da

estratificação térmica do reservatório, em sinergia ao tempo de residência hidráulica (TDH), cita que estas condições mantêm alta estabilidade da coluna d'água, com conseqüente anoxia da região hipolimnética, facilitando a ocorrência de elevadas concentrações de ácido sulfídrico e outros gases, elevadas concentrações de amônia, alta condutividade elétrica e altas concentrações de cianofíceas. A localização geográfica dos reservatórios e a morfometria são fatores que, juntamente ao tempo de residência hidráulico, influenciam significativamente a quantidade de calor armazenada no meio aquático dos reservatórios.

Casamitjana *et al.* (2003) afirmaram que a influência da estrutura térmica sobre os fatores bióticos e abióticos, no epilímnio e no hipolímnio, depende do posicionamento das comportas de retirada de água, fato este que nos reservatórios em estudo assume papel fundamental, permitindo a manutenção das estruturas térmicas criadas pela ação das forçantes climáticas e pela ação seletiva das tomadas de água e pelos volumes retirados em função do tempo.

Estas estratificações por elevados períodos de tempo provocam a mudança do eixo de eutrofização: do eixo horizontal (rio e afluentes) para o eixo vertical, do fundo do reservatório para a massa líquida (STRASKRABA, 1999).

Chorus & Bartram (1999) citam que águas com concentrações baixas de fosfatos, e concentrações limitadas de nitrogênio (relação N/P baixa), podem favorecer a ocorrência de florações de cianobactérias pela capacidade destas em armazenar suficientes concentrações internas de fosfatos. Tal ocorrendo, é aumentada a possibilidade da aceleração dos processos metabólicos e conseqüente aparecimento de cianotoxinas, as quais eventualmente podem inviabilizar usos mais nobres destas coleções hídricas. Tal evento tem a possibilidade de ocorrência pela manutenção da estratificação e das baixas concentrações de N e P encontrados nos fundos destes reservatórios.

Outrossim, estudos relativos à estrutura térmica de reservatórios foram efetuados principalmente na Região Sudeste do Brasil, em grandes reservatórios utilizados na geração de energia elétrica, em alguns lagos naturais do Parque do Rio Doce e em um reservatório urbanos de uso paisagístico na RMBH (HENRY, 1999; VIANA, 2002; BEZERRA-NETO & PINTO-COELHO, 2002);

De acordo com estudos realizados nos reservatórios do Ribeirão, Soberbo e Juramento (VIANA, 2002), em relação aos conteúdos de calor, permitiram concluir que as condições

ambientais dos três reservatórios poderiam ser consideradas similares no contexto de forçantes climáticas, tais como regime pluviométrico, constância climática e grandes períodos de insolação. Nos três reservatórios o autor observou a manutenção das condições clinografadas dos perfis de temperatura e dos valores constantemente obtidos da resistência térmica relativa (RTR). Castro (2005) obteve para o reservatório do Ribeirão as mesmas condições de perfis observados por Viana e Von Sperling (2005) para o reservatório do Soberbo.

Bezerra-Neto e Pinto-Coelho (2002) realizaram um trabalho na região metropolitana de Belo Horizonte, em um pequeno reservatório raso, de uma área protegida de parque, sendo possivelmente a única referência deste tipo de estudo específico dentro da região geológica do Quadrilátero Ferrífero, do estado de Minas Gerais, região esta onde estão localizados três dos reservatórios em estudo: Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. Os autores observaram padrões similares de estratificação aos obtidos para estes reservatórios no presente estudo.

De uma forma geral os estudos das quantidades de calor e dos perfis de temperatura nos ambientes tropicais, principalmente no Brasil, têm sido realizados em reservatórios ou lagoas com pequenas profundidades, na ordem de poucos metros, em que especial atenção é dada ao primeiro metro da coluna d'água, onde as variações de temperatura são mais acentuadas e a influência das forçantes climáticas, tais como ventos, chuvas, baixas temperaturas do ar é mais direta e marcante.

As análises das variações anuais das características térmicas dos lagos permitem que se obtenham informações sobre as respostas dos habitats aquáticos em relação às modificações climáticas globais. Estes ciclos por sua vez, regem a produtividade tanto primária quanto a secundária, a estrutura dos habitats e, como consequência, geram mudanças na distribuição vertical de peixes e zooplâncton, em resposta a mudanças térmicas e nas condições de oxigênio, podendo afetar as interações predador x presa e a produtividade do zooplâncton (SNUCINS e GUNN, 2000).

Ivanov *et al.* (2002) citam que os processos físicos e químicos e conseqüentemente os processos biológicos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos são governados, em grande extensão, pelas escalas espaço-tempo dos fenômenos termo-hidro-dinâmicos, quais sejam ocorrência ou não de estratificação, duração desta estratificação, ausência de estratificação, fluxos preferenciais de temperatura oriundos dos afluentes, volumes destes afluentes em

relação ao volume total do reservatório, posição da tomada d' água para a retirada das águas dos reservatórios, volume destas retiradas, frequência destas retiradas, etc.

A dimensão quantitativa das variações de temperatura e calor nestes sistemas foi aventada por Henry (1999), quando cita que a criação da estrutura térmica, dentro das variações de temperatura observáveis no clima das regiões tropicais, demonstra um comportamento caracterizado por apresentar altos valores de temperatura na superfície e um baixo valor de estabilidade devido a pequenas diferenças de temperatura entre a superfície e o fundo.

A existência de circulação anual predominante na época do inverno, e por breves períodos, é uma das características dos lagos e reservatórios tropicais, os quais mantêm na maior parte do tempo, um perfil estratificado, com camadas de diferentes temperaturas, durante todo o ano, podendo no entanto, apresentar padrões de circulação influenciados por variações climáticas, tais como as tempestades tropicais (BEZERRA-NETO & PINTO-COELHO, 2002).

Santos *et al.* (2008) realizaram estudos na região do semi árido mineiro, sobre o metabolismo do carbono, sendo que a ação direta do regime térmico sobre este processo metabólico foi estudada e concluiu-se pela relevância da ação do regime térmico sobre estes processos de metabolização do carbono.

Os problemas com reservatórios para abastecimento são recentes no Brasil, haja vista os processos de conurbação em progresso, a partir do acelerado e descontrolado crescimento das cidades e das populações urbanas, já na segunda metade do século XX e a conseqüente ampliação da demanda de água para abastecimento.

A construção de reservatórios para abastecimento público no estado de Minas Gerais iniciou-se na década de 1950, com o reservatório da Pampulha, em Belo Horizonte. Este foi utilizado para lazer e abastecimento até o início da década de 1980, quando foi abandonada a captação para abastecimento, causada pela diminuição da qualidade das águas, pela floração de cianobactérias (*Anabaena*), cujos produtos metabólicos e estruturais em contato com o cloro davam à água sabor desagradável.

As questões relacionadas às cianotoxinas só vieram a ser aventadas ao final do século XX a partir da ocorrência da Síndrome de Caruaru e da ampliação da capacitação técnica e tecnológica da Companhia de Saneamento de Minas Gerais nos trabalhos referentes à

divulgação, análise e controle destes catabólitos nas águas armazenadas e distribuídas ao consumo público.

Dentro da concepção de reservatórios para a geração de energia elétrica, no início da década de 1970, foi inaugurado o reservatório de Vargem das Flores, entre os municípios de Betim e Contagem e no início da década de 1980, o reservatório do Serra Azul, no município de Juatuba e o do Juramento, no município do mesmo nome. Ao final da mesma década (1980) o reservatório do Manso é construído no município de Brumadinho. Completando o painel foram construídos os reservatórios do Soberbo, em Pedra Azul e o do Ribeirão em Medina, ao final dos anos de 1990.

A ocorrência de poucos reservatórios deste porte utilizados exclusivamente para abastecimento público, os quais de uma forma geral, são operados com baixos volumes de retirada de água e em profundidades específicas, torna estudos similares de pouca atratividade na execução, e propiciam um grande campo de atuação para estudos de todos os matizes, concomitantemente à ampliação da pressão antrópica sobre estes biótopos, a qual tende a ser ampliada pela especulação imobiliária, pela necessidade de aumento da retirada de água desses mananciais e a degradação das áreas de recarga dos mananciais que os abastecem.

A importância deste trabalho reside principalmente no fato de que quatro destes reservatórios são as maiores unidades de produção de água para abastecimento do estado de Minas Gerais respondendo pela produção de aproximadamente 60% do abastecimento de água tratada da região metropolitana de Belo Horizonte e de 80 a 90% da produção de água para o abastecimento da cidade de Montes Claros. Os menores reservatórios que são os do Ribeirão e Soberbo, respondem por 100% do abastecimento das cidades de Medina e Pedra Azul.

A falta de bibliografia referente ao assunto nestas latitudes se dá por ter o estado de Minas Gerais inúmeros reservatórios de maior porte construídos exclusivamente para a produção de energia elétrica e sendo o único estado da federação que apresenta características geológicas e hidrológicas dentro dos contextos do Quadrilátero Ferrífero, do calcário Bambuí (“karste”) e tendo uma malha hidrológica extremamente desenvolvida, com características peculiares em termos de altitude, solos e clima.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 *Caracterização geográfica e morfométrica dos reservatórios*

Este trabalho foi desenvolvido em seis reservatórios utilizados para abastecimento público no estado de Minas Gerais, denominados Reservatório de Vargem das Flores, Reservatório do Serra Azul, Reservatório do Rio Manso, Reservatório do Juramento, Reservatório do Ribeirão e Reservatório do Soberbo, estando localizado respectivamente, na região metropolitana de Belo Horizonte os três primeiros, o quarto na cidade de mesmo nome, sendo, no entanto utilizado para o abastecimento da cidade de Montes Claros, o quinto localizado no município de Medina e o sexto no município de Pedra Azul.

Estas unidades de produção de água constituem um complexo sistema de abastecimento de diversas cidades do estado de Minas Gerais. Na RMBH os sistemas de produção de água são integrados, abastecendo principalmente as cidades de Belo Horizonte, Betim, Contagem, e algumas outras cidades que compõem esta estrutura administrativa. Para o abastecimento público da cidade de Montes Claros a principal fonte de abastecimento é o reservatório de Juramento que produz $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. A complementação da vazão necessária ao completo abastecimento da cidade é obtida do sistema cárstico, no qual a cidade esta inserida.

O reservatório do Ribeirão permite que não haja intermitência no abastecimento de água da cidade de Medina, fornecendo 100% de toda a demanda da cidade e contribuindo na manutenção da vazão ecológica do manancial, definida como a vazão mínima necessária à manutenção da qualidade de vida neste biótopo. A importância deste reservatório esta no fato da manutenção do abastecimento e suprindo a região com água quando os outros mananciais que formam o ribeirão secam ou têm suas vazões reduzidas.

A cidade de Pedra Azul, antes da construção do reservatório do Soberbo, era abastecida pelo ribeirão Inhaúmas. Tal manancial sofreu enorme redução de vazão, sendo que a construção do reservatório do Soberbo tornou-se estratégica e fundamental no abastecimento da cidade, contribuindo com 100% da demanda da população.

Situada na região denominada de Quadrilátero Ferrífero, a cidade de Belo Horizonte é contornada na sua face sul pela serra do Curral, cujo maciço continua, no sentido leste-oeste, formando as serras do Cachimbo, serra Azul e serra do Itatiaiuçu no sentido leste-oeste em relação à RMBH. Os reservatórios de Vargem das Flores, do Serra Azul e do Rio Manso

podem ser denominados reservatórios peri-urbanos, conforme pode ser visualizado na figura 4.1. Na mesma figura também estão localizados os reservatórios do Juramento, do Soberbo e do Ribeirão.

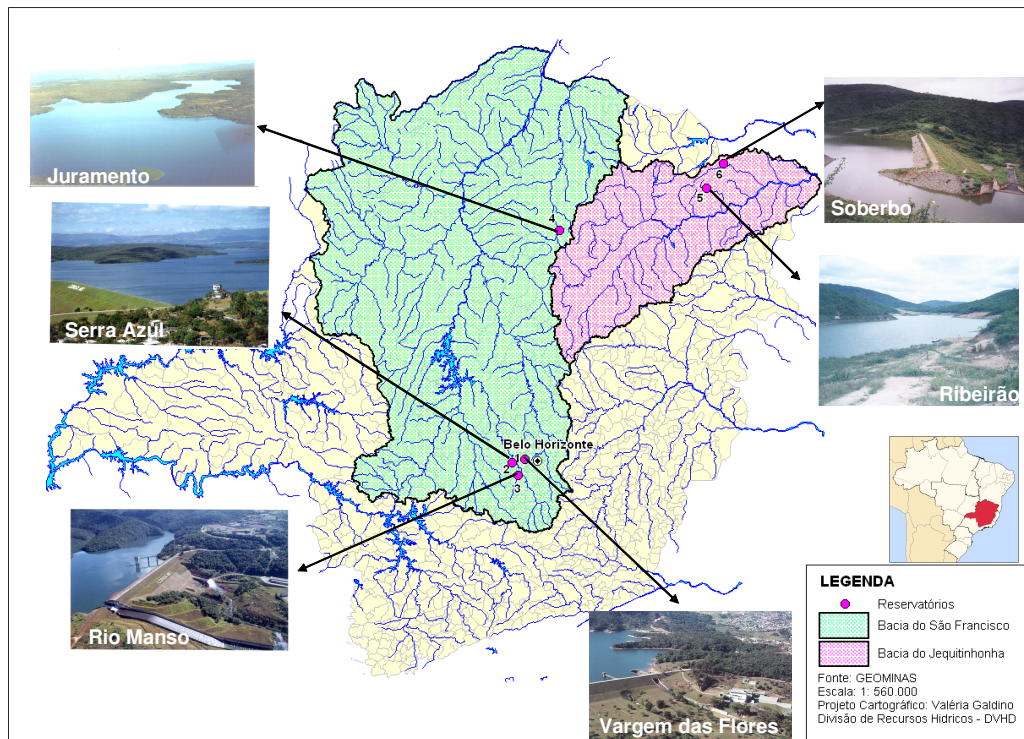


Figura 4.1 – Localização geográfica de cada reservatório no mapa de Minas Gerais.

O reservatório mais ameaçado pelas ações antrópicas é o de Vargem das Flores, cuja bacia contribuinte apresenta uma urbanização descontrolada e de grande porte. Os reservatórios do Serra Azul e do Rio Manso têm em suas bacias atividades mistas, constituídas principalmente por pequenas propriedades de hortifrutigranjeiros e pequenos sítios (usos de fim-de-semana). Estes são os reservatórios de maior volume e com as maiores profundidades entre os sistemas de reservatórios para abastecimento urbano de Minas Gerais.

Os reservatórios do Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo foram construídos com a finalidade específica de abastecimento público e em sua volta foram criadas áreas de proteção especial, em suas águas são proibidas quaisquer atividades náuticas esportivas ou de recreação ou o uso para a pesca. O acesso de animais, com vistas a sua dessedentação, também é proibido.

O reservatório de Vargem das Flores foi concebido para uso múltiplo de suas águas e não possui área de proteção específica no seu entorno, estando constantemente sob a ação de fatores negativos à conservação da qualidade de suas águas, já que todos os tipos de atividades são executadas na sua área de contribuição direta bem como em suas águas.

Outros reservatórios de água existem no estado de Minas Gerais sendo que seu uso específico é para a geração de energia elétrica, uso este que tem normas menos exigentes quanto à qualidade das águas a serem reservadas e utilizadas.

Como forma de se referenciar e melhor compreender os fatores de ordem climática que influem sobre estes reservatórios, optou-se por trabalhar com os reservatórios reunidos em dois grupos distintos de ambientes, o que permitirá associações comparativas. Desta forma os reservatórios localizados na RMBH, ou seja, situados na área central do estado, foram agrupados como sendo de semelhante região climatológica, haja vista as altitudes de cada unidade. Da mesma forma foram agrupados os reservatórios localizados a norte e nordeste (N, NE) do estado, Fig.4.2.

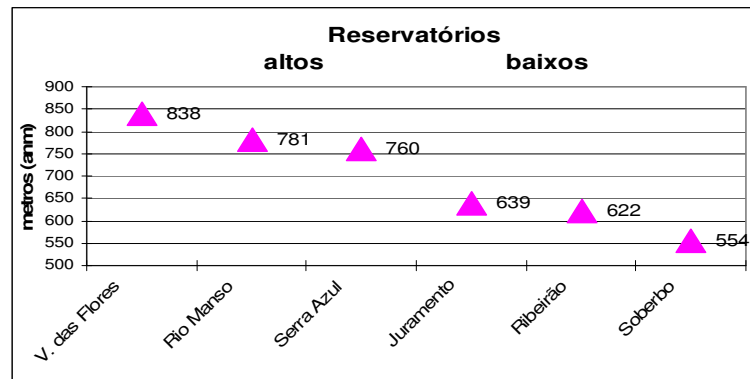


Figura 4.2 – Cotas altimétricas dos reservatórios estudados

Assim sendo, existem dois grupos distintos de reservatórios, ou seja:

Aquele grupo formado pelos reservatórios localizados nas serras da região central do estado de Minas Gerais (grupo 1), e tendo como componente climática temperaturas mais amenas e chuvas mais regulares, mais bem distribuídas ao longo do ano ou dentro do período úmido.

Para os reservatórios do Serra Azul e Rio Manso, existe ainda a influência direta de chuvas orográficas, as quais ocorrem muito próximas dos reservatórios localizados a poucos quilômetros das nascentes principais e tendo águas mais frias de uma forma geral por estarem localizados nas regiões ritrais dos rios que as abastecem.

O segundo grupo (grupo 2) é formado pelos reservatórios localizados em regiões mais quentes e áridas, geograficamente próximos de regiões serranas mas, de características orográficas diferentes do grupo 1 e com uma situação de menor altitude em relação ao nível do mar e influências climatológicas de cunho regional muito marcantes.

Estes reservatórios do segundo grupo são formados a partir de mananciais com menor porte, e bacias hidrográficas contribuintes menores, sofrendo poucas influências orográficas, tendo águas mais quentes e chuvas mal distribuídas ao longo do ano. A região onde estão localizados apresenta longos períodos de estiagem e chuvas torrenciais, de 24 horas, as quais podem ser de até 120 mm de chuvas, volume este similar ao que deveria chover em todo o mês no qual se observam estas descargas.

Tais fatos ocorrem pela sua localização geográfica, ou seja, ao norte e nordeste do estado de Minas Gerais, nas bacias hidrográficas do médio São Francisco e médio Jequitinhonha, na região denominada de semi-árido mineiro e sofrendo influência climática semelhante à região sul do estado da Bahia e norte do estado do Espírito Santo.

4.1.1 Situação geográfica e informações geo-referenciadas dos reservatórios

Localizados na bacia hidrográfica do Rio São Francisco e Jequitinhonha, os reservatórios objeto deste estudo têm as seguintes localizações geográficas dos pontos amostrais, onde foram obtidos os dados e realizadas as medições deste estudo mostradas a seguir:

Tabela 4.1 – Coordenadas geográficas dos pontos amostrais nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo e as cotas altimétricas das soleiras das ogivas dos vertedouros.

| Reservatório | Coordenadas Ponto amostral | Cota soleira vertedor |
|---------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Vargem das Flores | 19° 55' 10.13" S 44° 10' 02.14" O | 838,64 m |
| Serra Azul | 19° 58' 23.14" S 44° 20' 45.11" O | 760,00 m |
| Rio Manso | 20° 08' 41.83" S 44° 15' 30.36" O | 781,00 m |
| Juramento | 16° 46' 19.12" S 43° 39' 53.09" O | 640,25 m |
| Ribeirão | 16° 11' 38.93" S 41° 16' 47.66" O | 622,00 m |
| Soberbo | 15° 51' 11.50" S 41° 16' 47.66" O | 553,00 m |

4.1.2 – Descrição da estrutura hidrológica simplificada dos reservatórios estudados

- Reservatório de Vargem das Flores (Betim/Contagem-MG)

O reservatório de Vargem das Flores é formado principalmente pelo represamento dos ribeirões Água Suja e Betim, os quais pertencem à margem direita do Rio Paraopeba, afluente do Rio São Francisco, e que nascem dentro da área urbana e suburbana do município de Contagem. Após a saída do reservatório as águas atravessam a malha urbana do município de Betim e deságuam na margem direita do Rio Paraopeba. As bacias hidrográficas dos ribeirões Betim e Água Suja limitam-se a leste com a bacia do reservatório da Pampulha e a oeste com a bacia do Ribeirão Juatuba já no Rio Paraopeba

- Reservatório do Serra Azul (Mateus Leme/Juatuba – MG)

➤ O reservatório do Serra Azul é formado principalmente pelo Ribeirão Serra Azul, o qual, pertence à bacia do Rio Paraopeba, afluente do Rio São Francisco. Nasce na Serra do Itatiaiuçu e após a saída do reservatório conflui com o Ribeirão Mateus Leme, onde passa

a receber a denominação de Ribeirão Juatuba e deságua no Rio Paraopeba pela margem esquerda. A bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul limita-se ao sul com a bacia do Rio Manso.

- Reservatório do Rio Manso (Brumadinho – MG)

- O reservatório do Rio Manso é formado principalmente pelo Córrego Veloso e Rios Manso, pertencentes à bacia do Rio Paraopeba, afluente do rio São Francisco. Nascem na Serra do Itatiaiuçu. A bacia hidrográfica do Rio Manso limita-se ao norte com a bacia do Ribeirão Serra Azul e a leste e sul, com a bacia do Ribeirão Águas Claras

- Reservatório do Juramento (Juramento – MG)

- O reservatório do Juramento é formado principalmente pelo Rio Juramento, o qual é um afluente da margem direita do Alto Rio Verde, afluente da margem esquerda do Rio São Francisco. Nasce na serra do Catuni a oeste da cidade de Juramento.

- O reservatório do Ribeirão (Medina – MG)

- O reservatório do Ribeirão é formado pelo Córrego do Ribeirão que é um afluente de 3ª ordem do rio Jequitinhonha e que nasce ao sul da cidade de Medina

- Reservatório do Soberbo (Pedra Azul – MG)

- O reservatório do Soberbo é formado pelo Córrego Soberbo, o qual é um afluente de 3ª ordem do rio Jequitinhonha e que nasce a norte da cidade de Pedra Azul.

4.1.3 Caracterização morfométrica dos reservatórios

Outro importante aspecto a ser levado em consideração em relação aos estudos limnológicos são os volumes e demais características morfométricas dos reservatórios obtidos a partir de cartografia ou medições em campo. Estes parâmetros informam as características morfométricas usuais e que permitem uma visualização espacial e de grandeza da estrutura. A tabela 4.2 apresenta os valores destes parâmetros e as figuras 4.3a, 4.3b, 4.3c, 4.3d, 4.3e, 4.3f, 4.3g e 4.3h as quais apresentam as áreas, os volumes, as profundidades máximas médias e relativas, bem como os comprimentos máximos e as larguras máximas e médias, os perímetros e o desenvolvimentos dos perímetros nos reservatórios estudados, ao nível das

ogivas dos vertedouros. Alguns destes parâmetros morfométricos foram obtidos a partir das seguintes equações, segundo Von SPERLING (1999).

A **Profundidade média (Z méd.)**, obtida pela divisão do volume do lago pela sua superfície em determinada cota altimétrica do mesmo lago, cuja equação é a seguinte:

$$\mathbf{Z_{méd.}(m) = V / A ,} \quad (\text{Eq.4.1})$$

onde: V = volume (km³)

A = área superficial (km²).

A **Profundidade Relativa (Zr)** e a profundidade que relaciona a profundidade máxima com a área superficial de um lago, expressando tal relação como porcentagem do diâmetro médio deste lago e indicando o grau de estabilidade destas massas hídricas no que se refere à mistura e à ação de forçantes climáticas (vento, chuva, baixas temperaturas etc...) neste processo de mistura.

$$\mathbf{Zr = (50Z_{máx} \cdot \sqrt{\pi}) / \sqrt{A} (\% \text{ do diâmetro})} \quad (\text{Eq.4.2})$$

Onde: Zr = Profundidade relativa (%)

Zmáx = profundidade máxima (m)

A = Área superficial (m²).

O **Desenvolvimento do Volume (Dv)**, é um parâmetro que representa a relação entre o volume do lago e o volume de um cone que tenha a área igual à do lago e altura equivalente à sua profundidade máxima.

$$\mathbf{DV = 3 \cdot (Z_{med}/Z_{máx.})} \quad (\text{Eq.4.3})$$

Onde: Zmed = prof. Média (Volume / Área)

Zmáx. = maior profundidade (m).

Quanto ao parâmetro **Desenvolvimento do Perímetro (DL)**, o qual informa a extensão e o grau de irregularidades das margens, as quais, quanto maiores, mais permitem a ocorrência de biótopos diferentes em diversos aspectos físicos tais como a ação de aportes nutricionais, proteção e diminuição dos fluxos de água que ocorrem nos corpos hídricos. Foi calculado com da seguinte fórmula:

$$DL = L / 2\sqrt{\pi} \cdot A \quad (\text{Eq.4.4})$$

Onde: L = perímetro do lago(km)

A = superfície do mesmo lago (km²).

O parâmetro **Fator de envolvimento (FE)**, calculado a partir dos dados da bacia contribuinte dividido pela área do espelho d'água do reservatório a uma data cota.

$$FE = \text{Área da bacia(km}^2\text{)} / \text{área do espelho d'água (km}^2\text{)} \quad (\text{Eq.4.5})$$

Tabela 4.2 – Parâmetros morfométricos dos reservatórios em estudo.

| Parâmetros | Reservatórios | | | | | |
|---------------------------|---------------|---------|----------|-----------|----------|---------|
| | V. Flores | S. Azul | R. Manso | Juramento | Ribeirão | Soberbo |
| Área (km ²) | 4,950 | 7,550 | 10,850 | 4,750 | 0,300 | 0,340 |
| Volume (km ³) | 0,037 | 0,088 | 0,128 | 0,043 | 0,002 | 0,003 |
| Prof.Max. (m) | 21 | 40 | 36 | 29 | 23 | 23 |
| Prof. Média (m) | 7 | 11 | 11 | 9 | 6 | 5 |
| Fator envolvimento | 23 | 30 | 60 | 30 | 189 | 253 |
| Prof.relative % | 0,84 | 1,28 | 0,97 | 1,18 | 3,74 | 3,47 |
| C. máximo (km) | 3,92 | 5,96 | 7,2 | 3,93 | 0,89 | 1,13 |
| Larg. máxima (km) | 0,84 | 2,39 | 1,70 | 3,27 | 0,24 | 0,48 |
| T.D.Hidráulica (dias) | 356 | 351 | 263 | 585 | 386 | 579 |
| Larg.média (km) | 1,26 | 1,27 | 3,28 | 1,21 | 0,34 | 0,30 |
| Perímetro (km) | 27,36 | 83,48 | 86,57 | 37,84 | 2,53 | 4,59 |
| Desenv.perímetro | 3,44 | 8,51 | 7,36 | 4,83 | 1,30 | 2,18 |
| Desenv.volume | 1,00 | 0,83 | 0,92 | 0,93 | 0,78 | 0,65 |
| Cota vertedouro (m) | 837 | 760 | 781 | 640 | 622 | 553 |

Fonte HDC – 2000,2001a,2001b,2001c,2004,2005

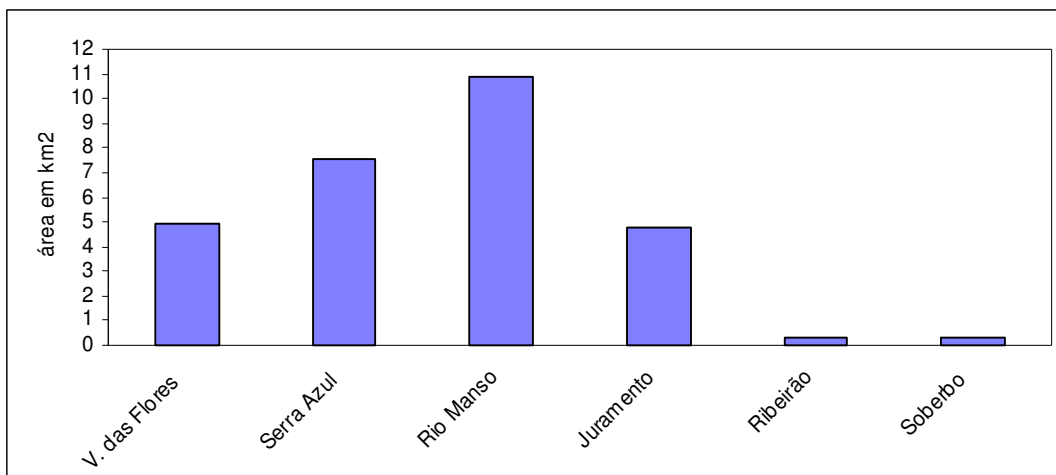
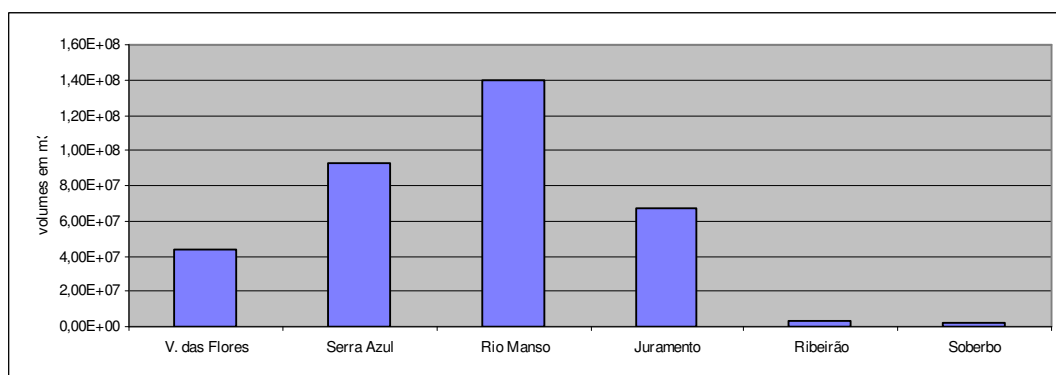


Figura 4.3.a – Áreas dos reservatórios em km², ao nível da ogiva dos vertedouros.



Fonte HDC – (2000,2001a,2001b,2001c,2004,2005)

Figura 4.3.b – Volumes dos reservatórios em metros cúbicos ao nível da ogiva dos vertedouros.

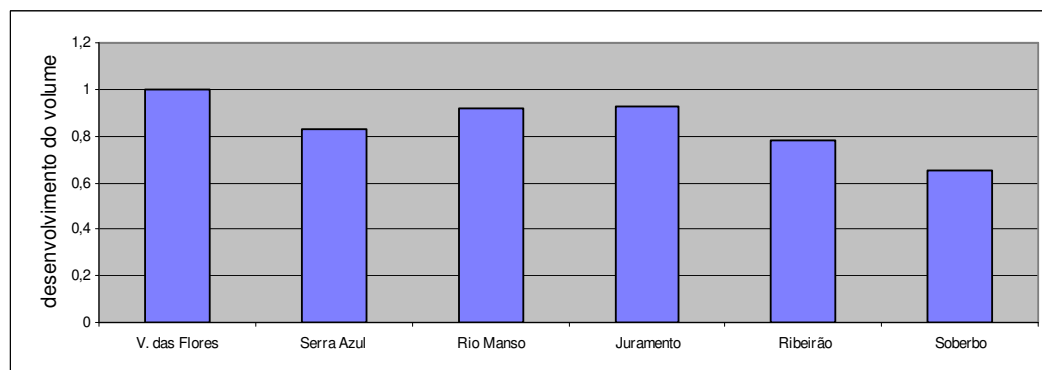


Figura 4.3.c – Desenvolvimento dos volumes dos reservatórios ao nível da ogiva dos vertedouros.

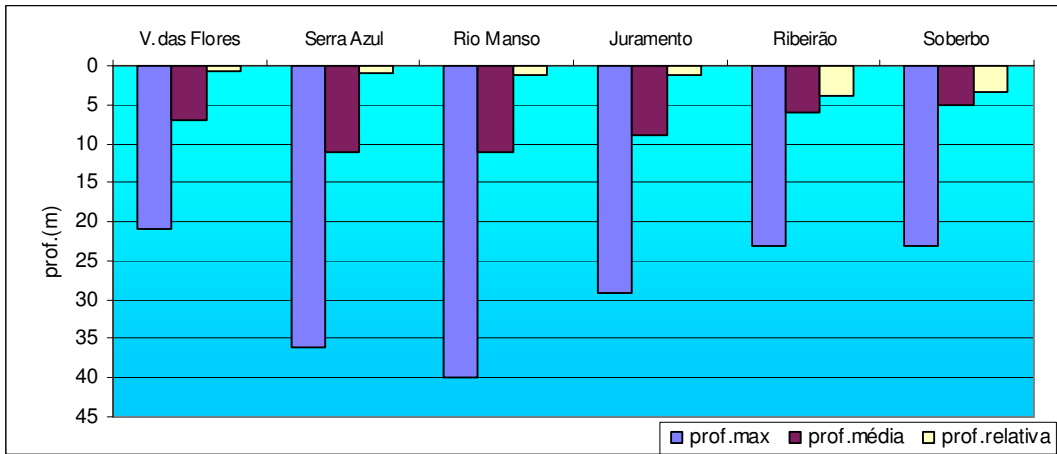


Figura 4.3.d – Profundidades máximas, médias e relativas dos reservatórios ao nível da ogiva dos vertedouros.

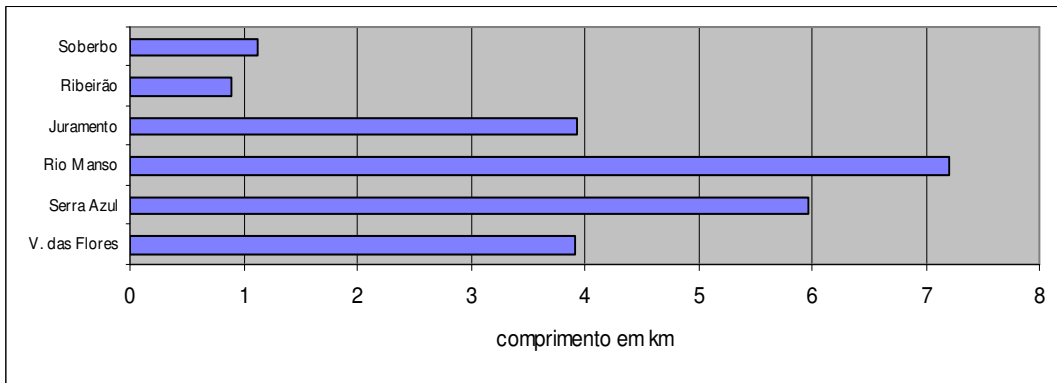


Figura 4.3.e – Comprimentos máximos dos reservatórios ao nível da ogiva dos vertedouros.

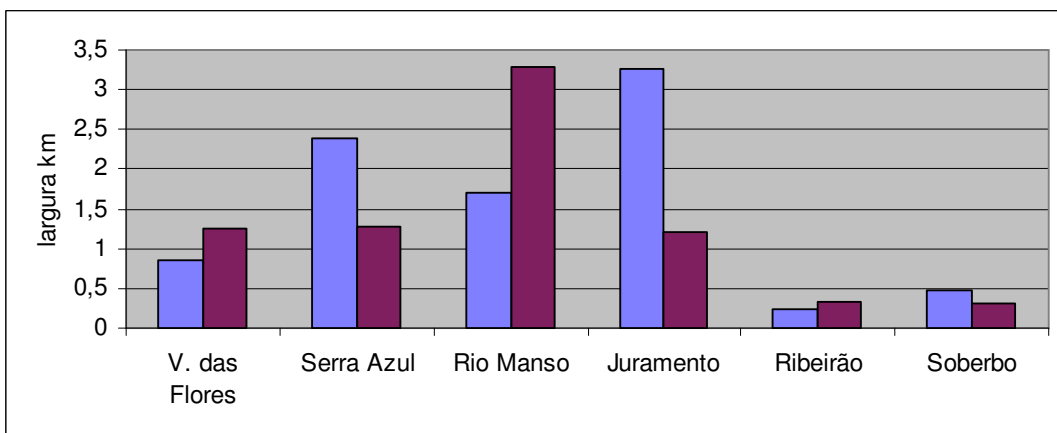


Figura 4.3.f – Larguras máximas e médias dos reservatórios ao nível da ogiva dos vertedouros.

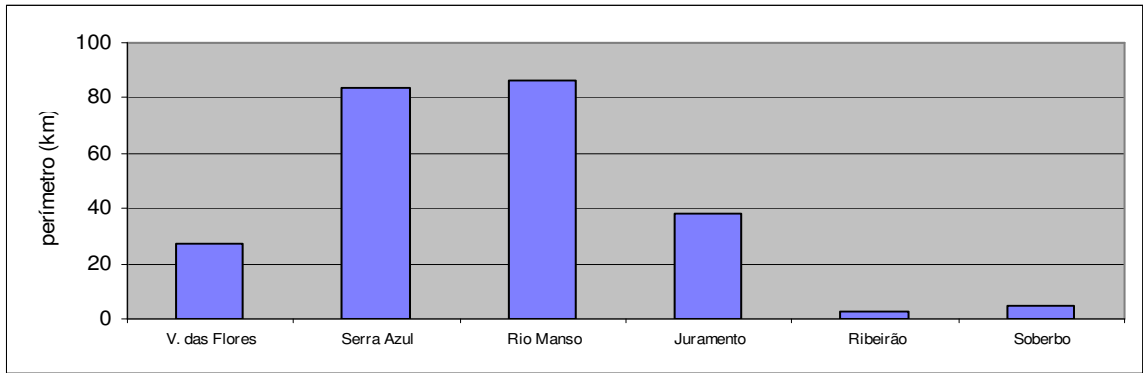


Figura 4.3.g – Perímetros dos reservatórios ao nível da ogiva dos vertedouros.

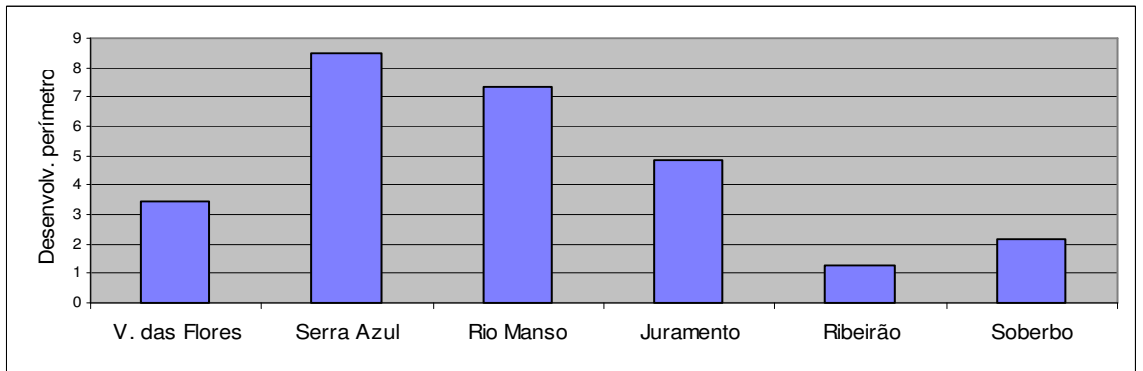


Figura 4.3.h – Desenvolvimento dos perímetros dos reservatórios ao nível da ogiva dos vertedouros.

4.2 Localização espacial dos pontos amostrais em cada reservatório

Nos reservatórios de acumulação, as maiores profundidades são encontradas, via de regra, próximas aos maciços que formam os barramentos. Nos estudos limnológicos realizados optou-se por trabalhar com os perfis verticais localizados nas estações denominadas E1 ou principais.

Tal opção é alicerçada sobre os seguintes pressupostos: é a região lacustrina que apresenta as características de todas as profundidades estudadas no reservatório, a proximidade da estrutura do barramento facilita o acesso à bóia flutuante, que demarca as estações e é uma região próxima das torres de tomada mas, suficientemente distante para não sofrer a influência direta da área de captação e dos fluxos criados no processo de captação. A Figura 4.4 a seguir, indica o ponto amostral.

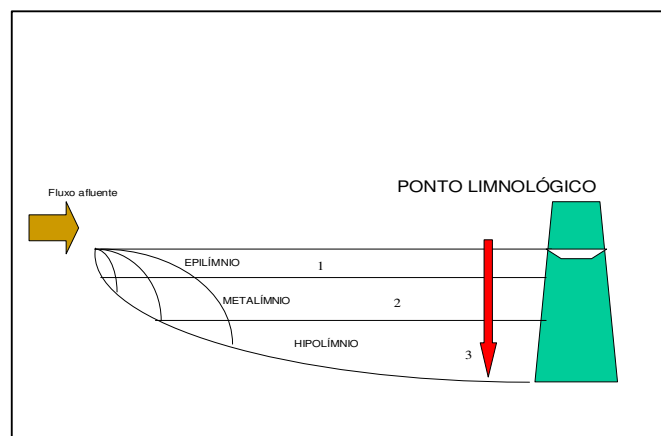


Figura 4.4 – Indicação do ponto amostral, E1, ponto limnológico.

4.3 Estruturas de captação de água dos reservatórios em estudo.

Tendo sido projetados dentro de conceitos utilizados para as barragens de produção hidrelétrica, todas as barragens dos reservatórios objetos deste estudo, foram construídas com seus maciços de terra com núcleo de argila e com vertedouros de concreto ou escavados em rocha. Possuem torre de tomada com comportas localizadas em diferentes profundidades permitindo a retirada da água de forma seletiva em função da qualidade (Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento). Em alguns casos esta estrutura foi substituída por um cachimbo de tomada, submerso e com abertura de admissão voltada para a superfície com grade protetora sem a opção de tomada em outras profundidades (Ribeirão e Soberbo). A figura 4.5 ilustra a estrutura básica de captação utilizada nos reservatórios em estudo.

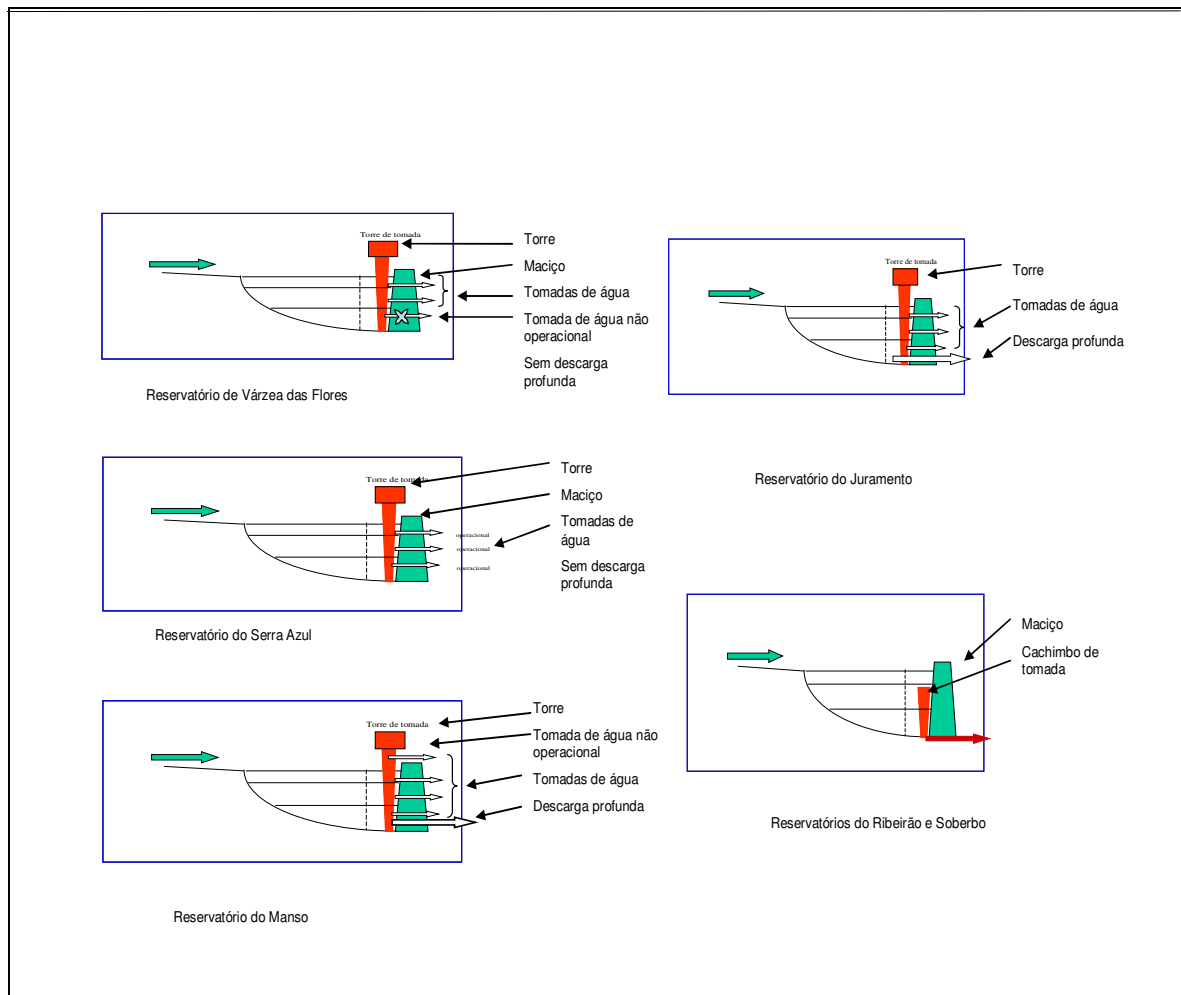


Figura 4.5 - Estrutura básica de captação utilizada em cada reservatório estudado.

- No reservatório de Vargem das Flores a captação de água é feita por meio de uma torre de tomada de água em concreto armado. A torre possui três comportas de admissão, sendo que a mais profunda não está funcionalmente operável e a do meio apresenta dificuldades operacionais para sua utilização, sendo utilizada, portanto a comporta de tomada mais superficial. Não possui descarga de fundo e não possui válvula de fluxo residual ou de manutenção da vazão ecológica. O vertedouro é em vão livre, sem comportas e localizado na ombreira esquerda do maciço. O volume captado varia entre $0,8 \text{ m}^3$ a $1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- O reservatório do Serra Azul possui torre de tomada de água em concreto armado, de formato hexagonal com três comportas localizadas a diferentes profundidades. Todas as comportas de admissão de água estão operacionais, não possui descarga profunda, mas possui válvula de fluxo residual ou de manutenção da vazão ecológica. O vertedouro é em vão livre, sem comportas, localizado na ombreira direita do maciço. O volume captado máximo é de $2,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. São liberados ainda, a jusante, $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para manter a vazão ecológica do rio.
- O reservatório do Rio Manso possui torre de tomada em concreto armado, de formato hexagonal, com quatro comportas de admissão, localizadas a diferentes profundidades. Três comportas são operacionais, sendo que a quarta tomada foi projetada e construída para a segunda fase do reservatório, estando acima do atual nível hidráulico operacional de utilização. Possui descarga profunda protegida por estrutura de concreto armado de aproximadamente 4 metros de altura. A descarga é controlada por um sistema de válvulas de segurança, terminando em duas válvulas dispersoras de fluxo.
Não possui válvula de fluxo residual ou de manutenção da vazão ecológica, vertedouro é em vão livre, sem comportas, localizado na ombreira direita do maciço. O volume captado é de, no máximo, $4,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. São liberados ainda, a jusante, $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ como forma de manter a vazão mínima do rio.
- O reservatório do Juramento possui torre de tomada em concreto armado, de formato hexagonal, com três comportas de admissão, localizadas a diferentes profundidades. Possui descarga profunda, a qual opera abaixo de sua capacidade nominal, localizada

em cota inferior à da base da tomada de água mais profunda, no antigo canal de desvio do barramento. A tomada da descarga profunda é protegida por um canal de concreto e lacrada a montante por um *stoplog* (selo de concreto armado móvel). A descarga é controlada por meio de um sistema de válvulas de segurança, terminando em uma válvula dispersora de fluxo. Possui ainda válvula de fluxo residual ou de manutenção da vazão ecológica e vertedouro em vão livre, sem comportas, localizado na ombreira direita do maciço. O volume máximo captado é de $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. São liberados ainda, a jusante, $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ como forma de manter a vazão mínima do rio.

- O reservatório do Ribeirão possui cachimbo de tomada submerso, construído em concreto armado, possuindo apenas uma abertura de topo. A descarga é controlada por duas válvulas de segurança terminada em saída livre do tubo. O vertedouro é em vão livre sem comportas e não possui válvula de fluxo residual ou vazão ecológica. O vertedouro é escavado em rocha na ombreira esquerda do maciço. O volume máximo captado é de $0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- O reservatório do Soberbo possui torre de tomada submersa, construída em concreto armado, apresentando apenas uma abertura de topo. A descarga é controlada por duas válvulas de segurança, terminada em saída livre do tubo. O vertedouro é em vão livre sem comportas, não possuindo válvula de fluxo residual ou de manutenção da vazão ecológica, sendo o vertedouro de concreto armado na ombreira direita do maciço. O volume máximo captado é de $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

4.4 Plano de Amostragem dos reservatórios em estudo.

As formas de amostragem em reservatórios têm sofrido poucas modificações nos últimos trinta anos. No entanto, se a metodologia amostral é consagrada, os períodos e intervalos entre amostragens dependem do tipo de estudo que se pretende executar.

As empresas detentoras da posse, guarda ou mesmo responsáveis por unidades de reservação de água, em qualquer de suas utilizações, têm o foco de seus monitoramentos em estudos de curto prazo. De uma forma geral, estes são realizados por terceiros, para a solução de problemas específicos ou para o cumprimento de solicitações de cunho legal. A justificativa para tal forma de agir é uma questão de foco institucional e de negócio.

Para os reservatórios de abastecimento de água para potabilização e consumo humano, o problema do monitoramento sistemático e no longo prazo não foge da mesma problemática, já que os custos e as outras exigências legais, relacionadas à água distribuída, se sobrepõem às atividades de cunho investigatório, importantes na aquisição de dados sobre a fisiologia do corpo hídrico e na manutenção da qualidade das águas, dos volumes e na ampliação da vida útil destes reservatórios. A tabela 4.3 informa os planos amostrais mínimos previstos para cada reservatório, como forma de se manter um estado de controle sobre cada unidade e em atendimento a solicitações dos órgãos ambientais e às portarias regulamentadoras para águas de abastecimento qual seja a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde e a resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 4.3 – Planos amostrais básicos dos reservatórios estudados

| Reservatório | Estações amostrais | Freqüência amostral |
|-------------------|--------------------|--|
| Vargem das Flores | 5 | Estação principal – mensal Estações secundárias - trimestral |
| Serra Azul | 4 | Estação principal –bimestral Estações secundárias - trimestral |
| Juramento | 4 | Estação principal – mensal Estações secundárias - trimestral |
| Rio Manso | 4 | Estação principal – bimestral Estações secundárias - trimestral |
| Ribeirão | 2 | Estação principal – semestral Estações secundárias - semestral |
| Soberbo | 2 | Estação principal – semestral Estações secundárias - semestral |

As amostragens em cada um dos reservatórios foram realizadas dentro de cronogramas montados anualmente e que eventualmente podem ter sofrido modificações de frequência e de parâmetros nos pontos amostrais. Isto ocorreu por se levar em conta as características de cada unidade e suas vulnerabilidades às questões antrópicas bem como ao comportamento dos parâmetros amostrados e analisados durante o correr dos anos.

O reservatório de Vargem das Flores teve amostragens mensais na estação principal ou ponto limnológico, ao passo que os reservatórios do Serra Azul e Rio Manso tiveram amostragens bimestrais neste ponto específico.

O reservatório do Juramento teve amostragens completas mensais, mas as medições de temperatura no perfil foram, via de regra, quinzenais na estação principal.

Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo foram, a princípio, amostrados trimestralmente e pelas dificuldades das distâncias e acessos, hoje a frequência é semestral.

De uma forma geral, a amostragem periódica em cada reservatório foi iniciada a partir do seu enchimento. No entanto, foram extraviados dados de alguns períodos, como o início da série histórica de Vargem das Flores, onde os dados anteriores a 1982 não foram encontrados.

No presente trabalho foram recuperadas séries históricas de dados e obtidas por amostragem outras séries de alguns parâmetros relacionados às características físicas, químicas e biológicas das águas destes biótopos.

4.5 *Parâmetros selecionados e metodologia de amostragem e de análise.*

Os parâmetros físico-químicos e biológicos bem como seus métodos analíticos elencados na tabela 4.4 a seguir.

Tabela 4.4 – Relação de parâmetros físicos, químicos e biológicos utilizados no monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios estudados e seus métodos analíticos.

| Análise | Método | Referência |
|--|--|-------------------------------------|
| Temperatura da água/ar | Termistor/ garrafa coletora - termômetro (°C) Hg/Etanol | APHA 2550B |
| pH | Eletrométrico | APHA 4500H*B |
| Cor aparente | Colorimétrico Pt-Co | APHA 2120 B |
| Turbidez | Nefelométrico | APHA 2130 B |
| Fe/ Mn | Absorção atômica | APHA 3500 B |
| Anal.Qual. Fitoplâncton | Conc. filtração malha 25 µm, análise microscópica, em 12 horas | APHA 10.200F |
| Anal.Quant.fitoplâncton | Fixação com lugol Contagem câmaras S-Rafter | APHA 1998, Jardim et al. 2002, APHA |
| Clorofila <i>a</i> e Feofitina <i>a</i> Transparência | Espectrofotométrico/ acetona 90% Disco padrão(Secchi) | APHA 2005 Wetzel 1981 |

As análises físicas e químicas cujos resultados fazem parte das séries históricas recuperadas ou/e novas séries de dados obtidas seguiram as recomendações do Standard Methods (APHA/WEF/AWWA) em suas várias edições a partir da década de 1970, haja vista as sucessivas edições e o início dos trabalhos laboratoriais.

As coletas foram realizadas, em alguns casos, diretamente no lago ou com a utilização de garrafa coletora de profundidade tipo Kemmerer ou Van Dorn. As amostras foram acondicionadas em vidraria própria e refrigeradas até os procedimentos analíticos no laboratório, quando era o caso, ou analisadas em campo.

Os parâmetros químicos analisados foram principalmente ferro e manganês, tal se deu pela abundância de resultados existentes, os efeitos da concentração destes compostos sobre os processos de tratamento e a ação destes elementos sobre as concentrações de fosfato.

O ferro no ambiente aquático com pH neutro ou próximo a isto e em presença de oxigênio dissolvido age como agente de adsorção física e química do fosfato solúvel causando também a deposição por precipitação do composto formado, o que indisponibiliza o fosfato para o uso metabólico das populações algais. Assim sendo a presença do ferro indiretamente age como fator limitante ao metabolismo na produção primária, Baumgartem e Pozza (2001).

As medições da transparência foram realizadas dentro do período diurno, entre 09h00min e 16h00min h, conforme recomendação metodológica utilizando-se “disco de Secchi” padrão.

As análises hidrobiológicas foram realizadas de acordo com APHA 10200F e revalidadas de acordo com a ISO 17025. As contagens de cianobactérias em células mL^{-1} seguiram o método proposto por Jardim *et al.* (2002). As amostras foram coletadas na profundidade de leitura do disco de Secchi, utilizando-se garrafa coletora, e fixadas com solução de Lugol, para as análises quantitativas. Nas amostragens qualitativas foram utilizadas redes de arraste de malha 25 μm . O material coletado não sofreu qualquer processo de fixação mas, foi utilizada refrigeração até o momento da concentração e análise microscópica.

A localização geográfica de cada um dos reservatórios sob estudo é consequência das principais influências das características pedológicas e geológicas dos embasamentos em que cada unidade está assentada. As variações das concentrações dos principais parâmetros físico-químicos foram vistas de forma integrada e um valor médio foi obtido no ponto amostral para cada amostragem.

A sequência de amostragens e as respectivas datas de cada uma destas atividades nos reservatórios estudados foram ordenadas e colocadas em uma mesma planilha de forma a permitir uma visualização destas. A tabela 4.5 mostra as datas de amostragem e o número de ordem de cada uma delas ANEXO 1.

Estas séries temporais são apresentadas na forma de estatística descritiva na tabela 5.1, a qual resgata os valores da estatística básica obtidos a partir dos resultados analisados, o que possibilita uma análise preliminar destes. Esta estatística descritiva permite a inferência de possíveis relações existentes entre as variáveis (VON SPERLING et al. 1996).

O número de dados analisados para cada parâmetro foi variável para cada reservatório haja vista o tipo de trabalho, o qual resgatou séries históricas e coletou outros.

Os reservatórios possuem séries históricas de amostragem diferentes tanto nos aspectos qualitativos e temporais. A maioria das amostragens seguiu um padrão mensal, havendo, no entanto lacunas nas séries temporais de diversos parâmetros. Para os cálculos de calor e nas medições de temperatura, ocorreram casos de amostragens quinzenais bem como campanhas nictemerais (24 horas) de frequência variada e datas diferentes, o que dificultou o pareamento dos dados obtidos.

As temperaturas do ar e da água foram medidas com termômetros analógicos de mercúrio (Hg) ou de modelos digitais, aferidos conforme normas ISO e do controle de qualidade dos laboratórios da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, ou eventualmente, nas amostragens das águas com termômetros analógicos ou digitais, também calibrados. A medição das temperaturas das águas em profundidade, quando mensuradas com termômetros comuns, foram feitas nas amostras contidas dentro das garrafas coletoras.

Medições nictemerais (24 horas) das temperaturas dos diversos estratos verticais foram realizadas nos reservatórios em estudo, uma única vez em cada reservatório e no período das secas, com termistor digital a cada metro de profundidade. Os diagramas de profundidade-tempo foram produzidos com software *Surfer* pela equipe do laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios do Depto. de Biologia Geral - ICB-UFMG.

As temperaturas médias dos reservatórios nas datas das amostragens foram calculadas pelo somatório das temperaturas médias relativas de cada estrato e estimadas a partir da média aritmética das temperaturas existentes entre dois estratos ou camadas verticais sucessivas e o volume relativo de cada camada.

O conteúdo de calor foi calculado a partir do volume de cada camada ou estrato vertical e de sua temperatura média. A razão entre o conteúdo de calor de todas as camadas e a área superficial do lago fornece o conteúdo de calor por unidade de área (cal.cm^{-2} ou joule.cm^{-2}). Assume-se que a capacidade térmica e a densidade da água é sempre unitária, além de que um grama de água tem o volume de 1 cm^3 , conforme a metodologia adotado por Cole (1983) e Henry e Tundisi (1988). De forma geral os autores consultados não utilizam a unidade de medidas Joule. A transformação das unidades de caloria para Joules consiste na multiplicação dos valores de caloria por 4,18, assim sendo,

A resistência térmica relativa (RTR) foi calculada através do quociente da diferença de densidade de duas temperaturas de profundidades adjacentes e a diferença da densidade da água entre 4°C e 5°C (WETZEL, 1983), utilizando-se a tabela de densidade da água do Smithsonian Institute (1954),

$$\mathbf{RTR = DDT_1 - T_2 / DD_{4^\circ - 5^\circ\text{C}}} \quad (\text{Eq.4.6})$$

onde T_1 = Temperatura inferior

T_2 = Temperatura superior

$$DD_{4-5^\circ\text{C}} = 0,81 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$$

O Índice de Tropicalidade (IT) foi definido como sendo o calor residual multiplicado pela profundidade média, referenciado por RAMIREZ (2000),

$$\mathbf{IT = Cr . Zmed} \quad (\text{Eq.4.7})$$

Onde Cr = conteúdo mínimo de calor calculado para o período amostral.

$Z \text{ méd}$ = profundidade média calculada a partir do volume dividido pela área superficial do reservatório.

Para as análises de estatísticas descritiva e analítica foi utilizado o software Microsoft Office Excel 2003. Testes estatísticos específicos foram empregados, tais como o Coeficiente de correlação de Spearman, que mede a associação entre duas variáveis baseadas nos postos de

observação, ou seja, no local da amostragem, tendo como hipótese nula a associação entre as variáveis.

A análise estatística considerou as variáveis de cunho biológico juntamente à variável calor, como sendo as de maior importância no contexto deste trabalho. Como forma de se manter um foco de análises, procedeu-se a seleção daquelas variáveis que apresentassem um volume razoável de dados brutos, e estivessem diretamente relacionadas à produtividade primária e cujos dados apresentassem série histórica com o menor número de lacunas.

Foram considerados os anos hidrológicos, como foco de estudo e não o ano civil, desta forma o ano se inicia em outubro e finda em setembro do ano seguinte, a estação das chuvas com início em outubro e fim em março e a estação das secas com início em abril e fim em setembro.

- Foram analisadas as diferenças entre as médias e medianas das dez variáveis quantitativas consideradas de acordo com cada reservatório, quais sejam:

- Calor em kcal.cm^{-2} ;
- Secchi - Transparência do disco de Secchi – em metros;
- Quantitativo das comunidades de fitoplâncton – org./mL;
- Taxa – número de taxa observados em valores absolutos;
- Cl *a* - concentrações de Clorofila *a* obtidas pelo método de Golterman.
- Fe *a* - concentrações de Feofitina *a* obtidas pelo método de Golterman;
- Cl *a*/Fe *a* – relação das concentrações de Clorofila *a* e Feofitina *a*.
- Cl *a* 1 – concentrações de Clorofila *a* obtidas pelo método de Strickland & Parson;
- Cl *b* - concentrações de Clorofila *b* obtidas pelo método de Strickland & Parson;
- Cl *c* - concentrações de Clorofila *c* obtidas pelo método de Strickland & Parson;

Foram estudadas as diferenças entre as médias das dez variáveis dentro de cada reservatório, de acordo com as estações chuvosa ou seca, o comportamento das dez variáveis dentro de cada reservatório anualmente e foram avaliadas as relações da variável calor com as variáveis de cada reservatório.

O teste de Anderson-Darling foi usado para avaliar se o comportamento dos grupos de dados seguia distribuição normal, sendo que a hipótese testada é a de que os dados apresentam uma distribuição normal. O não cumprimento da hipótese de distribuição normal definiu o uso ou não de testes paramétricos ou não-paramétricos nas análises realizadas.

Para avaliar a igualdade entre as médias de três grupos ou mais de variáveis, onde a hipótese a ser testada é a de que as médias das observações de todos os grupos para uma determinada variável são iguais, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis. Na avaliação da igualdade de médias de dois grupos foi usado o teste de Mann-Whitney no qual a hipótese testada é a de que as médias das observações dos dois grupos para uma determinada variável são iguais.

Para as variáveis que apresentaram normalidade na distribuição foi utilizado o teste t que avalia a igualdade entre médias de dois grupos, sendo que a hipótese testada é a de que as médias das observações dos dois grupos para uma determinada variável são iguais. Na escolha da configuração do teste t foi utilizado o teste Levene, onde a hipótese testada é a de que as variâncias das observações de dois grupos para uma determinada variável são iguais.

A partir dos trabalhos de batimetria HDC (2000, 2001, 2001a, 2001b, 2004, 2005) e das antigas restituições aerofotogramétricas, foram obtidos os dados morfométricos primários e a partir destes dados foram calculados os parâmetros morfométricos secundários. Os dados obtidos para os parâmetros morfométricos estão citados na tabela 4.2.

A relação entre as concentrações de Clorofila *a* e Feofitina *a*, indicam o estado fisiológico das comunidades fito planctônicas no que se refere à produtividade primária e à decomposição do pigmento clorofila *a* em Feofitina *a*.

Populações fito planctônicas em estado de senescência tendem a apresentar maiores concentrações de Feo-pigmentos em detrimento às concentrações de Clorofila *a* haja vista as condições de degradação das populações e a conseqüente modificação das concentração do pH que força a molécula de clorofila a perder a molécula de magnésio do núcleo substituindo-a por dois átomos de hidrogênio, Soares (2006). Desta forma sendo numericamente alta a relação, isto indica que a população está em desenvolvimento quantitativo. Em contra partida os valores baixos para a relação vêm indicar a senescência numérica das populações fito planctônicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - *Morfometria*

Os reservatórios em estudo foram avaliados nos seus aspectos morfométricos, o que permitiu uma análise mais apurada das variações quantitativas dos diversos parâmetros estudados.

De acordo com a classificação da ICOLD (Comitê Internacional de Grandes Barragens), classificação esta adotada pelo Comitê Brasileiro de Barragens, as barragens de Vargem das Flores, Serra Azul, Juramento e Rio Manso foram enquadradas como empreendimentos de **grande porte**. Tal enquadramento se deu em função da altura e comprimento dos seus maciços e dos volumes totais de água reservados. Outro aspecto de enquadramento se refere aos potenciais riscos no caso de rompimento da estrutura em termos de prejuízos materiais e perdas de vidas humanas, tendo sido os quatro reservatórios enquadrados como de **alto risco** (POTAMOS, 2003). As barragens do Ribeirão e Soberbo são classificadas como de **médio porte e alto risco** (POTAMOS, 2003).

Nos demais aspectos morfométricos, relativos aos volumes, o reservatório do Rio Manso é o que apresenta maior volume, fato este que amplia em muito a dimensão de qualquer eventualidade e qualquer anomalia em termos operacionais e ambientais. Sua área alagada também é consideravelmente maior do que a de todos os outros reservatórios estudados.

Assim sendo considerou-se quatro grandes reservatórios (Serra Azul, Rio Manso, Vargem das Flores e Juramento), com idades superiores a 20 anos desde de suas construções e dois reservatórios (Ribeirão e Soberbo), de médio porte e com menos de 20 anos de idade.

Todos os reservatórios possuem profundidades máximas superiores a 20 metros, e as profundidades médias entre 5 metros (Soberbo). e 11 metros (Serra Azul e Manso).

Os valores de Profundidade Média variaram entre 11,0 m (reservatórios do Serra Azul e do Manso) e 5,0 metros (reservatório do Soberbo). Os menores valores deste parâmetro informam que nesses biótopos há maior aporte e distribuição de energia e melhor distribuição e uso dos nutrientes o que os torna mais susceptíveis às variações das taxas de produtividade primária Von Sperling (1999).

A Profundidade Relativa, conceituada por Von Sperling (1999), como sendo aquela profundidade que corresponde ao quociente entre a profundidade máxima do lago e seu diâmetro médio, foi calculada para todos os reservatórios em estudo, sendo que os maiores valores corresponderam aos reservatórios Ribeirão e Soberbo (3,74 e 3,47% respectivamente) e o menor valor Vargem das Flores (0,84%). A partir desses dados é possível afirmar que três reservatórios têm suas profundidades relativas muito próximas das profundidades relativas citadas para a maior parte dos lagos do mundo, ou seja, abaixo de 2% (DANTAS, 2000). Este tipo de medida é importante nos processos descritivos da estabilidade dos reservatórios e na sua estratificação, os quais acabam por definir os processos de circulação dos nutrientes na coluna d'água.

As larguras médias dos reservatórios situam-se entre 3,28 km no reservatório do Rio Manso e 0,30 km no reservatório do Soberbo.

O reservatório de Vargem das Flores é o único que apresenta valor de D_v de aproximadamente "1", ou seja, tem a bacia hidráulica na qual está assentado, com o formato semelhante a letra U. Todos os demais, por apresentarem valores de D_v menores que 1 ou seja as bacias onde os reservatórios foram construídos, tem o formato semelhante à letra V. Assim sendo, no primeiro caso o reservatório pode ser considerado como possuindo a forma de seu fundo côncava e os outros reservatórios, como tendo a forma convexa. Ressalta-se que os reservatórios com o formato em U, (D_v maior que 1) respondem mais facilmente à ação de ventos de mesmo poder energético e podem ter modificados seus estados de estratificação, pela ação, de ventos de menores potenciais energéticos, Von Sperling (1999).

Desta forma os reservatórios estudados respondem negativamente à ação dos ventos à exceção do reservatório de Vargem das Flores.

Foram obtidos valores do Desenvolvimento dos Perímetro (DP) que indicam a irregularidade das margens, ou seja acima de 2,6. Os reservatórios maiores estão mais sujeitos ao desenvolvimento de compartimentos biologicamente e quimicamente separados em seus braços secundários (VON SPERLING *et al.*, 1999), exceto os reservatórios do Ribeirão e do Soberbo, cujas morfometrias e as demais características impedem a criação dessas compartimentalizações.

5.2 – Parâmetros analisados

5.2.1 Análises qualitativas da comunidade fitoplanctônica

As análises qualitativas do fitoplâncton foram iniciadas no reservatório de Vargem das Flores em 1981, mas a quantificação tecnicamente utilizável para os cálculos e análises destes organismos teve início a partir de 1984 da série histórica da COPASA.

Foram analisadas 133 amostras para a estação principal durante o período de 1984 a 2005. Houve variações nos intervalos de amostragem, sendo que em alguns anos a frequência foi mensal, em outros bimestral e não foram realizadas nos anos de 1995, 1996, 1997.

O reservatório do Serra Azul teve iniciado seu monitoramento fitoplanctônico em 1983. Foram coletadas 135 amostras entre os anos de 1984 e 2005. De uma forma geral, foram executadas amostragens mensais para estas análises exceto nos anos de 1995 e 1996. O total de amostras usadas no presente trabalho foi de 135, Tabela 5.0.

O fitoplâncton do reservatório do Rio Manso teve seu monitoramento iniciado a partir do seu enchimento em 1989. Entre 1990 e 1993 as amostragens foram semanais. Em 1994 foram feitas apenas 2 amostragens. Entre 1995 e 1996, não houve amostragens para análises fitoplanctônicas e no período de 1997 a 2005 as amostragens foram realizadas com frequências variadas de até, no máximo, cinco vezes ao ano. O total de amostras analisadas usadas no presente trabalho foi de 97, Tabela 5.0.

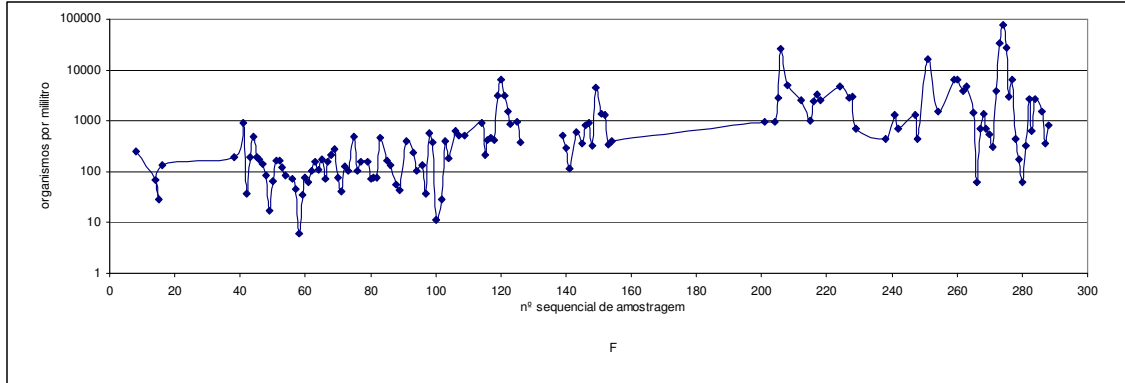
O reservatório do Juramento teve seu monitoramento iniciado em 1983, mas os resultados disponíveis são de 1985 e 1986 com frequências mensais, com as frequências mensais. Faltam dados dos anos de 1987, 1988, 1989, 1997. Outros dados usados correspondem ao período de 1998 a 2005. O total de amostras usadas no presente trabalho foi de 93, Tabela 5.0.

Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo foram amostrados a partir do seu enchimento em 1999, inicialmente a cada quatro meses e depois a cada seis meses, dadas as dificuldades de acesso e das distâncias. O total de amostras usadas no presente trabalho foi de 15, Tabela 5.0.

Os resultados das análises quantitativas do fitoplâncton mostraram que o grupo dos reservatórios maiores apresentou valores médios de células por mililitro muito similares em

termos absolutos. Esses valores apresentaram desvios padrão altos, e como consequência, amplos coeficientes de variação, com valores entre 137% e 350%.

Nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6. são apresentadas as variações temporais das densidades do fitoplâncton para os seis reservatórios.



FIGURAS - 5.1 - Variação da concentração de organismos fitoplanctônicos por mililitro em 136 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1984 e 2005.

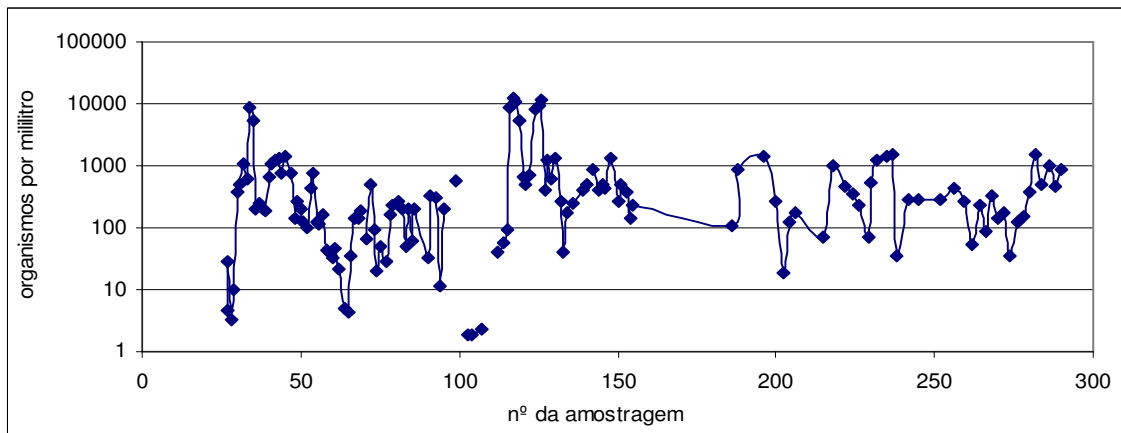


FIGURA - 5.2 - Variação da concentração de organismos fitoplanctônicos por mililitro em 108 amostragens na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005.

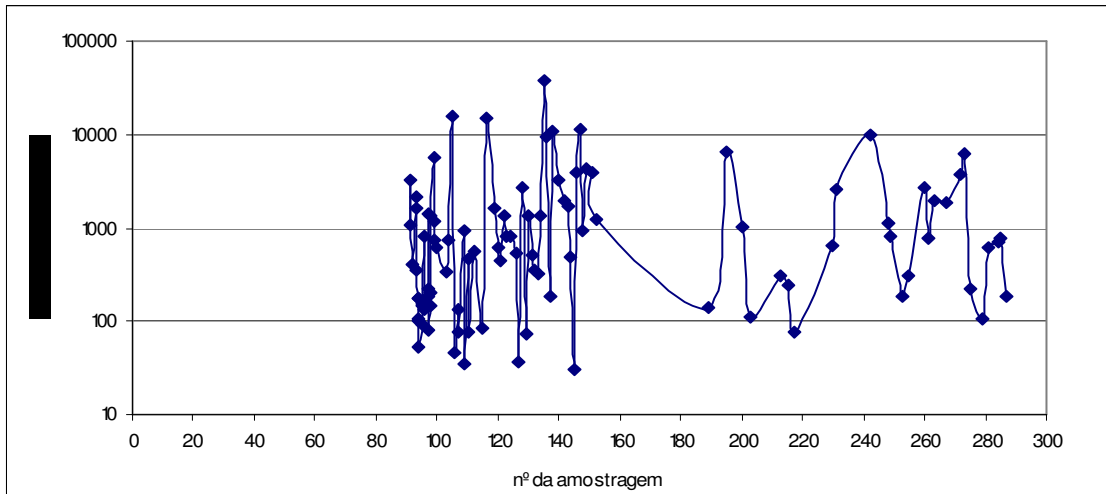


FIGURA - 5.3 - Variação da concentração de organismos fitoplanctônicos por mililitro em 97 amostragens na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.

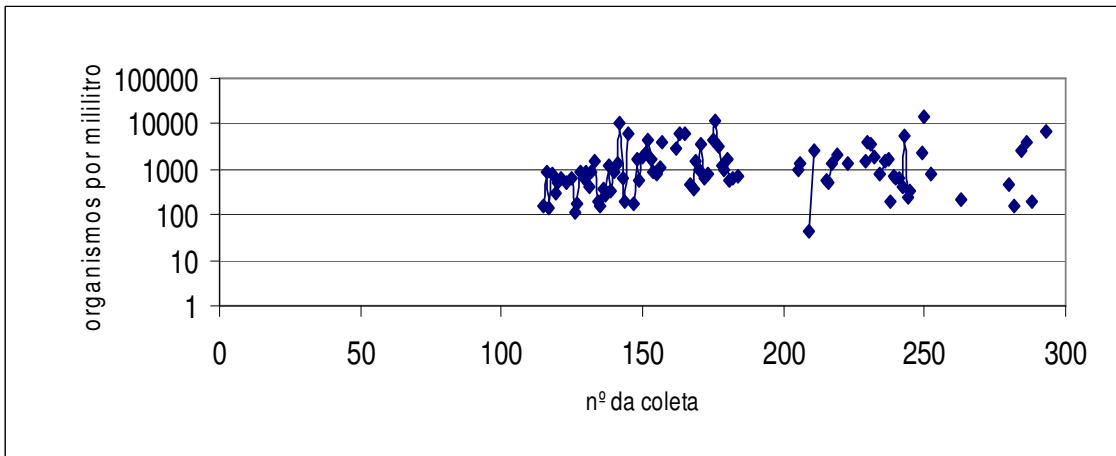


FIGURA - 5.4 - Variação da concentração de organismos fitoplanctônicos por mililitro em 108 amostragens na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.

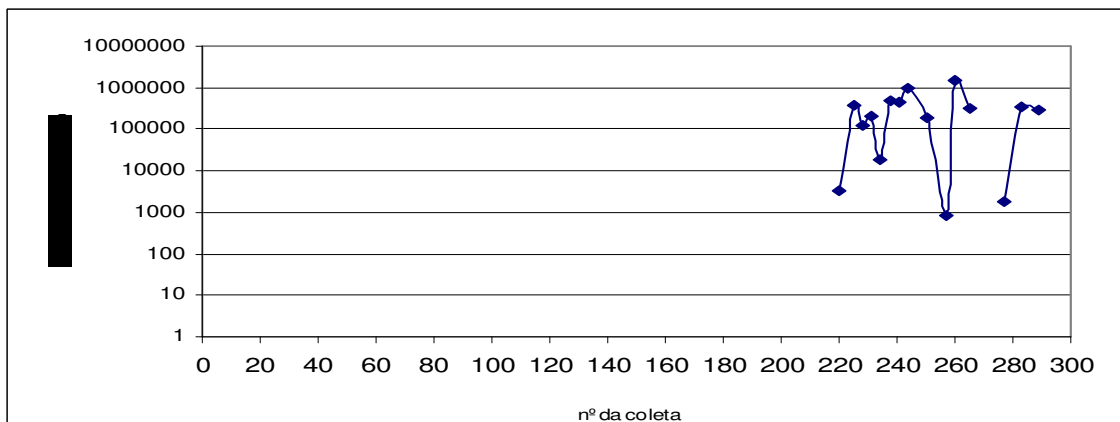


FIGURA - 5.5 - Variação da concentração de organismos fitoplanctônicos por mililitro em 16 amostragens na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.

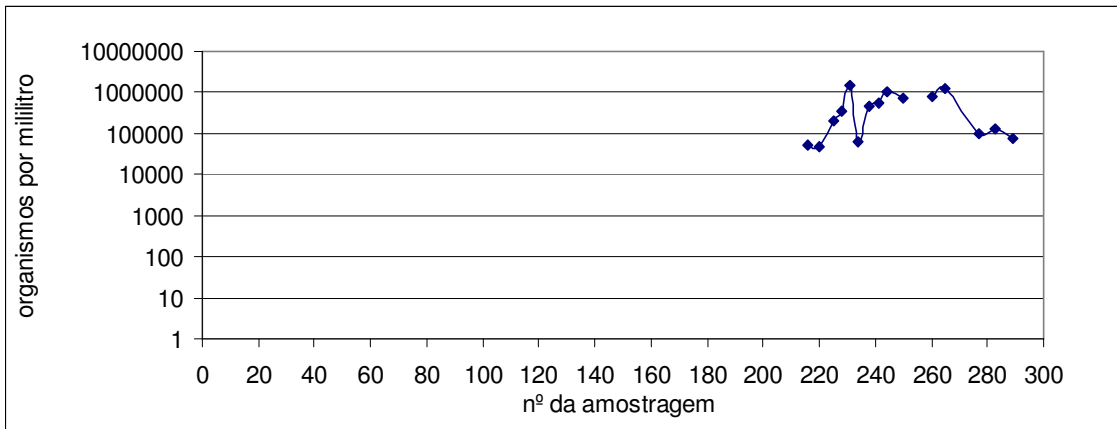


FIGURA - 5.6 - Variação da concentração de organismos fitoplanctônicos por mililitro em 16 amostragens na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.

Quando do enchimento dos reservatórios, a troca do regime lótico pelo regime lêntico, teve como consequência direta e imediata o aumento da turbidez e da cor aparente, bem como a solubilização e dissolução de nutrientes e a dificuldade da entrada de luz em profundidade nas águas represadas, isto se dá primeiramente pela lavagem dos solos revirados pelo maquinário usados nas obras e pelo arraste de material particulado na nova bacia de contenção formada pelo barramento.

Em médio prazo é esperado que estas condições de turbidez e cor sofram mudanças bruscas, havendo diminuição dos valores de ambos os parâmetros. Em todos os reservatórios o tempo de enchimento foi muito curto e de uma forma geral houve pouco arraste de materiais vindo da bacia contribuinte e da área inundada.

Os altos valores do parâmetro Turbidez e os altos valores do parâmetro Cor, obtidos no período inicial do enchimento, foram devidos ao trabalho de limpeza realizado no fundo da bacia, à exceção do reservatório de Vargem das Flores, cujos dados são inexistentes e não houve qualquer procedimento de limpeza da área inundada. Em seguida, com a ocorrência da precipitação e sedimentação das partículas misturadas a água, foi facilitada a entrada de luz e iniciado os processos de produção primária de forma exuberante, como os dados obtidos nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo (figuras 5.5 e 5.6) fato este facilitado pela entrada de luz, pelo calor acumulado e pela abundância de nutrientes solubilizados a partir do solo alagado.

A baixa mobilidade das águas e a presença de nutrientes em solução têm como consequência direta o aumento da produtividade primária com a possibilidade da ocorrência de floração de determinadas espécies de microalgas e de cianobactérias, como foi possível observar e mensurar nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo segundo Viana (2004), Castro(2005). Com o passar do tempo, são estabelecidas condições mais estáveis nos aspectos físico, químicos e biológicos, o que possibilita o aparecimento de comunidades algais mais estruturadas e com uma maior variedade de taxa.

Tais fatos foram observados nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento, já nos reservatórios do Soberbo e Ribeirão tal fato não foi observado, estando ambos em situação de floração continuada de cianobactérias e microalgas desde o seu enchimento.

A análise das figuras 5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6 permitiu observar alguns aspectos das variações nas concentrações de organismos em amostragens sucessivas, mesmo que estas não tenham sido realizadas em curtos espaços de tempo.

A ocorrência de variações muito bruscas nas concentrações de organismos, gerando pontos considerados “outlier”, é motivo de atenção, sendo as amostragens e a distribuição das populações e comunidades algais dinâmicas e de posicionamento muitas vezes aleatório, na coluna d água, e também influenciadas por possíveis variações no horário de amostragem.

Assim sendo a ocorrência de pequenos aumentos nos valores das concentrações algais, pode ser considerado fato comum em reservatórios e mesmo em lagos, haja vista os métodos amostrais e a distribuição aleatória dos organismos na massa líquida. Distribuição esta causada pelos ventos e pela movimentação da massa líquida e pela própria movimentação dos organismos.

No reservatório de Vargem das Flores a ocorrência de um grande pico entre as coletas de número 273 e 275, que ocorreram nos dias 06/10/2004 e 22/11/2004, o que revela um aumento do número de organismo por mililitro, cujas causas podem ser diversas, desde a variação da velocidade dos ventos, até a ocorrência de um evento pós pluma de nutrientes ou mesmo após um evento de inversão térmica.

Possivelmente o aporte de nutrientes oriundos tanto da drenagem superficial como das águas servidas que afluem ao lago podem ser as causas prováveis de tal ocorrência. O aumento significativo das macrófitas aquáticas observadas em 2008 e no ano anterior podem ser a causa da diminuição das concentrações de fitoplâncton observadas por Ludolff (2008 - Comunicação oral).

A ocorrência de valores acima das variações normais para o reservatório de Serra Azul foi notada nas amostras de números 27 e 28, respectivamente nos meses de maio e junho de 1984 e dois outros picos entre as amostras de número 89 e 94; a amostra de número 90 foi coletada em 25/3/1991, a de número 91 em 16/4/1991, após as quais ocorreu diminuição das concentrações do fitoplâncton nas três amostragens seguintes, que foram nos meses de julho, agosto e setembro.

O reservatório do Rio Manso apresentou um pico de elevada concentração do fitoplâncton na amostra 132 em outubro de 1992, não tendo tal fato ocorrido novamente durante o período amostrado.

Para o reservatório do Juramento foi registrado apenas um pico significativo nas concentrações do fitoplâncton, no mês de maio de 2002, sem maiores significados em termos de variação quantitativa.

Para os reservatórios do Ribeirão e do Soberbo, as variações das concentrações algais foram da ordem de 10^6 a 10^4 organismos por mililitro, sendo que as populações eram homogêneas em termos qualitativos, com predominância de *Microcystis sp.* e *Cylindrospermopsis sp.* Tais valores refletem a dissolução dos nutrientes oriundos dos solos alagados no fundo dos reservatórios e pela estagnação das camadas do hipolímnio causada principalmente pelo tipo de captação adotado que só retira as águas superficiais.

Cabe ressaltar que foi observado às primeiras horas da manhã, em ambos os reservatórios, determinados pontos com enormes massas flutuantes de cianobactérias, as quais, aos primeiros raios de sol, desapareciam da superfície. Tais observações possibilitam afirmar que pequenas variações nos horários de coleta podem gerar alterações nos dados obtidos nas análises de fitoplâncton para amostras coletadas na superfície.

As ordens de grandezas das concentrações dos organismos fitoplanctônicos devem ser analisadas diferentemente para cada um dos reservatórios. Enquanto que para Vargem das Flores, Serra Azul e Manso as diferenças foram dentro da mesma ordem de grandeza (10^3 organismos por mililitro), em Juramento a variação foi da ordem de grandeza de 10^3 a 10^4 e nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo as variações foram da ordem de 10^4 a 10^6 .

A partir destes dados pode-se afirmar que os reservatórios se encontram em diferentes estágios de evolução populacional e diferentes níveis tróficos e que os reservatórios de construção mais recente, mas pequenos de área, volume e profundidade e grande tempo de detenção hidráulica (TDH) conseqüentemente estão eutrofizados.

5.2.2 Análises do número de taxa da comunidade fito planctônica

O número de taxa variou em função do tempo. Alguns pesquisadores observaram que, nos lagos naturais do Parque do Rio Doce, houve diminuição da diversidade fito planctônica sem, no entanto, conseguir determinar as causas destes fatos observados (PINTO-COELHO, 2005 – comunicação oral).

Da mesma forma, os números de taxa visualizados nas análises qualitativas sofreram forte oscilação nos períodos amostrados, sem que as condições ambientais que poderiam sugerir as causas destas variações houvessem sido mensuradas.

As populações tendem a buscar e manter um estado de equilíbrio na comunidade fito planctônica, apresentando variações temporais menos acentuadas se os aportes nutricionais forem mantidos estáveis e sem variações acentuadas da qualidade das águas e das condições físicas do ambiente, tais como temperaturas do ar, das águas, conteúdos de calor, retiradas seletivas de água, menor ou maior aporte de nutrientes etc.

Assim tem-se, de uma maneira geral, nos reservatórios, um número reduzido de taxa, o que indica ter havido com o passar dos anos uma diminuição da biodiversidade dos organismos fitoplanctônicos. Como exemplo, pode-se citar o reservatório do Serra Azul, que, no primeiro ano após seu enchimento, apresentava até 40 taxa numa amostragem, tendo hoje diversidade mais modesta de 15 a 20 taxa por amostragem.

A plotagem dos dados, referentes aos grupos taxonômicos observados e mensurados, permitiu a análise do comportamento destas variáveis. Percebeu-se a ocorrência nos reservatórios de Vargem das Flores e Serra Azul de uma figura formada, que sugere uma curva senóide, com tendência a diminuição do número de grupos sistemáticos, conforme as figuras 5.7 e 5.8 respectivamente.

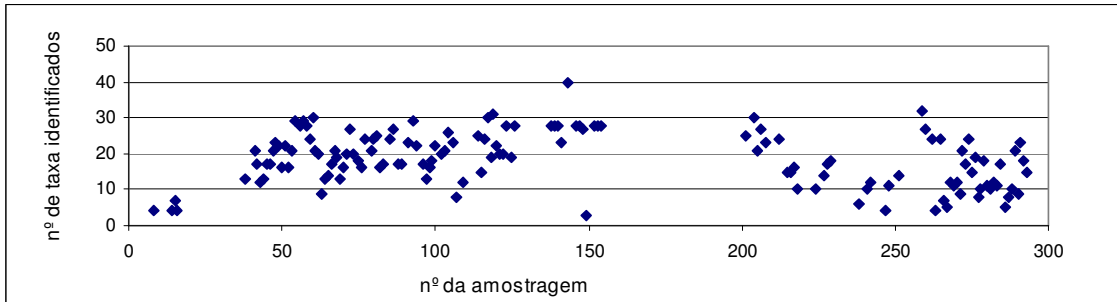


FIGURA - 5.7 - Variação do número de taxa de organismos fitoplanctônicos identificados em 138 amostragens na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1982 e 2005.

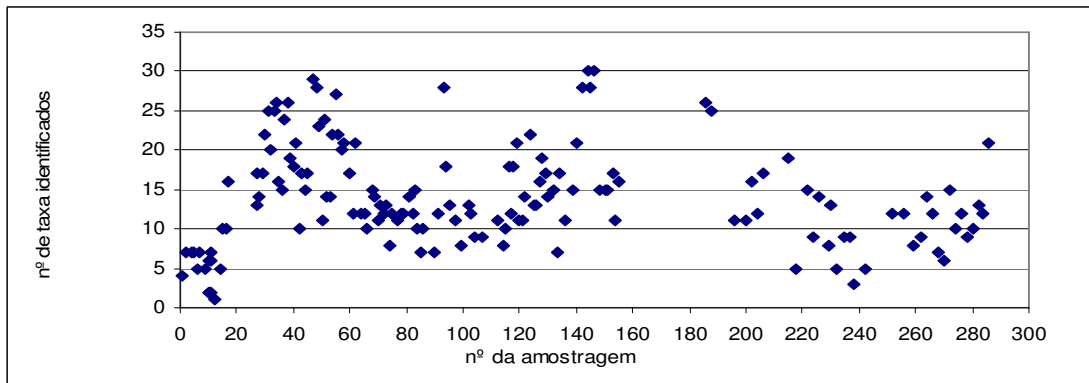


FIGURA - 5.8 - Variação do número de taxa de organismos fitoplanctônicos identificados em 152 amostragens na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005.

O reservatório do Rio Manso apresentou o maior intervalo de variação entre os números de taxas observados e ainda houve uma tendência à diminuição destes valores ao longo do tempo conforme pode ser observado na figura 5.9.

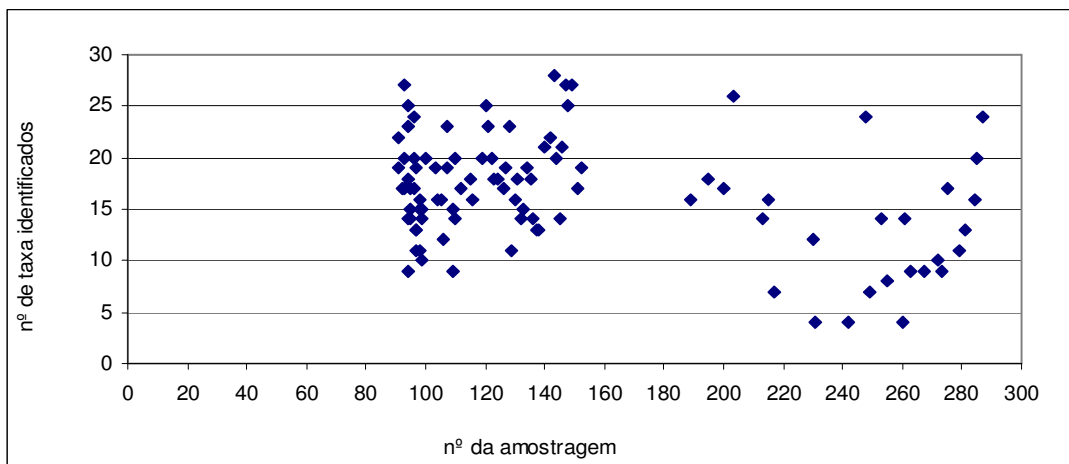


FIGURA - 5.9 - Variação do número de taxa de organismos fitoplanctônicos identificados em 97 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.

O reservatório do Juramento apresentou marcada variação dos números de taxa durante o período analisados podendo ser observado variação negativa nos valores dos grupos sistemáticos. A figura 5.10 demonstra claramente estas variações.

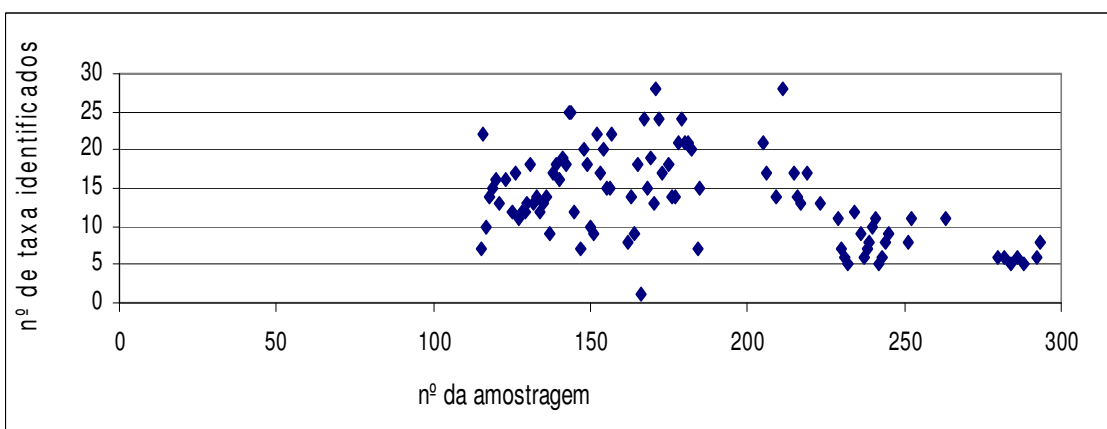


FIGURA - 5.10 - Variação do número de taxa de organismos fitoplanctônicos identificados em 99 amostragens na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.

Os reservatórios do Ribeirão e do Soberbo, apresentaram desde o seu enchimento em 1999, densas populações de Cianobactérias (*Microcystis sp.* e *Cylindrospermopsis sp.*) com apenas três ou quatro taxa, e esta tendência foi mantida até 2002 no reservatório do Ribeirão. A partir dessa data houve aumento no número dos taxa observados. O reservatório do Soberbo também apresentou ampla variação nos números de taxa observados, mas, manteve baixa diversidade, o que pode ser evidenciado através das figuras 5.11, 5.12.

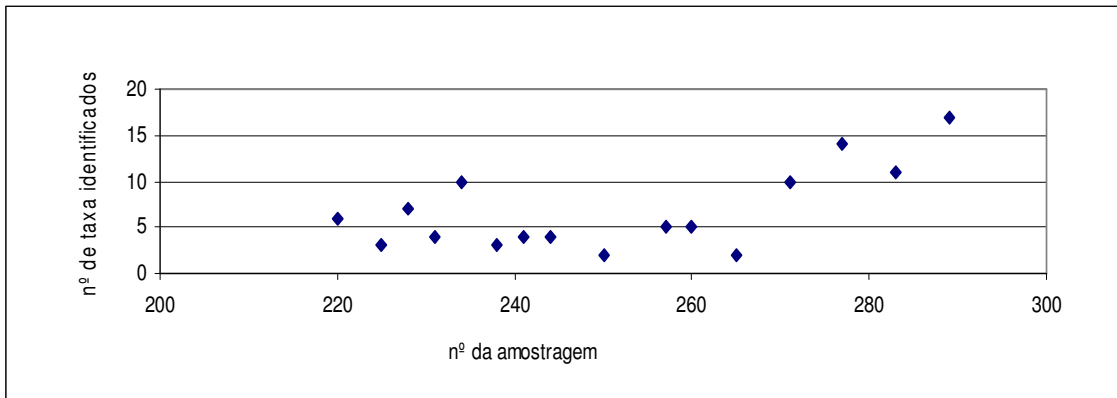


FIGURA - 5.11 - Variação do número de taxa de organismos fitoplanctônicos identificados em 16 amostragens na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.

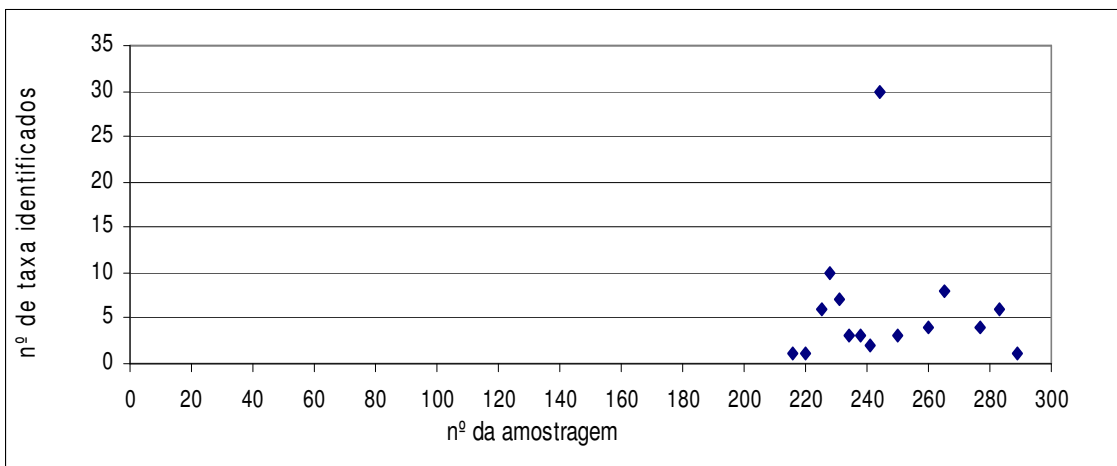


FIGURA - 5.12 - Variação do número de taxa de organismos fitoplanctônicos identificados em 16 amostragens na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1989 e 2005.

Esse possível comportamento do fitoplâncton, ampliação e redução dos números de indivíduos, pode sugerir a alternância de situações ambientais que, juntamente às forçantes ambientais, tenham de alguma forma agido sobre a biodiversidade de cada reservatório.

Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo de construção mais recente não foram devidamente cuidados durante e ao final das obras, sendo que a vegetação de fundo de vale não foi retirada e a construção de enscadeiras foi executada com solo fértil. Tais procedimentos aliados a forma como são retiradas as águas, de forma superficial, mantém as águas profundas e os nutrientes ali armazenados.

Estes reservatórios tem apresentado tendência inversa aos demais reservatórios, com aumento de taxa. Algumas características construtivas podem ser a causa de tal comportamento aliado ao fato de que estes biótopos se encontram em uma fase inicial de estruturação das populações e comunidades as quais tem apresentado densas populações superficiais nas primeiras horas de sol pela manhã.

5.2.3 Análises dos pigmentos fotossintetizantes

5.2.3.1 Análises das concentrações de *Clorofila a*

Os resultados das análises de *Clorofila a* e *Feofitina a* e sua relação de proporção refletem com bastante propriedade o comportamento das comunidades fitoplanctônicas.

Nos reservatórios de construção mais recente (Ribeirão e Soberbo), onde as relações e componentes das comunidades fitoplanctônicas se encontram em acentuado desenvolvimento, foram obtidos valores das concentrações de *Clorofila a* até 20 vezes maiores que nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo, por estarem sobre a influência dos aportes endógenos, ou seja, da contribuição de nutrientes oriundos dos solos inundados para a massa líquida, apresentaram concentrações destes pigmentos que indicam a ocorrência de acentuada eutrofização, como os dados anteriormente analisados também indicaram.

É esperado que, com o envelhecimento ou maturação dos reservatórios, com uma melhor operação e mesmo modificações nas formas de adução (retirada das águas), possa ocorrer diminuição do aporte endógeno dos nutrientes presentes no solo do fundo dos reservatórios.

Os valores de *clorofila a*, nas represas do Ribeirão e Soberbo, se situam em torno de 50 mg/m³, o que é considerado um valor muito alto, sendo observadas as baixas diversidades dos organismos fitoplanctônicos evidenciadas na tabela 5.0. Aliam-se a estas observações as temperaturas médias elevadas para a região, à constante estratificação dos reservatórios do Ribeirão e Soberbo e a manutenção de expressivo volume morto existente em ambos e apresentando anoxia constante. O comportamento temporal dos valores obtidos nas análises

de todos os reservatórios, podem ser melhor observados nas figuras, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18.

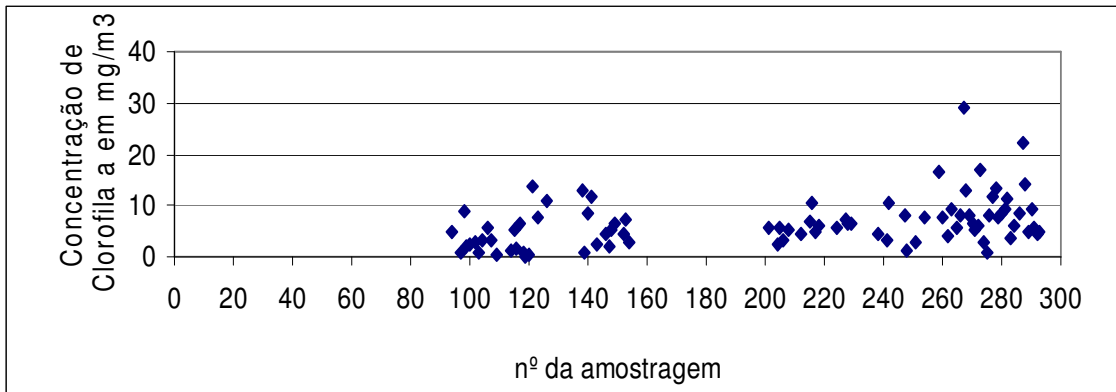


FIGURA - 5.13 - Variação da concentração de Clorofila a em 75 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1989 e 2005.

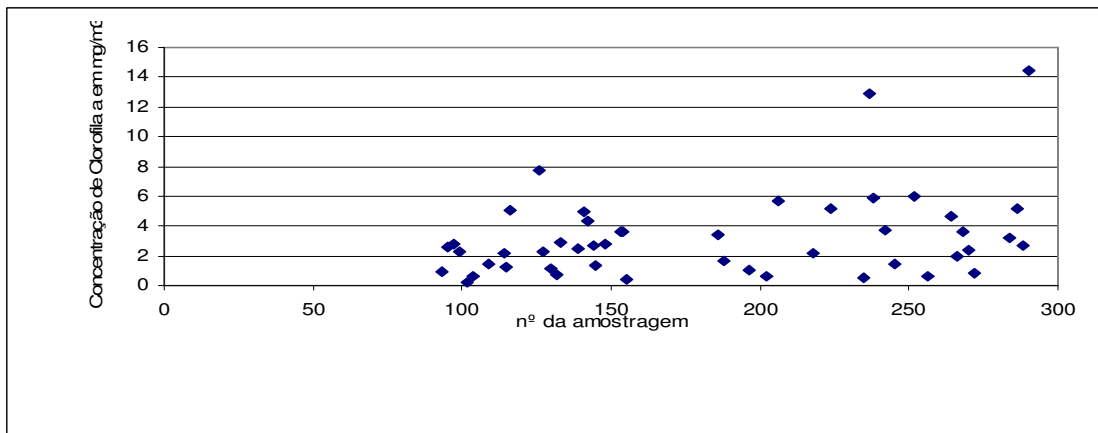


FIGURA - 5.14 - Variação da concentração de Clorofila a em 47 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005.

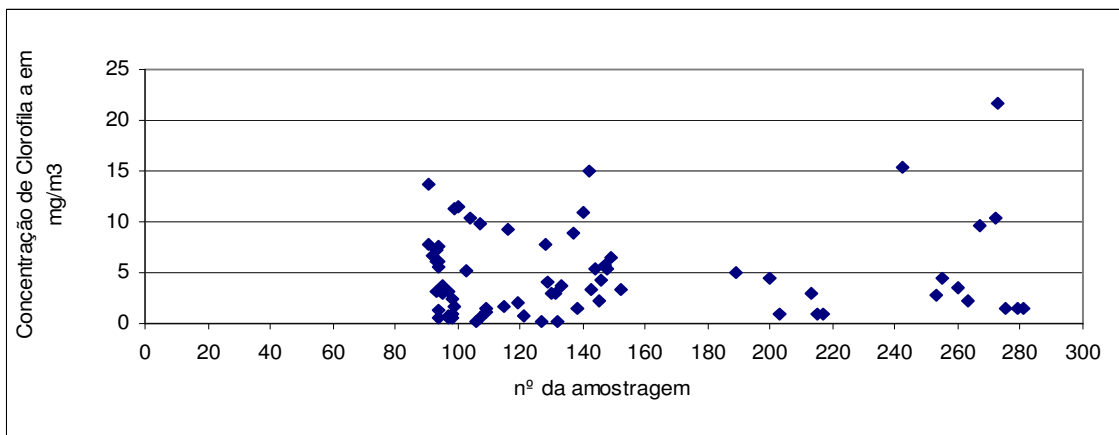


FIGURA - 5.15 - Variação da concentração de Clorofila a em 76 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.

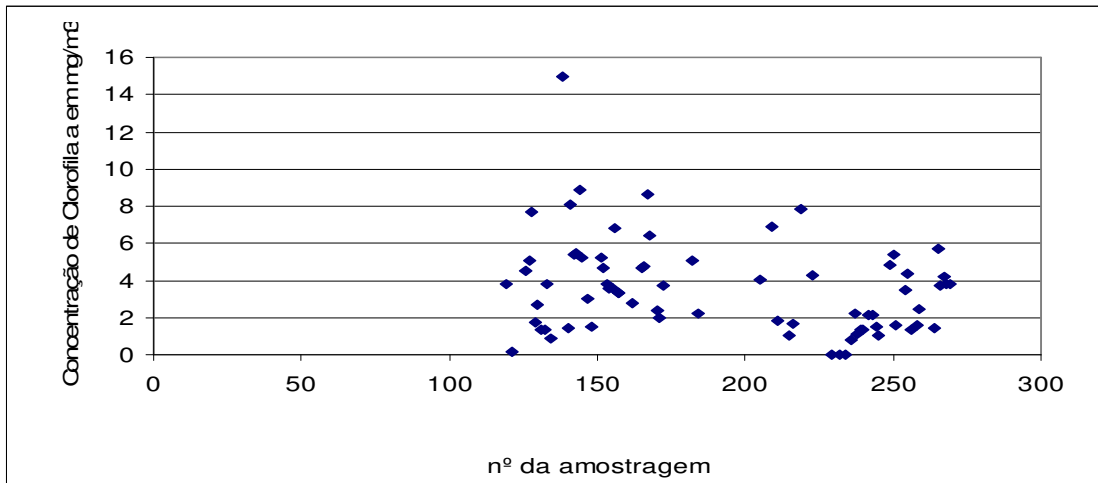


FIGURA - 5.16 - Variação da concentração de Clorofila *a* em 71 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.

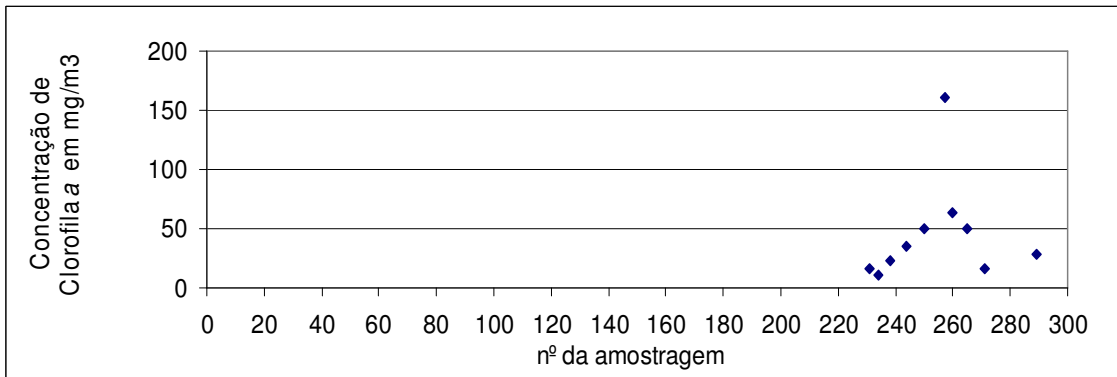


FIGURA - 5.17 - Variação da concentração de Clorofila *a* em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.

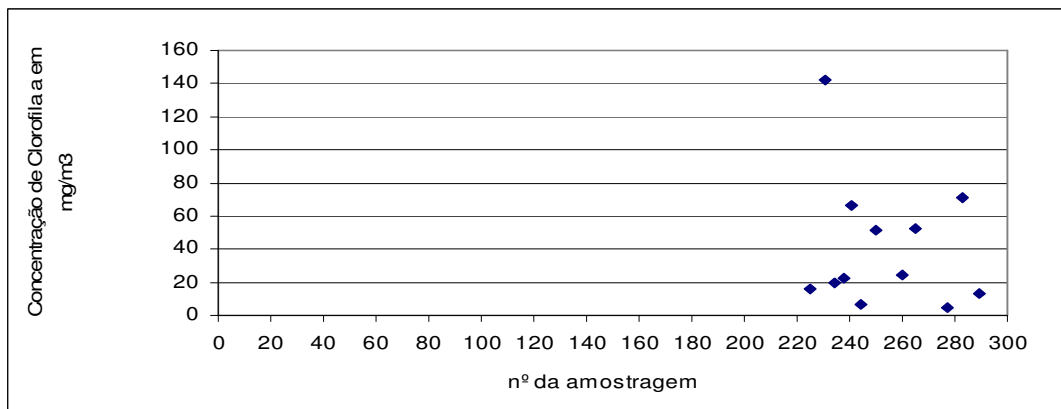


FIGURA - 5.18 - Variação da concentração de Clorofila *a* em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.

5.2.3.2 Análises das concentrações de Feofitina a

O pigmento Feofitina *a*, produto da degradação da Clorofila *a*, apresentou valores relativamente baixos, sugerindo que os processos de produtividade primária se encontravam em franca atividade e que a degradação pigmentar era pequena em relação aos valores do pigmento principal. As figuras, 5.19, 5.20, 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, refletem com propriedade o comportamento das medições e análises efetuadas.

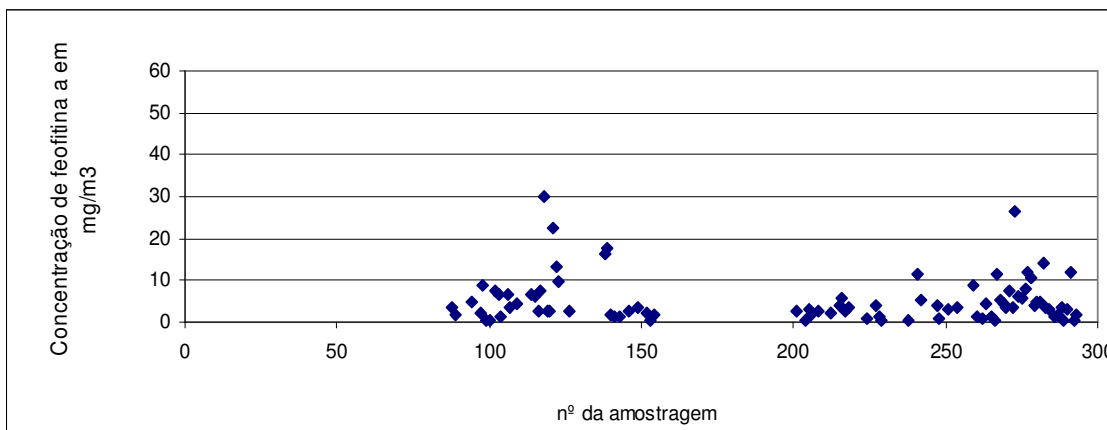


FIGURA - 5.19 - Variação da concentração de Feofitina *a* 75 amostragens na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1989 e 2005.

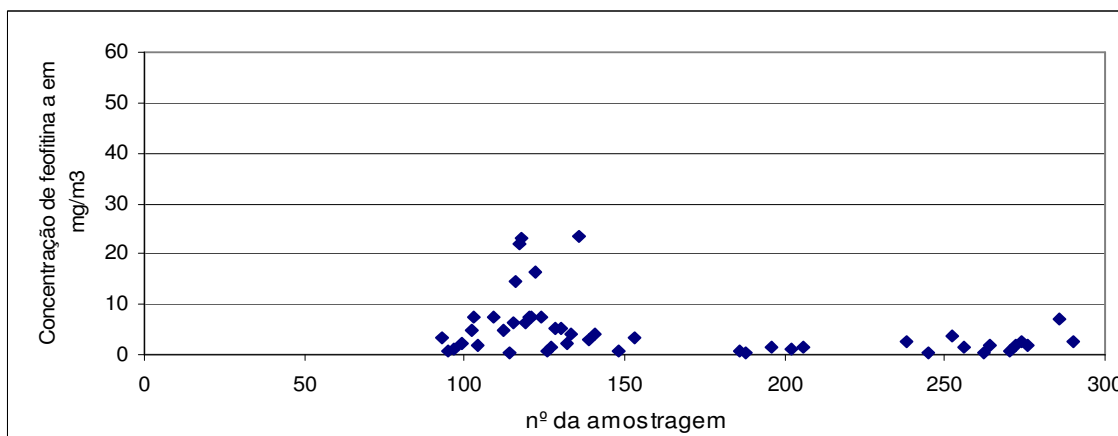


FIGURA - 5.20 - Variação da concentração de Feofitina *a* em 67 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1985 e 2005.

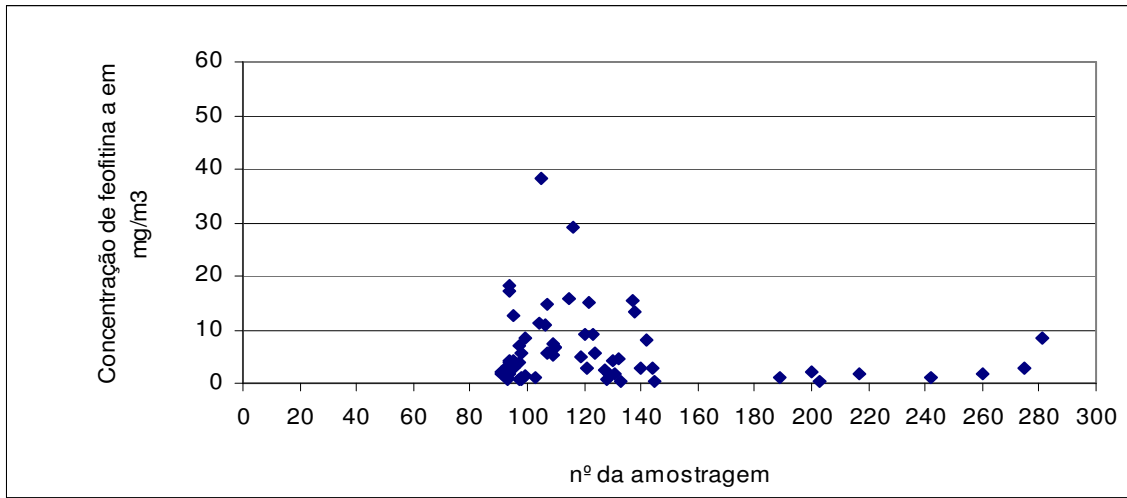


FIGURA - 5.21 - Variação da concentração de Feofitina *a* em 76 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.

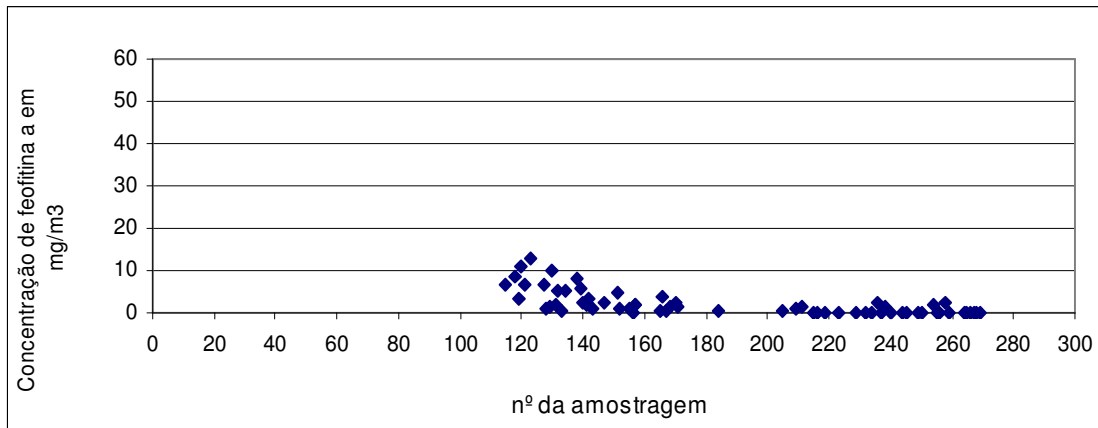


FIGURA - 5.22 - Variação da concentração de Feofitina *a* em 63 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.

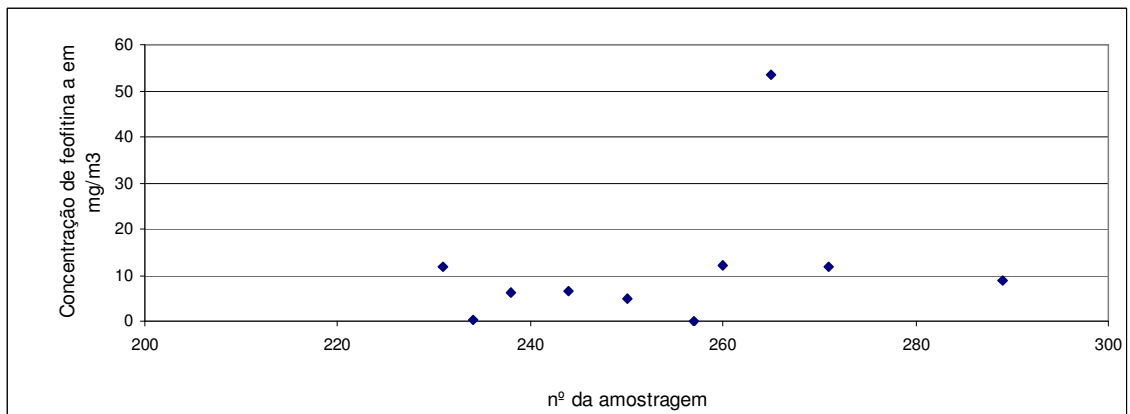


FIGURA - 5.23 - Variação da concentração de Feofitina *a* 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.

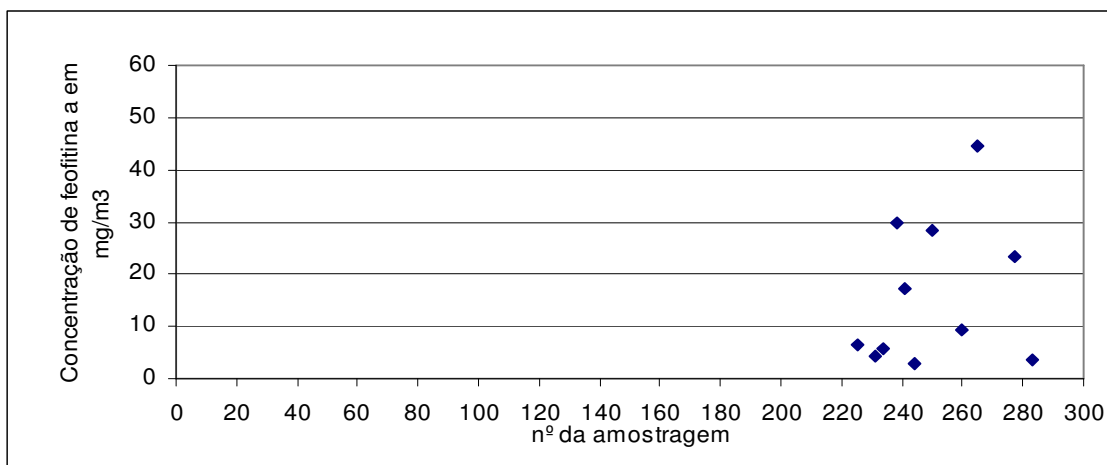


FIGURA - 5.24 - Variação da concentração de Feofitina *a* em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.

Feofitina *a* e Clorofila *a* estão relacionadas diretamente à produtividade primária das comunidades do fitoplâncton, sendo resultado direto dos processos metabólicos que ocorrem no meio líquido. Nas análises realizadas nos dados deste pigmento foi possível constatar que, nos reservatórios de maior porte e com maior tempo de construção e enchimento houve uma tendência à diminuição das concentrações de Feofitina *a*.

Em contrapartida os reservatórios do Ribeirão e Soberbo apresentaram concentrações destes parâmetros (Cla e Feo *a*) que sugere a elevação das concentrações de Feofitina *a* de forma acentuada o que inclina a curva de tendência positivamente. Nestes dois reservatórios ocorreram, como citado, elevadas concentrações de cianobactérias e um desequilíbrio acentuado na comparação das populações fitoplanctônicas.

A ocorrência de cianobactérias em altas concentrações de organismos por volume ocasiona sombreamento nos organismo imediatamente abaixo da camada superficial da massa líquida, acelerando os processos de morte e decomposição das células, o que aumenta a concentração de Feofitina *a* principalmente. É esperado um equilíbrio dos processos fisiológicos nestes reservatórios quando os processos de respiração e produção apresentarem situações metabólicas equilibradas.

5.2.3.3 Análises das relações entre as concentrações de Clorofila *a* e Feofitina *a*

Nos reservatórios de maiores dimensões e construídos há mais tempo (Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento), os valores da relação Cl *a* / Fe *a*, são da mesma ordem de grandeza dos valores observados no reservatório do Ribeirão. No entanto, o reservatório do Soberbo apresenta valores de ambos os parâmetros que são cinco vezes superiores àqueles encontrados no Ribeirão. Tais fatos sugerem que possa ter havido uma fonte de nutrientes, no lago ou na bacia hidrográfica contribuinte, que tenha fornecido insumos às comunidades fitoplanctônicas do lago que após um desenvolvimento quantitativo luxuriante esteja em franca senescência, gerando neste processo um aumento da relação Cl *a* / Fe *a*. Calijuri e Santos (2004) citam a ocorrência de “pulsos de atividade” que possivelmente sejam relacionados a respostas endógenas a constância da iluminação, gerando desta forma variações na taxa de fotossíntese na taxa de assimilação e outras variáveis fisiológicas.

Uma importante observação precisa ser feita em relação aos grandes reservatórios, onde o valor da relação Cl *a* / Fe *a* apresentou valores altos, além das médias sendo no entanto, seus valores médios e o desvio padrão, semelhantes como pode ser observado nas figuras: 5.25, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30.

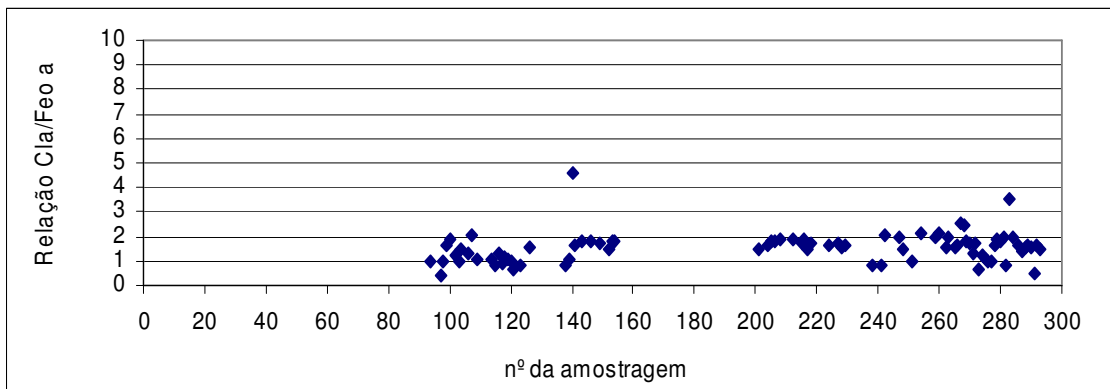


FIGURA - 5.25 - Variação da relação Cl *a* / Fe *a* em 75 amostras na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1989 e 2005.

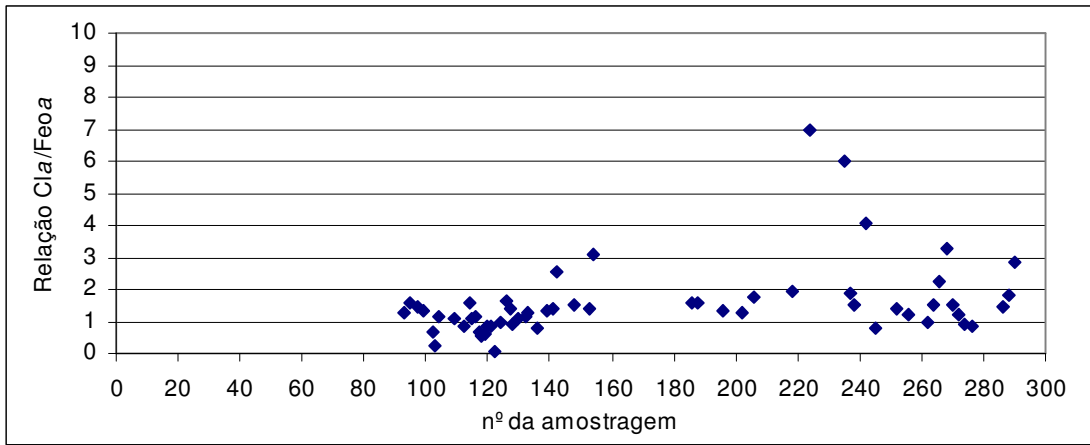


FIGURA - 5.26 - Variação da relação Cl a / Fe a em 67 amostras na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1985 e 2005.

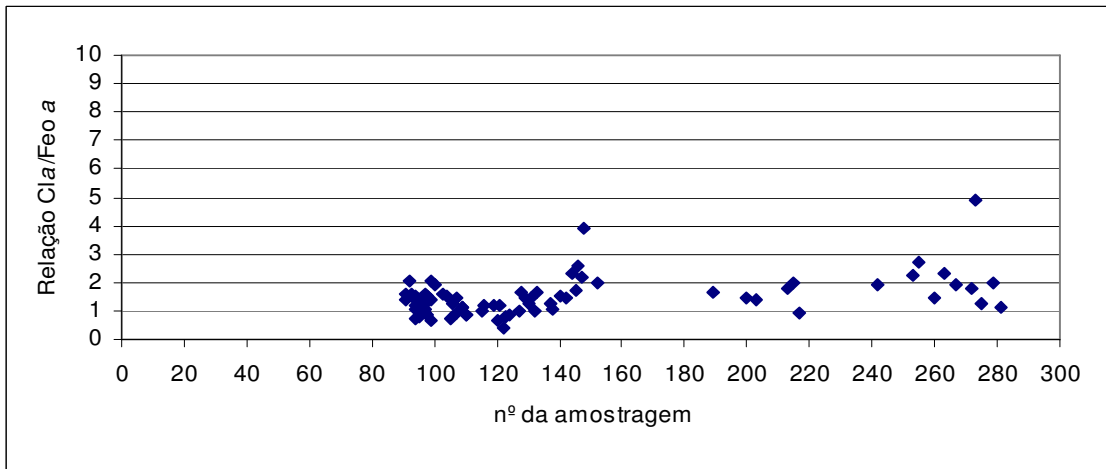


FIGURA - 5.27 - Variação da relação Cl a / Fe a em 76 amostras na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.

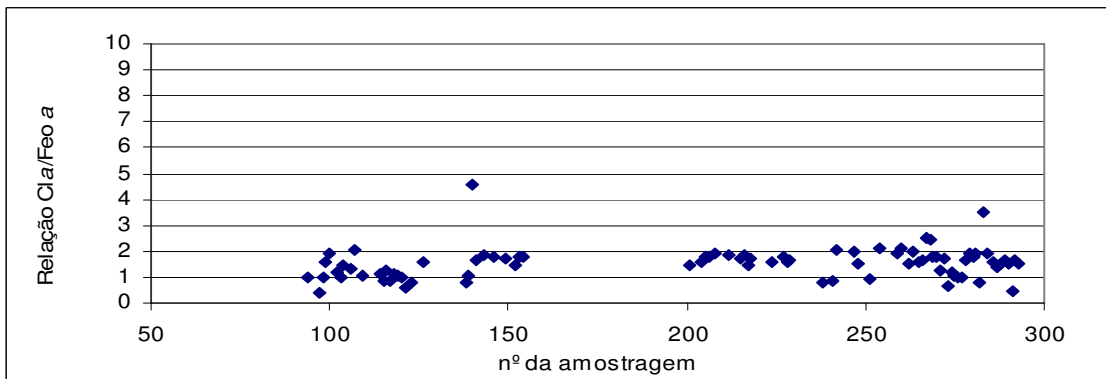


FIGURA - 5.28 - Variação da relação Cl a / Fe a em 75 amostras na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.

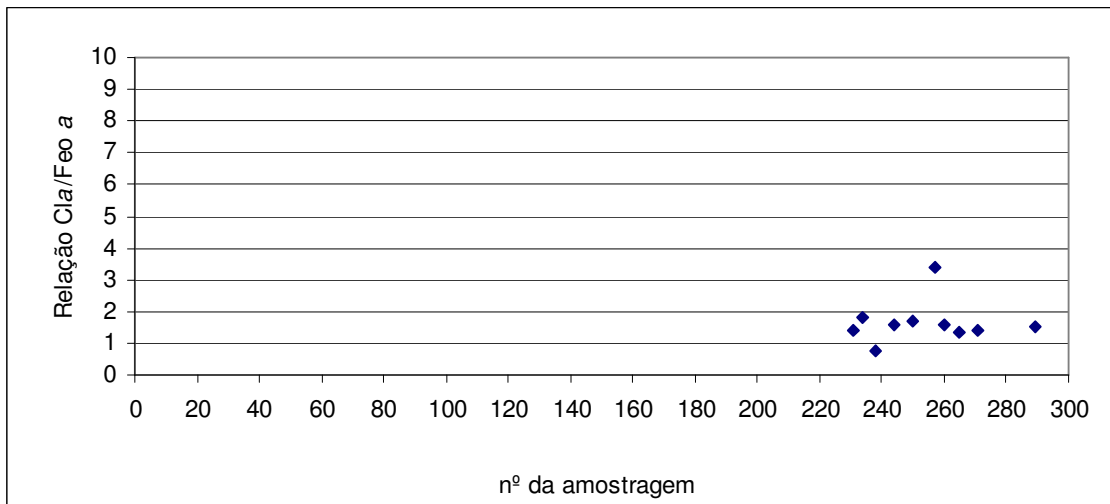


FIGURA - 5.29 - Variação da relação Cl *a*/Fe *a* em 16 amostras na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.

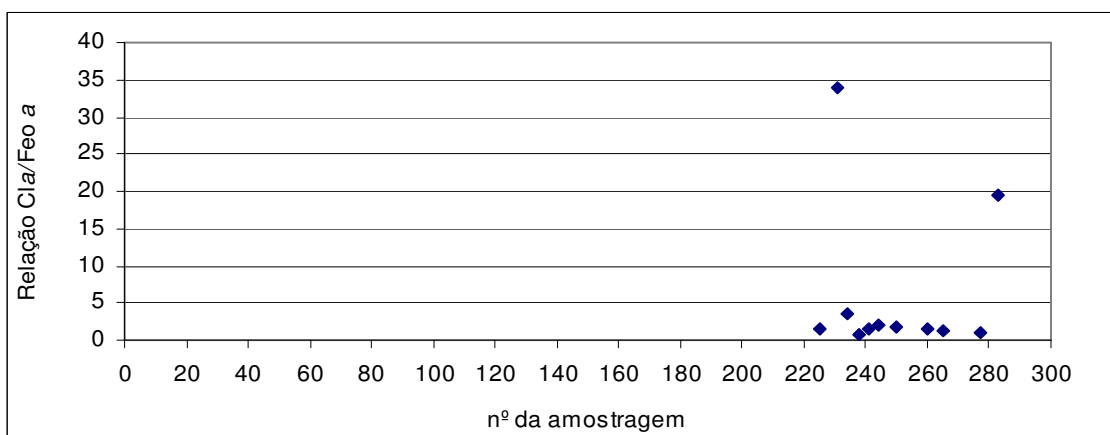


FIGURA - 5.30 - Variação da relação Cl *a*/Fe *a* em 16 amostras na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.

Observou-se que todos os reservatórios, à exceção do Soberbo, apresentaram relação Cl *a*/Fe *a* positiva, o que informa uma modificação metabólica importante, se for levado em conta um aumento das concentrações de Clorofila *a*, as quais resultam em modificações nos resultados calculados da relação. Foi possível registrar que, de uma forma geral, o número de taxa é sensivelmente menor nos reservatórios na medida em que se tornam mais antigos. Flutuações do número de taxa demonstram um pequeno aumento da variedade de organismos, o que foi observado no reservatório do Ribeirão e, em menor escala, no reservatório do Soberbo.

5.2.4 Análises dos parâmetros físicos e físico-químicos dos reservatórios estudados.

As concentrações de alguns destes compostos é mais elevada na região do hipolímnio, com variações de concentração no perfil clinogrado resultado dos ambientes lênticos com gradientes físicos e químicos que conseqüentemente criam os diversos tipos de estratificação.

Na análise dos parâmetros físicos, atenção foi dada às medidas da Transparência, Turbidez, Cor, pH, Temperatura e Calor. A importância e a escolha destes parâmetros como ferramentas no estudo se deu por questões de ordem prática e, principalmente, pela pequena ocorrência de erros sistemáticos na sua obtenção. Valores de turbidez e cor podem influenciar na absorção de calor e na transmissão desta energia calorífica, no meio líquido, modificando o comportamento final da massa líquida pelo aumento ou diminuição de sua viscosidade e da qual como consequência altera a cinética molecular.

A ação indireta destes parâmetros, cor, e turbidez, causa transtornos às comunidades planctônicas, pois quando em valores elevados propiciam condições de ampliação da concentração de calor que por fim alteram a viscosidade e a densidade da água, exigindo esforços diferenciados dos organismos planctônicos no seus processos de flutuação.

Tal fato ainda exige dos microrganismos metabolização de óleos e gorduras, estes fundamentais no processo de flutuabilidade o qual determina o seu posicionamento dos organismos em relação a luz.

O aumento da cor e da turbidez podem atenuar a entrada de luz no ambiente, impedindo que os organismos fitoplanctônicos possam absorver a energia necessária à excitação eletrônica da clorofila, do processo fotossintético, bem como na reação de "Hill" de fotólise da água, o qual irá interferir na produtividade final do sistema biológico, Esteves (1998).

O número de medições de transparência variou entre 11 e 206. Os dados de transparência mostraram que os reservatórios mais antigos apresentaram maior penetração de luz, menor variação do valor máximo e conseqüentemente, menor coeficiente de variação.

Os valores médios da transparência foram muito baixos para os reservatórios mais novos (Ribeirão e Soberbo). Tais variações ocorreram possivelmente, pelo fato dos reservatórios do Ribeirão e Soberbo, terem apresentado florações de cianobactérias, durante todo o período amostrado o que associa a turbidez a biomassa algal.

Leituras de transparência podem sofrer amplas variações, embora sejam realizadas ao mesmo tempo, mas, por diferentes analistas. No entanto permitem que de uma forma muito pouco onerosa se possa conhecer a profundidade de penetração de luz no ambiente, na definição das camadas de produtividade primária e sobre a extensão da zona fótica. Esteves (1998).

A penetração de luz, medida com o disco de Secchi pode ser usada para a classificação dos reservatórios. Maiores percursos da luz no meio líquido possibilitam maiores possibilidades de aproveitamento metabólico dessa energia e conseqüentemente maior produtividade primária, com menor seletividade do meio a grupos sistemáticos específicos algumas vezes menos eficientes no trabalho de captação da energia a maiores profundidades.

Os reservatórios Vargem das Flores e Juramento apresentaram suave tendência à diminuição da transparência e provavelmente isto ocorre pela presença de uma biomassa maior de organismos fitoplanctônicos. As variações temporais das medidas de transparência podem ser visualizadas para os seis reservatórios nas figuras 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, a seguir:

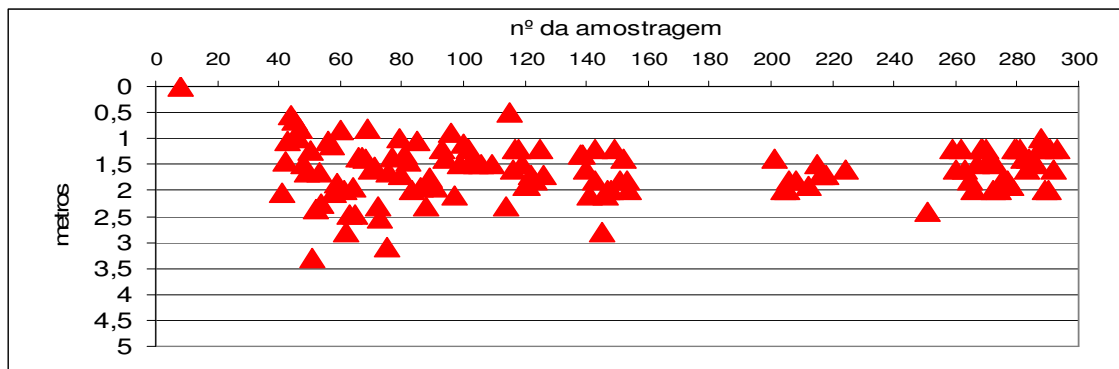


Figura 5.31 - Variação da transparência em 127 medições na estação principal do reservatório de Vargem das Flores entre 1982 e 2005.

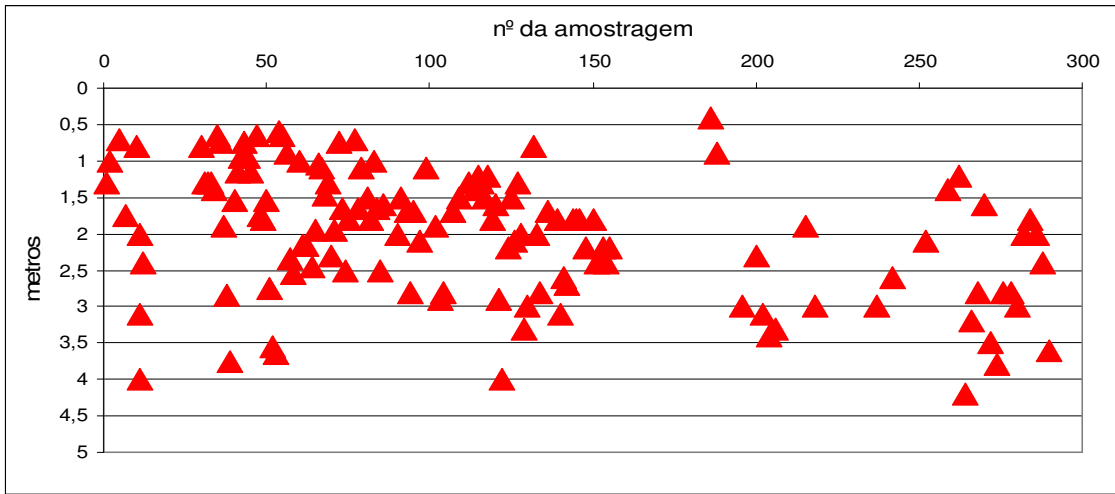


Figura 5.32 - Variação da transparência em 146 medições na estação principal do reservatório do Serra Azul entre 1981 e 2005.

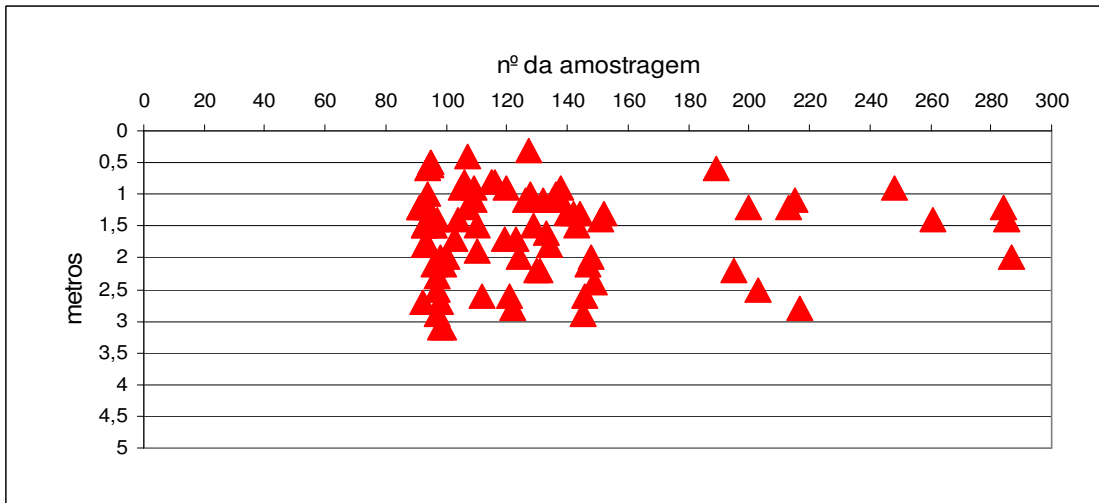


Figura 5.33 - Variação da transparência em 82 medições na estação principal do reservatório do Rio Manso entre 1989 e 2005.

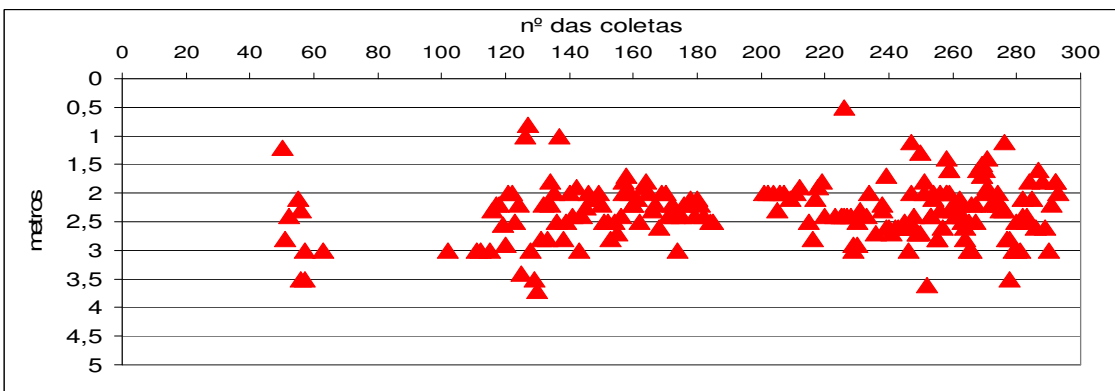


Figura 5.34 - Variação da transparência em 206 medições na estação principal do reservatório do Juramento entre 1985 e 2005.

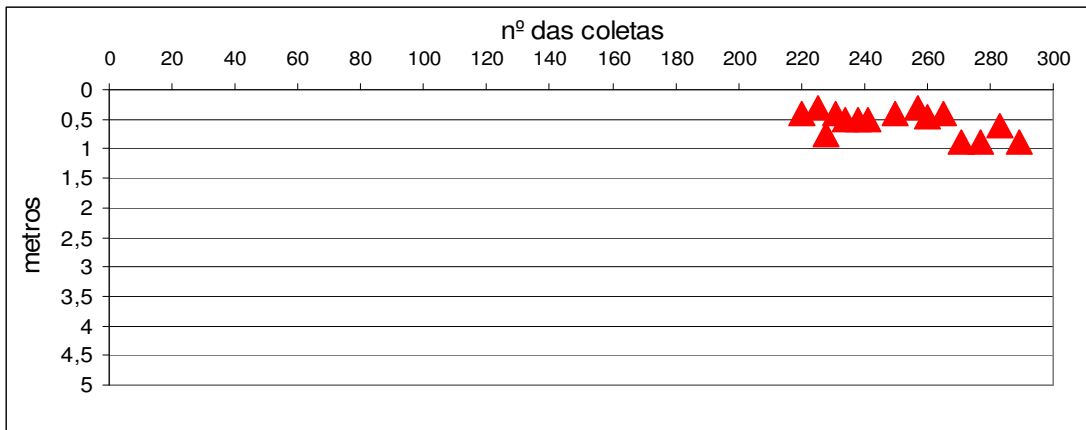


Figura 5.35 - Variação da transparência em 16 medições na estação principal do reservatório do Ribeirão entre 1999 e 2005.

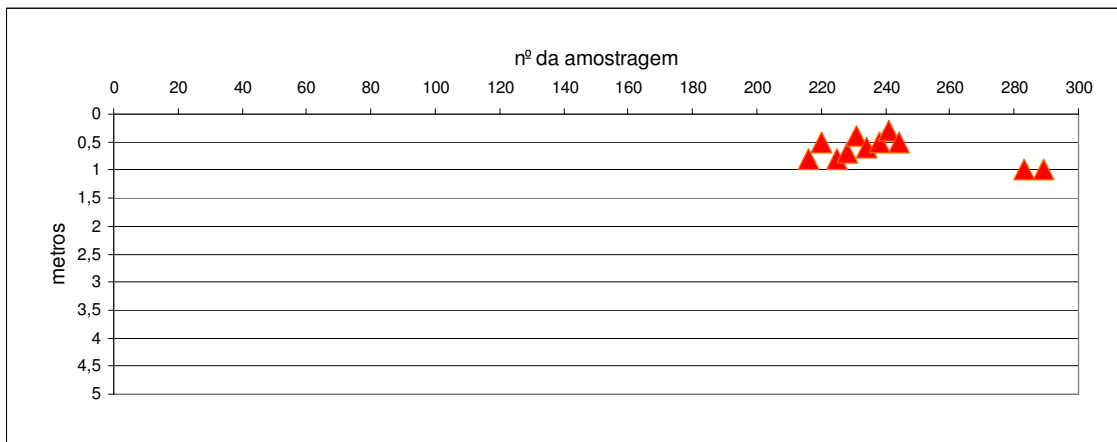


Figura 5.36 - Variação transparência em 11 medições na estação principal do reservatório do Soberbo entre 1999 e 2005.

Os demais parâmetros físicos estudados possuem importante significado ambiental e limnológico, tanto na absorção da energia calorífica, propriamente dita, como na disponibilização ou impedimento do aporte da energia luminosa aos organismos fotossintetizantes.

Snuccins e Gunn (2000), ao estudarem 86 pequenos lagos das regiões temperadas de Ontário no Canadá, concluíram pela importância dos parâmetros cor e turbidez no aporte energético e nas modificações dos processos de estratificação térmica naqueles lagos onde diferentes valores de turbidez e de cor eram encontrados. A entrada de luz nos ambientes lênticos está diretamente influenciada pelos valores deste parâmetro, ou seja, altos valores de turbidez à superfície impedem a entrada de luz a maiores profundidades, no entanto a absorção de calor

é aumentada pela presença das partículas responsáveis pela turbidez, Baumgarten e Pozza (2001).

Os valores de turbidez tendem a ser baixos nos ambientes lênticos em relação aos ambientes lóticos, haja vista terem sido construídos para agirem como reservatórios de acumulação e sedimentação de partículas. Os ambientes lóticos da região onde estão inseridos os reservatórios estudados apresentam, frequentemente, águas com elevados valores de cor e turbidez.

Pode-se dizer que os dados mensurados corroboram tais assertivas. No entanto, cada uma das unidades em estudo apresenta peculiaridades próprias, as quais estão relacionadas à forma de ocupação da bacia hidrográfica à montante do reservatório, aos tipos de solos existentes e ao embasamento geológico predominante.

Os valores máximos de turbidez variaram de 120 uT no reservatório do Soberbo a 370uT no reservatório do Juramento. Já os valores mínimos de turbidez variaram de 1,0 uT ou abaixo do limite de detecção do aparelho a 3,0 uT.

Os valores médios de turbidez apresentam-se mais elevados para os reservatórios do Ribeirão (25,7 uT) sendo que os menores valores médios são os do reservatório do Serra Azul (8,1 uT). Observa-se que no reservatório do Ribeirão o valor médio é três vezes maior que o do reservatório do Serra Azul.

De uma forma geral, os valores de turbidez, no ponto amostral em estudo tendem a ser baixos, fora dos curtos períodos quando ocorre a inversão térmica, pela própria concepção de construção dos reservatórios, com longos tempos de detenção hidráulica e funcionando como grandes unidades decantadoras.

A estrutura do fundo do reservatório do Juramento facilita a concentração das partículas responsáveis pela turbidez, próximo ao sistema de descarga de fundo, e podem ser eliminadas para jusante do reservatório pela descarga profunda.

Reservatórios que apresentam águas com maior coloração, da mesma forma que aqueles cuja turbidez nas camadas superficiais é alta, tendem a absorver maior quantidade de calor, principalmente nos primeiros centímetros da coluna d água.

O parâmetro cor, na verdade cor aparente, é medido regularmente em todas as unidades de tratamento de água. Nos reservatórios é de fundamental importância, haja vista a absorção de calor na forma dos comprimentos de onda maiores Baumgarten e Pozza (2001).

O reservatório do Serra Azul possui os registros de maior cor aparente, na ordem de 2010 uH, para o valor máximo medido. O reservatório de menor valor máximo foi Vargem das Flores, com valores da ordem de 38 uH.

Os valores médios, no entanto, colocam o reservatório do Ribeirão como aquele com maior valor, da ordem de 107,7 uH. Os reservatórios de Vargem das Flores e do Serra Azul possuem valores médios para o parâmetro cor muito próximos, na ordem de 32,4 uH.

A figura 5.37, a seguir, ilustra bem o comportamento dos parâmetros cor e turbidez nos reservatórios estudados.

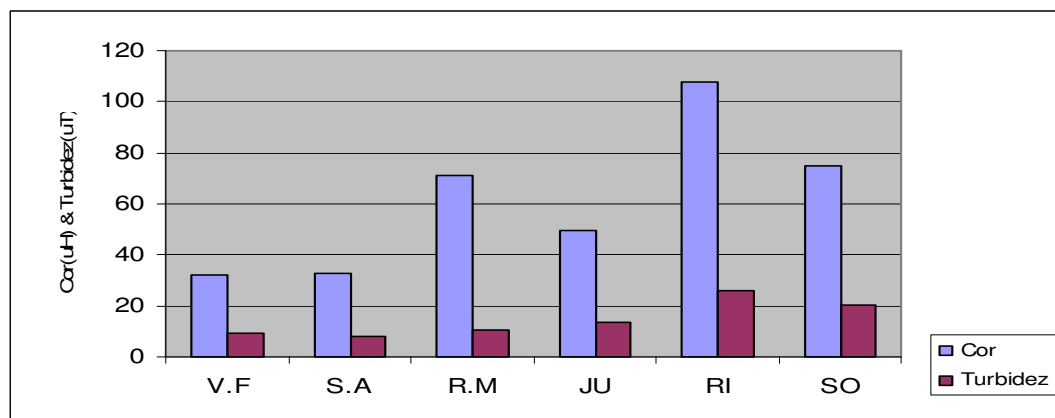


Figura 5.37 - Cor e turbidez médias nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo

Os valores de pH são passíveis de modificações pela ação direta da produtividade primária, maior gasto do carbono na forma de CO_2 do meio líquido e a modificação da forma química predominante no meio, gerando padrões de pH básicos, se este for influenciado pelas concentrações deste gás e não por outros fatores endógenos.

De forma inversa, baixa produtividade primária ou ausência de metabolismo de síntese (anabolismo), em detrimento do metabolismo de decomposição (catabolismo) em andamento com conseqüente gasto do oxigênio dissolvido criam condições redutoras e disponibilizam

íons hidrogênio no meio, aumentando as concentrações de CO₂ e de outros compostos de características ácidas.

Os valores de pH forneceram informações que auxiliaram na análise do estado trófico de cada camada vertical do reservatório, indicando se os processos de síntese estão se sobrepondo aos de decomposição no meio.

As variações do pH são fundamentais na velocidade das reações químicas bem como na possibilidade de ocorrência da maioria destas reações. No meio aquático isto se torna mais importante porque estas variações irão regular a disponibilização de carbono na forma de CO₂ e diretamente influenciam o processo fotossintético como um todo, da mesma forma que intracelularmente a reação de HILL, de dissociação da água, poderá ser afetada pelas variações exógenas deste parâmetro, Schafer (1984).

Os processos metabólicos das comunidades fitoplanctônicas e zooplanctônicas, como um todo, são afetados diretamente pela solubilização de compostos metálicos, facilitados pelo abaixamento do pH, os quais podem alterar significativamente os processos reprodutivos e a dinâmica destas populações interferindo na composição das comunidades aquáticas e conseqüentemente na biodiversidade.

Da mesma forma, a decomposição dos organismos planctônicos, mesmo na faixa oxigenada do perfil, gera modificações sutis nos valores de pH. Desta forma perfis clinogrados para este parâmetro foram obtidos nas amostragens realizadas.

Os valores médios de pH nos reservatórios situam-se, com exceção do Serra Azul, acima de 7, mesmo assim acima da faixa de 6,8 a 6,84 valores estes pouco significativos em se tratando de valores médios no perfil e entre várias amostragens. Os maiores valores encontrados foram no reservatório do Juramento (7,7).

A figura 5.38 é a representação dos valores médios de pH para cada um dos reservatórios em estudo.

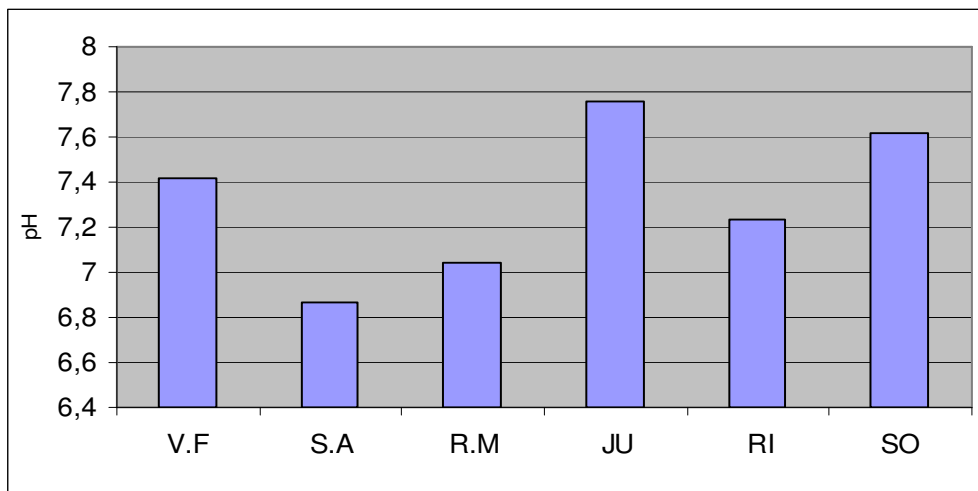


Figura 5.38 - Variação do pH médio nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo.

A utilização dos parâmetros ferro e manganês se deu pela disponibilidade dos dados, sua precisão e sua universalidade em termos de águas para abastecimento nas regiões onde o embasamento geológico contém ferro e manganês como matriz principal.

Outros aspectos relativos a estes parâmetros os fazem relevantes pela possibilidade dos íons de ferro interagir com formas específicas de compostos fosfatados e causarem sua precipitação e fixação nos sedimentos, quando as condições do pH são favoráveis e as concentrações de oxigênio dissolvido nas camadas superiores da água permitem a formação de hidróxido de ferro penta hidratado e H^+ que, em conjunto, adsorvem os sais fosfatados, tornando-os inativos metabolicamente.

As concentrações de Ferro são naturalmente altas nos reservatórios estudados seja pelo embasamento geológico no qual estão assentados os reservatórios seja pela dissolução deste metal na região anóxica do hipolímnio nas reações de oxi-redução.

Em reservatórios cuja operação de retirada das águas se dá há mais tempo e sem grandes modificações na estrutura física da massa líquida, no que se refere à estratificação, os compostos de ferro tendem a ficar aprisionados na tênue camada de sedimentos formada pela precipitação de diversos materiais ao longo do tempo.

Este processo possivelmente possa explicar os baixos valores observados no reservatório de Vargem das Flores, Serra Azul e Juramento em contraste ao que foi observado no reservatório do Rio Manso, onde as altas concentrações de ferro na coluna d'água podem ser explicadas pela constante remoção das águas profundas e onde o ferro pode estar funcionando como uma “esponja” de fosfato, o que em excesso pode estar tornando o fosfato fator limitante da produtividade primária, Boumgartem e Pozza (2001).

Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo apresentam significativas concentrações de ferro na coluna d'água possivelmente por estarem ainda em processo de maturação do sistema, apresentando pH médio básico, causado pela floração de cianobactérias e não apresentando ainda um desenvolvido processo de selamento natural do solo no fundo dos reservatórios.

Os maiores valores de concentração média de Ferro total foram obtidos para o reservatório do rio Manso e os menores teores médios para o reservatório do Juramento conforme figura 5.39 a seguir:

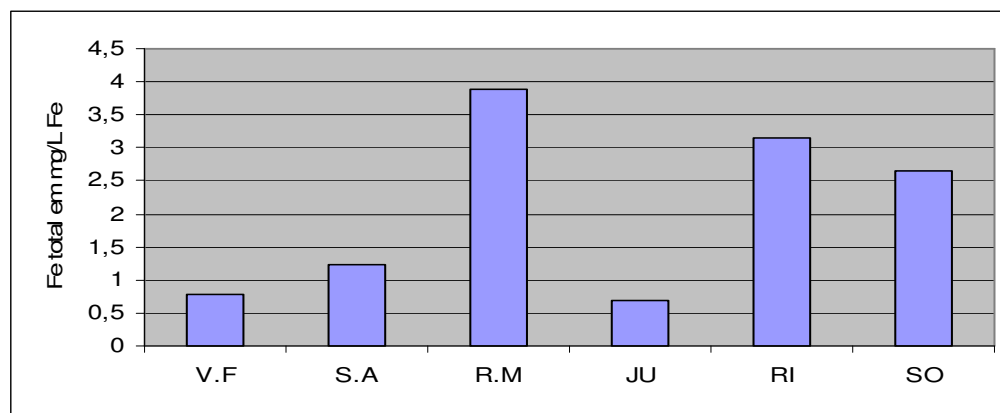


FIGURA 5.39 - Variação das concentrações médias de ferro total nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo

TABELA 5.0 - Valores médios, desvio padrão, val.máximos e mínimos,nº dados e coef. variação dos parâmetros estudadas nos reservatórios (V.das Flores, S.Azul, R.Manso, Juramento, Ribeirão e Soberbo)

| VARIÁVEL | SECCHI | FITOPLÂNCTON | FITOPLÂNCTON | CLOROFILA a | FEOFITINA a | CLOROFILA a / FEOFITINA a | CALOR | TEMP. MEDIA DA | TEMP.DA ÁGUA | TEMP.DA ÁGUA | | COR | TURB | FERRO | FERRO | MANGANÉS | MANGANÉS |
|-------------------|-------------|---------------------|--------------|---------------|---------------|------------------------------|-------------------------|----------------|---------------|---------------|-------------|----------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|
| Reservatório | (m) | (Org/mL) | (nº Taxa) | (µg/L) | (µg/L) | | Q | ÁGUA | EPILIMNIO | HIPOLÍMNIO | pH | APARENTE | (U.N.T) | TOTAL | SOLUV. | TOTAL | SOLÚVEL |
| | | | | | | | (kcal cm ³) | (°C) | (°C) | (°C) | | (uH) | | (mg/l Fe) | (mg/l Fe) | (mg/l Mn) | (mg/l Mn) |
| Vargem das Flores | 1,62 ± 0,49 | 2307,7 ± 8068,5 | 18,5 ± 7,39 | 6,57 ± 4,93 | 5,19 ± 5,58 | 1,51 ± 0,57 | 16,3 ± 2,5 | 23,04 ± 2,52 | 23,59 ± 2,57 | 21,34 ± 2,03 | 7,57 ± 0,56 | 32,26 ± 46,10 | 9,14 ± 20,14 | 0,79 ± 1,43 | 0,36 ± 0,92 | 0,24 ± 0,45 | 0,16 ± 0,28 |
| | 3,30 - 0,50 | 78913,4 - 6,07 | 40 - 2,8 | 29,16 - 0,16 | 30 - 0,24 | 4,59 - 0,40 | 21,02 - 8,27 | 29,09 - 13,00 | 29,00 - 17,50 | 26,00 - 16,00 | 8,3 - 7,3 | 400 - 0,15 | 320 - 1,30 | 8,8 - 0,02 | 6,73 - 0,01 | 8,0 - 0,02 | 2,70 - 0,01 |
| | 124 - 0,30 | 133 - 3,5 | 136 - 0,4 | 83 - 0,75 | 83 - 1,08 | 81 - 0,38 | 135 - 0,04 | 168 - 0,11 | 168 - 0,09 | 166 - 0,10 | 716 - 0,08 | 706 - 1,43 | 716 - 2,2 | 738 - 1,82 | 528 - 2,57 | 720 - 1,85 | 688 - 1,69 |
| Serra Azul | 1,97 ± 0,86 | 939,3 ± 2237,1 | 13,9 ± 6,44 | 3,19 ± 2,85 | 4,94 ± 5,80 | 1,57 ± 1,18 | 21,66 ± 3,65 | 23,34 ± 2,53 | 24,05 ± 2,64 | 20,62 ± 1,97 | 6,87 ± 0,40 | 32,58 ± 70,49 | 8,10 ± 10,52 | 1,24 ± 1,98 | 0,40 ± 1,45 | 0,30 ± 0,34 | 0,29 ± 0,62 |
| | 4,20 - 0,40 | 12068 - 1,86 | 30 - 1 | 14,42 - 0,16 | 115,6 - 0,24 | 7,00 - 0,06 | 28,10 - 13,74 | 31,0 - 16,9 | 31,00 - 17,50 | 31,00 - 16,00 | 8,3 - 5,6 | 2010 - 0,25 | 200,0 - 0,50 | 25,0 - 0,01 | 29,0 - 0,01 | 3,39 - 0,01 | 7,50 - 0,01 |
| | 135 - 0,44 | 135 - 2,38 | 152 - 0,46 | 47 - 0,89 | 87 - 2,05 | 57 - 0,75 | 146 - 0,18 | 227 - 0,11 | 227 - 0,11 | 227 - 0,10 | 1101 - 0,06 | 1055 - 2,16 | 1102 - 1,30 | 1173 - 1,60 | 529 - 3,61 | 1160 - 1,11 | 994 - 2,13 |
| Rio Manso | 1,58 ± 0,70 | 2112,9 ± 4734,5 | 16,6 ± 5,36 | 4,78 ± 4,3 | 6,31 ± 7,07 | 1,49 ± 0,68 | 27,09 ± 2,24 | 22,89 ± 2,11 | 24,36 ± 2,77 | 20,27 ± 1,49 | 6,98 ± 0,39 | 71,22 ± 75,90 | 10,37 ± 13,11 | 3,88 ± 9,49 | 2,19 ± 4,91 | 0,63 ± 1,03 | 0,57 ± 0,96 |
| | 3,10 - 0,30 | 37479 - 30,8 | 28 - 4 | 21,59 - 0,16 | 38,13 - 0 | 4,89 - 0,40 | 32,15 - 22,8 | 28,74 - 18,41 | 31,00 - 18,00 | 25,00 - 17,00 | 8,6 - 6,2 | 500 - 2,50 | 150,0 - 0,80 | 202,2 - 0,07 | 61,0 - 0,01 | 9,50 - 0,01 | 9,0 - 0,01 |
| | 82 - 0,44 | 97 - 2,24 | 97 - 0,32 | 70 - 0,90 | 63 - 1,39 | 76 - 0,46 | 76 - 0,08 | 130 - 0,09 | 130 - 0,11 | 130 - 0,07 | 854 - 0,06 | 861 - 1,07 | 860 - 1,26 | 852 - 2,45 | 849 - 2,24 | 849 - 1,63 | 827 - 1,68 |
| Juramento | 2,31 ± 0,50 | 1779,1 ± 2438,8 | 13,7 ± 5,86 | 3,56 ± 2,56 | 2,18 ± 3,02 | 3,02 ± 12,43 | 21,56 ± 1,69 | 24,05 ± 1,95 | 25,41 ± 2,08 | 22,17 ± 1,17 | 7,76 ± 0,52 | 49,70 ± 121,0 | 13,42 ± 33,38 | 0,68 ± 1,38 | 0,18 ± 0,38 | 0,41 ± 0,74 | 0,87 ± 11,12 |
| | 3,70 - 0,50 | 13666,6 - 42,3 | 28 - 1 | 14,95 - 0 | 12,94 - 0 | 109,0 - 0,0 | 25,08 - 16,85 | 33,61 - 16,08 | 31,00 - 20,00 | 27,00 - 19,00 | 9,6 - 5,6 | 1500 - 1,50 | 370,0 - 0,50 | 11,01 - 0,03 | 4,37 - 0,01 | 6,83 - 0,01 | 172,0 - 0,01 |
| | 206 - 0,22 | 93 - 1,37 | 96 - 0,43 | 71 - 0,72 | 71 - 1,39 | 75 - 4,11 | 163 - 0,08 | 220 - 0,08 | 220 - 0,08 | 216 - 0,05 | 423 - 0,07 | 409 - 2,43 | 413 - 2,49 | 447 - 2,01 | 340 - 2,17 | 387 - 1,81 | 239 - 12,8 |
| Ribeirão | 0,55 ± 0,21 | 354781,4 ± 412312,2 | 6,6 ± 4,47 | 45,27 ± 44,06 | 11,62 ± 15,33 | 1,65 ± 0,67 | 14,46 ± 2,53 | 23,58 ± 1,76 | 25,27 ± 2,44 | 21,88 ± 1,34 | 7,23 ± 0,55 | 107,74 ± 75,00 | 25,75 ± 28,67 | 3,14 ± 3,34 | 1,82 ± 2,45 | 0,13 ± 0,11 | 0,09 ± 0,07 |
| | 0,90 - 0,30 | 1543408,4 - 829,58 | 17 - 2 | 160,6 - 10,15 | 53,46 - 0 | 3,38 - 0,77 | 19,51 - 11,13 | 26,39 - 19,26 | 30,00 - 20,00 | 25,00 - 19,00 | 8,10 - 5,9 | 300 - 28,0 | 130,0 - 4,50 | 12,70 - 0,28 | 9,86 - 0,01 | 0,44 - 0,01 | 0,27 - 0,01 |
| | 15 - 0,39 | 15 - 1,16 | 16 - 0,67 | 10 - 0,97 | 10 - 1,12 | 10 - 0,41 | 22 - 0,17 | 22 - 0,07 | 22 - 0,10 | 22 - 0,06 | 43 - 0,08 | 43 - 0,70 | 43 - 1,11 | 44 - 1,06 | 44 - 1,35 | 44 - 0,83 | 44 - 0,81 |
| Soberbo | 0,65 ± 0,23 | 487934,6 ± 476444,3 | 5,9 ± 7,19 | 40,78 ± 39,39 | 15,95 ± 13,85 | 6,22 ± 10,67 | 15,08 ± 3,94 | 24,37 ± 2,15 | 26,33 ± 2,48 | 21,81 ± 1,22 | 7,62 ± 0,48 | 74,79 ± 64,21 | 20,58 ± 27,46 | 2,65 ± 4,72 | 1,89 ± 3,750,59 | 0,30 ± 0,30 | 0,22 ± 0,29 |
| | 1,00 - 0,30 | 1514910,1 - 46365 | 30 - 1 | 142,3 - 4,6 | 53,46 - 2,94 | 33,96 - 0,65 | 22,33 - 8,97 | 30,02 - 19,95 | 30,00 - 21,00 | 24,00 - 19,00 | 8,6 - 6,90 | 300 - 25,0 | 120 - 3,0 | 21,0 - 0,12 | 16,60 - 0,01 | 1,30 - 0,01 | 1,1 - 0,01 |
| | 11 - 0,36 | 15 - 0,98 | 15 - 1,2 | 12 - 0,97 | 12 - 0,87 | 12 - 1,71 | 17 - 0,26 | 17 - 0,09 | 17 - 0,09 | 17 - 0,06 | 24 - 0,06 | 24 - 0,86 | 24 - 1,33 | 26 - 1,78 | 22 - 1,98 | 26 - 1,0 | 24 - 1,30 |

| Legenda | |
|----------|----------------|
| Média | Des. padrão |
| Máximo | Mínimo |
| Nº dados | Coef. Variação |

Para a execução da análise primária dos dados foi construída uma matriz composta por 21 componentes físicos, considerados como relevantes para a compreensão dos diversos fatores que possam influir na dinâmica dos reservatórios e de alguma forma alterar o funcionamento de cada um destes, alterando as entradas de energia e a distribuição da energia calorífica no ambiente aquático indicando a possível alteração dos fluxos hidráulicos ou da dinâmica de distribuição de calor (Tabela 5.1).

Os valores foram atribuídos em função de um valor máximo de 6 dado a unidade que para aquele parâmetro específico tenha obtido o maior valor relativo. Assim sendo teremos um “score” variando de 1 a 6. O somatório final foi uma tentativa de relacionar de forma bruta, estruturas funcionais similares.

Como exemplo foram considerados altos valores de Transparência como positivos, já que permitem perceber a entrada de energia luminosa e calorífica a estratos mais profundo, ao passo que Turbidez alta pode ser considerado um fator negativo já que permite menor entrada de luz, mas uma elevada absorção de calor pelo sistema de forma mais superficial.

Os parâmetros considerados nesta matriz são uma forma simplificada de se obter informações e possibilitar o relacionamento de variáveis as quais, normalmente, fogem ao escopo normal dos estudos, possivelmente por serem específicas de cada unidade estudada. Tal análise possibilitou um melhor conhecimento e compreensão dos possíveis relacionamentos dos sistemas estudados.

Tabela 5.1 – Matriz de 21 dos parâmetros de qualidade das águas dos reservatórios estudados.

| Parâmetro Físico | Reservatório Vargem das Flores | Serra Azul | Rio Manso | Juramento | Ribeirão | Soberbo |
|----------------------|-----------------------------------|------------|-----------|-----------|----------|---------|
| Secchi (maior) | 4 | 6 | 3 | 5 | 1 | 2 |
| Secchi médio (maior) | 4 | 5 | 3 | 6 | 1 | 2 |

| | | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Secchi mínimo (maior) | 6 | 4 | 3 | 5 | 2 | 1 |
| Turbidez máxima (maior) | 5 | 4 | 3 | 6 | 2 | 1 |
| Turbidez média (maior) | 2 | 1 | 3 | 4 | 6 | 5 |
| Turbidez mínima (maior) | 4 | 1 | 3 | 2 | 6 | 5 |
| Cor máxima (maior) | 1 | 6 | 4 | 5 | 3 | 2 |
| Cor média (maior) | 1 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 |
| Cor mínima (maior) | 6 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 |
| pH máximo (maior) | 1 | 2 | 3 | 6 | 4 | 5 |
| pH médio (maior) | 4 | 1 | 2 | 6 | 3 | 5 |
| pH mínimo (maior) | 5 | 1 | 4 | 2 | 3 | 6 |
| Calor máximo(maior) | 1 | 5 | 6 | 4 | 2 | 3 |
| Calor médio (maior) | 3 | 4 | 6 | 5 | 2 | 1 |
| Calor mínimo (maior) | 3 | 1 | 2 | 6 | 5 | 4 |
| Org maior [] máxima | 4 | 1 | 3 | 2 | 6 | 5 |
| Org maior [] média | 4 | 1 | 3 | 2 | 5 | 6 |
| Org maior [] mínima | 2 | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| (maior)Nº taxa máximo | 6 | 5 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| (maior)Nº taxa médio | 6 | 4 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| (maior)Nº taxa mínimo | 5 | 1 | 6 | 2 | 4 | 3 |
| Maior [] Cl a média | 4 | 1 | 3 | 2 | 6 | 5 |
| Maior [] Cl a máxima | 4 | 1 | 3 | 2 | 6 | 5 |
| Maior [] Cl a mínima | 2 | 3 | 4 | 1 | 6 | 5 |
| Maior [] Fe a máxima | 1 | 6 | 3 | 2 | 5 | 4 |
| Maior [] Fe a média | 4 | 2 | 3 | 1 | 5 | 6 |
| Maior [] Fe a mínima | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 6 |
| Maior Cl a/Fe a máxima | 2 | 4 | 3 | 6 | 1 | 5 |
| Maior Cl a/Fe a média | 2 | 3 | 1 | 5 | 4 | 6 |
| Maior Cl a/Fe a mínima | 3 | 2 | 4 | 1 | 6 | 5 |
| Maior max temp média água | 3 | 2 | 4 | 6 | 1 | 5 |
| Maior média temp média água | 2 | 3 | 1 | 5 | 4 | 6 |
| Maior temp média mín água | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 | 6 |
| Maior Max temp epil | 1 | 4 | 5 | 6 | 3 | 2 |
| Maior Med temp epil | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 6 |
| Maior Min temp epil | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Maior Max temp Hipo | 4 | 6 | 3 | 5 | 2 | 1 |
| Maior Med temp Hipo | 2 | 3 | 1 | 6 | 5 | 4 |
| Maior Min temp Hipo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Somatório | 120 | 110 | 129 | 147 | 148 | 165 |

Ao se realizar uma análise da matriz de 21, percebeu-se a formação, por similaridade, de dois grupos distintos de unidades. Os reservatórios com os menores valores indicam um primeiro grupo, quais sejam, Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso. Conseqüentemente um segundo grupo é selecionado, e foi o dos reservatórios situados em regiões geograficamente mais quentes e com regimes hidrológicos diferentes, tendo como agravante a existência de estruturas construtivas inadequadas operadas de forma aleatória ou com restritas possibilidades de captação e adução das águas represadas.

5.2.5 Análises dos parâmetros funcionais e construtivos dos reservatórios estudados.

O estudo integrado de reservatórios é uma necessidade que se apresenta a cada dia, haja vista as oportunidades de integração e geração de novos e variados enfoques que podem ser seguidos tanto na operação destas estruturas ou na construção de novas.

Kennedy (1999) observou o diferenciamento a ser considerado nos estudos limnológicos dos reservatórios em relação aos lagos naturais, haja vista seus barramentos, os tempos de retenção hidráulica, a forma de suas construções e os modos de suas operações, sendo que estas variáveis têm marcada influência sobre as características limnológicas do reservatório como um todo.

Para se mapear as formas e estruturas operacionais em cada um dos reservatórios, foi montada uma matriz binária simples, conforme tabela 5.3. Tal artefato permitiu que aspectos significativos pudessem ser avaliados sem a necessidade de uma quantificação absoluta.

O grande volume de informações acerca das características construtivas dos reservatórios normalmente impede a compreensão de todo o conjunto a um só tempo. O uso da matriz binária permitiu uma classificação que auxiliou nos processos de análise e compreensão do funcionamento em função de estruturas construtivas e em longo prazo destes sistemas produtores de água para abastecimento.

Os parâmetros foram escolhidos levando em conta as características básicas construtivas e suas possíveis implicações no funcionamento e na manutenção ou na modificação de determinadas características físicas dos sistemas estudados.

Desta forma as características construtivas tendem a manter ou não o perfil clinogrado de alguns parâmetros físicos e químicos, propiciando a criação de ambientes termicamente estáveis e com isto propiciando mudanças na estrutura das comunidades fito e zooplancônicas bem como na produtividade final do biótopo.

Profundidades máximas e profundidades médias similares propiciam em uma primeira análise condições semelhantes de absorção de plumas de poluentes e penetração de energia no sistema, tempos de detenção de mesma magnitude favorecem condições de estabilidade próximas, a existência de descargas profundas beneficia o manancial a jusante exportando substâncias potencialmente importantes no metabolismo algal e na produtividade deste biótopo.

A correta operação dos reservatórios em relação a sua depleção, ou seja, fazendo com que os níveis de água fossem abaixados ao máximo permitem uma oxigenação e conseqüente mineralização de inúmeros compostos presentes no hipolímnio resultantes dos processos de sedimentação que por ficarem presos nos sedimentos ficam indisponíveis ao metabolismo algal tais como o fósforo aprisionado pelo ferro solúvel na presença de oxigênio como sugerido por Baumgartem e Pozza (2001).

Tabela 5.2 – Matriz binária sobre estruturas e funcionamento dos reservatórios estudados.

| Parâmetro Físico | Reservatório | Vargem das Flores | Serra Azul | Rio Manso | Juramento | Ribeirão | Soberbo |
|----------------------------------|--------------|-------------------|------------|-----------|-----------|----------|----------|
| Zmax.> 20 metros | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Zmed> 10 metros | | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| TRH >100 dias | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tomada d água móvel / rasa | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Tomada d água fixa / rasa | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Descarga profunda operante | | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| D. Prof. não oper. / inexistente | | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Deplex. anual lago (+50% V.tot) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Vol. morto significativo | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Aporte significativo nutrientes | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tempo de construção > 10 anos | | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Manutenção vazão ecológica | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SOMATÓRIO | | 7 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 |

Os dados existentes sobre o funcionamento e algumas características operacionais dos reservatórios dificilmente são compreendidas na suas relações com os fatores ambientais e com as necessidades dos processos operacionais do dia-a-dia.

Uma simplificação nestes parâmetros foi proposta para que a compreensão dos fatores envolventes pudesse ser sintetizada, facilitando a correlação entre alguns efeitos operacionais

e as conseqüências destes sobre as comunidades bióticas do reservatório e das áreas de jusante.

A síntese dos dados e informações tornou mais fácil a sugestão de ações e atividades de curto e longo prazo, tais como, ampliação da depleção dos reservatórios, como forma de substituir as águas existentes por outras recém aportadas ao reservatório, à utilização de águas de pior qualidade do hipolímnio, permitindo que sigam armazenadas as águas com características físicas e químicas melhores ao fim que se destinam.

A construção de reservatórios dentro de novos conceitos de armazenamento e captação bem como da possibilidade de geração energética pelas águas a serem captadas, sendo abandonado o conceito de torre de tomada em níveis, executando-se a captação apenas das águas profundas, hipolimnéticas, as quais após serem dispersas pelas válvulas dispersoras ou após sua passagem pelas turbinas seriam aduzidas e tratadas. Em uma análise primária conclui-se que em longo prazo as águas armazenadas seriam de melhor qualidade e os custos de tratamento e de energia elétrica minorados.

Tal forma operacional visa minorar os efeitos dos tempos de retenção hidráulica, modificar ações rotineiras que podem afetar a qualidade das águas captadas e mesmo modificar os conceitos operacionais em curso nos reservatórios de abastecimento.

5.2.6 Sugestão de um modelo conceitual de funcionamento dos reservatórios estudados

O comportamento fisiológico dos reservatórios estudados, em função dos processos e ações efetivadas durante sua operação cotidiana, foi avaliado e suas implicações ambientais e produtivas, de curto e longo prazo analisadas. Da mesma forma, a possível diminuição ou ampliação da vida produtiva da estrutura, foi entendida como fator intrinsecamente ligado à operação, à produtividade primária, aos conteúdos de calor e à forma como se trabalha a retiradas das águas para abastecimento.

O modo de funcionamento físico e fisiológico dos reservatórios, construídos e utilizados no abastecimento de água potável, podem ser enquadrados como um estágio funcional entre o os reservatórios de geração de energia elétrica e os lagos naturais. Este tipo de funcionamento

ocasiona vantagens operacionais e funcionais bem como problemas de qualidade das águas de médio e longo prazo. Tal se dá pela retirada das águas superficiais de forma constante e preferencialmente, como é executado nestes reservatórios, conseqüentemente ocorre a acumulação das águas hipolimnéticas mais frias, similarmente aos processos funcionais que ocorrem nos lagos naturais.

Tal forma de operar a retirada das águas dos reservatórios pode acarretar uma série de fatores funcionais que facilitam a ocorrência de aumento das populações fitoplancônicas.

Tais fatores são: ampliação da camada de produtividade primária pela entrada da energia luminosa a maior profundidade; perda de calor pela saída das águas mais quentes da superfície; criação de perfil clinogrado de pequena amplitude térmica entre o epilímnio e o hipolímnio; desaceleração dos processos de sedimentação das partículas pela diminuição da viscosidade das águas com menor quantidade de calor; processos de decomposição ocorrendo no perfil da coluna d'água (camada trofólítica no perfil); alta ressolubilização dos nutrientes oriundos dos processos de decomposição da fauna e da flora planctônica autóctone; pH superficial básico; pH hipolimnético ácido; perfil clinogrado de temperatura; perfil clinogrado da concentração de OD com conseqüente e permanente anoxia do hipolímnio; ressolubilização de compostos metálicos dos sedimentos de fundo.

Os fatores citados e as análises executadas nos dados e informações operacionais dos reservatórios, sugeriram que aqueles reservatórios nos quais existem descargas de águas profundas tendem a ter um conteúdo de calor mais elevado, se o volume das águas captadas superficialmente for significativamente menor que a saída das águas profundas. Em contraposição a este tipo de funcionamento existem aqueles reservatórios nos quais a retirada das águas é feita única e exclusivamente na região superficial e que tendem a ter um menor quantitativo de calor. Desta forma tem-se como conseqüência direta a criação de dois modelos funcionais os quais estão representados nas figuras 5.40 e 5.41.

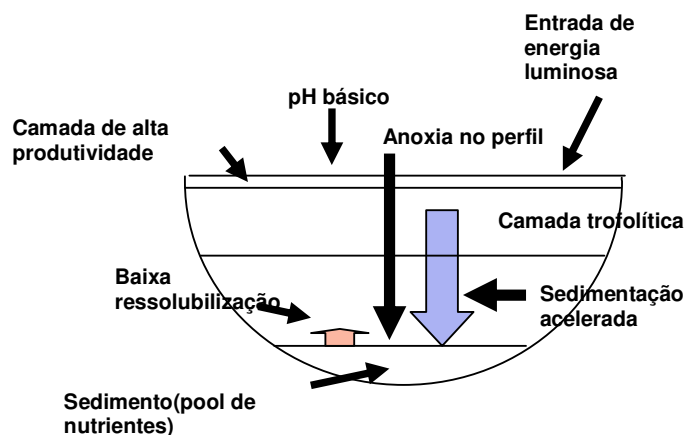


FIGURA 5.40 – Sugestão de modelo conceitual de funcionamento dos reservatórios com retirada apenas das águas profundas.

Em oposição a este modelo funcional, os reservatórios que mantêm uma estrutura térmica mais instável e baixos conteúdos de calor, apresentam dinâmica mais apropriada às funções para as quais os reservatórios foram construídos. A figura 5.41 a seguir exemplifica as forças atuantes no sistema.

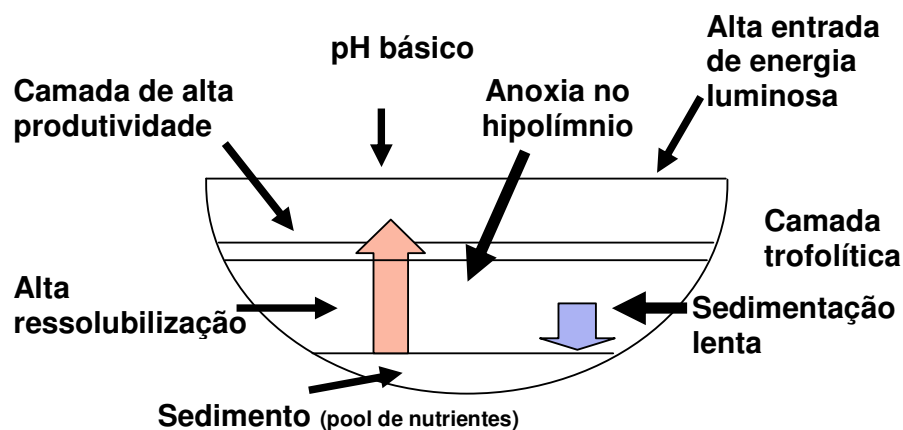


FIGURA 5.41 – Sugestão de modelo conceitual de funcionamento dos reservatórios com retirada apenas das águas superficiais

Os dados analisados sugerem que as formas atuais de operação dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Ribeirão e Soberbo, que não possuem descargas profundas se assemelham muito com a figura 5.41. Isto indica que maiores produtividades primárias com conseqüentes elevações nas concentrações de clorofila *a*, altas densidades populacionais do fitoplâncton são factíveis de ocorrer pela alta estabilidade térmica e elevado conteúdo de calor, os quais aceleram o processo de sedimentação e ampliação da ressobilização dos compostos dos sedimentos.

A análise funcional do reservatório do Serra Azul, o situaria dentro do modelo da figura 5.41, registrando, no entanto relações quantitativas do fitoplâncton foram consideradas como similares aos mensurados nos reservatórios de menor produtividade, que apresentam um funcionamento dentro do modelo conceitual da figura 5.40 e possuem descargas profundas.

Tal singularidade se explica por meio de outras forças ambientais, constituídas pela composição geológica da bacia contribuinte, com de itabiritos com altas concentrações de ferro, ocupação da bacia hidrográfica com atividades relacionadas à mineração de ferro que forçosamente ampliam em muito as concentrações deste metal nas águas afluentes ao reservatório.

O reservatório do Juramento, mesmo estando em uma região geologicamente rica em lentes de calcário, registrou concentrações de compostos ferrosos nas águas hipolimnéticas semelhante do Serra Azul. Tal situação pode ser considerada atenuante ao esperado aumento da produtividade primária pela presença de compostos calcários e magnesianos, pela ação do afluxo de energia solar, característico da região geográfica e da baixa ação da descarga profunda.

O modo de aproveitamento desse funcionamento físico que age sobre a fisiologia da produtividade primária dos reservatórios é manter estruturas térmicas instáveis com a utilização constante das águas de pior qualidade existentes no hipolímnio, retiradas por estruturas de descarga profunda.

Desta forma os processos de ressolubilização dos nutrientes são mantidos, o aumento dos conteúdos de calor nas camadas superficiais é incentivado, com conseqüente diminuição da viscosidade e aumento da deposição, de compostos e partículas, sendo que a existência de descargas profundas favorece a retirada constante destes materiais na região lacustre dos reservatórios.

Pelos fatos aventados e pelos dados analisados, sugere-se que o tipo de funcionamento em curso no reservatório do rio Manso é o modelo que melhor se enquadra às necessidades operacionais e de preservação da qualidade das águas nos reservatórios de abastecimento, haja vista a manutenção de níveis de produtividade relativamente baixos, mesmo estando os conteúdos de calor acima dos valores mensurados para os outros reservatórios estudados.

5.2.7 Análises das temperaturas médias do epilímnio e hipolímnio dos reservatórios estudados.

A ação da radiação solar sobre a superfície das águas e a difícil distribuição desta energia para as camadas mais profundas, cria padrões de densidade diferentes à medida que se desloca em direção ao fundo nos lagos e reservatórios.

Conhecer as temperaturas dos diversos e principais estratos de um reservatório é ação estratégica, quando variações na qualidade das águas é fator importante na composição dos custos na produção de água destinada ao abastecimento público. Pequenas diferenças entre as diversas camadas, mesmo que ocorram valores elevados da RTR em determinados pontos do perfil vertical de temperatura, podem e normalmente causam perda da estrutura clinograda destes e conseqüente variação na qualidade das águas em cada um dos estratos.

Nos lagos e reservatórios das centrais hidroelétricas, tais variações são pouco significativas e geram conseqüências passíveis de serem desconsideradas nos aspectos econômicos e utilitários. Já, nos reservatórios destinados ao abastecimento público, pequenas variações na qualidade das águas geram aumentos significativos nos custos dos processos de tratamento e mesmo um maior gasto operacional na lavagem de filtros e outras estruturas que compõem as unidades de produção.

Medições de temperatura das águas dos reservatórios, via de regra, não fazem parte das análises rotineiras das estações de tratamento das águas destas unidades produtoras e quando são realizadas nos programas de monitoramento, sua realização é feita com a utilização de termômetros comuns e sem a sensibilidade que seria necessária à realização de estudos mais profundos. Há que convir que variações acentuadas na temperaturas das águas captadas influem na solubilização de diversos produtos químicos e em destaque os utilizados nos processos de tratamento , podendo aumentar os custos dos processos nos seus diversos aspectos.

As medições de temperatura permitiram constatar que as temperaturas médias do epilímnio estavam em torno de 3 a 4 °C acima das temperaturas médias do hipolímnio para os reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento e Ribeirão, sendo que no reservatório do Soberbo esta diferença chegou a 5°C.

Os cálculos das médias, em todos os reservatórios, determinadas de forma ponderada em função do volume de cada estrato, mostram que o reservatório mais frio, ou seja, com menor temperatura média no perfil, foi o reservatório do Rio Manso (22,9°C), sendo o reservatório do Soberbo (24,4°C) o mais quente.

Limnologicamente, como conseqüência das condições de temperatura e outras variáveis, é esperado um maior trabalho metabólico com maiores temperaturas, pela aceleração dos processos de catabolismo dos componentes orgânicos, executado pelos organismos planctônicos existentes na água. Desta forma estima-se que o reservatório do Rio Manso deva funcionar de forma menos acentuada em termos metabólicos que o do Soberbo. É importante ressaltar, que as temperaturas médias apresentaram valores muito próximos aos valores de temperatura do epilímnio.

Na execução da análise do comportamento da temperatura no epilímnio e no hipolímnio foram consideradas as amostragens de forma seqüencial, não se observando a correta separação entre as datas amostrais. Tal se deu para que a visualização das variações fosse possível e o mais próximo dos valores reais.

Percebeu-se uma constância de variações ligadas certamente às oscilações das forçantes climáticas de cada um dos biótopos. As figura 5.42, 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, 5.47 destacam as variações das temperaturas nos dois estratos dos reservatórios e as médias.

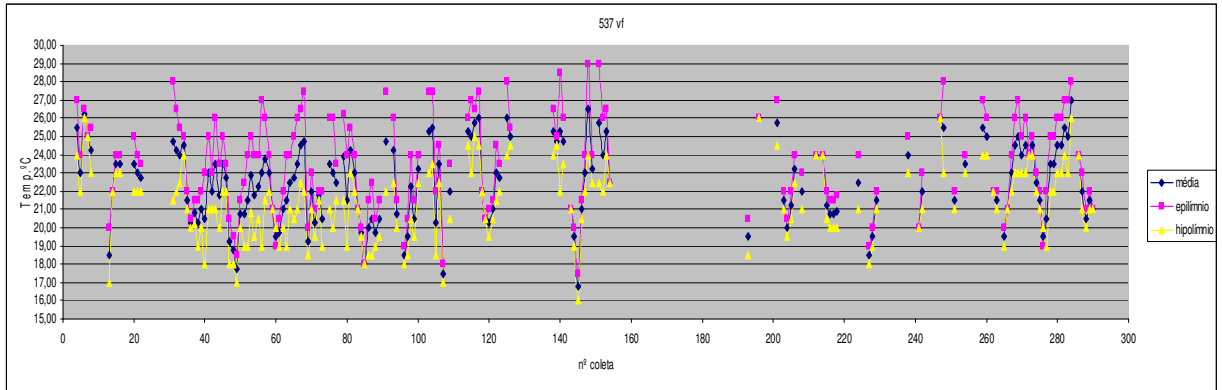


Figura - 5.42- Variação das temperaturas médias do epilímnio e hipolímnio no reservatório de Vargem das Flores em 166 medições entre 1982 e 2005.

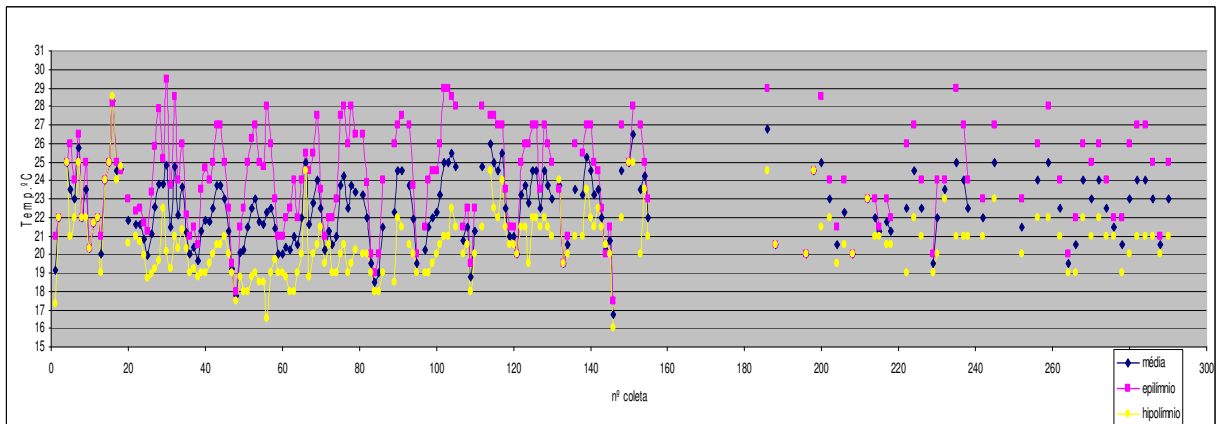


Figura 5.43- Variação das temperaturas médias do epilímnio e do hipolímnio no reservatório do Serra Azul, em 227 medições entre 1982 e 2005.

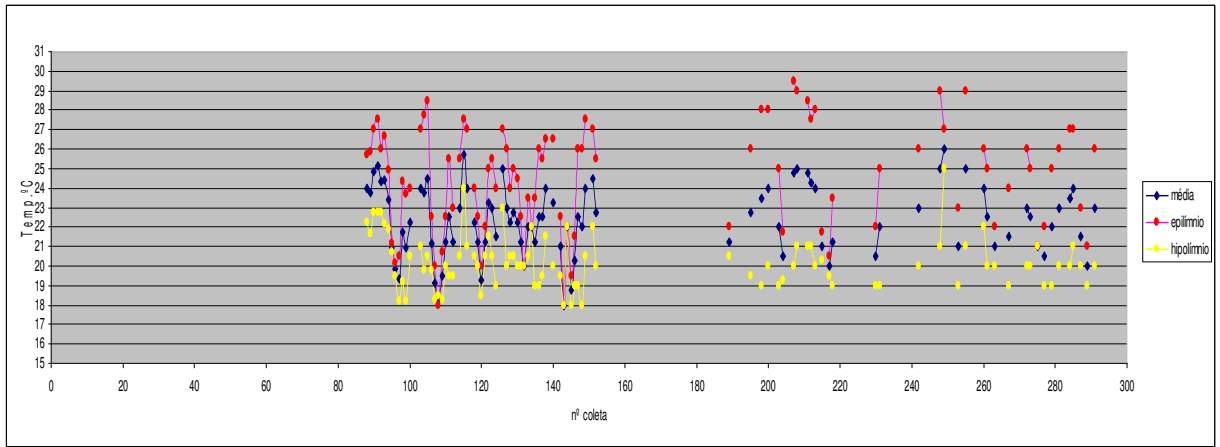


Figura 5.44 - Variação das temperaturas médias do epilímio e do hipolímio no reservatório do Rio Manso em 130 medições entre 1988 e 2005.

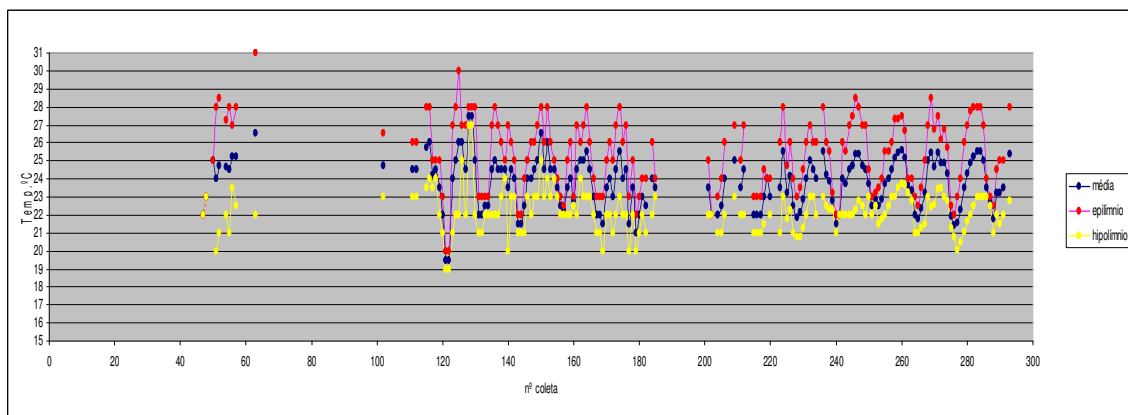


Figura 5.45- Variação das temperaturas médias do epilímio e do hipolímio no reservatório do Juramento em 220 medições, entre 1985 e 2005.

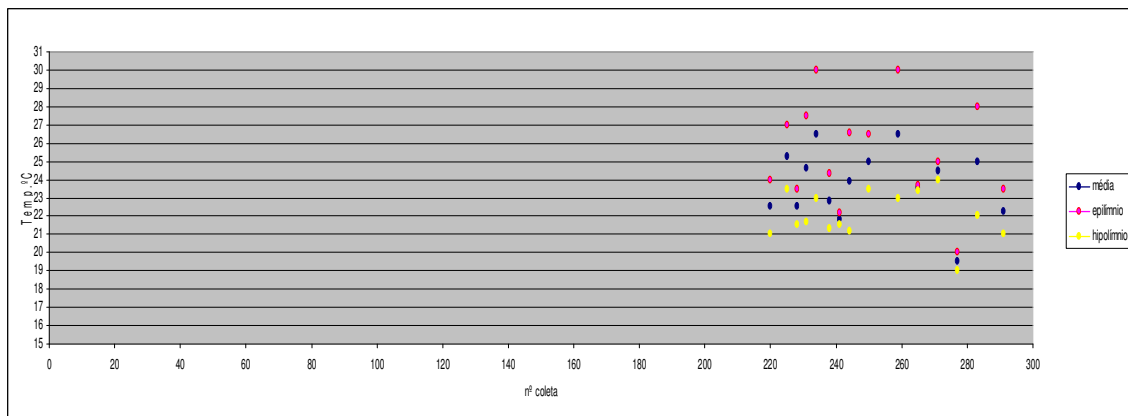


Figura 5.46- Variação das temperaturas médias do epilímio e do hipolímio no reservatório do Ribeirão em 22 medições entre 1999 e 2005.

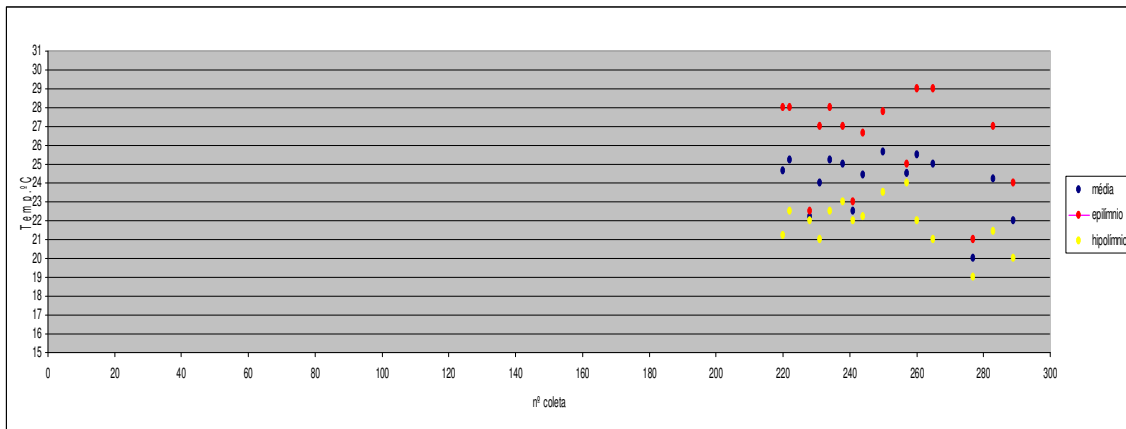


Figura 5.47- Variação das temperaturas médias do epilímnio e do hipolímnio no reservatório do Soberbo, em 17 medições entre 1999 e 2005.

5.2.8 Discussão sobre as Resistências Térmicas Relativas (RTR) dos reservatórios estudados.

As medições de temperatura nos perfis verticais dos reservatórios forneceram informações sobre a Resistência Térmica Relativa, ou seja, o quociente entre as diferenças das densidades das águas de duas camadas contíguas, verticalmente no ponto de amostragem, e a diferença entre as densidades da água entre 4°C e 5 °C, segundo Wetzel (1983).

A dificuldade na transmissão vertical da energia calorífica confere modificações físicas e estruturais nas moléculas de água, fazendo com que haja modificações nos espaços intermoleculares e, como conseqüência, afetando a densidade das moléculas em função da maior ou menor concentração de energia calorífica em cada ponto do meio em estudo.

Os perfis de temperatura obtidos e plotados em gráficos representaram as variações verticais da resistência à mistura de cada camada em relação à camada imediatamente superior a ela. Os primeiros resultados sugeriram a existência de uma grande e constante resistência térmica relativa nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo, possivelmente causada pelas estruturas de engenharia que compõem o barramento e o cachimbo de tomada d água, não existindo descarga profunda ou retirada profunda das águas.

O reservatório do Juramento apresentou acentuada diferença entre os valores obtidos para a RTR. Medições de campo demonstraram a existência de um padrão constante de perfil clinogrado, fato este confirmado pelas características das águas efluentes da descarga profunda, as quais apresentavam altos valores de cor e turbidez, ao passo que as águas superficiais eram límpidas e a profundidade de leitura da transparência do disco de Secchi era da ordem de 2,4 m.

Os reservatórios de Vargem das Flores e Serra Azul apresentaram perfis clinogrados com acentuada diferença da RTR entre o epilímnio e o hipolímnio. O reservatório do Rio Manso foi o que apresentou os menores valores de RTR entre os seis reservatórios estudados.

5.2.9 Análises dos Índices de Tropicalidade (IT)

O Índice de Tropicalidade (IT) obtido a partir dos dados de calor e da profundidade média de determinado reservatório ou lago Ramirez (2000), permite que se comparem as capacidades de armazenamento de calor entre lagos in Henry e Tundisi (1988).

Os resultados obtidos para este índice nos diferentes reservatórios foram: Vargem das Flores 1,43; Serra Azul 1,25; Rio Manso 1,29; Juramento 1,87; Ribeirão 1,89 e Soberbo 1,79. Tais valores permitiram que se estabelecesse uma relação entre os dois grupos de reservatórios.

Os valores obtidos para os reservatórios mais altos em relação ao nível do mar (fig.4.1), quais sejam: Vargem das Flores, Serra Azul e Manso, estão bem próximos dos valores máximos admitidos para os reservatórios e lagos temperados. O reservatório de Vargem das Flores é o que, entre os três, possui o maior valor absoluto de IT.

Provavelmente tal se dê pela morfologia do lago, o qual se situa em região menos montanhosa e mais sujeita à ação dos ventos, ao passo que os reservatórios Serra Azul e Manso possuem bacias hidrográficas fisicamente encaixadas e são cercados e próximos às montanhas, sofrendo os efeitos destas barreiras. O sombreamento é um dos produtos destas barreiras físicas além da forma da bacia hidrográfica muito encaixada.

Os reservatórios do grupo de baixa altitude (Juramento, Ribeirão, Soberbo), por estarem em uma região mais quente e de características climatológicas “mais tropicais” que os reservatórios de montanha, apresentaram valores de IT maiores que os do grupo dos reservatórios maior altitude (V.das Flores, Serra Azul, Manso) mas, ainda assim abaixo dos valores de IT de 2,08 encontrados por Henry e Barbosa (1988) citados por Henry e Tundisi (1988) para as águas da lagoa da Carioca no Parque do Rio Doce em Minas Gerais.

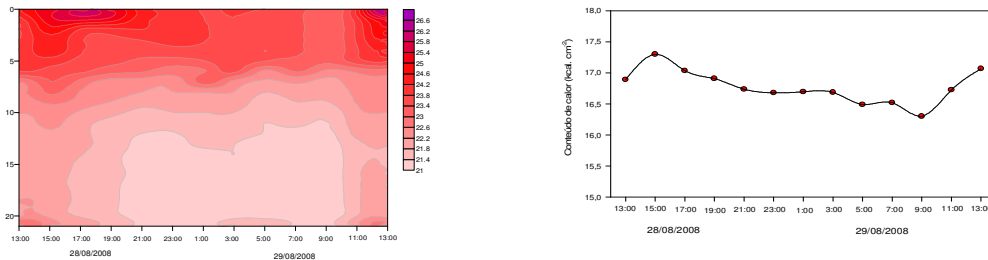
Assim sendo, a utilização de índices na classificação de reservatórios para abastecimento torna-se conflituosa em função das formas de retirada das águas e dos volumes retirados. Essas características funcionais conferem aos reservatórios de abastecimento um comportamento como biótopo, diverso das lagoas naturais e dos reservatórios de produção

hidroelétrica. Os dados obtidos neste índice corroboram as caracterizações feitas no início deste trabalho sobre o funcionamento dos reservatórios em termos lóticos ou lânticos.

5.3.0 Avaliações nictemeraias dos conteúdos de calor e temperaturas dos reservatórios estudados.

Nos trabalhos de medição das temperaturas no perfil vertical dos reservatórios para a obtenção das variações nictemeraias (em 24 horas de amostragem) foram obtidos dados que permitiram a construção dos diagramas “profundidade x tempo” da temperatura das águas bem como o cálculo de calor e suas variações no período amostrado. As figuras 5.48, 5.49, 5.50 mostram a representação gráfica dos dados obtidos

Reservatório de Vargem das Flores



Reservatório do Serra Azul

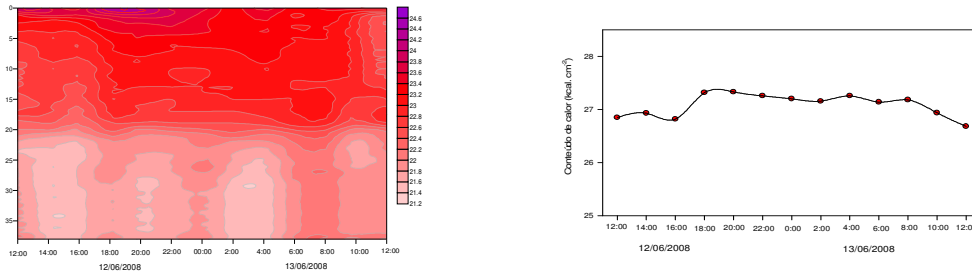
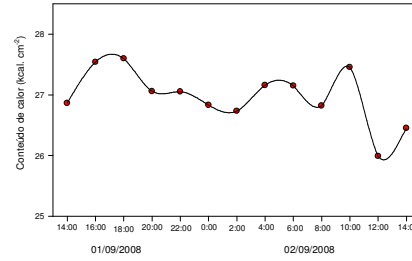
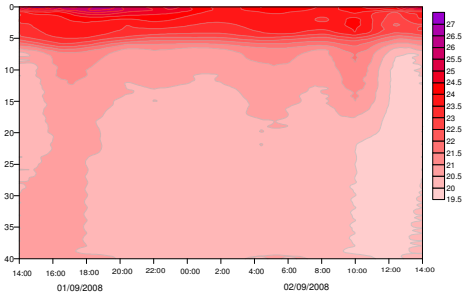


Fig.5.48 -Diagrama profundidade-tempo das variações na temperatura da água (isotermas em °C) e variação do conteúdo de calor (kcal.cm⁻²) em 24 horas nos reservatórios de Vargem das Flores e Serra Azul.

Reservatório do Rio Manso



Reservatório do Juramento

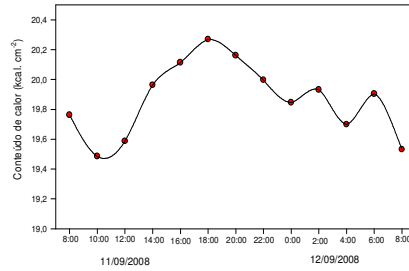
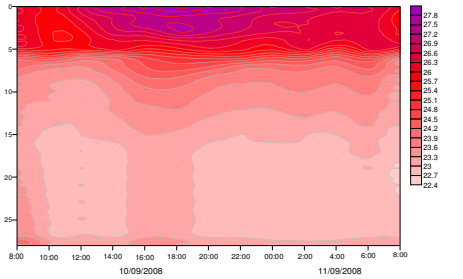
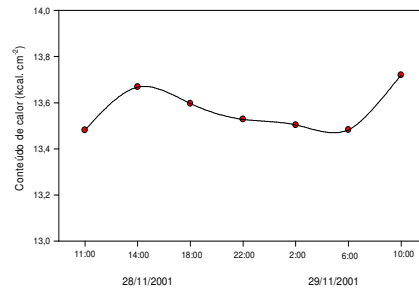
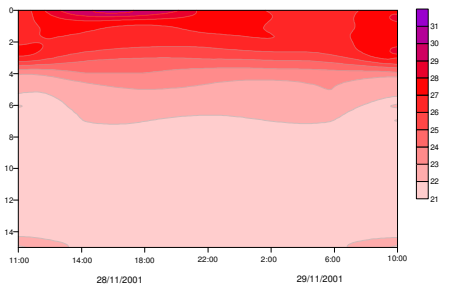


Fig.5.49 -Diagrama profundidade-tempo das variações na temperatura da água (isotermas em °C) e variação do conteúdo de calor (kcal.cm⁻²) em 24 horas nos reservatórios do Rio Manso e Juramento.

Reservatório do Ribeirão



Reservatório do Soberbo

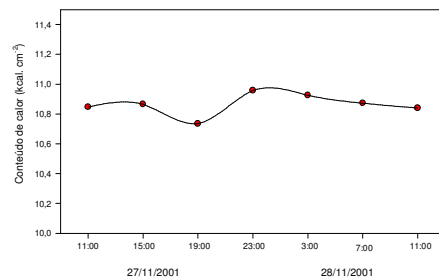
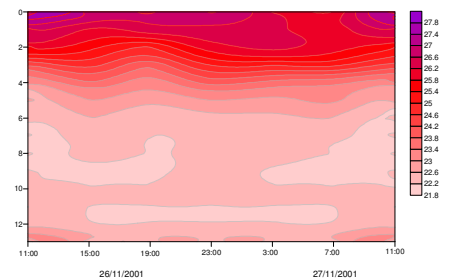


Fig.5.50 -Diagrama profundidade-tempo das variações na temperatura da água (isotermas em °C) e variação do conteúdo de calor (kcal.cm⁻²) em 24 horas nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo.

As variações nictemeraias mostram as pequenas variações ocorridas no período, tanto no que se refere às temperaturas nos perfís como, e conseqüentemente, nos valores de calor calculados.

Tais dados não corroboram as informações citadas por Barbosa e Tundisi (1989) que se referem as variações obtidas por eles no lago Carioca no Parque do Rio Doce em Minas Gerais. Eles afirmaram que as variações nictemeraias são mais acentuadas que as variações anuais o que não aconteceu neste caso específico para os seis reservatórios estudados.

Possivelmente o funcionamento dos reservatórios, caracterizado principalmente por retiradas constantes e volumetricamente significativas de águas em profundidades abaixo daquelas nas quais as águas do lagos saem do sistema ou seja mais superficiais.

As temperturas do ar medidas durante os trabalhos de obtenção dos dados de temperatura da água nas variações nictemeraias são apresentadas a seguir. No reservatório de Vargem das Flores no período de 24 horas entre os dias 28 e 29 de agosto de 2008 entre as 13:00 horas do início das medições e as 13:00 horas do dia subsequente, houve diferença entre a maior e a menor temperatura do ar de 16 °C, (máxima de 32 °C e mínima de 16°C), tendo sido registrada a menor temperatura às 7:00 horas da manhã.

Este reservatório apresenta constantemente, pelas manhãs, brisa forte no sentido montante para jusante, a qual provoca ondas que certamente influem na mistura das camadas superficiais e alteram a distribuição de calor. A variação nictemeral da temperatura do ar neste reservatório pode ser observado na Fig. 5.50.1.

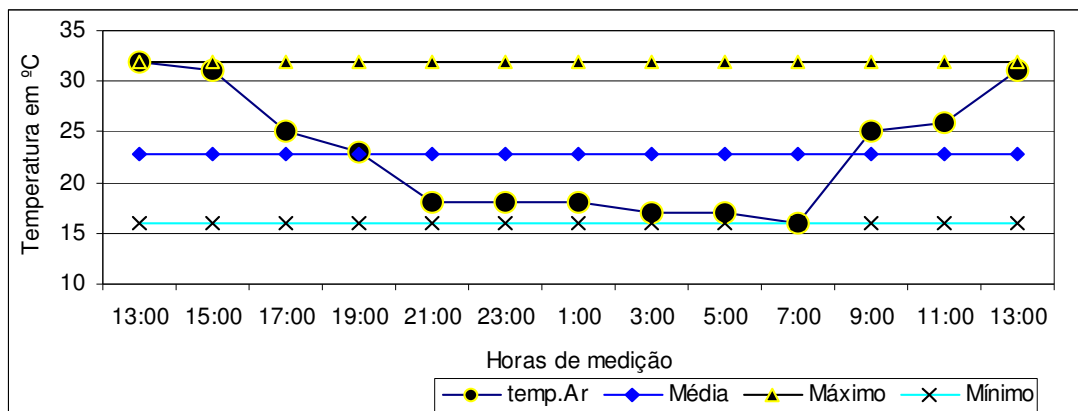


Figura 5.50 .1 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório de Vargem das Flores durante as medições nictemeraias de temperatura da água.

O reservatório do Serra Azul foi amostrado durante 24 horas em 12 a 13 de junho de 2008 com início dos trabalhos às 12:00 horas. A maior temperatura do ar foi medida às 12:00 horas do dia 13 (31°C), e a menor temperatura (15°C) foi medida às 4:00 e às 6:00 horas da manhã deste mesmo dia. A variação entre as temperatura máxima e mínima nestas 24 horas foi de 16°C, similar ao mesmo valor encontrado para o reservatório de Vargem das Flores, sendo que este reservatório raramente apresenta ventos pela manhã ou mesmo à noite. A figura 5.50.2, apresenta os dados da medição.

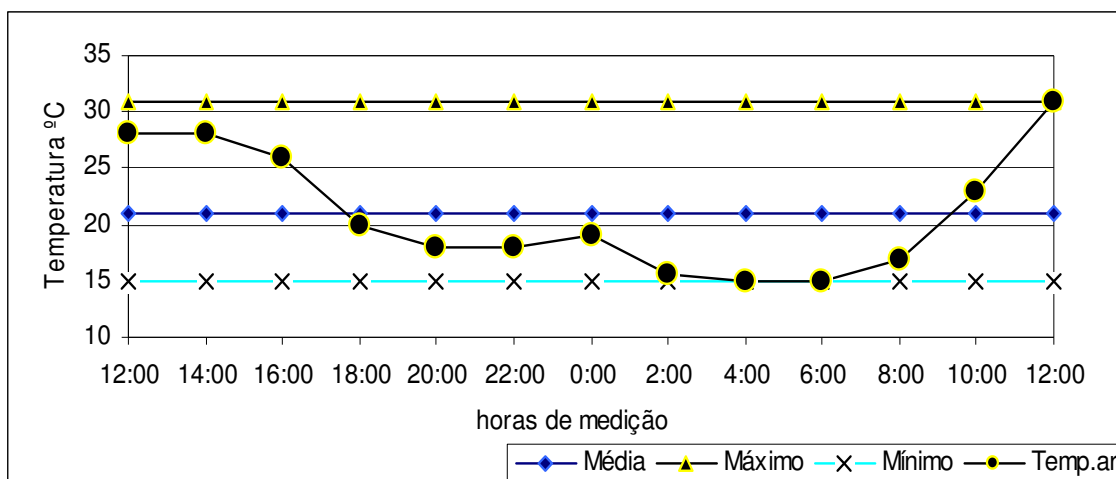


Figura 5.50.2 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Serra Azul durante as medições nictemerais de temperatura da água.

O reservatório do Rio manso teve as medições nictemerais realizadas em 01/09/2008 com início das amostragens às 14h00min horas. A maior temperatura do ar (31,5°C) foi medida às 14h00min horas do dia 02/09/2008 ao final dos trabalhos, e foi de 12,0° C a menor temperatura medida foi às 06h00min h. A amplitude da variação entre as temperaturas máxima (31,5°C) e mínima (12,0°C) mensuradas neste período de 24 horas foi de 19,5°C. A figura 5.50.3 ilustra o comportamento da temperatura do ar neste reservatório.

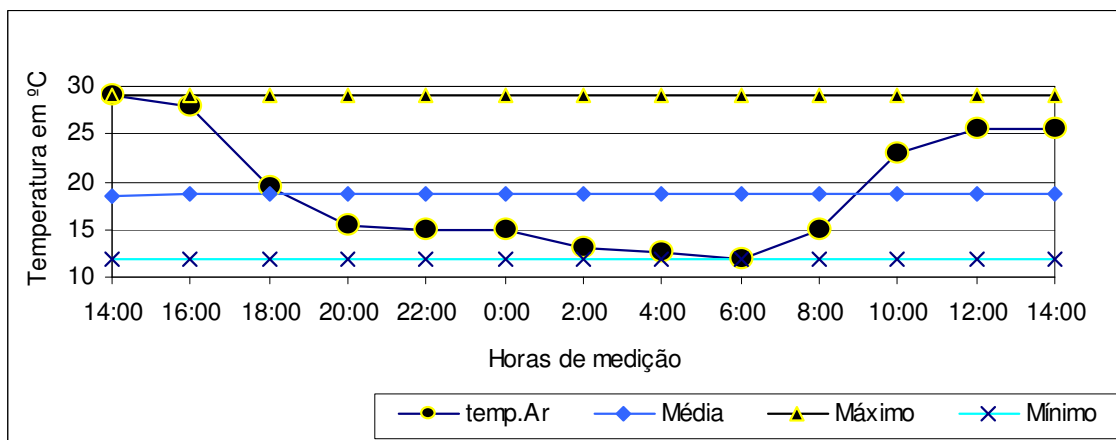


Figura 5.50.3 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Rio Manso durante as medições nictemeraias de temperatura da água.

No reservatório do Juramento as medições nictemeraias foram executadas em 10/09/2008, com início às 08h00min h. A maior temperatura do ar (29,5°C) foi registrada às 16:00 h e a menor temperatura (17,5°C) às 06h00min h. A amplitude térmica foi de 12°C para este período de amostragem. A figura 5.50.4 registra os dados obtidos.

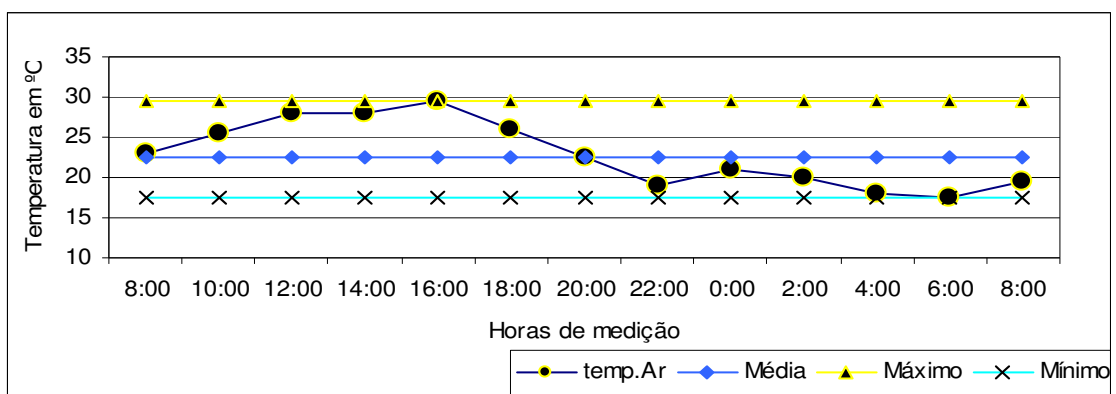


Figura 5.50.4 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Juramento durante as medições nictemeraias de temperatura da água.

Os reservatórios do Ribeirão e do Soberbo foram amostrados durante 24 horas nos dias 26 e 28/11/2001 respectivamente e em ambos o início das medições foi às 11h00min horas. Para o reservatório do Ribeirão a maior temperatura do ar registrada (33°C) foi às 14h00min h e a menor(23°C) às 06h00min h. A amplitude térmica foi de 10°C.

No reservatório do Soberbo a maior temperatura do ar (33°C) ocorreu às 11h00min h e a menor (21°C) às 01h00min h. A amplitude térmica foi de 12°C. As figuras 5.50.5 e 5.50.6 ilustram os valores obtidos.

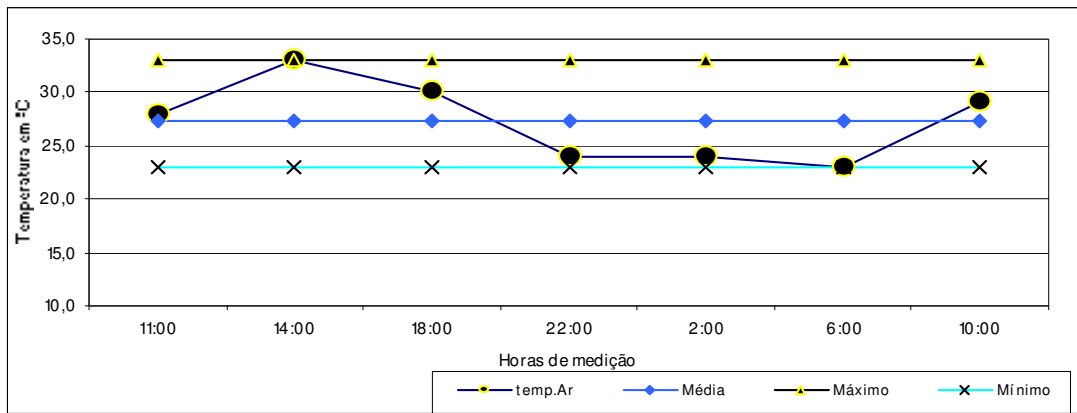


Figura 5.50.5 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Ribeirão durante as medições nictemeraias de temperatura da água.

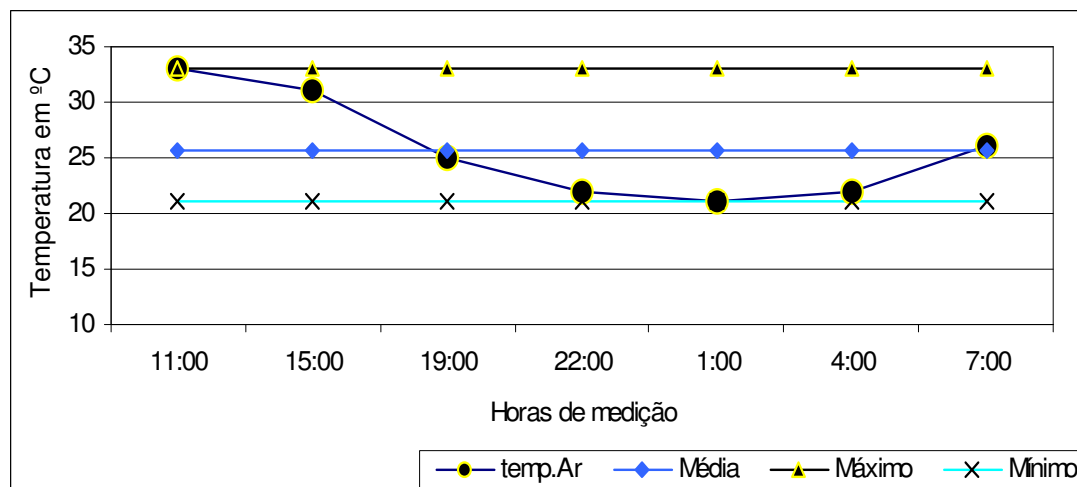


Figura 5.50.6 - Variação da temperatura do ar em 24 horas no reservatório do Soberbo durante as medições nictemeraias de temperatura da água.

5.3.1 Análises dos conteúdos de calor dos reservatórios estudados.

O conteúdo de calor de cada um dos reservatórios foi calculado por meio das medições de temperatura dos perfis verticais, em cada amostragem. No reservatório do Juramento, além das medições realizadas durante as amostragens normais, um programa de medição das temperaturas no perfil da coluna de água da estação principal, que é feito a cada quinze dias.

O reservatório do Serra Azul foi objeto, durante um período, de intensas campanhas de amostragem no perfil vertical das temperaturas e das concentrações de Ferro e Manganês, haja vista problemas relacionados à qualidade das águas captadas e ao produto distribuído.

Os demais reservatórios são objeto constante de medições ambientais, da qualidade de suas águas e eventualmente outros trabalhos de cunho hidrológico também são efetuados, mas de uma forma geral, todos possuem um programa de amostragem que segue complementando a legislação vigente. De uma forma geral, os resultados obtidos para todos os reservatórios estão dentro de faixas de conteúdo de calor que podem ser considerados como quentes.

Os maiores valores médios encontrados foram no reservatório do Rio Manso, ($25,77 \text{ kcal cm}^2$), com o maior valor de $32,15 \text{ kcal cm}^2$ e o menor de $4,58 \text{ kcal cm}^2$ o que em termos absolutos, informa um grande saldo de calor.

Da mesma forma, não se percebem variações dos perfis de temperatura em curtos períodos de tempo, e sequer modificações nos perfis clinogrados encontrados em praticamente todos os reservatórios e em todas as amostragens. Isto se dá, principalmente, pela pequena variação de temperatura do ar, mesmo no inverno, onde as quedas de temperatura são muito lentas e de pequena amplitude, mantendo a estratificação térmica e química praticamente durante todo o ano.

A ocorrência da inversão das camadas de diferentes temperaturas (“turn-over”) nos reservatórios, causa transtornos consideráveis à operação dos sistemas de abastecimento. Tal fenômeno, de uma forma geral, pé de curta duração temporal, principalmente se os reservatórios possuem descargas profundas ou de fundo e suas águas apresentarem elevadas concentrações de ferro e/ou manganês.

Os saldos positivos de calor, com a conseqüente diminuição da viscosidade da água, fazem com que ocorra aceleração do afundamento da camada que foi à superfície, carreando sólidos em suspensão e causando um acelerado retorno do sistema à estratificação e ao clareamento das águas superficiais, ocasionando no entanto uma redistribuição de nutrientes em todo o biótopo.

Os saldos de calor foram obtidos para os anos hidrológicos, o que permitiu melhor visualização dos processos evolutivos dos conteúdos de calor em cada reservatório.

O reservatório de Vargem das Flores, possui dados sobre temperaturas no perfil da estação principal, a partir de 1981, e embora tenham sido realizadas amostragens anteriores a esta

data, não foi possível seu resgate. Desta forma informações acerca da variação dos conteúdos de calor durante seu enchimento foram perdidos.

Os resultados demonstram que as variações nos conteúdos de calor foram da ordem de 12,75 kcal de diferença entre a máxima e a mínima observada no período mensurado. A média foi de 16,3 kcal cm⁻² com desvio padrão da ordem de 2,5 kcal cm⁻², e considerado baixo em termos absolutos. O valor máximo obtido foi de 21,02 kcal cm⁻² e o menor valor calculado foi de 8,27 kcal cm⁻².

O reservatório de Vargem das Flores foi considerado como o reservatório com o menor conteúdo de calor entre os seis reservatórios estudados, a forma de sua bacia hidrográfica, a constância dos ventos, que sopram pelas manhãs, aliados ao alto desenvolvimento do volume e por estar à maior altitude entre todos os reservatórios estudados.

A figura 5.51 apresenta as pequenas variações nos conteúdos de calor e a constância das variações dentro de estreita faixa de amplitude.

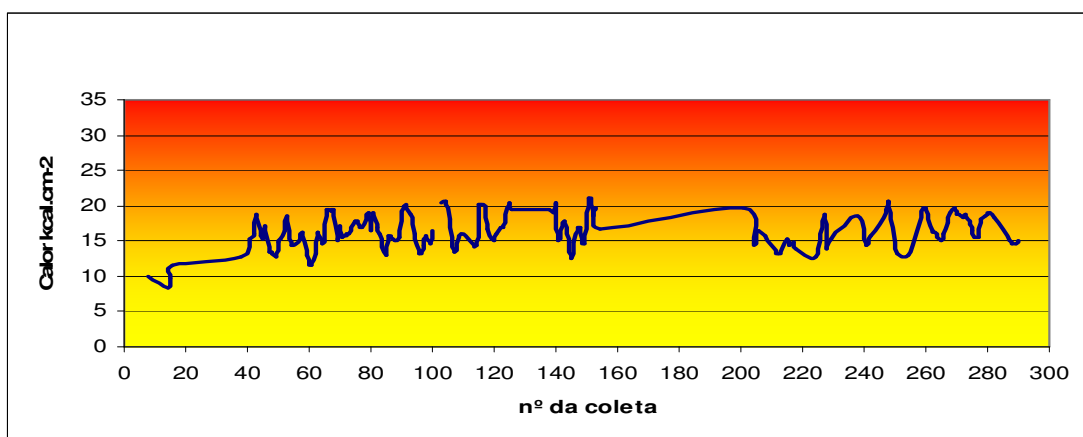


Figura 5.51 - Variação do conteúdo de calor em kcal.cm², no reservatório de Vargem das Flores em 166 medições entre 1981 e 2005

Os enchimentos dos reservatórios Serra Azul e Rio Manso, foram objeto de acompanhamento que resultaram em importantes dados, e praticamente únicos, sobre a evolução e manutenção das temperaturas nos diversos estratos, bem como possibilitaram todos os cálculos referentes aos conteúdos de calor e aos saldos anuais de calor.

O reservatório do Serra Azul apresentou na sua série de dados, variação acentuada dos conteúdos de calor. O maior valor obtido foi de $28,10 \text{ kcal cm}^{-2}$ e o menor de $13,74 \text{ kcal cm}^{-2}$, com média de $20,60 \text{ kcal cm}^{-2}$ para um desvio padrão de $3,6 \text{ kcal cm}^{-2}$.

A diferença entre o valor máximo e o mínimo foi da ordem de $14,36 \text{ kcal cm}^{-2}$ sendo considerado, entre os reservatórios estudados, aquele que apresentou a maior variação.

A entrada de energia neste sistema pode ser considerada como similar à entrada de energia no reservatório do Rio Manso. Suas bacias hidrográficas são próximas, suas variações são mais acentuadas possivelmente por serem influenciadas apenas pela retirada superficial das águas, em menor volume ($2,9 \text{ m}^3/\text{seg.}$) e sem a existência de descarga profunda. A figura 5.52, mostra a evolução das condições de calor no reservatório do Serra Azul bem como as variações observadas.

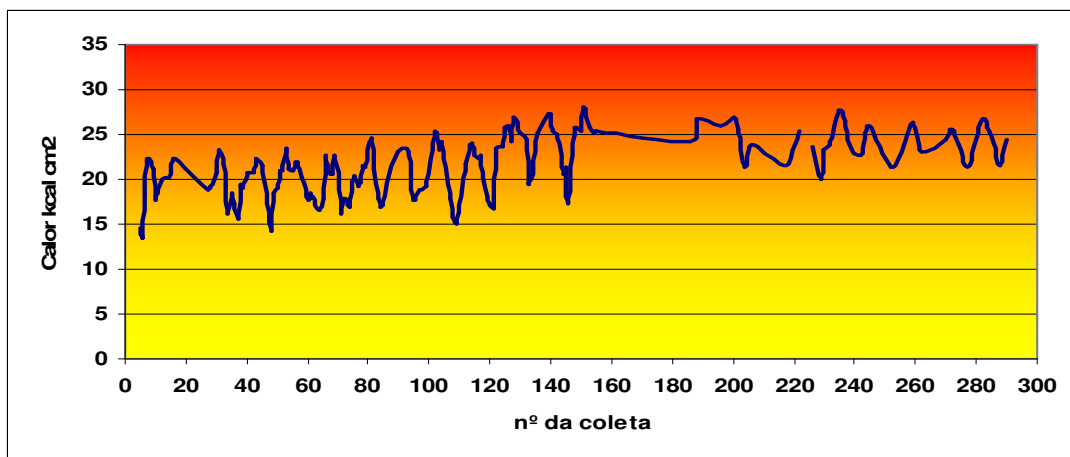


Figura 5.52- Variação do conteúdo de calor do reservatório do Serra Azul em 227 amostragens entre 1982 e 2005.

O reservatório do Rio Manso é considerado o reservatório com maior quantidade de calor, já que o valor máximo de $32,15 \text{ kcal cm}^{-2}$, e valor mínimo de $22,8 \text{ kcal cm}^{-2}$, valor este comparável apenas aos encontrados como máximo para o reservatório do Juramento.

A diferença entre o valor máximo encontrado e o mínimo foi de $10,07 \text{ kcal cm}^{-2}$. No escopo das amplitudes é um dos menores valores obtidos. A média de calor verificada durante este trabalho foi de $27,09 \text{ kcal cm}^{-2}$ com desvio de $2,2 \text{ kcal cm}^{-2}$, e só maior que aquele encontrado para os dados do reservatório do Juramento.

O reservatório do Juramento por estar localizado no semi-árido, com temperatura ambiente elevada, poucas variações na amplitude térmica e com descarga de fundo operante, deveria apresentar maiores valores de calor e menores variações no saldo final de calor. A figura 5.53 ilustra as variações observadas.

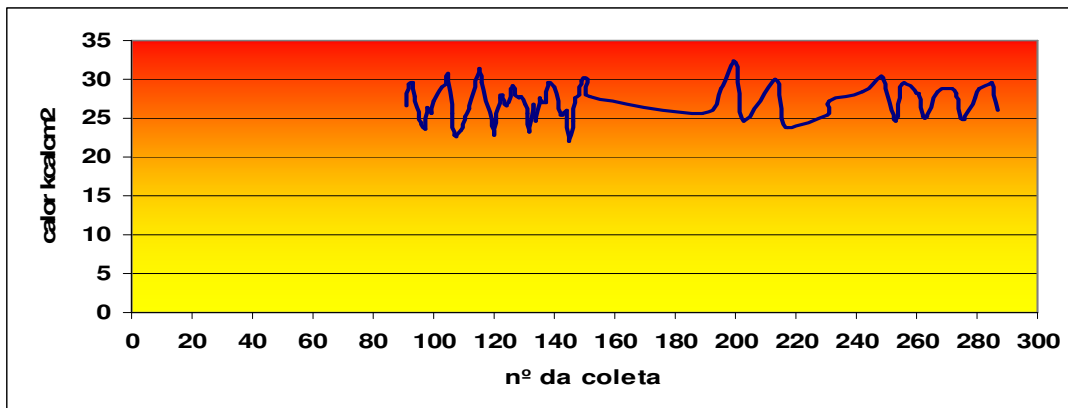


Figura 5.53 - Variação do conteúdo de calor do reservatório do Rio Manso em 130 amostragens entre 1988 e 2005

Uma primeira análise do comportamento dos conteúdos de calor nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso mostra uma ligeira elevação dos conteúdos de calor em cada uma das unidades, sugerindo um processo de aquecimento lento e gradual.

Possivelmente tal fato esteja ligado ao processo de retirada das águas um pouco baixo da linha de maior concentração de calor, o que eliminaria as águas mais frias da camada mais profunda próxima a termoclina. Ação esta realizada pelas tomadas d água que por questões de segurança e do fluxo hidráulico necessitam estar situadas abaixo de determinada profundidade onde não se observa a formação de vórtices.

O reservatório do Juramento não teve mensuradas as temperaturas de suas águas durante o enchimento e possui uma série histórica com grandes vazios, incluindo as medições de temperatura. Pelos dados analisados é constatado que há uma constância acentuada nos conteúdos de calor mensurados durante as 220 campanhas realizadas, no entanto as variações que ocorrem são na maior parte das vezes localizadas dentro de estreita faixa de variação.

Os dados obtidos informam que este reservatório apresenta a menor variação entre as máximas e mínimas de conteúdo de calor medido, ($25,08 \text{ kcal cm}^{-2}$ e $16,85 \text{ kcal cm}^{-2}$) respectivamente e a diferença $8,23 \text{ kcal cm}^{-2}$. A média do conteúdo de calor foi de $21,6$ com desvio de $1,69 \text{ kcal cm}^{-2}$ sendo o menor dos desvios calculados entre os valores médios dos reservatórios estudados. A seguir, a figura 5.54 mostra as variações e comportamento geral dos conteúdos de calor no reservatório do Juramento.

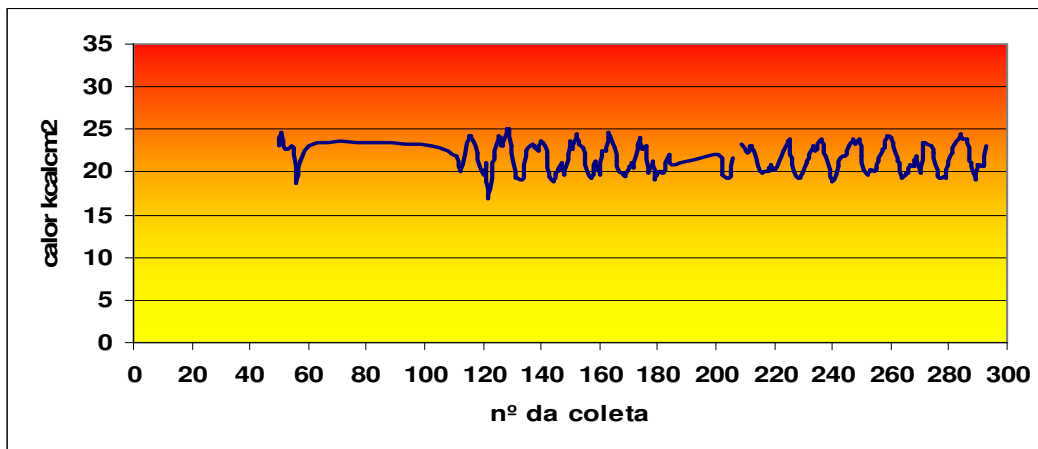


Figura 5.54 - Variação do conteúdo de calor do reservatório do Juramento em 220 amostragens entre 1985 e 2005

Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo não possuem séries históricas dos perfis de temperatura. Séries amostrais foram realizadas, vindo a gerar perfis de 24 horas de temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade, cor e turbidez, no entanto apenas uma das estações climáticas, foi abrangida. O grande espaçamento entre as amostragens para esses dois reservatórios os torna pobres em informações, mesmo tendo sido realizados alguns trabalhos investigativos.

A análise da escassa base de dados informa que esses reservatórios que os mesmo apresentam os menores valores médios para o conteúdo de calor sendo o reservatório do Ribeirão o de menor valor.

Os valores médios calculados para os reservatórios de Ribeirão e Soberbo foram respectivamente, $14,46 \text{ kcal cm}^{-2}$ e $15,08 \text{ kcal cm}^{-2}$, com um desvio de $2,53 \text{ kcal cm}^{-2}$ e $3,94 \text{ kcal cm}^{-2}$. Os valores máximos e mínimos calculados foram $19,51 \text{ kcal cm}^{-2}$ e $11,13 \text{ kcal cm}^{-2}$ para o reservatório do Ribeirão e $22,33 \text{ kcal cm}^{-2}$ e $8,97 \text{ kcal cm}^{-2}$ para o reservatório do Soberbo.

Nas figuras 5.55 e 5.56 é apresentado o comportamentos dos conteúdos de calor nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo, respectivamente.

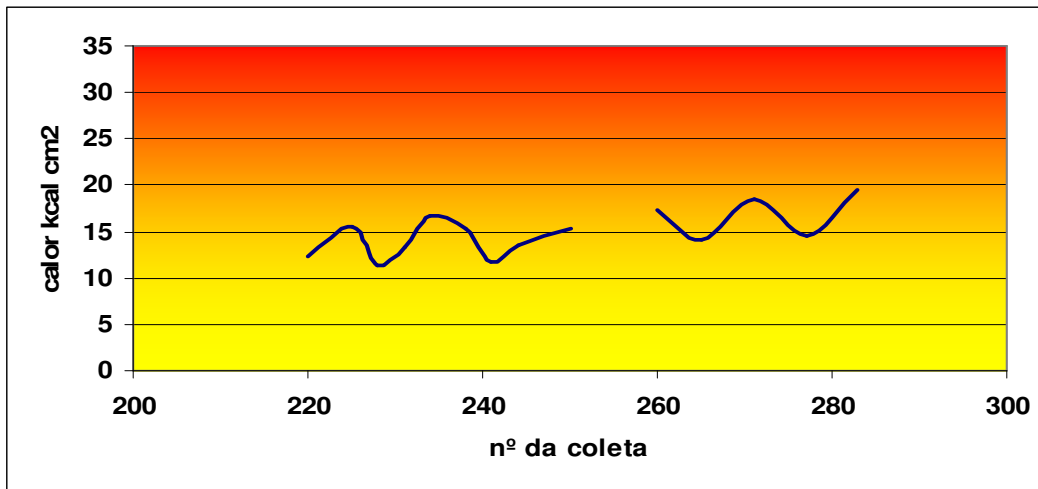


Figura 5.55 - Variação do conteúdo de calor no reservatório do Ribeirão em 22 amostragens entre 1999 e 2005

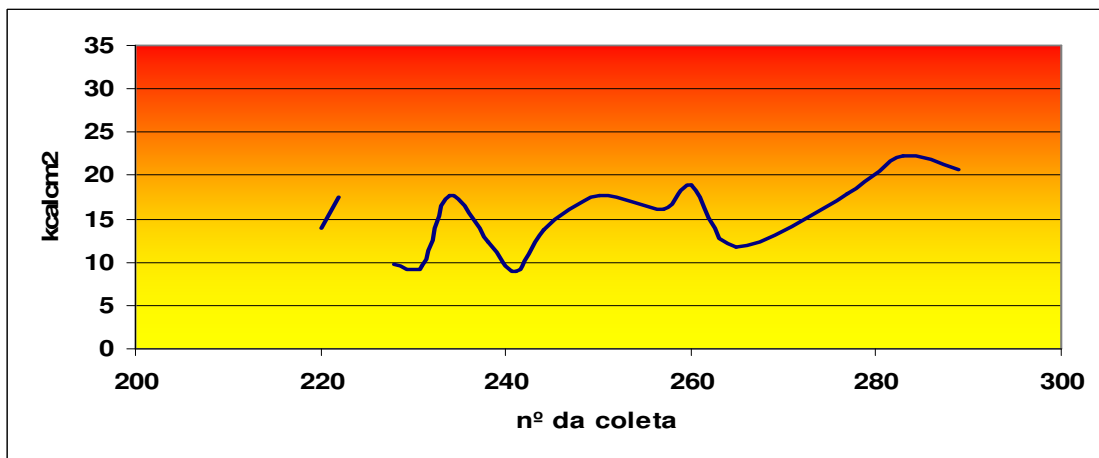


Figura 5.56- Variação do conteúdo de calor no reservatório do Soberbo em 17 amostragens entre 1999 e 2005.

5.3.2 – Análise estatística dos parâmetros limnológicos dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

Após o trabalho relacionado à estatística descritiva, quando as primeiras tendências evolutivas das características estudadas foram aventadas, e objetivando avaliar a ação da energia calorífica sobre os parâmetros de cunho biológico foi realizado um estudo da estatística analítica em apenas quatro dos reservatórios estudados quais sejam Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso, Juramento. Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo não possuíam série de dados suficiente para esta análise.

A variável calor foi a estudada em primeiro lugar, concluiu-se que não são iguais os conteúdos de calor nos reservatórios pesquisados, da mesma forma que as variações são específicas para cada um dos ambiente estudados conforme a figura 5.57.

A figura 5.58 mostra as diferenças dos conteúdos de calor para cada um dos reservatórios nos períodos da estação chuvosa e seca. A evolução temporal das médias de calor pode ser visualizada na figura 5.54.

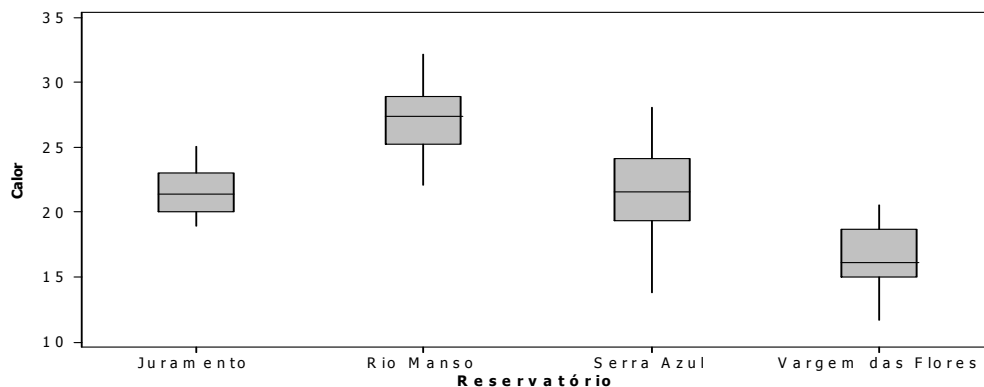


Figura 5.57- Variação do conteúdo médio de calor kcal.cm^{-2} (**Calor**) nos reservatórios do Juramento, Rio Manso Serra Azul e Vargem das Flores.

Na análise da figura anterior percebe-se que o reservatório com maiores valores dos conteúdos de calor é o do Rio Manso, o reservatório com menores conteúdos de calor foi o de Vargem das Flores, os reservatórios do Juramento e do Serra Azul mostraram que possuem quantidades de calor similares.

O reservatório do Serra Azul foi o que apresentou maior variação entre os valores máximos e mínimos nos conteúdos de calor, podendo ser considerado o mais perturbado dos sistemas estudados. Tais variações expressivas também ocorrem no mesmo reservatório para a transparência, para as concentrações de organismos fitoplanctônicos e em relação ao conteúdo dos taxa existentes, variações estas também observáveis para os *foto e Feo-pigmentos* neste reservatório.

O reservatório que apresentou maior estabilidade, em relação aos conteúdos de calor, foi Juramento, tal se deu possivelmente pela estabilidade climática na região do semi árido onde se localiza o reservatório, aliado à retirada de águas superficiais de forma constante e da saída das descargas de fundo pouco significativa. Os valores médios obtidos são considerados similares às médias observadas para o reservatório de Serra Azul.

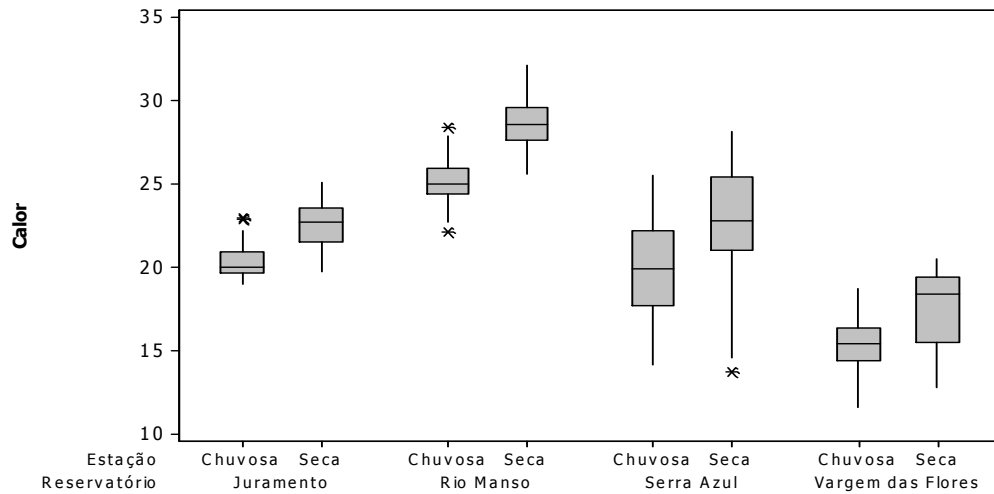


Figura 5.58- Variação do conteúdo médios de calor kcal.cm^{-2} (**Calor**) nos períodos hidrológicos chuvosos e secos nos reservatórios do Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores.

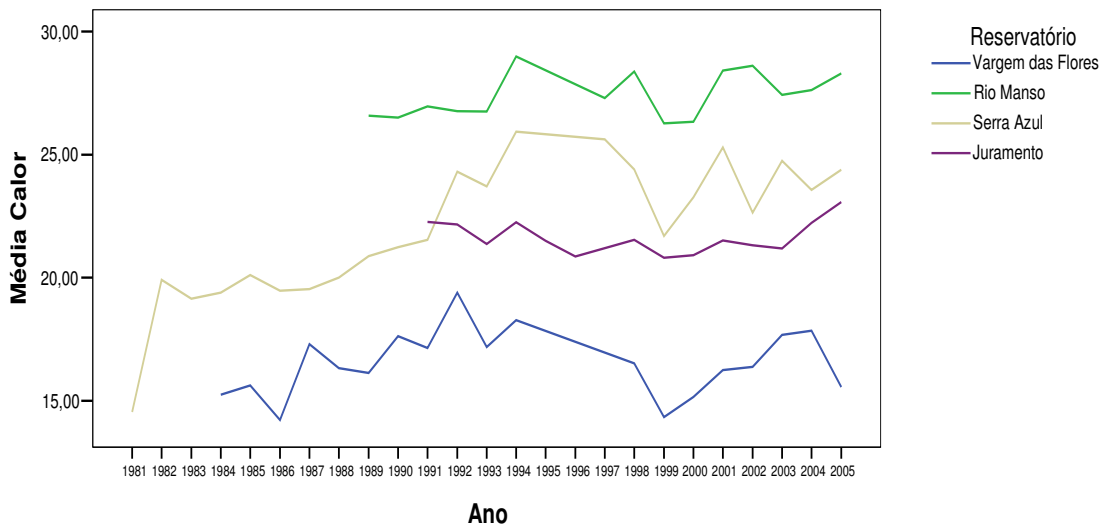


Figura 5.59 - Variação do conteúdo médio anual de calor em kcal.cm^{-2} (**Média calor**) nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

Houve diferenças significativas do comportamento da transparência entre os períodos de seca e de chuva nos reservatórios mais altos, quais sejam, Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso, exceto com Juramento.

É possível observar que, no período das chuvas, ocorrem os maiores valores médios de transparência, da mesma forma que as amplitudes das variações são expressivamente maiores nestes reservatórios que no reservatório do Juramento, o qual mantém uma pequena variação entre as medianas e mesmo nos valores absolutos obtidos para este parâmetro.

No período das secas valores *outlier* podem ser observados, tanto acima quanto abaixo dos valores médios obtidos. Os reservatórios que apresentaram maior variação da transparência entre os períodos chuvoso e seco foram os do Serra Azul e Rio Manso, como pode ser observado na figura 5.60.

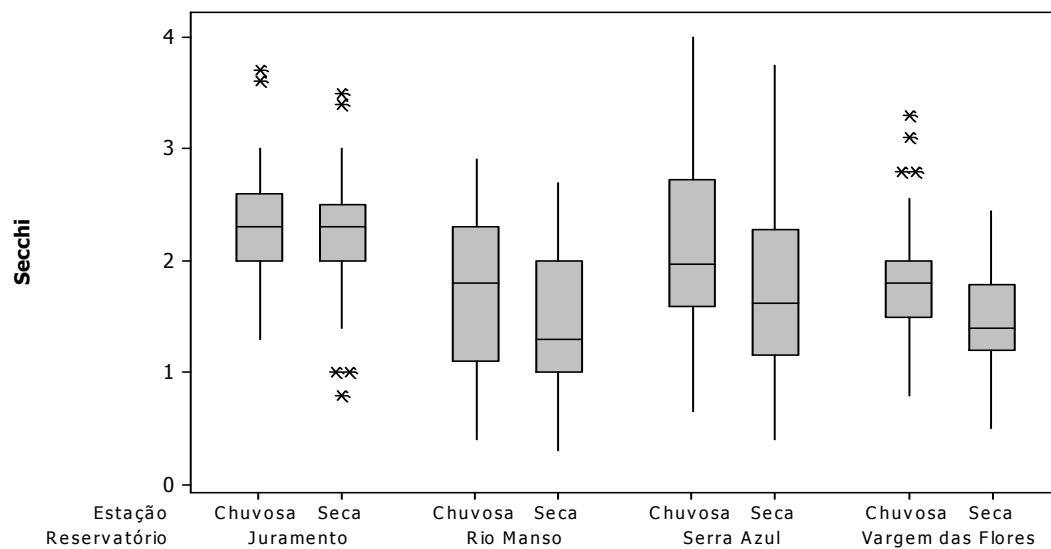


Figura 5.60 – Variação da transparência do Secchi em metros (**Secchi**) entre as estações chuvosa e seca nos reservatórios estudados.

Os dados relacionados à concentração do fitoplâncton foram analisados e produziram os resultados estatísticos e gráficos, que se referem às variações das comunidades nos períodos chuvosos e secos, variações estas apresentadas na figura 5.61, 5.62, 5.63.

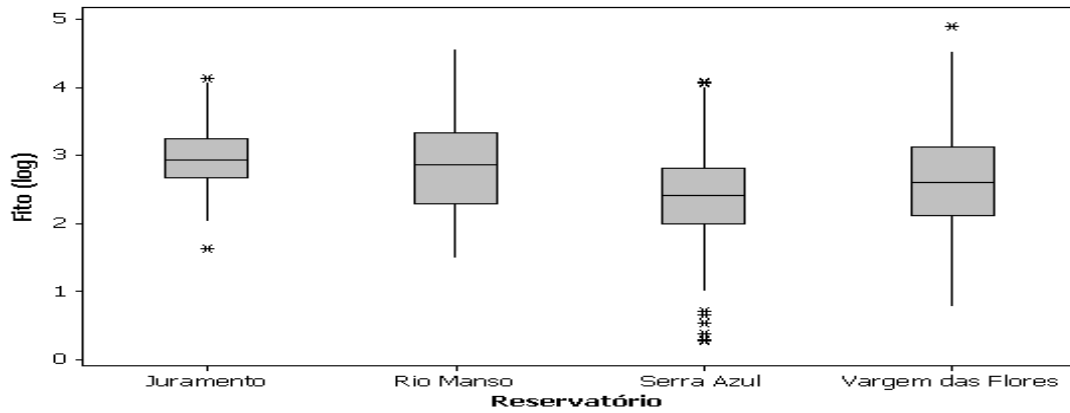


Fig.5.61 – Variação da concentração do número de organismos fito planctônicos **fito(log)** em log n°.org/mL, nos reservatórios do Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores entre os anos de 1983 e 2005.

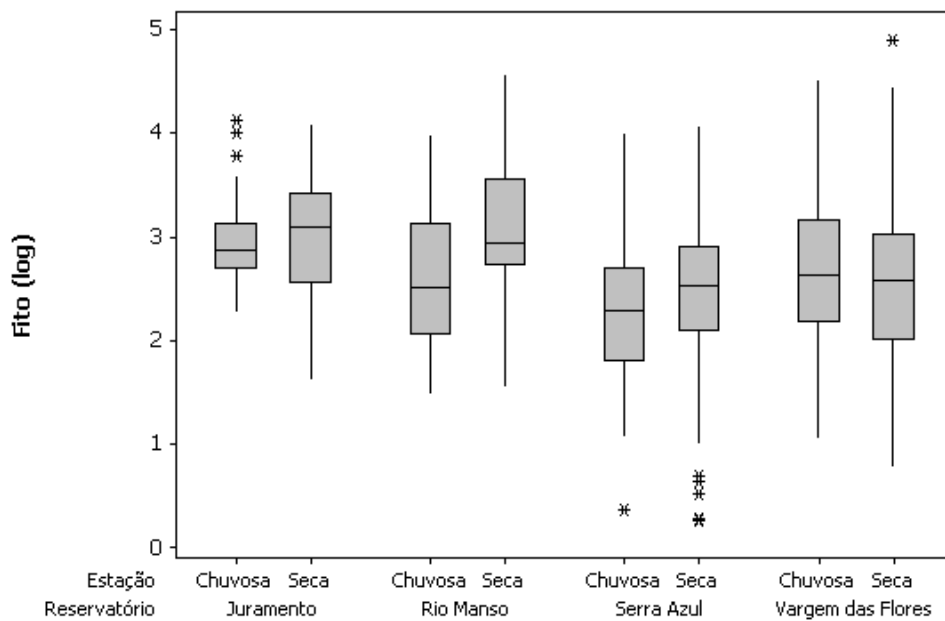


Fig. 5.62 – Variação da concentração dos organismos fitoplancônicos **fito(log)** em log n°.org/mL, nos reservatórios do Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores nos períodos hidrológicos chuvosos e secos.

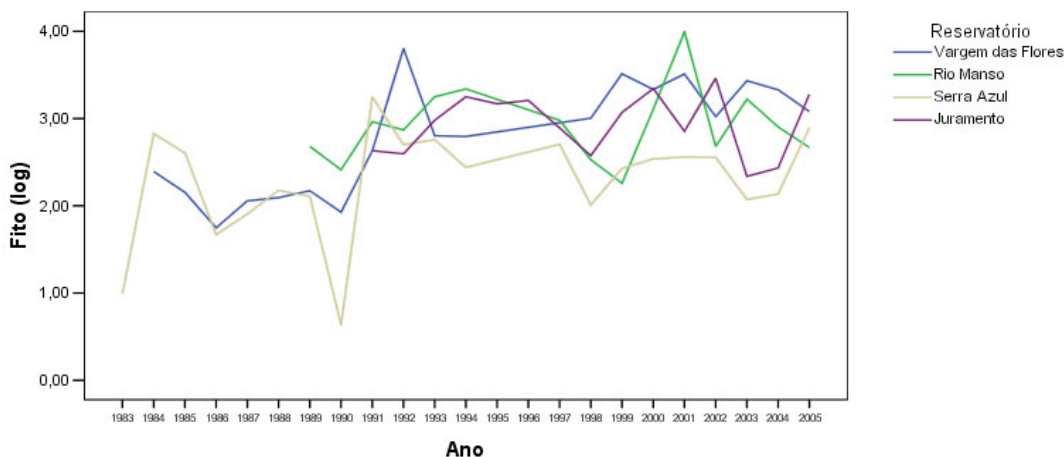


Fig. 5.63 – Variação temporal das concentrações médias dos organismos fitoplanctônicos **fito(log)** em log n^o.org/mL, nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

Na análise dos resultados plotados pode-se perceber que os valores encontrados para as concentrações médias dos organismos fitoplanctônicos se situam dentro da mesma ordem de grandeza para todos os reservatórios, a presença de valores *outlier* se deve a próprias dinâmica dos organismos e sua distribuição na coluna d'água pode ser uma das possíveis explicações, forçantes climáticas tais como ventos, chuvas tropicais podem agir de forma a perturbar a distribuição destes organismos na coluna e na face horizontal do reservatório.

O aumento das concentrações destes organismos no período de seca, à exceção do reservatório de Vargem das Flores, possivelmente seja devido à diminuição dos níveis destes reservatórios. Os reservatórios do Juramento e Serra Azul mostraram aumento e tendência de aumento positiva, nas concentrações médias dos organismos fitoplanctônicos a partir de 2004.

Em contra partida, a situação inversa, diminuição das concentrações das comunidades fitoplanctônicas, foi observada nos reservatórios Vargem das Flores e Rio Manso. Possivelmente, no reservatório de Vargem das Flores, tal fato se deva a retirada, de parcela substancial, dos esgotos que eram aportados ao reservatório.

No Reservatório do Rio Manso houve um acréscimo da exploração de minério de ferro na bacia contribuinte, o qual possivelmente funcione como quelante do fósforo que adentra ao reservatório, tornando-o indisponível ao metabolismo celular.

Os grupos taxonômicos (taxa) observados e mensurados foram analisados e produziram resultados que podem ser observados na figura 5.64, 5.65 e 5.66. O reservatório do Rio Manso foi o que apresentou menor amplitude desta variável e o reservatório de Vargem das

Flores apresentou maior variedade de grupos taxonômicos a maior amplitude o maior valor absoluto dos taxa. O reservatório do Serra Azul apresentou a menor mediana, sendo que as amplitudes dos taxa para os reservatórios do Juramento e do Serra Azul ficaram na mesma ordem de grandeza.

As variações observadas em relação aos períodos de chuva e os períodos de seca, indicam que as maiores variações dos taxa observados ocorreram no reservatório de Vargem das Flores e as menores variações no reservatório do Serra Azul.

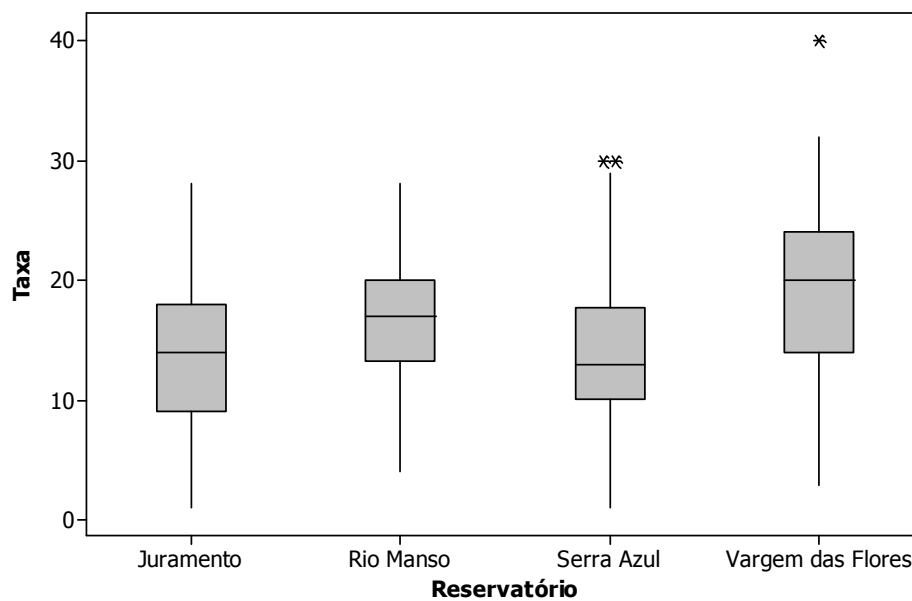


Fig.5.64 – Variação das medianas dos valores dos nº de Taxa (**Taxa**) encontrados nos reservatórios de Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores.

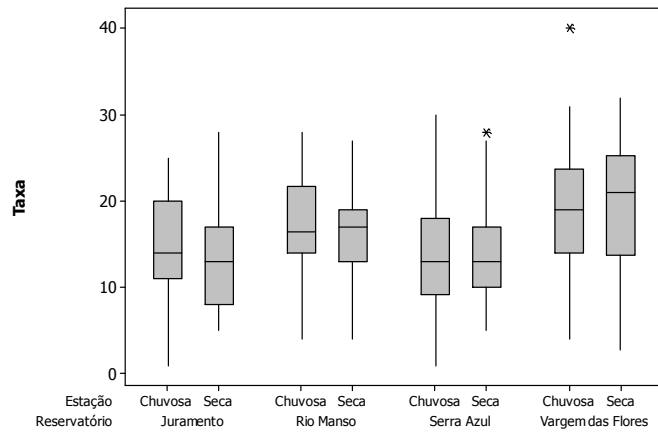


Fig.5.64a – Variação das medianas dos valores dos nº de taxa (**Taxa**) encontrados nos reservatórios de Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores por estação hidrológica chuvosa e seca.

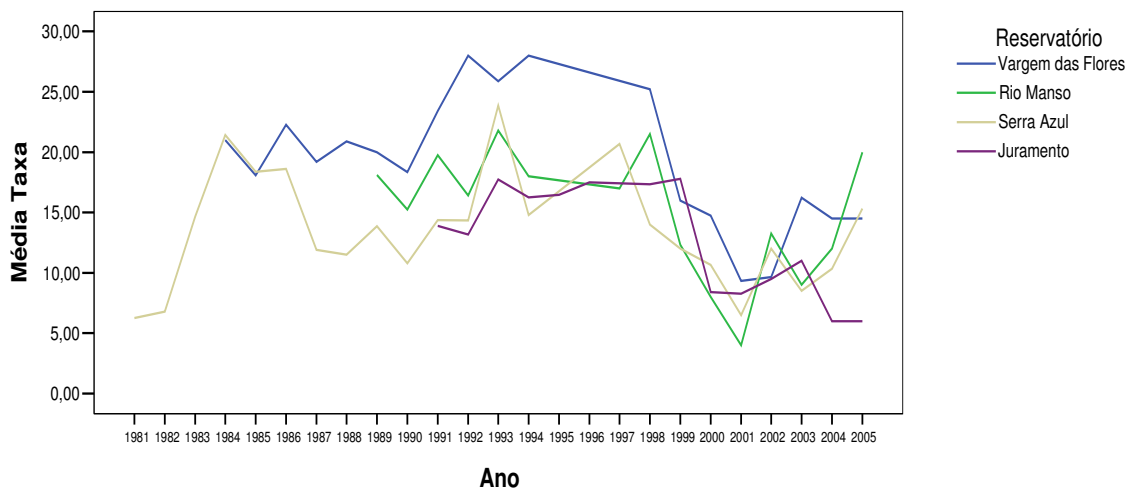


Fig.5.65 – Variação temporal das médias anuais dos nº de taxa (**MédiaTaxa**) observados nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

De uma forma geral, as médias anuais dos números de taxa observados, sofreram um acentuado declínio numérico no início da década de 2000.

No entanto os reservatórios do Serra Azul e Rio Manso têm apresentado a partir de 2004 um expressivo aumento do número de taxa, observados nas amostragens, ou seja há um aumento na diversidade taxonômica nas populações fitoplanctônicas nestes dois reservatórios. Possivelmente este aumento na diversidade taxonômica se deva a uma melhoria das condições de colonização oriundas da manutenção das características físicas e químicas das águas e menores impactos significativos na bacia contribuinte.

Variações na composição das comunidades fitoplactônicas, seja quantitativamente ou qualitativamente, influem diretamente nas concentrações dos pigmentos fotossintetizantes e mesmo nos produtos de decomposição destes fito pigmentos. As variações da concentração de Clorofila *a* podem ser observados nas figuras 5.66, 5.67, 5.68.

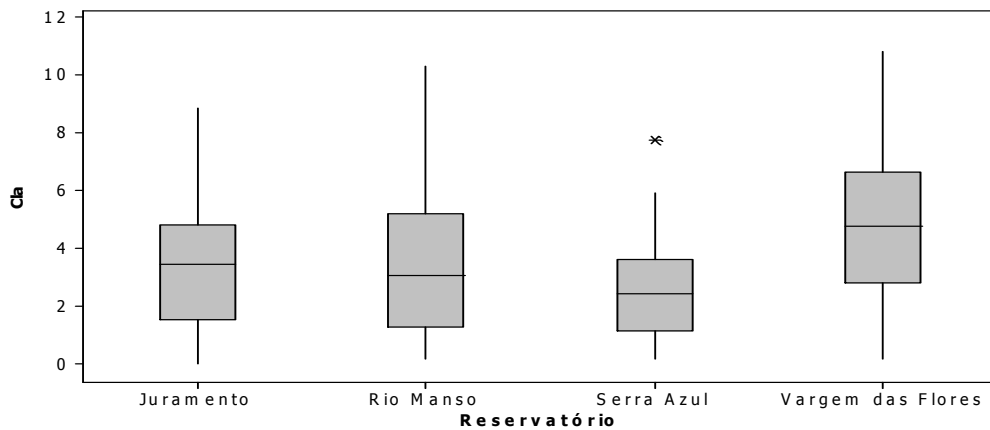


Fig. 5.66 – Variação das medianas das concentrações de clorofila *a* em mg/m^3 (Cia) nos reservatórios de Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores.

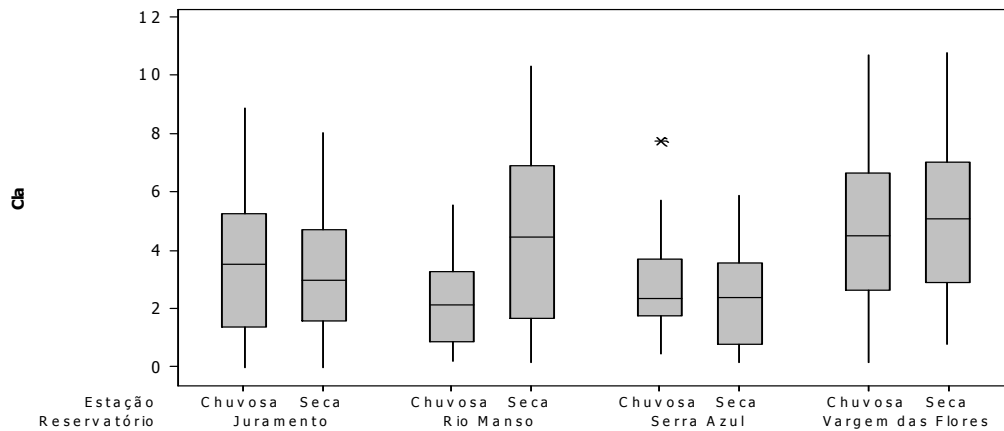


Fig. 5.67 – Variação das medianas das concentrações de Clorofila *a* em mg/m^3 (Cia) por Estação hidrológica nos reservatórios de Juramento, Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores.

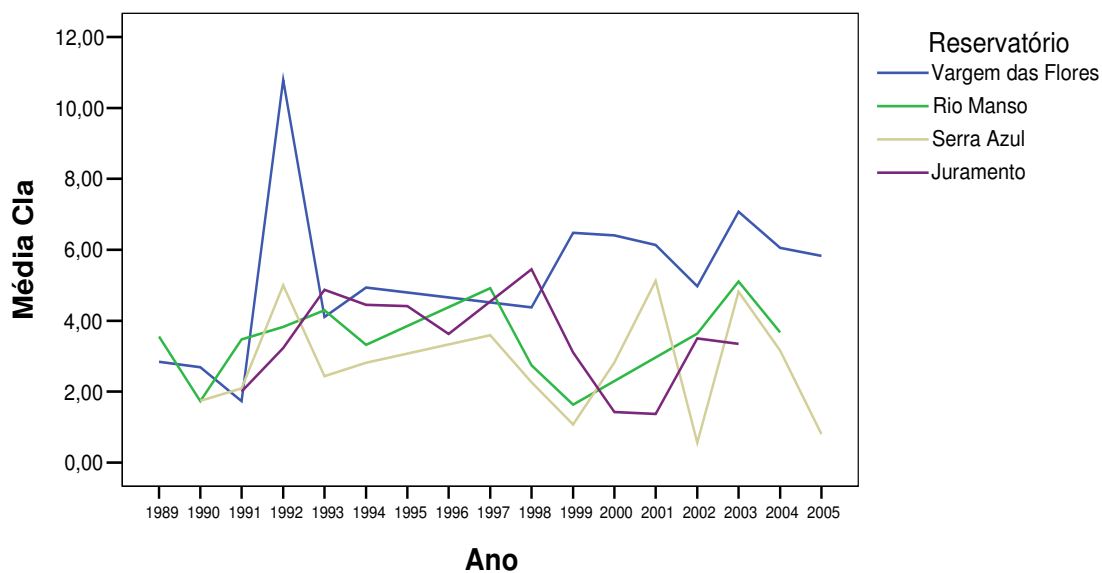


Fig. 5.68 – Variação das concentrações médias de Clorofila *a* em mg/m³ (**Média Cla**) nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

As figuras 5.69, 5.70, 5.71 representam as variações do pigmento Feofitina *a*.

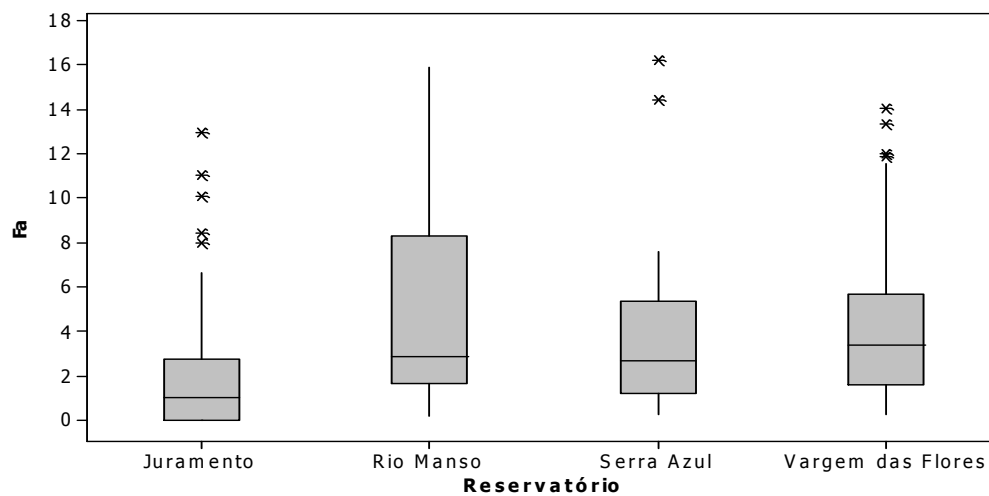


Fig.5.69 – Variação da concentração média de Feofitina *a* em mg/m³ (**Fa**) nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

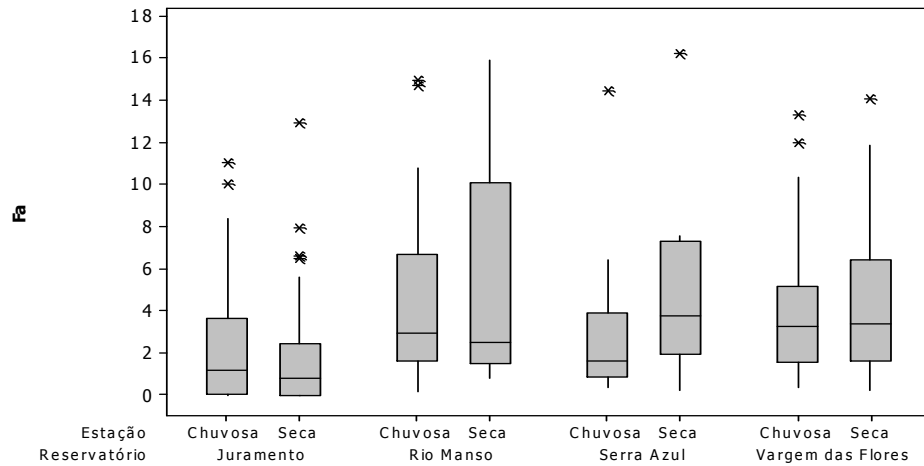


Fig. 5.70 – Variação da mediana da concentração de Feofitina *a* em mg/m³ (**Fa**) por estação hidrológica nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

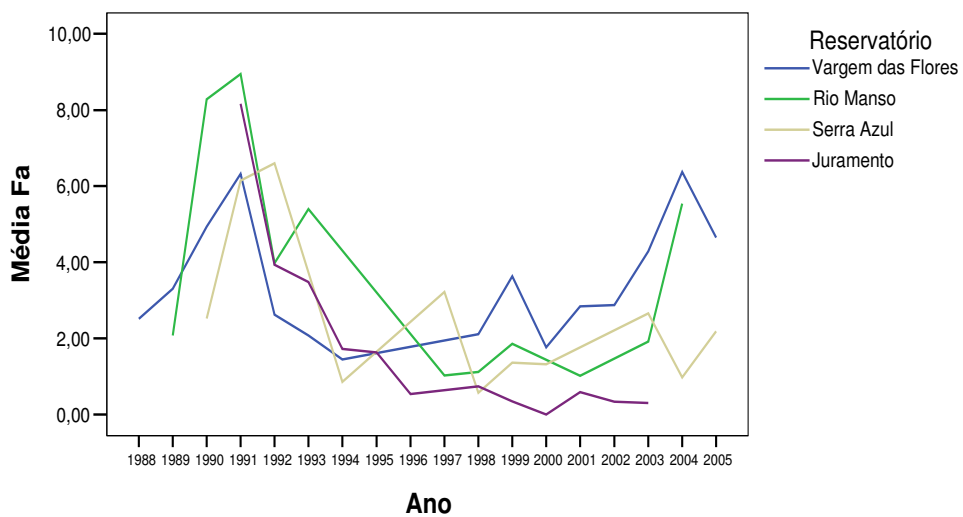


Fig.5.71 – Variação temporal das concentrações médias anuais da Feofitina *a* em mg/m³ (**Média Fa**) nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

As figuras 5.72, 5.73, 5.74 apresentam as variações dos valores obtidos para as relações Clorofila *a* x Feofitina *a*, em cada reservatório, em seguida separando por estação climática e, as curvas para este parâmetro durante o período amostrado.

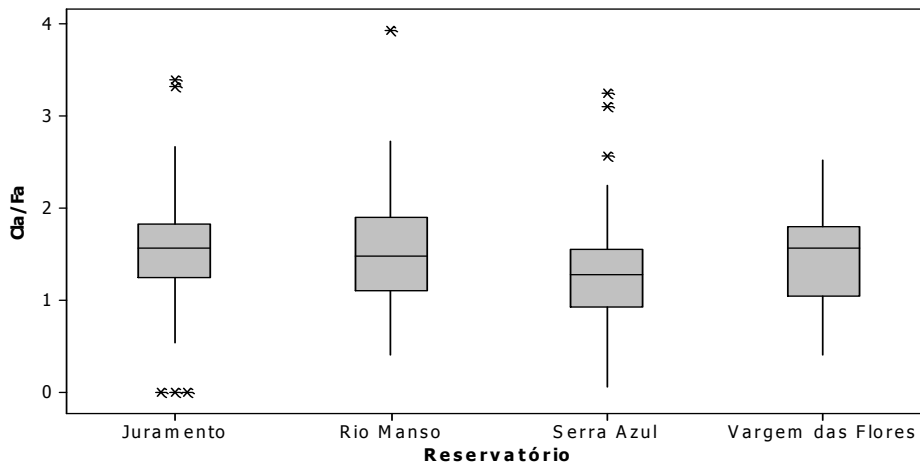


Fig. 5.72 – Variação das medianas da relação das concentrações de Clorofila *a* / Feofitina *a* (**C/a/Fa**) nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

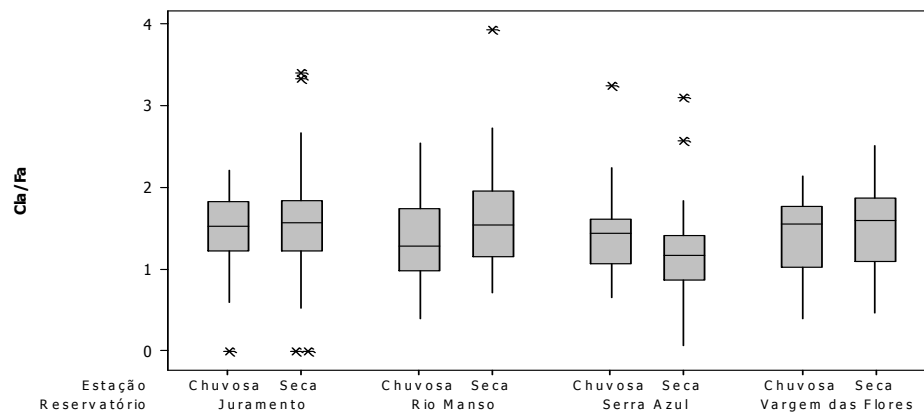


Fig. 5.73 - Variação da relação das concentrações de Clorofila *a* / Feofitina *a* (**C/a/Fa**) nas estações hidrológicas chuvosas e secas nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

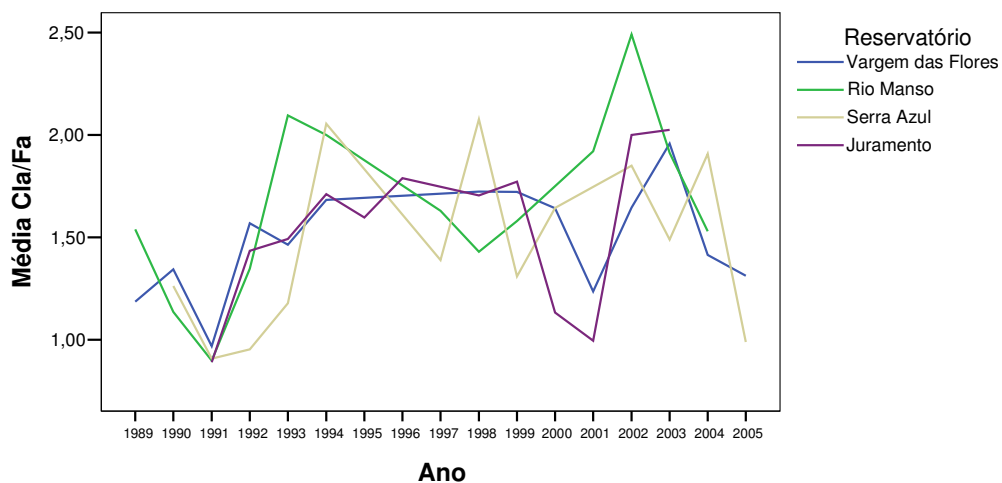


Fig. 5.74 - Variação dos valores médios da relação das concentrações de Clorofila a / Feofitina a (**Média Cla/Fa**) nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento.

Como forma de se medir ou avaliar associações entre variáveis foi utilizado o coeficiente de correlação de Spearman o qual testa a hipótese de que as variáveis a serem estudadas não possuem associação ou seja a hipótese testada é a de que a associação entre as variáveis é nula.

Tabela 5.3 – Coeficientes de correlação de Spearman entre a variável calor e as demais variáveis analisadas.

| Variável | Correlação | Reservatório | | | |
|----------|----------------------|-------------------|-----------|------------|-----------|
| | | Vargem das Flores | Rio Manso | Serra Azul | Juramento |
| Secchi | Coeficiente Spearman | -0,175 | -0,232 | 0,246 | -0,078 |
| | P-valor | 0,060 | 0,069 | 0,005 | 0,418 |
| Fito | Coeficiente Spearman | 0,195 | 0,421 | 0,323 | 0,063 |
| | P-valor | 0,028 | 0,000 | 0,000 | 0,550 |
| Taxa | Coeficiente Spearman | 0,099 | -0,063 | 0,011 | -0,221 |
| | P-valor | 0,272 | 0,588 | 0,898 | 0,032 |
| Cla | Coeficiente Spearman | 0,034 | 0,514 | 0,085 | 0,082 |
| | P-valor | 0,782 | 0,000 | 0,606 | 0,503 |
| Fa | Coeficiente Spearman | 0,202 | 0,009 | 0,159 | 0,131 |
| | P-valor | 0,085 | 0,957 | 0,333 | 0,311 |
| Cla/Fa | Coeficiente Spearman | -0,026 | 0,148 | -0,099 | 0,014 |
| | P-valor | 0,826 | 0,272 | 0,504 | 0,909 |
| Cla1 | Coeficiente Spearman | 0,111 | 0,456 | -0,134 | 0,052 |
| | P-valor | 0,326 | 0,000 | 0,340 | 0,663 |
| Clb | Coeficiente Spearman | 0,231 | 0,256 | -0,241 | 0,193 |
| | P-valor | 0,146 | 0,115 | 0,191 | 0,140 |
| Clc | Coeficiente Spearman | -0,022 | 0,079 | -0,092 | -0,013 |
| | P-valor | 0,887 | 0,649 | 0,621 | 0,926 |

Pelos resultados obtidos são observadas as seguintes correlações estatísticas com a variável calor quais sejam:

- A variável transparência apresenta correlação positiva e significativa com a variável calor, apenas no reservatório do Serra Azul;

- A variável Fito (concentração de organismos fitoplanctônicos por ml) apresentou correlação positiva significativa com a variável calor nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Manso;
- A variável Taxa (número de taxa encontrados por amostragem) apresentou correlação positiva e significativa com os reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Manso;
- A variável Taxa (número de taxas encontrados por amostragem) apresentou correlação negativa significativa com a variável Calor no reservatório do Juramento;
- A variável Clorofila *a* (Golterman) apresentou correlação positiva e significativa apenas no reservatório do Manso;
- A variável Clorofila *a*₁ (Strickland e Parson) apresentou correlação positiva e significativa apenas no reservatório do Rio Manso;
- A variável Feofitina *a* (Golterman) não apresentou correlação significativa com a variável calor em nenhum dos reservatórios;
- A relação entre Clorofila *a* e Feofitina *a* (Golterman) não apresentou correlação significativa com a variável calor;
- A variável Clorofila *b* (Strickland e Parson) não apresentou correlação significativa com a variável calor;
- A variável Clorofila *c* (Strickland e Parson) não apresentou correlação significativa com a variável calor;
- A variável calor mostrou-se correlacionada com as variáveis Secchi (Transparência do Secchi), Fito (concentração de organismos fitoplanctônicos por ml), Taxa (número de taxas encontrados por amostragem) Clorofila *a* (Golterman) e Clorofila *a* (Strickland & Parson) em pelo menos um dos reservatórios;
- A variável calor apresentou diferenças significativas entre as médias nos reservatórios de Vargem das Flores e Rio Manso;
- A variável calor não apresentou diferenças significativas entre as médias nos reservatórios do Serra Azul e Juramento;
- A variável calor apresentou diferenças significativas entre suas médias para as estações do ano, estação chuvosa e seca, em todos os reservatórios;
- A variável calor apresentou diferenças significativas entre suas médias em pelo menos um dos anos estudados nos reservatórios de Vargem das Flores e Serra Azul;
- A variável calor não apresentou diferença significativa entre suas médias em nenhum dos anos nos reservatórios do Rio Manso e do Juramento;

Pelo estudo das correlações estatísticas obtidas, pode-se observar que primeiramente, a variável Secchi não apresentou correlação positiva com a variável calor na maioria dos

reservatórios, isto nos permite inferir que, não necessariamente, a entrada de luz mais profundamente em um ambiente constitui fator de ampliação da absorção de calor pela massa líquida.

De outra forma e com comportamento oposto, as comunidades fitoplanctônicas nos seus aspectos quantitativos demonstrou que as quantidades de calor em um sistema lêntico tem grande importância nos processos de produtividade primária, haja vista as relações positivas encontradas para 75% dos reservatórios estudados.

De forma similar os valores de taxa encontrados variaram positivamente com os conteúdos de calor. Tanto em relação aos números de taxa e aos valores quantitativos encontrados das comunidades fitoplanctônicas. Apenas o reservatório de Juramento apresentou correlação negativa significativa com estes dois parâmetros, tal fato possivelmente se dê pelas características climáticas observadas na região durante todo o período de amostragem.

As variáveis relacionadas aos pigmentos fotossintetizantes e aos feopigmentos não apresentaram correlação significativa e positiva em nenhum dos reservatórios, apenas Clorofila *a*, nos dois métodos empregados apresentou correlação positiva e significativa no reservatório do Rio Manso.

A variável calor apresentou correlação positiva e significativa com as variáveis analisadas no seu conjunto sendo fator determinante, juntamente com outras variáveis, nos processos de produtividade e manutenção da qualidade das águas.

6 CONCLUSÕES

Como parte deste trabalho, é apresentado um conjunto de idéias que, como conjunto, descrevem as conclusões a que as informações e dados obtidos permitiram chegar. Pretende-se desta forma contribuir com a evolução da limnologia tropical e permitir a abertura de novas oportunidades de estudos em reservatórios utilizados para abastecimento e que sejam operados nos moldes dos reservatórios estudados.

- 1 Os reservatórios estudados sofreram alterações nos conteúdos de calor em função das estações climáticas do ano.

- 2 A retirada constante e volumosa da camada do hipolímnio, mais fria, pode acarretar a quebra da estrutura clinograda observada nos reservatórios estudados e a diminuição da resistência térmica relativa (RTR) o que pode facilitar o processo de inversão das camadas e consequente fertilização do perfil vertical do reservatório o que irá depender dos volumes retirados do hipolímnio e a velocidade da retirada.
- 3 Os reservatórios de Vargem das Flores e do Rio Manso tem variações dos conteúdos de calor mais acentuadas, um pela constância dos ventos, outro pela constância das retiradas das águas mais frias pela descarga de fundo.
- 4 Os reservatórios de Serra Azul e Juramento são os que podem ser considerados mais estáveis em termos de conteúdos de calor porque ambos não apresentam estruturas de descarga de fundo e as retiradas são feitas preferencialmente na superfície.
- 5 As principais variáveis limnológicas, Transparência, Fitoplâncton quantitativo, Taxa, Clorofila *a*, podem ser correlacionadas positivamente com o conteúdo de calor dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento já que em pelo menos um destes reservatórios, estas variáveis foram correlacionadas.
- 6 Nos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso a densidade dos organismos fitoplanctônicos apresentou correlação positiva com a variável calor. Tal se dá possivelmente pela variação acentuada das forçantes climáticas, quais sejam chuvas muito frias e orográficas passíveis de ocorrer nas cabeceiras dos principais contribuintes.
- 7 O Reservatório de Vargem das Flores apresentou os menores conteúdos de calor em todas as séries de dados, considerando os quatro maiores reservatórios estudados (Vargem das Flores, Serra Azul, Rio Manso e Juramento). Tal comportamento pode ser explicado pela forma mais aberta do espelho d'água, a constância de ventos no sentido montante-jusante, sempre observáveis pelas manhãs. Fato este que corrobora os fatos esperados para os cálculos de Desenvolvimento do volume (DV=1) ou seja a forma da bacia na qual se assenta o lago é semelhante a letra "U" e não "V".
- 8 O reservatório do Rio Manso apresentou os maiores conteúdos de calor dentre todos os reservatórios estudados, inclusive nas amostragens nictemerais realizadas. Este fenômeno pode ser explicado pela operação constante e volumetricamente

significativa da descarga de fundo do reservatório, o que permite a saída das águas mais frias do hipolímnio e o armazenamento das águas mais quentes da superfície.

- 9 Os reservatórios do Ribeirão e Soberbo apresentaram nas amostragens nictemerais os menores conteúdos de calor, mesmo sendo os reservatórios onde as concentrações de organismos fitoplanctônicos apresentaram as maiores concentrações
- 10 O lago do reservatório do Juramento tem seu metabolismo modificado pelo conteúdo de calor de forma pouco significativa estatisticamente, não tendo sido detectada correlação positiva e significativa entre a variável calor, os valores dos taxa, as concentrações dos organismos fitoplanctônicos. Uma possível causa deste fato é a pequena amplitude térmica observada na região do semi árido, onde o lago esta inserido, o que permite que haja uma acomodação das comunidades fitoplanctônicas em termos qualitativos
- 11 As variações nas medidas da transparência em cada um dos reservatórios, demonstraram que o reservatório de Vargem das Flores, o mais antigo, e o de Juramento, têm apresentado tendência à diminuição dos valores deste parâmetro ao longo dos anos. Para o reservatório de Vargem das Flores, o passivo ambiental acumulado, possivelmente explique tal fato pelo aumento da produtividade primária revelado pelos gráficos 5.1 e 5.7. Vargem das Flores, demonstrou um significativo aumento das populações fitoplanctônicas nas últimas 60 amostragens de fitoplâncton quantitativo, acompanhado por uma sensível diminuição da diversidade de taxa.
- 12 Altos valores médios de cor e turbidez nos reservatórios do Ribeirão e Soberbo são causados principalmente por organismos fitoplanctônicos, ao contrário dos reservatórios de Vargem das Flores, Serra Azul e Rio Manso, onde cor e turbidez são devidos, principalmente, às concentrações de Ferro e Manganês.

7 RECOMENDAÇÕES

Como forma de contribuir nas atividades relacionadas aos projetos e operação de reservatórios de uso, exclusivo ou prioritário, ao abastecimento foi incluída uma pequena lista de recomendações que, crê-se, venha a ser útil para os profissionais que trabalham com estes importantes recursos .

- Diminuição dos tempos de residência hidráulica em cada reservatório, pela correta operação ou maximização das operações de captação de água, tal forma de operar permite com que haja uma constante troca das águas reservadas e a consequente remoção de substâncias diversas bem como de parte substancial das comunidades biológicas existentes. Ambientalmente há o favorecimento das comunidades biológicas localizadas a jusante do barramento e detrimento das comunidades localizadas no corpo do reservatório.
- Implantação de estruturas de descarga profunda em cada reservatório ou a captação continuada das águas de pior qualidade do hipolímnio, como forma de se modificar os conteúdos de calor de cada reservatório, tornando-os mais quentes, o que facilitaria os processos de decantação e retirada de nutrientes e o acúmulo de águas de melhor qualidade, ao contrário do que hoje se observa.

- Para o reservatório do Juramento, a existência de descarga de fundo seria um forte aliado na manutenção da baixa produtividade primária e baixas concentrações de nutrientes. No entanto o uso incorreto de tal estrutura e problemas técnicos no seu funcionamento têm impedido uma ação efetiva, sendo que as altas taxas de insolação e altas temperaturas devem contribuir para a ampliação do número de taxa e aumento na concentração destes organismos. Outros fatores podem agir como o aumento da eutrofização, tais como a caducifolia acentuada observada na vegetação da região, que introduz no lago anualmente enormes quantidades de material orgânico, contituido principalmente por folhas, as quais são arrastadas nas primeiras chuvas para dentro do reservatório.
- A existência de volumes mortos nestes reservatórios é situação no mínimo, sem propósito, já que o objetivo da estrutura de engenharia é armazenar água e não nutrientes e sedimentos, e trabalhos de preservação na bacia de montante são, via de regra, necessários e suficientes na manutenção, a níveis mínimos, do aporte de nutrientes dentro do período de vida útil previsto para tal estrutura.
- As estruturas de descarga de fundo, separadas das demais estruturas de captação, ou ao invés destas, são desejáveis, necessárias e tecnicamente justificáveis, haja vista sua capacidade de liberar substâncias solúveis tais como Ferro Manganês, Fosfatos, etc., passíveis de causar alterações significativas na qualidade das águas represadas.
- Não se deve considerar a possibilidade da descarga de sedimentos sólidos por estas descargas profundas primeiramente pela inexistência destes sedimentos na área das descargas de fundo, já que a deposição dos mesmos se dá nos tributários distantes, algumas centenas de metros e a própria estrutura física destas instalações não suportam as forças de abrasão das partículas sólidas.
- Importante seria considerar, na construção de novos reservatórios, a construção de barragens auxiliares, fora do corpo do lago principal e a montante deste, como forma de ampliar a vida útil dos reservatórios segurando os detritos e sedimentos carreados bem como facilitando a retirada de materiais depositados pelas águas.
- De uma forma geral a captação de águas no corpo do reservatório sofre com as deficiências inerentes à qualidade das águas nos diversos estratos horizontais e verticais da água criados pela densidade das camadas. Assim sendo sugere-se que se dê preferência às captações realizadas a fio d'água a jusante do barramento e após a oxigenação induzida por mecanismos tais como válvulas dispersoras.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWWA/APHA/WEF. *Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington.* 1998.
- BARBOSA, F.A.R.; TUNDISI, J.G, Diel variations in a shallow tropical Brazilian lake I. The influence of temperature variation on the distribution of dissolved oxygen and nutrients. *Arch Hydrobiol*, Stuttgart, v. 116, n. 3, p. 333-349, september 1989.
- BAUMGARTEN, M. da Graça Zepka; Pozza, S.A. Qualidade das águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Rio Grande :Ed.FURG, 116p. 2001.
- BEZERRA-NETO, J.F.; PINTO-COELHO, R.M., A estrutura térmica, o trabalho do vento e a estabilidade de um reservatório tropical raso: Lagoa do Nado, BH-MG. *BIOS*, v. 10, p. 19-33, 2002.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº 518. Brasília 2004. Diário Oficial da União. 25 de março de 2004.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA Nº 357. Brasília 2005. Diário Oficial da União. 17 de março de 2005.
- CALIJURI, M.do C.; DOS SANTOS, A.C.A., A produção primária do fitoplâncton. Amostragem em limnologia, Carlos E. de M. Bicudo, Denise de C. Bicudo. São Carlos: RiMA, 2004.
- CASTRO, A.G. *Avaliação da qualidade da água de uma represa do semi-árido para abastecimento urbano. represa do Ribeirão - Medina MG.* 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração Meio Ambiente) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- CASAMITJANA, X.; SERRA, T.; COLOMER, J.; BASERBA, C.; PÉREZ-LOSADA, J. Effects of the water withdrawal in stratification patterns of a reservoir. *Hydrobiologia*, v. 504, p. 21-28, 2003.
- CETESB, *NT 06 L5. 303: Determinação de fitoplâncton de água doce – métodos qualitativo e quantitativo.* São Paulo: CETESB, 1978.
- CHORUS, I.E.; BARTRAM, J. (Eds.). *Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management.* London: E&FN Spon, 1999. 416 p.
- COLE, A.C. *Text book of limnology.* The C.V. Saint Louis: Mosby Company, 1983. 283p.
- ESTEVES, F.A. *Fundamentos de Limnologia.* 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP. 1998.
- DANTAS, A.P. *Avaliação limnológica de parâmetros morfométricos em lagos e represas.* 2000. 170 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de concentração Saneamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- Hidrologic Data Center. Levantamento batimétrico do reservatório de Juramento, M. Claros – MG, 2001a.
- Hidrologic Data Center. Levantamento batimétrico do reservatório de Vargem das Flores, Betim, Contagem – MG, 2000.
- Hidrologic Data Center. Levantamento batimétrico do reservatório do Ribeirão, Medina – MG, 2001c.
- Hidrologic Data Center. Levantamento batimétrico do reservatório do Ribeirão, Medina – MG, 2005.
- Hidrologic Data Center. Levantamento batimétrico do reservatório do Soberbo, Pedra Azul – MG, 2001b.
- Hidrologic Data Center. Recuperação dos dados e elaboração do mapa topobatimétrico do reservatório do Rio Manso, Brumadinho – MG, 2004.
- HENRY, R. Heat budgets, thermal structure, and dissolved oxygen in Brazilian reservoir. *In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (Eds.). Theoretical reservoir ecology and its applications.* São Carlos: I.I.E./Backhuys Publishers/Brazilian Academy of Sciences, 1999. p. 125-151.

- HENRY, R. Thermal regime and stability of Jurumim reservoir (Paranapanema River, São Paulo, Brasil). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* v. 78, p. 501-511, 1993
- HENRY, R.; BARBOSA, F.A.R. Thermal structure, heat content and stability of two lakes in the National park of Rio Doce Valley (Minas Gerais, Brazil). *Hydrobiologia*, v. 171, p. 189-199, 1989.
- HENRY, R.; TUNDISI, J.G. O conteúdo de calor e a estabilidade em dois reservatórios com diferentes tempos de residência. In: TUNDISI, J.G. (Ed.). *Limnologia e manejo de represas*. Vol. 1. São Paulo: Tomo I–EESC-USP/CREA/ACIESP, 1988. p. 299-322.
- HUTCHINSON, G.E. *A treatise on limnology* Vol. 1: Geography, physics and chemistry. New York: Wiley, 1975.
- IVANOV, V.A.; LYUBARTSEVA, S.P.; MIKHAILOVA, É.N.; SHAPIRO, N.B.; SHTEINMAN, B.S. Modeling of thermal and oxygen conditions in Lake Kinneret (Israel), *Physical Oceanography*, v. 12, n. 1, 2002.
- JARDIM, F.A.; CAVALIERI, S.O.; GALLINARI, P.C.; VIANNA, L.N.L. Metodologia para a contagem de Cianobactérias em células/mL – um novo desafio para o analista de laboratório. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 7. n. 3, p. 1-3, 2002.
- KENNEDY, R.H. Reservoir design and operation: limnological implications and management opportunities. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (Eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: I.I.E./Backhuys Publishers/Brazilian Academy of Sciences, 1999. p. 385-410.
- POTAMOS – Barragens Serra Azul, Rio Manso e Vargem das Flores – Estudos hidrológicos para a revisão das cheias de projeto dos vertedouros. BH.MG. 2003.
- POTAMOS – Barragens Juramento, Mato Verde, Medina, Pedra Azul – Estudos hidrológicos para revisão de cheias de projeto dos vertedouros e análises hidráulicas da segurança de barragens. BH.MG. 2005.
- RAMIREZ R. J.J. Variación diurna y estacional del contenido calórico, la estabilidad y el trabajo del viento em una laguna tropical, *Acta Limn. Bras.* , 12:39-54. 2000.
- SANTOS, A.M.; GAGLIARDI, L.M.; SANTOS, K.J. Metabolismo e regime térmico da Lagoa da Prata, Parque Estadual da Mata Seca. *MG.BIOTA*, v. 1, n. 2, p. 68-78
- SCHÄFER, A. *Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais brasileiras*, Porto Alegre: Ed.da Universidade, UFRGS, 1984. 532p.
- SMITHSONIAN PHYSICAL TABLES, Table 287, (9^a.ed. rev.), Washington, D.C., 1954.
- SNUCINS, E.D.; GUNN, J. Interannual variation in the thermal structure of clear and colored lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 45, n. 7, p. 1639-1646, 2000.
- Soares, R.R.da Silva. *Estudo de propriedades da Clorofila e da Feofitina visando a terapia fotodinâmica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Pr. Brasil. 2006.
- STRASKRABA, M. Retention time as a key variable of reservoir limnology. In: TUNDISI, J.G.; STRASKRABA, M. (Eds.). *Theoretical reservoir ecology and its applications*. São Carlos: I.I.E./Backhuys Publishers/Brazilian Academy of Sciences, 1999. p. 385-410.
- TUNDISI, J.G. Estratificação hidráulica em reservatórios e suas conseqüências ecológicas. *Ciência e Cultura*, v. 36, n. 9, p. 1489-1496, 1984.
- VIANA, T.H. *Estudo da evolução das características físico-químicas e biológicas de uma represa para abastecimento urbano (Represa do Soberbo – Pedra Azul, MG)*. 2002. 231 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração Saneamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- VIANA, T.H.; VON SPERLING, E. Qualidade da água em reservatórios do semi-árido mineiro: estudo de caso das represas do Soberbo e Ribeirão (Pedra Azul e Medina – MG). In: VI SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Vitória, *Anais do VI Simpósio Ítalo-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2002.
- VIANA, T.H.; VON SPERLING, E. Estudo do conteúdo de calor nos reservatórios de Juramento, Soberbo e Ribeirão utilizados para abastecimento público em Minas Gerais.

In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2005, Campo Grande. *Anais Eletrônicos*, 2005.

- VON SPERLING, E. *Morfologia de Lagos e Represas*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999. 137 p.
- VON SPERLING, M.; HELLER, L.; NASCIMENTO, N.O. Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte II: a análise preliminar dos dados. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n. 3, p. 115-124, 1996.
- WETZEL, R.G. *Limnology*. Philadelphia: Saunders, 1983.

9 ANEXO

| ANO | 1981 | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MÊS | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
| Ncol | | | | | | | | 1 | 2 | | 3 | 4 |
| RESERVATÓRIO | V.F | | | | | | | | | | | |
| | S.A | | | | | | | | | | | |
| | R.M | | | | | | | | | | | |
| | J.U | | | | | | | | | | | |
| | S.B | | | | | | | | | | | |
| R.B | | | | | | | | | | | | |

| Somatório de amostragens para temperatura | | |
|---|-----|-----|
| RESERVATÓRIO | V.F | 164 |
| | S.A | 180 |
| | R.M | 90 |
| | J.U | 166 |
| | S.B | 9 |
| | R.I | 10 |

Legenda: VF - Várzea das Flores
 SA - Serra Azul
 RM - Manso
 JU - Juramento
 RI - Ribeirão
 SB - Soberbo

Tabela 4.5 - Cronograma de amostragem contendo data e número de cada amostragem nos reservatórios estudados .

