



MULTIGEO

RELTEC/MULTIGEO/07066

**PROGRAMA DE MONITORAMENTO
LIMNOLÓGICO E DA QUALIDADE DA
ÁGUA DO RESERVATÓRIO DA UHE -
SERRA DA MESA
RELATÓRIO FINAL - 2005 a 2007**

Minaçu/GO

Semesa S.A.

julho/2007



MULTIGEO

APRESENTAÇÃO

Este documento constitui-se do Relatório Técnico Final do Programa de Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água do Reservatório da UHE - Serra da Mesa, situada no rio Tocantins (GO).

O relatório integra dezesseis campanhas realizadas entre abril de 2005 e fevereiro de 2007, na fase de operação do reservatório. O principal objetivo deste documento é apresentar uma avaliação limnológica e da qualidade da água para o período de monitoramento do sistema hídrico do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

O relatório foi elaborado pela equipe da MULTIGEO Mineração, Geologia e Meio Ambiente Ltda., empresa contratada pela SEMESA S.A., em continuidade ao programa desenvolvido desde 1996, com a supervisão de técnicos do Departamento de Meio Ambiente de FURNAS. Os serviços de campo tiveram o apoio logístico e de transporte da SEMESA S.A.



MULTIGEO

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO
LISTA DE QUADROS
LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	2
2.1 CLIMA.....	3
2.2 GEOLOGIA.....	4
2.3 RELEVO.....	5
2.3.1. Planalto Central Goiano.....	5
2.3.2 Superfícies Aplanadas.....	7
2.4 SOLOS.....	7
2.5 HIDROGRAFIA.....	9
2.6. VEGETAÇÃO NATURAL.....	11
2.7 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO REGIONAL.....	13
3. DESCRIÇÃO DO RESERVATÓRIO EM OPERAÇÃO.....	15
4. METODOLOGIA DO MONITORAMENTO.....	20
4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	23
4.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS.....	27
5. DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM.....	30
6. RESULTADOS.....	33
6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	33
6.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS.....	116
6.2.1 Clorofila	116
6.2.2 Fitoplâncton.....	116
6.2.3 Zooplâncton.....	125
7. DISCUSSÃO.....	139
7.1 ESTAÇÕES DO RESERVATÓRIO.....	139



MULTIGEO

7.2 ESTAÇÕES NAS CABECEIRAS.....	147
7.3 DINÂMICA HIDROBIOLÓGICA DO RESERVATÓRIO.....	149
7.4 EUTROFIZAÇÃO.....	151
7.5 COMPOSIÇÃO IÔNICA.....	156
7.6 QUALIDADE DA ÁGUA.....	157
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	161
9. BIBLIOGRAFIA.....	164
10. EQUIPE TÉCNICA.....	169

ANEXOS

ANEXO 1 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

ANEXO 2 - VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DOS PARÂMETROS POR
ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM

ANEXO 3 - ART



MULTIGEO

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Localização das estações de amostragem situadas no rio Tocantins/tributários e coordenadas.

Quadro 4.1.1 - Programa de coleta com medida direta no campo.

Quadro 4.1.2 - Programa de coleta com análise em laboratório.

Quadro 4.1.3 - Métodos de análise dos parâmetros em laboratório, limites mínimos e detecção e precisão da medida.

Quadro 5.1 - Observações registradas durante as campanhas de monitoramento.

Quadro 6.1.1 - Concentrações de mercúrio registradas nas estações de monitoramento.

Quadro 6.2.1.1 - Valores mínimos e máximos registrados para a clorofila a nas estações de monitoramento do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Quadro 6.2.2.1 - Formas de hábito e categorias de tamanho das espécies descritoras presentes no Reservatório Serra da Mesa quantificadas no período de abril/05 a fevereiro/07.

Quadro 6.2.3.1 - Índices de Diversidade, Equitatividade e Riqueza das estações de monitoramento da UHE-Serra da Mesa.

Quadro 7.1.1 - Comparação dos valores mínimos e máximos obtidos em Serra da Mesa - período do monitoramento de 2001 a 2003 com a fase atual do reservatório (2005 a 2007).

Quadro 7.4.1 - Classificação do nível trófico de lagos segundo o fósforo total e as formas nitrogenadas.

Quadro 7.4.2 - Valores mínimos e máximos do fósforo total e formas nitrogenadas obtidos na UHE - Serra da Mesa no período de monitoramento de maio/2001 a janeiro/2003.

Quadro 7.4.3 - Critérios para classificação em função do TSI.

Quadro 7.4.4 - Valor do TSI por estação e por campanha.

Quadro 7.4.5 - Valores de TSI de acordo com as concentrações de fósforo total.

Quadro 7.5.1 - Valores médios dos íons registrados na UHE - Serra da Mesa e em diversos rios.

Quadro 7.5.2 - Média dos valores de íons registrados nas estações MRN-03 e ALM-30.

Quadro 7.6.1 - Estações de amostragem, cujos parâmetros estiveram em desacordo com os limites para classe 2 - CONAMA 357/2005.



MULTIGEO

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Serra da Mesa, primeira usina da Cascata do rio Tocantins.
- Figura 2.1.1 - Precipitação Média de Serra da Mesa (média das estações de Uruaçu e Minaçu) - outubro/2004 a fevereiro/2007.
- Figura 2.3.1 - Mapa hipsométrico da área do reservatório.
- Figura 2.4.1 - Mapa dos tipos de solos da área do reservatório.
- Figura 2.5.1 - Bacia hidrográfica do Tocantins/Araguaia, com suas respectivas sub-bacias.
- Figura 2.6.1 - Mapa de vegetação da área do reservatório.
- Figura 3.1 - Classificação da UHE - Serra da Mesa em termos de volume de água.
- Figura 3.2 - Classificação da UHE - Serra da Mesa em termos de área alagada.
- Figura 3.3 - Curvas da cota x área alagada e cota x volume na UHE - Serra da Mesa.
- Figura 3.4 - Registros da cota do reservatório na fase atual de operação da UHE - Serra da Mesa.
- Figuras 3.5 - Registro da vazão afluente e defluente média na fase atual de operação da UHE - Serra da Mesa.
- Figura 3.6 - Precipitação diária registrada na UHE de Serra da Mesa - Barragem.
- Figura 3.7 - Precipitação diária registrada em Uruaçu.
- Figura 3.8 - Registros da vazão armazenada entre 2004 e 2007 - fase atual de operação da UHE - Serra da Mesa.
- Figura 3.9 - Registros do tempo de retenção de vazão efluente na fase atual de operação do UHE - Serra da Mesa.
- Figura 4.1 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento.
- Figura 6.1.1 - Temperatura do ar registrada nas estações de coleta durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa (abril/05 a fevereiro/07).
- Figura 6.1.2 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de abril/2005.
- Figura 6.1.3 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de julho/2005.
- Figura 6.1.4 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de outubro/2005.
- Figura 6.1.5 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de janeiro/2006.
- Figura 6.1.6 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de abril/2006.
- Figura 6.1.7 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de julho/2006.



MULTIGEO

Figura 6.1.8 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de outubro/2006.

Figura 6.1.9 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de janeiro/2007.

Figura 6.1.10 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-10 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.11 - Perfil vertical do OD, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-30 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.12 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-40 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.13 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.14 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.15 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.16 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.17 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação PST-10 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.18 - Profundidades obtidas pelo disco de Secchi nas estações de monitoramento, durante as campanhas completas.

Figura 6.1.19 - Perfil longitudinal do pH em abril/05 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.20 - Perfil longitudinal do pH em outubro/05 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.21 - Perfil longitudinal do pH em janeiro/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.22 - Perfil longitudinal do pH em abril/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.23 - Perfil longitudinal do pH em julho/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.24 - Perfil longitudinal do pH em outubro/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.25 - Perfil longitudinal do pH em janeiro/07 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.26 - Perfil longitudinal do OD em abril/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.27 - Perfil longitudinal do OD em julho/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.28 - Perfil longitudinal do OD em outubro/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.29 - Perfil longitudinal do OD em janeiro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.30 - Perfil longitudinal do OD em abril/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.31 - Perfil longitudinal do OD em julho/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.32 - Perfil longitudinal do OD em outubro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.33 - Perfil longitudinal do OD em janeiro/07 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.



MULTIGEO

Figura 6.1.34 - Perfil longitudinal da condutividade em abril/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.35 - Perfil longitudinal da condutividade em outubro/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.36 - Perfil longitudinal da condutividade em janeiro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.37 - Perfil longitudinal da condutividade em abril/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.38 - Perfil longitudinal da condutividade em julho/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.39 - Perfil longitudinal da condutividade em outubro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.40 - Perfil longitudinal da condutividade em janeiro/07 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

Figura 6.1.41 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-10 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.42 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-30 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.43 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-40 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.44 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.45 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.46 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação PST-10 nas campanhas de monitoramento.

Figura 6.1.47 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de abril/2005.

Figura 6.1.48 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de outubro/2005.

Figura 6.1.49 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de janeiro/2006.

Figura 6.1.50 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de julho/2006.

Figura 6.1.51 - Dados de fósforo total registrados na estação MRN-10 e MRN-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.52 - Dados de fósforo total registrados nas estações MRN-50 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.53 - Dados de fósforo total registrados nas estações PST-10 e ALM-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.54 - Dados de fósforo total registrados nas estações MRN-03 e PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.



MULTIGEO

Figura 6.1.56 - Dados de fósforo dissolvido registrados na estação MRN-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.57 - Dados de fósforo dissolvido registrados na estação MRN-50 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.58 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações BGG-05 e PST-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.59 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações ALM-30 e MRN-03 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.60 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações PST-05 e MRN-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.61 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.62 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados na estação MRN-10 e MRN-50 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.63 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados nas estações ALM-30 e MRN-03 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.64 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados nas estações MRN-30, PST-05 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.65 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados nas estações BGG-05 e PST-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.66 - Dados de nitrogênio total registrados na estação MRN-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.67 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações MRN-50 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.68 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações BGG-05 e PST-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.69 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações ALM-30 e MRN-03 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.70 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações MRN-30 e TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.71 - Dados de nitrogênio total registrado na estação PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.72 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-10 e MRN-50 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.73 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-55 e BGG-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.74 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações PST-10 e ALM-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.75 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-03 e PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.



MULTIGEO

Figura 6.1.76 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-30 e TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.77 - Dados de nitrato registrados na estação MRN-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.78 - Dados de nitrato registrados nas estações MRN-30 e MRN-50 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.79 - Dados de nitrato registrados nas estações MRN-55 e BGG-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.80 - Dados de nitrato registrados nas estações PST-10 e ALM-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.81 - Dados de nitrato registrados nas estações MRN-03 e PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.1.82 - Dados de nitrato registrados na estação TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE Serra da Mesa.

Figura 6.2.2.1 - Riqueza de táxons no período de abril de 2005 a fevereiro de 2007 na UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.2.2 - Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto MRN-50 (A - superfície; B - 50%; C - 1% penetração de luz), considerando-se a densidade total (abril de 2005 a fevereiro de 2007).

Figura 6.2.2.3 - Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto PST-10 superfície, considerando-se a densidade total anual (abril de 2005 a fevereiro de 2007).

Figura 6.2.2.4 - Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto MRN-10 superfície, considerando-se a densidade total anual (abril de 2005 a fevereiro de 2007).

Figura 6.2.2.5 Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto MRN- 30 superfície, considerando-se a densidade total (janeiro de 2006 a janeiro de 2007).

Figura 6.2.2.6- Densidades totais no ponto MRN-50 superfície.

Figura 6.2.2.7 - Densidades totais no ponto MRN-50 a 50% de penetração de luz.

Figura 6.2.2.8 - Densidades totais no ponto MRN-50 a 1% de penetração de luz.

Figura 6.2.2.9 - Densidades totais no ponto PST-10 superfície.

Figura 6.2.2.10 - Densidades totais no ponto MRN-10 superfície.

Figura 6.2.2.11 - Densidades totais no ponto MRN-30 superfície (junho de 2006 a janeiro de 2007).

Figura 6.2.3.1 - Números de táxons registrados ao longo do monitoramento no reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.2 - Abundância relativa dos principais grupos do zooplâncton na estação PST-10 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.3 - Abundância relativa dos principais grupos do zooplâncton na estação MRN-30 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.4 - Abundância relativa dos principais grupos do zooplâncton na estação MRN-50 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.



MULTIGEO

Figura 6.2.3.5 - Abundância relativa dos principais grupos do zooplâncton na estação MRN-10 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.6 - Densidades médias de rotíferos, cladóceros, copépodos ciclopóides e calanóides nas estações estudadas.

Figura 6.2.3.7 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação MRN-10.

Figura 6.2.3.8 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação PST-10.

Figura 6.2.3.9 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação MRN-30.

Figura 6.2.3.10 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação MRN-50.

Figura 6.2.3.11 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza nas estações de monitoramento do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.12 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação MRN-50 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.13 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação MRN-10 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.14 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação PST-10 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.15 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação MRN-30 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Figura 6.2.3.16 - Dendrograma de similaridade entre as estações estudadas.

Figura 7.1.1 - Variação dos valores mínimos e máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.

Figura 7.1.2 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.

Figura 7.1.3 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.

Figura 7.1.4 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.

Figura 7.1.5 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.

Figura 7.2.1 - Média dos valores dos parâmetros nas estações de cabeceira.

Figura 7.2.2 - Média dos valores dos parâmetros nas estações de cabeceira.



MULTIGEO

1. INTRODUÇÃO

O rio Tocantins nasce em Goiás e flui em direção ao norte do País por cerca de 2.000 km. Nesse trajeto, corta todo Estado de Tocantins, delimita parcialmente o território do Maranhão e, após receber o rio Araguaia pela margem esquerda, entra no Estado do Pará, desaguando nas proximidades da Ilha de Marajó. O curso do rio Tocantins é do tipo canalizado, com estreita planície de inundação, sendo dotado de enorme potencial energético.

Localizada no município de Minaçu, ao norte de Goiás, a barragem de Serra da Mesa alimenta uma das maiores usinas hidrelétricas do País. O lago possui cerca de 1.784 km² de área, chegando a ter em alguns trechos até 10 km de largura e profundidade superior a 100 metros.

A usina de Serra da Mesa é alimentada pelo maior reservatório em termos de volume de água no País e constitui-se do primeiro aproveitamento hidroelétrico no rio Tocantins (Figura 1.1). As margens do reservatório são recobertas por vegetação de cerrado, onde há desenvolvimento da pecuária extensiva, com nível moderado de urbanização.

Durante o período de monitoramento anterior (2001 - 2003) foram constatadas concentrações preocupantes de mercúrio e de fitoplâncton no reservatório. Em ambos os casos os dados estiveram relacionados com a metodologia analítica utilizada naquele período.

Sabe-se que o mercúrio, na precisão indicada pela classe 2, é um parâmetro de difícil detecção pelos métodos analíticos rotineiramente utilizados nos laboratórios comerciais, como exemplo, cita-se o monitoramento da Lagoa de Carapicuíba, junto ao rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo, onde os ensaios indicavam presença desse metal com valores (pouco) superiores ao limite da classe 2 e a utilização de metodologia analítica mais precisa revelou valores muito inferiores ao limite permitido. No atual programa de monitoramento, foram realizadas amostragens e análises deste parâmetro no Laboratório de Química Ambiental do Instituto de Química da Unicamp, com o intuito de dirimir as dúvidas quanto à presença deste metal na coluna d'água do reservatório.

Quanto ao fitoplâncton, no programa anterior a estimativa do número de indivíduos foi baseada na técnica da abundância relativa do plâncton, por se tratar de fitoplâncton de rede. Na coleta de rede, pode haver seleção de determinados grupos em detrimento de outros, especialmente aqueles pertencentes ao nanoplâncton. Além disso, no caso do fitoplâncton de rede, os organismos estão mais concentrados, de modo que as amostras têm aparência de "blooms", o que nem sempre corresponde à real situação do ambiente. No atual programa foram realizadas coletas de amostras na sub-superfície para análise quantitativa do fitoplâncton total.



MULTIGEO

Na atual fase do programa de monitoramento é dada ênfase nas cargas afluentes ao reservatório. Desta forma, foram estabelecidas coletas nos principais tributários, mantendo-se, contudo, os principais pontos no lago como elementos de referência.

A Figura 1.1 apresenta a seqüência de reservatórios do rio Tocantins que se inicia pelo de Serra da Mesa.

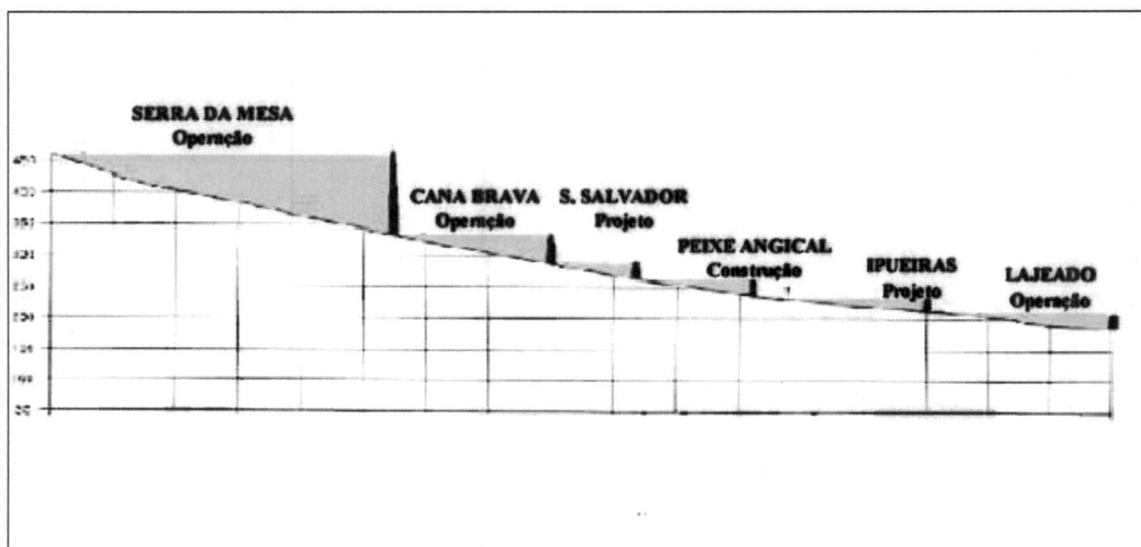


Figura 1.1 - Serra da Mesa, primeira usina da Cascata do rio Tocantins.

2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A UHE - Serra da Mesa está inserida na sub-bacia do rio Tocantins, que abrange uma área de drenagem 321.000 km², representando 39,5% da bacia do rio Tocantins.

O rio Tocantins se forma a partir da confluência dos rios das Almas e Maranhão, cujas nascentes localizam-se na região central do Brasil, no planalto de Goiás. Pela margem direita do rio, seus principais contribuintes são ainda os rios Bagagem e Tocantinzinho.

As condições hidrobiológicas atuais da UHE - Serra da Mesa resultam de um conjunto de interações de fatores físicos, biológicos e sociais, os quais serão descritos de forma sucinta a seguir.



MULTIGEO

2.1 CLIMA

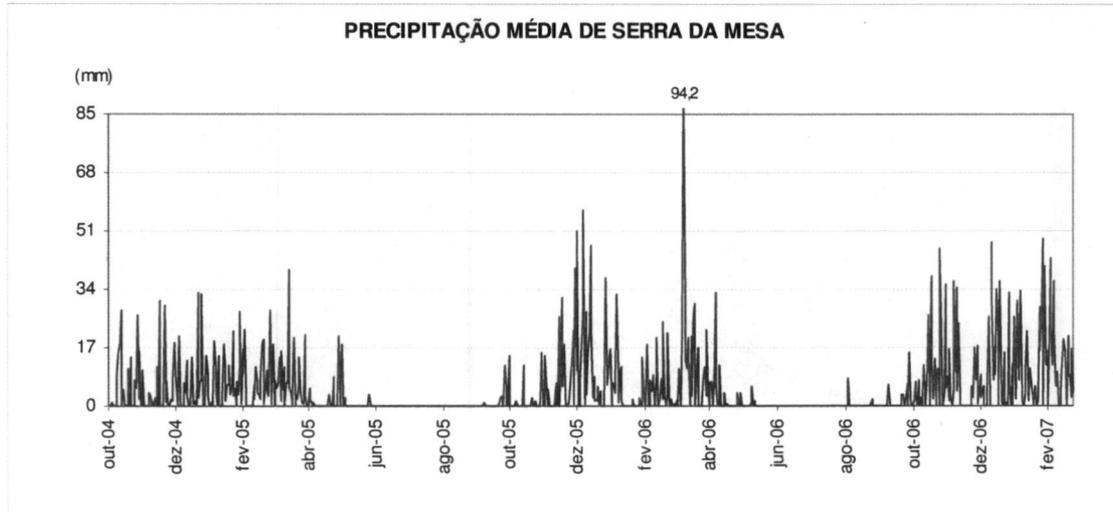
A área onde se localiza a UHE - Serra da Mesa apresenta clima tropical quente e sub-úmido, marcado por forte continentalidade. As temperaturas médias anuais são superiores a 25°C e a precipitação pluviométrica varia de 1.500 a 2.000 mm anuais, com chuvas fortes e concentradas no verão. A Figura 2.1.1 apresenta os dados de chuva na Estação de Serra da Mesa para o período de outubro/2004 a fevereiro/2007. Segundo a classificação de Köppen, a área apresenta clima tropical de Savana (Aw), pois apresenta a temperatura média do mês mais frio (julho) maior que 18°C.

Segundo informações do Departamento de Hidrometeorologia de Furnas (FURNAS *apud* SILVESTRE, 2000), o clima da região de Serra da Mesa caracteriza-se por uma homogeneidade climato-meteorológica em consequência das condições latitudinais continentais, coadjuvadas pela orografia e pela ação de uma só massa de ar de natureza equatorial continental, quente e úmida, associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta homogeneidade é comprovada pela pequena variação espacial e temporal de parâmetros meteorológicos tais como pressão, temperatura, umidade e vento que acarretam uma regularidade nas distribuições de nebulosidade e evaporação de precipitação na região.

Além disso, a despeito da estação seca (inverno), não há esgotamento total da água armazenada no solo e a quantidade anual de água que entra no sistema via precipitação pluvial é, geralmente, maior do que a que sai pela evapotranspiração. O mês mais crítico com relação ao balanço hídrico é setembro, ou seja, o final do período seco, quando o nível de armazenamento de água no solo atinge seus valores mais baixos.



MULTIGEO



Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de Furnas Centrais Elétricas (2007).

Figura 2.1.1 - Precipitação Média de Serra da Mesa (média das estações de Uruaçu e Minaçu) - outubro/2004 a fevereiro/2007.

2.2 GEOLOGIA

Do ponto de vista geológico, a região integra a Província Estrutural do Tocantins (LACERDA FILHO, 2000). É representada no Arqueozóico pelo Maciço Central Goiano, no qual são descritos granitos, granodioritos, adamelitos, anfibolitos, gnaisses, migmatitos e granulitos. Ainda no Maciço Central Goiano depositaram-se seqüências vulcanossedimentares de grande potencial mineral, como ouro, esmeralda e cobre, além de ocorrências de cianita, talco e urânio.

Na área de drenagem da UHE - Serra da Mesa estão presentes os Complexos Intrusivos de composição básica e ultrabásica de Barro Alto e Canabrava, que se caracterizam por importantes concentrações econômicas de cromo, vanádio, cobre, titânio, ferro, amianto, níquel e cobalto. Sob a área do reservatório são encontradas rochas magmáticas e calcárias, constituindo maciços isolados e de pequenas extensões, formadores do Grupo Bambuí.

A estrutura geológica da área de estudo revela um substrato rico em minérios, cuja composição natural e métodos de extração podem interferir nas características das águas que fluem ao reservatório.



MULTIGEO

2.3 RELEVO

Segundo LACERDA FILHO (2000), a área de estudo se insere em duas principais unidades de relevo - o Planalto Central Goiano e as Superfícies Aplanadas.

2.3.1. Planalto Central Goiano

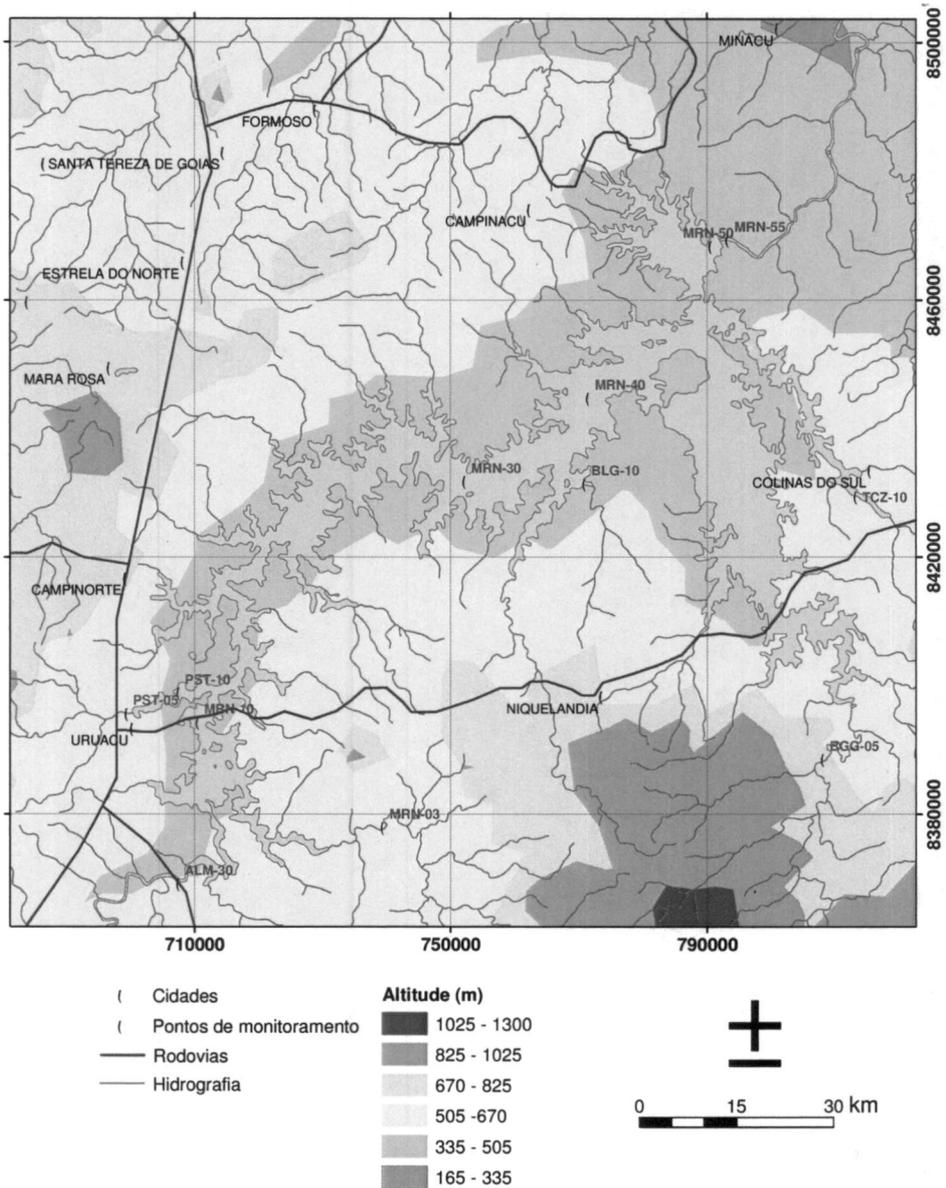
Reproduz feições de relevo resultantes da exumação de estruturas dobradas no decorrer de vários ciclos tectônicos, refletidos pelos diferentes estilos estruturais que explicam as particularidades do relevo. A tectônica constitui um fator de grande influência no arranjo da drenagem. Esses fatores lito-estruturais, aliados aos de origem climática, favoreceram a intensa dissecação, em geral muito forte, em relação a outros compartimentos.

Na direção predominante norte-sul, essa superfície ocupa posição topográfica de depressão, apresentando cotas entre 200 e 300 metros, como parte do piso regional.

Na área de drenagem se destacam elevações de topografia suave, com altitudes da ordem de 300 a 700 metros (Figura 2.3.1).



MULTIGEO



Fonte: ANA (2005) modificado por MULTIGEO (2005).

Figura 2.3.1 - Mapa hipsométrico da área do reservatório.



MULTIGEO

2.3.2 Superfícies Aplanadas

Ocupam espaços periféricos ou interplanálticos constituindo o piso regional do relevo. Constituem-se de superfícies planas e baixas, resultantes da atuação dos processos erosivos que se iniciaram nas bordas das bacias sedimentares. Predominam formas de relevo com amplos interflúvios, seguidos de setores com dissecação de topos convexos e tabulares de dimensões menores.

2.4 SOLOS

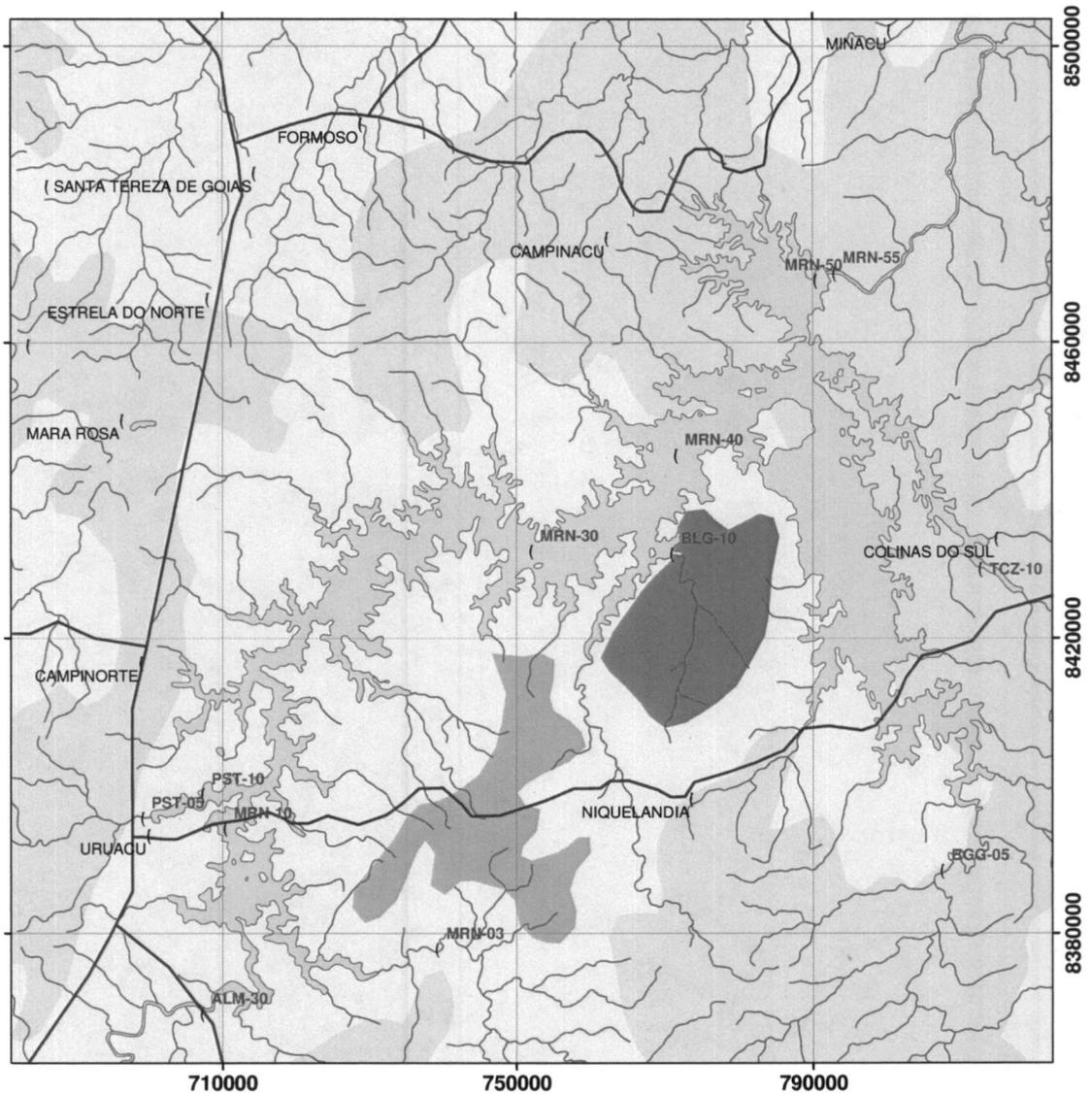
Segundo REATTO *et al* (1998), na área do reservatório encontram-se os seguintes tipos de solos (Figura 2.4.1):

- *Latossolos*: solos minerais profundos e altamente intemperizados, apresentando geralmente horizonte ⁽¹⁾ B latossólico de estrutura granular. São ácidos com baixa a média capacidade de troca catiônica e níveis de pH em torno de 4,0 e 5,5. O manejo inadequado deste solo pode causar graves danos como, por exemplo, no desmatamento que pode levar à formação de sulcos e voçorocas. Além disso, a chuva, encontrando o solo desprotegido, arrasta grandes quantidades de partículas para pontos mais baixos, causando assoreamento dos cursos d'água e dos reservatórios.
- *Podzólicos*: solos minerais, com horizonte B textural. Morfologicamente o horizonte B é mais argiloso e estruturado que o horizonte A. Problemas sérios de erosão são verificados em Podzólicos desprovidos de cobertura vegetal, e em relevo acidentado, devido à sua característica intrínseca de gradiente textural (horizonte A com menos argila que o horizonte B).
- *Litossolos*: solos rasos associados a afloramentos rochosos, sendo pouco evoluídos, com horizonte A assentado diretamente sobre a rocha (R) ou sobre o horizonte C pouco espesso. Um dos aspectos deste solo é que a água de percolação, ao atingir a rocha, tem seu fluxo diminuído ou interrompido, expondo-o aos efeitos dos fluxos de escoamento superficial concentrados.
- *Terras Roxas Estruturadas*: solos derivados de rochas básicas e ultrabásicas, ricas em minerais ferromagnesianos. A textura é argilosa ao longo do perfil, com reduzido gradiente textural entre o horizonte A e B. São bem porosas, apresentando boa drenagem interna.

⁽¹⁾ Camadas paralelas à superfície, diferenciadas entre si pela cor, textura, porosidade etc. Os horizontes são: O (orgânico); A (camada mineral próxima à superfície e que transloca material para o horizonte subjacente); B (que recebe o material proveniente de A); C (rocha intemperizada) e R (rocha sã).



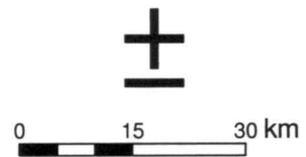
MULTIGEO



- (Cidades
- (Pontos de monitoramento
- Rodovias
- Hidrografia

Tipos de solos

- Latossolos
- Litossolos
- Podzólicos
- Terras roxas estruturadas



Fonte: ANA (2005) modificado por MULTIGEO (2005).

Figura 2.4.1 - Mapa dos tipos de solos da área do reservatório.



MULTIGEO

2.5 HIDROGRAFIA

A bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia possui uma área de drenagem de aproximadamente 967.000 km², apresentando forma alongada no sentido longitudinal (Figura 2.5.1). Segue o eixo dos rios Tocantins e Araguaia, que se mantêm paralelos no sentido sul-norte até o último desaguar no primeiro no extremo setentrional da bacia, no Estado do Pará. Essa bacia abrange 11% do território nacional e situa-se em seu trecho de montante, ao sul, na região centro-oeste e, em sua porção de jusante, na região norte do País.

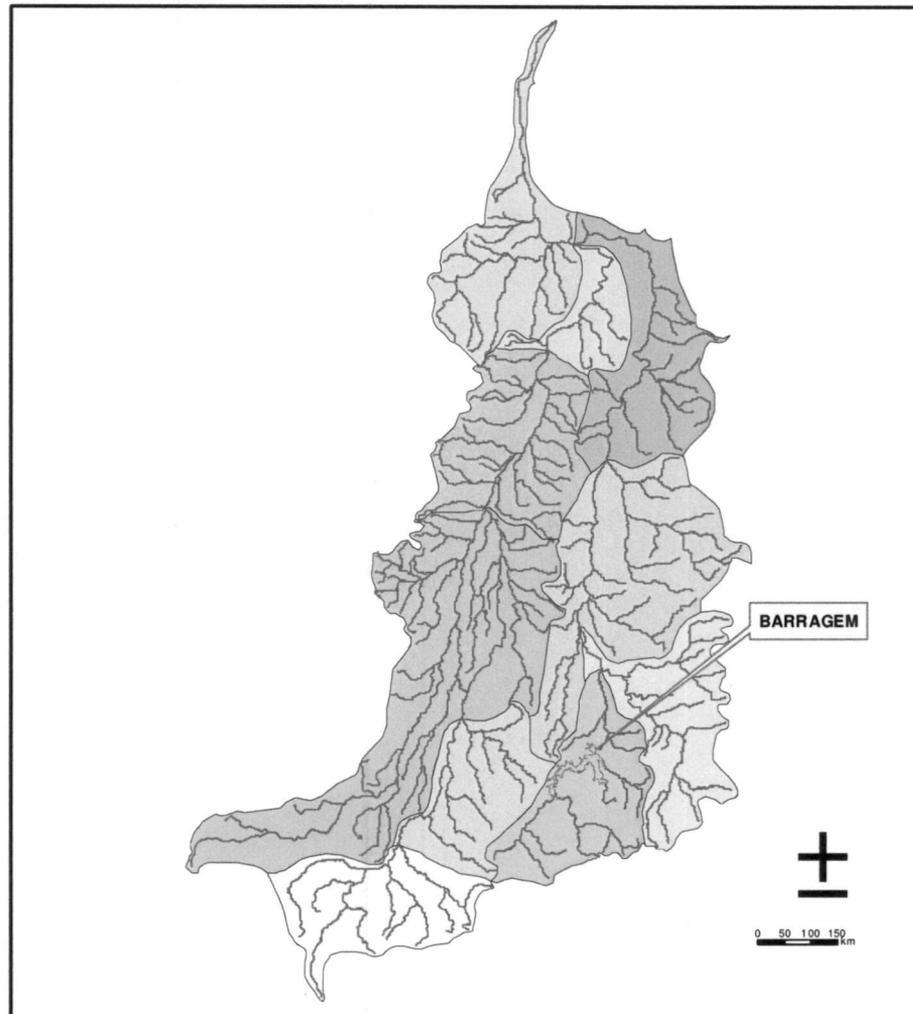
Ao sul, tem-se a formação do rio Tocantins, no Planalto Central Goiano, a partir da confluência dos rios Maranhão e das Almas, na cota de aproximadamente 1.100 metros de altitude. De sua nascente até sua foz na Baía de Marajó, o Tocantins percorre cerca de 2.000 km. Os principais usos da água da bacia do Tocantins são o abastecimento público e a geração de energia elétrica.

Conforme salientado no item 2.1, o clima da porção sul da bacia do Tocantins (onde se localiza a área da UHE - Serra da Mesa) é do tipo tropical quente e sub-úmido. Já na parte norte da bacia tem-se a transição para o clima equatorial, sendo que em seu limite norte já não há mais a ocorrência de um período totalmente seco e os totais de chuva anuais chegam a ultrapassar os 2.000 mm. As temperaturas também se elevam do sul para o norte da bacia.

O regime hidrológico na bacia do Tocantins é bastante definido. A época de cheias se estende de outubro a abril, com pico em fevereiro no curso superior, onde se situa a UHE - Serra da Mesa, e março nos cursos médio e inferior. O período de secas ocorre entre maio a setembro, com períodos críticos neste último mês.



MULTIGEO



Sub-bacias

- Alto Tocantins, até a confluência do rio Preto
- Rio Tocantins, entre a confluência do rio preto e rio Paranã
- Rio Tocantins, entre a confluência do rio Paranã e rio do Sono
- Rio Tocantins, entre a confluência do rio do Sono e rio Araguaia
- Alto Araguaia, até a confluência do rio Claro
- Rio Araguaia, entre a confluência do rio Claro e a seção a montante da bifurcação do Araguaia
- Rio Araguaia, entre sua bifurcação e a Ilha do Bananal
- Rio Araguaia, entre a confluência da Ilha do Bananal e rio Santa Maria
- Rio Araguaia, entre a confluência do rio Santa Maria e a confluência do Tocantins e Araguaia
- Rio Tocantins entre sua confluência com o Araguaia e sua foz

Fonte: ANA (2005) modificado por MULTIGEO (2005).

Figura 2.5.1 - Bacia hidrográfica do Tocantins/Araguaia, com suas respectivas sub-bacias.



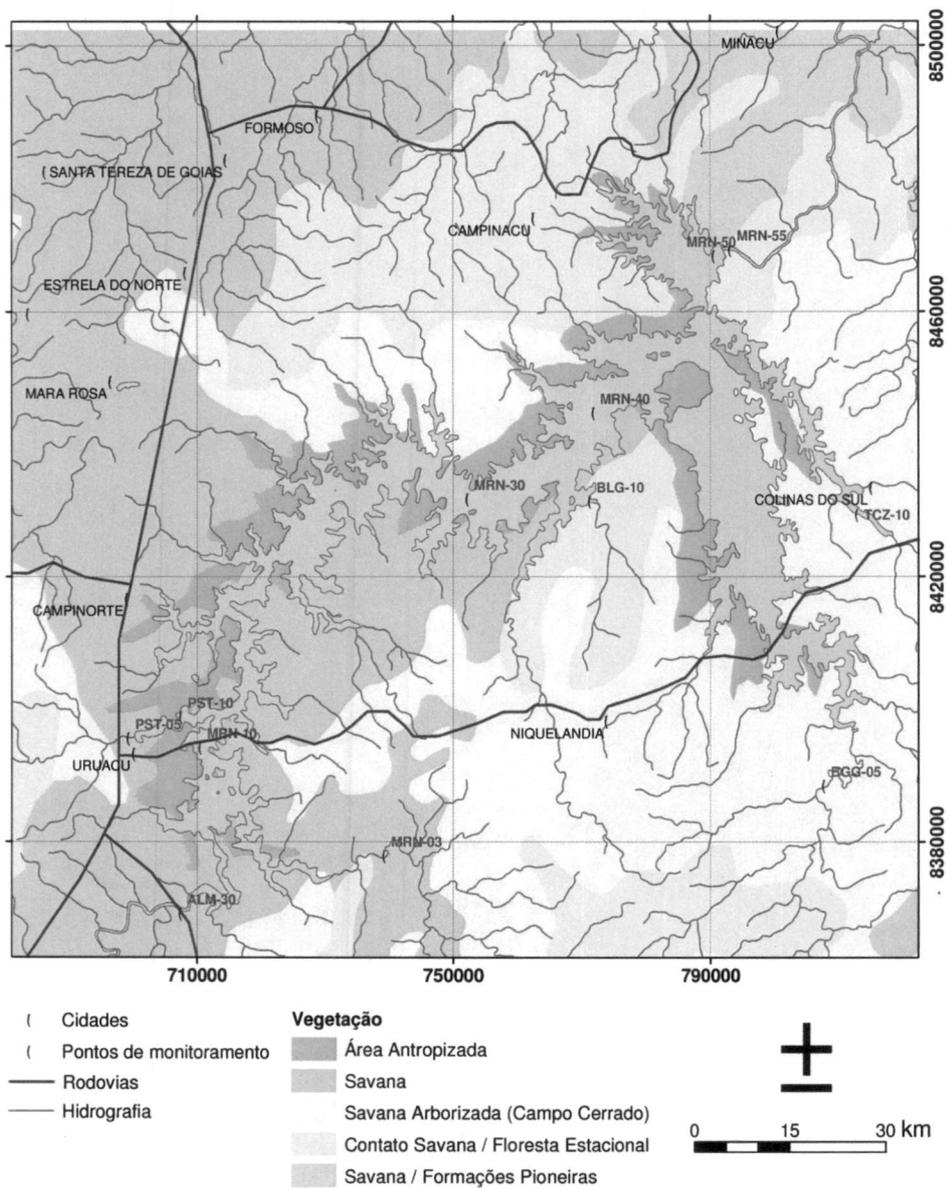
MULTIGEO

2.6. VEGETAÇÃO NATURAL

A vegetação de Cerrado predomina em toda a área de drenagem da UHE - Serra da Mesa. Segundo IBGE (2005a), a vegetação primária nessa região é definida como Contato Savana Arbórea Densa/Floresta Estacional (Figura 2.6.1).

A Savana brasileira é conhecida como Cerrado e inclui as várias formações campestres onde, com vegetação gramíneo-lenhosa baixa, alternam-se pequenas árvores, capões florestados e galerias florestais ao longo dos rios, mostrando, assim, uma grande variabilidade estrutural e, em consequência, grandes diferenças em porte e densidade, no que também influi a intensidade da ação antrópica.

A vegetação de Savana ocorre em vários tipos de clima, subsistindo tanto sob climas estacionais tropicais com período seco variando entre 3 e 7 meses, como sob clima ombrófilo sem período biologicamente seco.



Fonte: ANA (2005) modificado por MULTIGEO (2005).

Figura 2.6.1 - Mapa de vegetação da área do reservatório.



MULTIGEO

2.7 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO REGIONAL

As características hidrobiológicas do reservatório são também condicionadas pelo uso e ocupação do solo em toda a bacia de drenagem, que se encontra inserida no Estado de Goiás, contendo uma pequena porção no Distrito Federal. O reservatório da UHE - Serra da Mesa tem como principais formadores os rios Almas e Maranhão, cujas águas exercem forte influência nas características do reservatório, especialmente nas porções de montante.

O rio Maranhão tem suas nascentes na região do Distrito Federal, drenando territórios de Padre Bernardo, Dois Irmãos e Barro Alto. São municípios que reúnem pequeno número de habitantes, com economia baseada na pecuária extensiva, avicultura e plantações de cana e milho. Destacam-se na região ocorrências de amianto, mica, níquel, ouro e quartzo.

De maior extensão, o rio das Almas nasce à altura do Município de Goiás, passando em seguida por vários territórios municipais, sendo os mais significativos Itaberaí, Jaraguá, Goianésia e Ceres. Essa região, de maior expressividade econômica, concentra uma população superior a 150.000 habitantes, grande parte reunida em núcleos urbanos destituídos de infra-estrutura de coleta e tratamento de esgotos sanitários.

Predomina na área rural o desenvolvimento da pecuária extensiva para corte e avicultura, além do plantio de cana, soja, milho, arroz e frutas, que requerem aplicações de fertilizantes e agrotóxicos. Associadas à produção agropecuária, encontram-se na área de drenagem distritos agroindustriais, laticínios, frigoríficos, abatedouros de aves e destilarias, que geram efluentes com alto potencial poluidor. Entre os minerais mais comuns registrados na área de contribuição do rio das Almas destacam-se: cobre, cromo, ouro, diamante, manganês e níquel.

O rio Passa Três, contribuinte da margem esquerda do reservatório, drena parte do município de Uruaçu, cruzando a cidade a poucos quilômetros de distância do reservatório. No total, vivem no município cerca de 33.000 habitantes, distribuídos na zona urbana e rural (IBGE, 2005b). Como nas demais áreas da bacia, essa região se caracteriza pela pecuária, avicultura, plantações de milho e soja. Antes da implantação da represa, a economia da cidade girava em torno do garimpo de ouro que se encontra na área inundada. O subsolo apresenta também grande concentração de minérios, como calcário, manganês, chumbo, estanho, barita e calcopirita.

Com a implantação da UHE - Serra da Mesa, a cidade passou a ter sua economia dinamizada por turistas procedentes de várias localidades, em especial Brasília e Goiânia, que buscam o reservatório para lazer, e principalmente para pesca, sendo muito comum a captura de tucunaré e jaú. No ponto de acesso ao reservatório pela



MULTIGEO

estrada de Uruaçu, foi implantada uma praia artificial, onde se concentram inúmeros barcos de aluguel.

No entanto, é no trecho médio e superior do rio Tocantins que as praias naturais constituem elemento de forte referência cultural, muito procurado durante o mês de julho, no qual coincidem o período de seca e as férias escolares. Devido aos aproveitamentos previstos ao longo do rio, a área no entorno dos reservatórios passará a assumir importância significativa para a população regional, o que requer um controle das águas não somente do ponto de vista ecológico, mas também sanitário.

No momento, estão sendo implantados os sistemas de coleta e tratamento de esgotos domésticos na cidade de Uruaçu, devendo promover uma redução da carga orgânica, de nutrientes minerais e de coliformes que afluem à represa. A evolução da qualidade desse trecho do reservatório pode ser acompanhada através do ponto de monitoramento PST-10, situado na área de influência do rio Passa Três.

No setor intermediário do corpo principal da represa, onde estão localizados os pontos de monitoramento MRN-30 e MRN-40, há córregos de pequeno porte, tais como o Macaco e Palmeira, que drenam terrenos de colinas cobertos por vegetação de cerrado relativamente preservados, pertencentes aos municípios de Campinorte e Campinaçu.

O rio Bagagem percorre grande extensão do território de Niquelândia, município com cerca de 38.000 habitantes (IBGE, 2005b), onde se localiza o maior complexo mineral em atividade na bacia de contribuição da UHE - Serra da Mesa, denominada CODEMIN. No subsolo encontram-se, além de níquel, diversas jazidas como ouro, bauxita, chumbo, cobre, cromo, manganês, calcário, diamante, platina, vanádio e zinco. Nessa área, podem ser constatados altos teores de enxofre, havendo inclusive fontes de águas sulfurosas.

Em termos de interferências antrópicas na qualidade da água, os rios Bacalhau, Traíras e Bilhguas são considerados dentre os mais representativos, sendo o Bilhguas tributário do Traíras e o Bacalhau afluente do Bagagem. Na margem esquerda do rio Bagagem ocorre extração de níquel. A cidade de Niquelândia despeja seus efluentes domésticos no rio Bacalhau e o rio Traíras e Bilhguas recebem influência das atividades mineradoras da Companhia Níquel-Tocantins (FURNAS/IESA, 1996).

3. DESCRIÇÃO DO RESERVATÓRIO EM OPERAÇÃO

A UHE - Serra da Mesa é considerada a maior do Brasil em termos de volume de água e a quarta maior em área alagada, conforme Figuras 3.1 e 3.2.

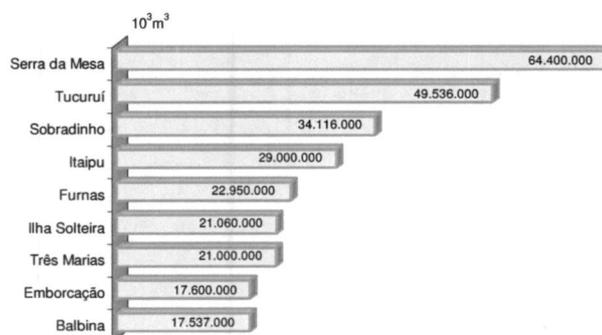


Figura 3.1 - Classificação da UHE - Serra da Mesa em termos de volume de água.

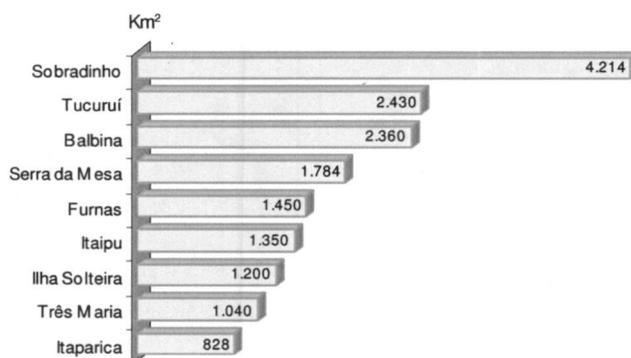
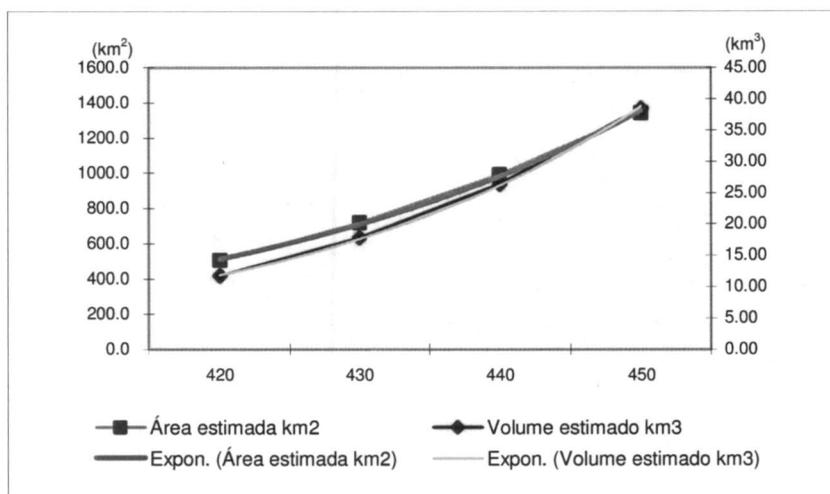


Figura 3.2 - Classificação da UHE - Serra da Mesa em termos de área alagada.

De acordo com os cálculos realizados por FURNAS, na fase anterior ao enchimento, o reservatório deveria atingir 1.784 km² de área inundada e 54,4 km³ de volume total na cota 460 (N.A. Máximo Normal) (HABTEC, 2000).

As curvas cota versus área alagada estimada e cota versus volume estimado na fase de operação do reservatório são apresentadas na Figura 3.3 e serviram de base para as avaliações de tempo de retenção realizadas neste relatório.



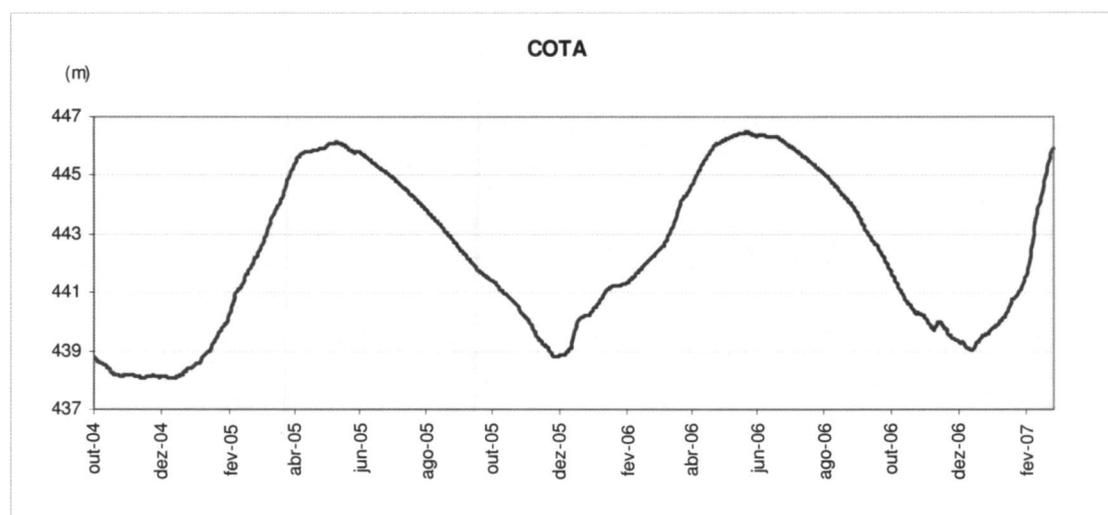
Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de FURNAS (2003).

Figura 3.3 - Curvas da cota x área alagada e cota x volume na UHE - Serra da Mesa.

Anteriormente ao período de monitoramento, a cota do reservatório sofreu grande depleção entre outubro de 2004 e janeiro de 2005, chegando a registrar a cota de 438,08 m em novembro de 2004 (Figura 3.4.). A partir de abril de 2005, quando se retomou o programa de monitoramento limnológico e da qualidade da água, a cota do reservatório estava subindo, chegando a registrar 446,13 m em maio de 2005. Na seqüência cronológica, houve queda gradativa chegando à cota de 438,8 m em novembro de 2005. Com outro ciclo do período chuvoso, a partir de dezembro de 2005 ocorre aumento no nível do reservatório e registra-se a cota máxima de 446,47 m em maio de 2006. Nova queda é verificada e em início de dezembro de 2006 registra-se o valor de 439,05 m. Em meados de dezembro de 2006 até o último registro considerado (fevereiro/07) o nível do reservatório estava aumentando novamente em função das chuvas de verão.



MULTIGEO



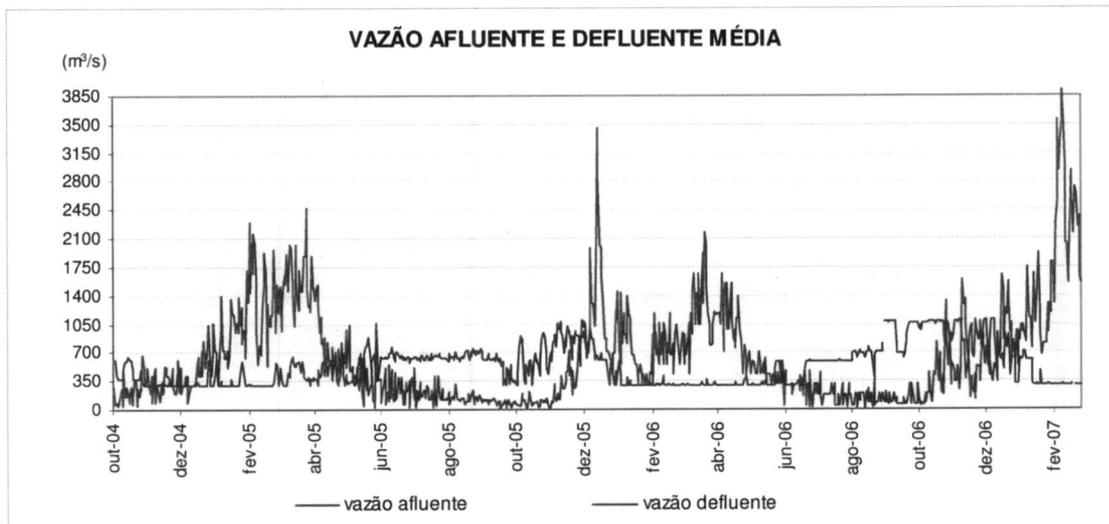
Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de Furnas Centrais Elétricas (2007).

Figura 3.4 – Registros da cota do reservatório na fase atual de operação da UHE - Serra da Mesa.

As oscilações registradas na vazão turbinada são comandadas pelo operador nacional do sistema e guardam uma relação com as variações da precipitação e da vazão afluente. A vazão afluente diminuiu entre abril e dezembro de 2005 e aumentou no período chuvoso, apresentando pico acentuado entre dezembro de 2005 e janeiro de 2006 (Figura 3.5). A partir de abril verifica-se nova queda da vazão afluente até outubro de 2006, quando novo período chuvoso se inicia com picos mais elevados que o ano anterior.

A variação é decorrente da precipitação na área do reservatório ou nas cabeceiras dos rios formadores (Figuras 3.6 e 3.7). O aumento reflete a elevação observada na cota do reservatório no mês de maio dos anos de 2005 e 2006.

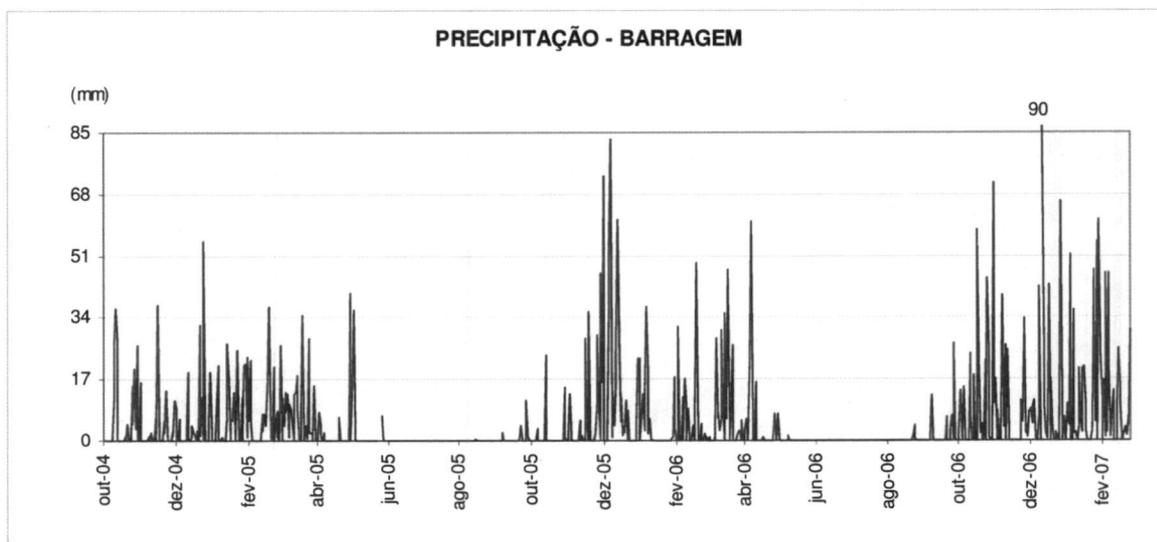
Observa-se na Figura 3.5 que no fim de 2006 e início de 2007 as vazões afluentes são bem maiores que as vazões defluentes, o que colaborou para o aumento do volume armazenado no reservatório.



Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de Furnas Centrais Elétricas (2007).

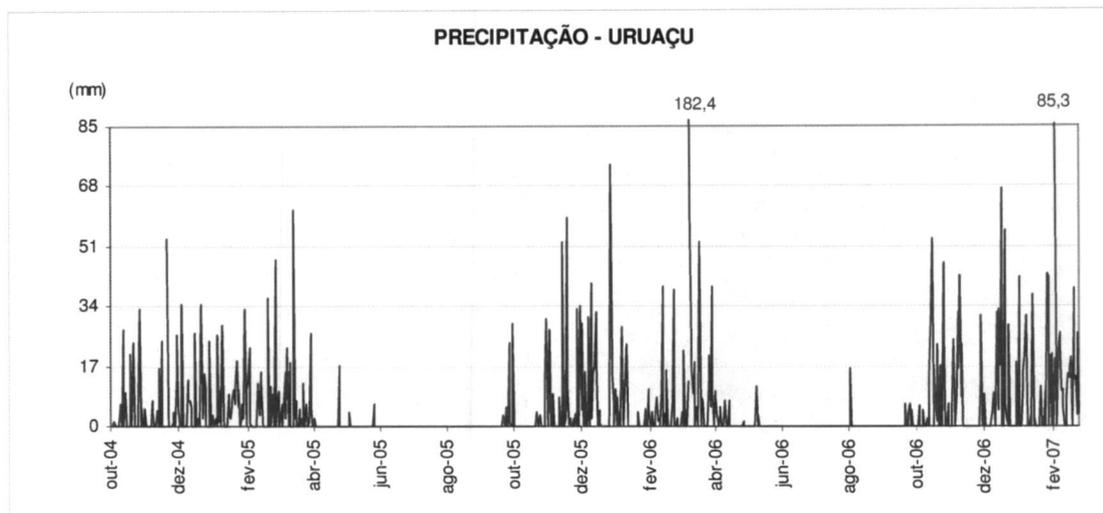
Figuras 3.5 - Registro da vazão afluente e defluente média na fase atual de operação da UHE - Serra da Mesa.

As Figuras 3.6 e 3.7 apresentam a precipitação diária registrada na barragem e em Uruaçu, respectivamente, no período de outubro de 2004 a fevereiro de 2007. Neste período a ocorrência de chuvas foi registrada de outubro a maio e o período de seca entre maio e setembro.



Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de Furnas Centrais Elétricas (2007).

Figura 3.6 - Precipitação diária registrada na UHE - Serra da Mesa - Barragem.



Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de Furnas Centrais Elétricas (2007).

Figura 3.7 - Precipitação diária registrada em Uruaçu.

A vazão armazenada apresenta o mesmo perfil de variação da vazão afluenta, contudo observa-se que ela é negativa de maio a novembro de 2005, indicando que até esse mês saiu mais água do reservatório do que nele entrou, ou em outros termos, houve utilização da vazão armazenada (Figura 3.8), que foi reposta nos meses chuvosos. O balanço final do período foi positivo com a média diária de cerca de $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ao longo de todo o período.

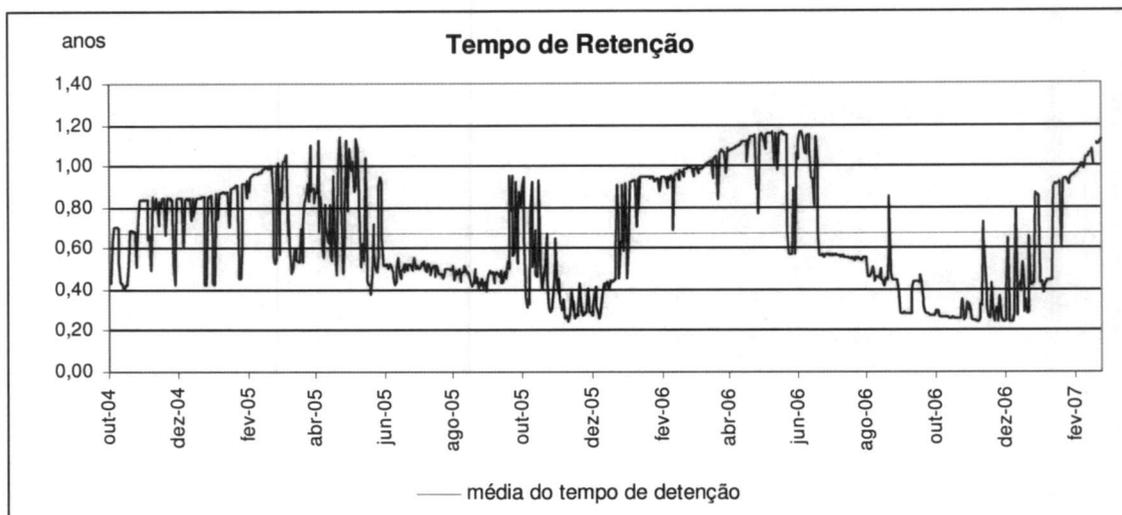


Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de FURNAS.

Figura 3.8 - Registros da vazão armazenada entre 2004 e 2007 - fase atual de operação da UHE - Serra da Mesa.

A Figura 3.9 apresenta a evolução do tempo de retenção do reservatório, calculado dia a dia em função do volume do reservatório e da vazão efluente. O valor médio do período ficou em 0,67 anos, o menor valor computado foi de 0,24 anos e o maior foi 1,16 anos, sendo que o tempo de retenção teórico era de 2,10 anos.

O aumento no tempo de retenção aumenta a potencialidade de eutrofização do reservatório e vice-versa. Observa-se que em 2005 os tempos de retenção foram inferiores a 0,67 anos de junho a setembro (4 meses) e em 2006 esse período aumentou (5 meses) e ocorreu de julho a novembro.



Fonte: Serviço de Hidrometeorologia de FURNAS.

Figura 3.9 - Registros do tempo de retenção de vazão efluente na fase atual de operação do UHE - Serra da Mesa.

4. METODOLOGIA DO MONITORAMENTO

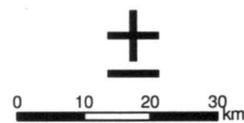
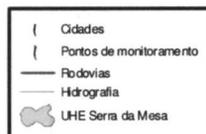
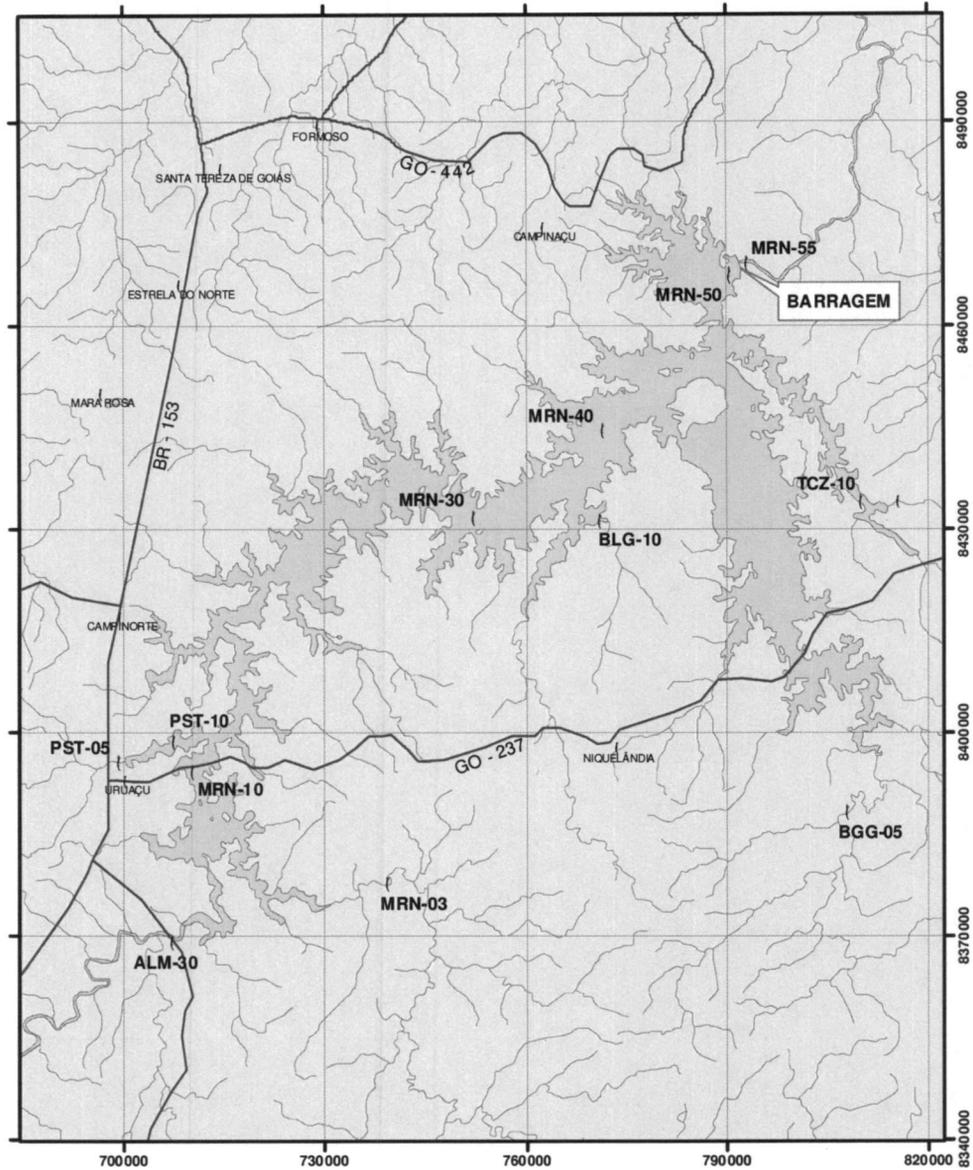
A rede de amostragem englobou estações de coleta distribuídas nos principais tributários, ou seja: rio das Almas, rio Maranhão, rio Bagagem e rio Passa Três, codificados respectivamente com as letras ALM, MRN, BGG e PST. Estes rios são considerados de maior relevância em termos de vazão e de contribuição de cargas, ou seja, de aporte de nutrientes à represa. Foram mantidas do programa anterior como pontos de referência as estações: MRN-10, MRN-30, MRN-50 e MRN-55, localizadas no rio Tocantins e a estação PST-10 no rio Passa Três (Quadro 4.1). O ponto MRN-30, inicialmente estava sendo monitorado apenas com os parâmetros medidos pela sonda, porém a partir de janeiro de 2006 passou ser monitorado com coletas para análise de parâmetros físico-químicos e biológicos.

Adicionalmente, a estação BLG-10 foi amostrada na somente na campanha de julho/2005.

Quadro 4.1 - Localização das estações de amostragem situadas no rio Tocantins/tributários e coordenadas.

ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM	LOCALIZAÇÃO	COORDENADAS (UTM)	
		X	Y
ALM-30	Rio Almas - na ponte da BR-153 (Foto 1).	707.615	8.369.301
MRN-03	Rio Maranhão - próximo ao município de Barro Alto.	739.598	8.378.034
MRN-10	Reservatório - a jusante da confluência dos rios Maranhão e das Almas.	710.697	8.394.372
MRN-30	Reservatório - na confluência com o rio Palmeira (Foto 2).	752.407	8.431.900
MRN-40	Reservatório - no local do Porto Alfredinho.	771.812	8.444.896
MRN-50	Reservatório - Imediatamente a montante da barragem.	790.757	8.468.482
MRN-55	Rio Tocantins - a jusante da barragem (Foto 3).	791.767	8.469.293
PST-05	Rio Passa Três - na ponte velha da BR-153, entre Uruaçu e Campinorte (Fotos 4 e 5).	699.540	8.395.754
PST-10	Reservatório - próximo à foz do rio Passa Três.	707.672	8.398.976
BGG-05	Rio Bagagem -município de Muquem em direção a São Luiz do Tocantins (Foto 6).	808.053	8.388.624
TCZ-10	Rio Tocantinzinho (Foto 7).	813.230	8.429.540
BLG-10	Rio Bilhágua, afluente do rio Traíras.	771.232	8.431.568

A Figura 4.1 mostra a distribuição das estações de monitoramento consideradas no programa de monitoramento.



Fonte: ANA (2005) modificado por MULTIGEO (2006).

Figura 4.1 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento.



MULTIGEO

O esforço amostral está concentrado durante as estações seca e chuvosa, resultando em oito campanhas ao longo do ano. Quatro campanhas ao ano incluíram na amostragem todos os pontos estabelecidos para esta fase, e mais outras quatro campanhas incluíram apenas alguns pontos: ALM-30, MRN-03, PST-05, MRN-50 e MRN-55.

4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Parte dos parâmetros físico-químicos é analisada no momento da amostragem com a sonda multiparâmetros (Fotos 8 e 9) e parte é analisada em laboratório.

As medidas diretas foram realizadas com a sonda multiparâmetros da marca YSI - modelo 6.600. O equipamento determina os seguintes parâmetros no corpo d'água: temperatura da água (°C), oxigênio dissolvido (mg/L), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidez (UNT), possibilitando estabelecer um perfil vertical para cada um desses parâmetros. Em algumas campanhas a sonda multiparâmetros apresentou problemas, impossibilitando seu uso, sempre que possível os dados foram obtidos com aparelhos portáteis de pH, OD, condutividade, turbidez e temperatura da água.

O Quadro 4.1.1 apresenta os parâmetros que foram determinados nos distintos pontos de amostragem, especificando as profundidades em que foram realizadas as coletas da água.

Quadro 4.1.1 - Programa de coleta com medida direta no campo

PARÂMETROS	PONTOS DE AMOSTRAGEM											
	ALM30	MRN03	MRN10	MRN30	MRN40	MRN50	MRN55	BGG05	PST05	PST10	BLG10*	TCZ10
Transparência (m)	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Temperatura do ar (°C)	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR	AR
Temperatura da água (°C)	S	S	SMF	SMF	SMF	SM*F	S	S	S	SM	S	S
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	S	S	SMF	SMF	SMF	SM*F	S	S	S	SM	S	S
pH	S	S	SMF	SMF	SMF	SM*F	S	S	S	SM	S	S
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	S	S	SMF	SMF	SMF	SM*F	S	S	S	SM	S	S
Turbidez (NTU)	S	S	SMF	SMF	SMF	SM*F	S	S	S	SM	S	S

Obs: AR - ar; S - superfície; M - meio; M* - 3 profundidades intermediárias (P1, M e P2) entre a superfície e o fundo; F - fundo. (*) - única campanha (julho/2005).

Inicialmente as medidas diretas com a sonda foram realizadas até a profundidade de 60 metros, pois em profundidades superiores a esta seria necessária a retirada dos eletrodos de turbidez, OD e de clorofila *a*, o que poderia comprometer a calibração e, portanto, o correto funcionamento da sonda. As medições dos parâmetros em profundidades maiores que 60 metros foram efetuadas na água coletada pela garrafa de Van Dorn, a qual era transferida imediatamente para o frasco, que se acopla à



MULTIGEO

sonda, procedendo-se assim as leituras de temperatura, condutividade, pH e profundidade (diretamente com o cordel da garrafa). Os outros parâmetros (oxigênio dissolvido e turbidez) não foram considerados, pois os resultados não representariam o valor real na profundidade considerada. A partir de dezembro de 2006 foram feitas medições em profundidades extras com o uso de outra sonda (sem eletrodos de turbidez, OD e clorofila *a*).

Para a determinação dos parâmetros físico-químicos em laboratório, a água foi coletada em diferentes profundidades em função da estação de amostragem (Quadro 4.1.2). A estação MRN-50, localizada nas imediações da usina hidrelétrica, contempla coletas em várias profundidades. O Quadro 4.1.2 mostra as profundidades de amostragem da água utilizando-se a garrafa tipo Van Dorn nas estações de monitoramento (Foto 10).

Para a amostragem foram utilizados frascos de 5 litros, os quais eram mantidos refrigerados em caixas de isopor até a chegada ao laboratório. Todo o procedimento de preservação e o acondicionamento foi efetuado no laboratório disponibilizado pela SEMESA S.A. na usina em Minaçu (Fotos 11 e 12).

Quadro 4.1.2 - Programa de coleta com análise em laboratório

PARÂMETROS	ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM											
	ALM-30	MRN-03	MRN-55	PST-05	MRN-50	MRN-10	MRN-30 ²	TCZ-10	BGG-05	BLG-10 ³	PST-10	
Alcalinidade total	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Cálcio	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Carbono Orgânico Dissolvido	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Cloretos	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Clorofila <i>a</i>	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
DQO	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Ferro Total	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Ferro Dissolvido ⁴	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Fósforo Total	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Fósforo Dissolvido	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Ortofósforo Dissolvido ⁴	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Magnésio	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Nitrato	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Nitrogênio Total	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Nitrogênio Amônia	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Nitrito	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Potássio	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Sílica Dissolvida	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Sódio	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Sólidos Suspensos fixos	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Sólidos Suspensos voláteis	S	S	S	S	SM*F	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Sólidos Dissolvidos ¹	-	-	-	-	F*	-	-	-	-	-	-	
Sulfato	S	S	S	S	SM*F*	SMF	SMF	S	S	S	SM	
Fitoplâncton	-	-	-	-	SM**	S	S	-	-	-	S	
Zooplâncton	-	-	-	-	S*	S	S	-	-	-	S	

Obs: S - superfície; M - meio; M* - 3 profundidades intermediárias (P1, M e P2) entre a superfície e o fundo; F - fundo; F* - profundidades extras (dez/06 a fev/07); ¹ - parâmetro inserido a partir de dez/06; ² - ponto considerado a partir de jan/06; ³ - ponto considerado na campanha de jul/05; ⁴ - parâmetro inserido a partir de abr/06.



MULTIGEO

A coleta foi realizada em barco nas estações MRN-10, MRN-30, MRN-40, MRN-50, PST-10, BLG-10 e TCZ-10. Nas estações MRN-55, ALM-30, MRN-03, BGG-05 e PST-05 a coleta foi efetuada na margem do rio ou a partir da ponte.

A coleta de amostras e a determinação dos parâmetros seguiram as normas estabelecidas pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th. 1998. Os métodos de determinação dos parâmetros adotados e os limites de detecção são apresentados no Quadro 4.1.3.

A equipe do DCT.T de Furnas foi a responsável pela coleta, transporte, acondicionamento e análises dos parâmetros físico-químicos das amostras.

Além dos parâmetros citados acima, foram medidos os valores da transparência da água (disco de Secchi - Foto 13) e a temperatura do ar em cada ponto de amostragem. Paralelamente, foram registradas em fichas de coleta as condições predominantes do tempo, a ocorrência de chuva em período inferior a 24 horas, as características da água, das margens, o tipo de ocupação antrópica no entorno (Foto 14), a vegetação, possíveis pontos de lançamento de efluentes domésticos ou industriais e a eventual presença de óleo, espumas, lixo e macrófitas na superfície das águas.

Adicionalmente, foram feitas coletas de amostras de água em todas as estações de monitoramento nas campanhas de abril, julho/2005 e janeiro/2006 para análise de mercúrio total. Amostras de água bruta da superfície dos pontos foram coletadas em frascos plásticos (500 mL). Anteriormente à coleta, os frascos plásticos foram lavados repetidamente com a água local para depois serem preenchidos completamente com água sem apresentar bolhas. Ao final foram envoltos em sacos plásticos, etiquetados e conservados sob refrigeração. A amostragem foi realizada pela equipe da Multigéo para as campanhas de julho/2005 e janeiro/2006, assim como a preservação e encaminhamento ao Laboratório de Química Ambiental (LQA) - do Instituto de Química da Unicamp. A campanha de abril/2005 foi realizada pela equipe da Semesa S.A.



MULTIGEO

Quadro 4.1.3 - Métodos de análise dos parâmetros em laboratório, limites mínimos de detecção e precisão da medida.

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO	LIMITE MÍNIMO DE DETECÇÃO	PRECISÃO DA MEDIDA
Método Titulométrico Potenciométrico	0,01 ppm de CaCO ₃	0,01 ppm de CaCO ₃
Método de Oxidação por Persulfato de Sódio	0,01 ppm	0,01 ppm
Método Espectrofotométrico - Extração com Acetona	0,0001 ppb	0,0001 ppb
Método Colorimétrico - Digestão por Refluxo Fechado - Oxidação do Dicromato de Potássio	0,10 ppm de O ₂	0,01 ppm de O ₂
Método Colirimétrico - Molibdato	0,10 ppb	0,01 ppb
Método Colirimétrico - Molibdato	0,10 ppb	0,01 ppb
Método Colirimétrico - Molibdato	0,10 ppb	0,01 ppb
Método do Ácido Fenoldissulfônico	0,04 ppm	0,01 ppm
Método da Sulfanilamida e N-(1-naftil)-etilenodiamina	0,001 ppm	0,001 ppm
Método Colorimétrico - Azul de Indofenol	7,00 ppb	0,01 ppb
Método de Digestão por Persulfato de Potássio	0,10 ppb	0,01 ppb
Método Gravimétrico	0,10 ppm	0,01 ppm
Método Gravimétrico	0,10 ppm	0,01 ppm
Espectrofotometria de Absorção Atômica (ABS)	0,03 ppm	0,01 ppm
Espectrofotometria de Absorção Atômica (ABS)	0,10 ppm	0,01 ppm
Espectrofotometria de Absorção Atômica (ABS)	0,20 ppm	0,01 ppm
Espectrofotometria de Absorção Atômica (ABS)	0,25 ppm	0,01 ppm
Espectrofotometria de Absorção Atômica (ABS)	0,02 ppm	0,01 ppm
Método Colorimétrico	1,0 ppm	0,1 ppm
Método do Molibdossilicato	0,4 ppm	0,1 ppm
Método Titulométrico por Nitrato de Mercúrio	0,01 ppm de Cl ⁻	0,01 ppm de Cl ⁻
Sonda multiparâmetros	0,01	0,01
Sonda multiparâmetros	-5 °C	0,01°C
Sonda multiparâmetros	0,01 mg/L de O ₂	0,01 mg/L de O ₂
Sonda multiparâmetros	0,1 µS/cm	0,1 µS/cm
Sonda multiparâmetros	0,1 NTU	0,1 NTU
Disco de Secchi	5 cm	5 cm



MULTIGEO

4.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS

As coletas biológicas (fitoplâncton e zooplâncton) foram realizadas somente na superfície das estações MRN-10, MRN-50 e PST-10. A partir da campanha de janeiro de 2006 a estação MRN-30 também foi considerada no programa para análise de fitoplâncton e zooplâncton.

Para análise qualitativa do fitoplâncton foi realizado um arrasto vertical (15 m de profundidade), com rede de malha 20 μm de abertura, 30 cm de diâmetro de abertura e 70 cm de comprimento (Foto 15). A amostra foi preservada em frasco de vidro com solução de Transeau.

Para a análise quantitativa do fitoplâncton, a coleta de amostra foi realizada na sub-superfície (20 cm de profundidade) diretamente com o frasco de plástico com 1 L de capacidade. Mais duas amostragens foram realizadas na estação MRN-50 nas seguintes profundidades: uma com 50% de luz e outra com 1%. Para tanto, é feito o cálculo usando-se a profundidade do disco de Secchi e o coeficiente de Vollenweider (1974). Para a preservação da amostra foram adicionadas algumas gotas de lugol.

O exame morfométrico foi feito em microscopia fotônica, microscópio Zeiss Axioplan 2, com câmara clara e ocular de medição acoplados. A identificação taxonômica foi feita em nível genérico, infragenérico e infraespecífico, analisando-se as características morfológicas e métricas, sempre que possível, avaliando as variações populacionais.

Os sistemas de classificação adotados foram: ROUND (1971) para as classes de Chlorophyceae, SIMONSEN (1979) para as Bacillariophyceae, KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS (1986, 1989 e 1999) e ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK (1988) para as Cyanophyceae/Cyanobacterias e BOURRELLY (1981, 1985) para as demais classes.

A contagem do fitoplâncton foi realizada de acordo a metodologia descrita por UTERMÖHL (1958), em microscópio invertido Zeiss Axiovert 25 em aumento de 400 vezes. O tempo de sedimentação das amostras foi de três horas para cada centímetro de altura da câmara, segundo o critério de LUND *et al.* (1958). A câmara de sedimentação utilizada foi de 2 mL e 10 mL. A contagem dos indivíduos foi realizada em transectos horizontais ou verticais e o limite da contagem, ou seja, o número mínimo de campos contados por câmara de sedimentação foi determinado através de dois critérios: a) gráfico de estabilização do número de espécies, obtido a partir de espécies novas adicionadas com o número de campos contados e b) o de espécies mais abundantes, obtido pela contagem de até 100 indivíduos da espécie mais comum (WETZEL & LIKENS, 1991).

Cada célula, colônia, cenóbio e filamento foram considerados como um indivíduo. Os resultados foram expressos em densidade (org.mL^{-1}) e calculados de acordo com a fórmula descrita em WEBER (1973):



MULTIGEO

$$\text{organismos.mL}^{-1} = (n/sc).(1/h).(F)$$

onde:

n = número de indivíduos efetivamente contados

s = área do campo em mm² no aumento de 40X

c = número de campos contados (40 campos)

h = altura da câmara de sedimentação em mm

F = fator de correção para mililitro (10³ mm³/1 mL)

As coletas de amostras para análise da comunidade zooplanctônica foram realizadas com rede de 30 cm de diâmetro de boca, 70 cm de comprimento e malha de 68 µm de abertura. Foi efetuado arrasto vertical, filtrando-se 15 m da coluna de água, sempre que possível. A amostra foi acondicionada em frasco de vidro, com capacidade de 100 mL. Imediatamente após a coleta, no local, os organismos zooplanctônicos foram anestesiados com água mineral gasosa por 15 a 20 minutos e fixados com formaldeído 4%. Com este procedimento deve-se evitar a liberação de ovos de cladóceros (HANEY & HALL, 1973 *apud* MELÃO, 1997) e a contração dos animais.

A análise quantitativa foi efetuada, quando possível, através de sub-amostragens. Os rotíferos foram contados em câmaras de Sedgwick-Rafter, de 1 mL de capacidade, sob microscópio óptico Olympus modelo BX41. Para os crustáceos (copépodos, ciclopóides e calanóides, cladóceros), foram retiradas sub-amostras com uma pipeta Stempel de 1 mL, e os organismos foram contados em placas de acrílico quadriculadas, sob microscópio estereoscópico Zeiss até atingir o mínimo de 300 indivíduos para cada grupo taxonômico; quando a amostra apresentava um número de organismos abaixo do estabelecido, foi contada em quadrantes ou na sua totalidade. No caso de copépodos, os organismos foram quantificados, considerando-se as diferentes fases de desenvolvimento (náuplios, copepoditos e adultos).

Os organismos encontrados nas amostras foram identificados ao menor nível taxonômico possível, levando-se em consideração as características de valor taxonômico descritas em literatura especializada, utilizando-se chaves de identificação para os diferentes grupos.

Para o cálculo da diversidade foi utilizado o índice de Shannon, baseado na teoria da informação (SHANNON & WEAVER, 1949, *apud* LEGENDRE & LEGENDRE, 1983), o qual é uma medida do grau médio de "incerteza" em predizer a qual espécie pertencerá um indivíduo escolhido aleatoriamente de uma coleção de S espécies e N indivíduos. Utilizou-se a fórmula:

$$H = - \sum Ni/N \ln Ni/N$$

s = número de espécies

Ni = número de indivíduos em cada espécie

N = número total de indivíduos.



MULTIGEO

A diversidade de espécies é composta por dois componentes que devem ser interpretados separadamente (LEGENDRE & LEGENDRE, 1983): a riqueza, aqui considerada como o número de espécies, e a equitatividade ou uniformidade, a qual se refere à distribuição dos organismos nos táxons. A equitatividade é calculada através do índice de Pielou (1975, *apud* LEGENDRE & LEGENDRE, 1983), cuja fórmula é $E = H / H_{\text{máx}}$, onde H é a diversidade de espécies obtida pelo índice de Shannon-Weaver, e $H_{\text{máx}}$ é a diversidade de espécies sob condições de máxima equitatividade, obtida do logaritmo do número de espécies da amostra.

Coeficientes de similaridade

Com o objetivo de determinar o grau de semelhança entre os táxons mais freqüentes, utilizou-se o coeficiente de similaridade de SORENSEN (1948, *apud* LEGENDRE e LEGENDRE 1983), baseado em dados de presença ou ausência (qualitativo). Utilizou-se a fórmula:

$$S = \frac{2a}{2a + b + c}$$

onde:

S = Coeficiente de Sorensen

a = número de espécies presentes somente na amostra *a*

b = número de espécies presentes somente na amostra *b*

c = número de espécies comuns a ambas as amostras

Na análise de agrupamento, os grupos são formados a partir dos pares de táxons mais similares, e em seguida, os táxons ou grupos já formados vão se reunir em função de similaridades decrescentes. A cada ciclo de fusão, a similaridade diminui e o resultado é visualizado sob a forma de uma estrutura hierárquica semelhante a uma "árvore", denominada dendrograma.

Nas campanhas completas a Multigeo foi responsável pela coleta de amostras biológicas, preparação do material para fixação, preservação, transporte e encaminhamento das amostras para o Instituto de Pesca e nas campanhas parciais, a equipe do DCT.T foi responsável por estas atividades. As análises de fitoplâncton e zooplâncton foram realizadas por pesquisadores do Instituto de Pesca da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, especializados nestes grupos de água doce.



MULTIGEO

5. DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM

Além dos parâmetros de monitoramento, as estações de amostragem tiveram alguns de seus aspectos caracterizados com a finalidade de subsidiar a interpretação dos resultados.

No Quadro 5.1 são apresentadas as condições climáticas, ocorrência de chuva e características da água observadas nas campanhas realizadas de abril de 2005 a fevereiro de 2007.



MULTIGEO

Quadro 5.1 - Observações registradas durante as campanhas de monitoramento.

Observações	abr/05	jun/05	jul/05	ago/05	out/05	dez/05	jan/06	fev/06
Ensolarado	MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 BGG-05 PST-05 PST-10	ALM-30 MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05	ALM-30 MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 BGG-05 PST-05 PST-10 TCZ-10 BLG-10	ALM-30 MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05	ALM-30 MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 BGG-05 PST-05 PST-10 TCZ-10	ALM-30 MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05	ALM-30 MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 BGG-05 PST-10 TCZ-10	ALM-30
Nublado	-	-	-	-	-	-	PST-05	MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05
Vento	-	-	-	-	MRN-30	-	-	-
ocorrência de chuva	ALM-30 MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 PST-05 PST-10 BGG-05	-	-	ALM-30	MRN-03 PST-05 BGG-05	MRN-55 MRN-50	-	MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05
matéria orgânica	-	-	-	MRN-03	ALM-30 MRN-03 PST-05 BGG-05	-	-	PST-05
Óleos	-	-	-	-	ALM-30	-	-	-
Lixo	-	-	-	PST-05	PST-05	-	-	-
medição com aparelho portátil	-	-	-	-	MRN-30 (T °C da água - F) MRN-55 (pH)	-	-	-



MULTIGEO

Observações	abr/06	jun/06	jul/06	ago/06	out/06	dez/06	jan/07	fev/07
Ensolarado	ALM-30 MRN-10 MRN-30 MRN-40 PST-05 PST-10 BGG-05	ALM-30 MRN-03	ALM-30 MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 BGG-05 PST-05 PST-10 TCZ-10	ALM-30 MRN-03 MRN-50 MRN-55	MRN-03 MRN-10 MRN-50 MRN-55 BGG-05 PST-10	-	MRN-03 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 BGG-05 TCZ-10	-
Nublado	MRN-03 MRN-50 MRN-55 TCZ-10	MRN-50 MRN-55 PST-05	-	PST-05	MRN-03 MRN-40 PST-05 ALM-30 TCZ-10	MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05 ALM-30	MRN-30 MRN-40 MRN-10 PST-10 ALM-30 PST-05	MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05 ALM-30 MRN-40
Vento	MRN-03 MRN-40	MRN-03 PST-05	MRN-40	MRN-03 PST-05	MRN-03 MRN-40 BGG-05 PST-10 MRN-50	MRN-50 MRN-55	PST-10 MRN-50	MRN-50 MRN-55 MRN-40
ocorrência de chuva	MRN-03 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-50 MRN-55 PST-05 PST-10 BGG-05 TCZ-10	-	MRN-10 MRN-50	-	MRN-03 BGG-05 MRN-10 MRN-30 MRN-40 MRN-55 PST-05 PST-10 TCZ-10	MRN-03 MRN-50 MRN-55 PST-05 ALM-30	BGG-05 MRN-10 MRN-30 MRN-40 ALM-30 PST-05 PST-10	ALM-30 MRN-03 MRN-50 MRN-55 MRN-40 PST-05
matéria orgânica	PST-05 BGG-05 TCZ-10	MRN-03 MRN-55	TCZ-10	-	PST-05 BGG-05	MRN-03	ALM-30	PST-05 ALM-30
Lixo	-	-	ALM-30 PST-05	-	-	-	-	-
Medição com sonda auxiliar	-	-	MRN-50 (T°C, pH, turbidez, condutividade - P2 e F)	-	MRN-50 (T°C, pH, turbidez, condutividade - P2 e F)	MRN-50 (T°C, pH, turbidez, condutividade - P2, extra I e II, F)	MRN-50 (T°C, pH, turbidez, condutividade - P2, extra I, II, III e F)	-
Análise laboratorial	-	-	-	-	ALM-30 MRN-03 MRN-55 (turbidez)	-	-	-

Obs: P2 (profundidade intermediária 2 entre o meio e o fundo); F (Fundo); extra I, II e III (profundidades intermediárias entre P2 e o Fundo, utilizadas somente em algumas campanhas).



MULTIGEO

6. RESULTADOS

Os resultados apresentados abrangem as dezesseis campanhas realizadas entre abril de 2005 e fevereiro de 2007, durante a fase de operação do reservatório.

Em algumas campanhas a sonda multiparâmetros apresentou erros de leitura ou calibração, impossibilitando o registro de dados.

No período de abril/2005 a fevereiro/2007 a cota máxima registrada no reservatório foi 446,47 metros e a mínima foi 438,80 metros indicando uma variação de nível de 7,67 metros. A máxima vazão turbinada foi 1.101,0 m³/s, a mínima foi 289,0 m³/s e a média foi 561,68 m³/s. Nesse período, a maior vazão afluyente foi 3.934,0 m³/s e a média foi 574,02 m³/s. Observa-se pelas médias afluentes e defluentes que houve um enchimento do reservatório. De fato, em 01/04/2005 a cota era 445,4 metros e em 25/02/2007 ela era 445,95 metros. O volume de água armazenado variou de 10,3 km³ para 10,5 km³ e o tempo de retenção, relativo ao volume total, variou de 0,88 para 1,13 anos, considerando o período de abril/2005 a fevereiro/2007.

6.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Valores mínimos e máximos dos parâmetros físico-químicos são apresentados no Quadro 6.1.1 (ANEXO 2) e foram obtidos a partir dos resultados das campanhas de abril de 2005 a fevereiro de 2007. Foram consideradas todas as estações de amostragem do reservatório. O ponto BLG-10 não foi contemplado neste item, pois o seu dado foi obtido apenas em uma campanha de campo.

As avaliações dos parâmetros foram realizadas individualmente ou agrupadas, de modo a facilitar a compreensão dos dados e a dinâmica do meio aquático. Para os parâmetros cujos resultados ultrapassaram os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 foram elaboradas Figuras que ilustram seu comportamento ao longo da coluna d'água (S, M, F) ou ao longo do reservatório (de montante para jusante). Nas Figuras de barras, a ausência de barra em alguns pontos ou profundidades indica que o parâmetro não foi analisado, conforme foi estabelecido no programa de coleta (Quadro 4.1.2), ou ainda, que o resultado esteve abaixo do limite de detecção (Quadro 4.1.3).



MULTIGEO

Temperatura do Ar

As características da massa d'água dos reservatórios dependem fortemente de sua estrutura térmica. A temperatura do ar pode contribuir para ocasionar o aquecimento da massa de água superficial criando um gradiente térmico entre a superfície e o fundo, como foi registrado em vários pontos do reservatório. No período de monitoramento, a temperatura do ar manteve-se entre 20 a 37 °C (Figura 6.1.1). Essa variação esteve associada principalmente aos horários e períodos de coleta.

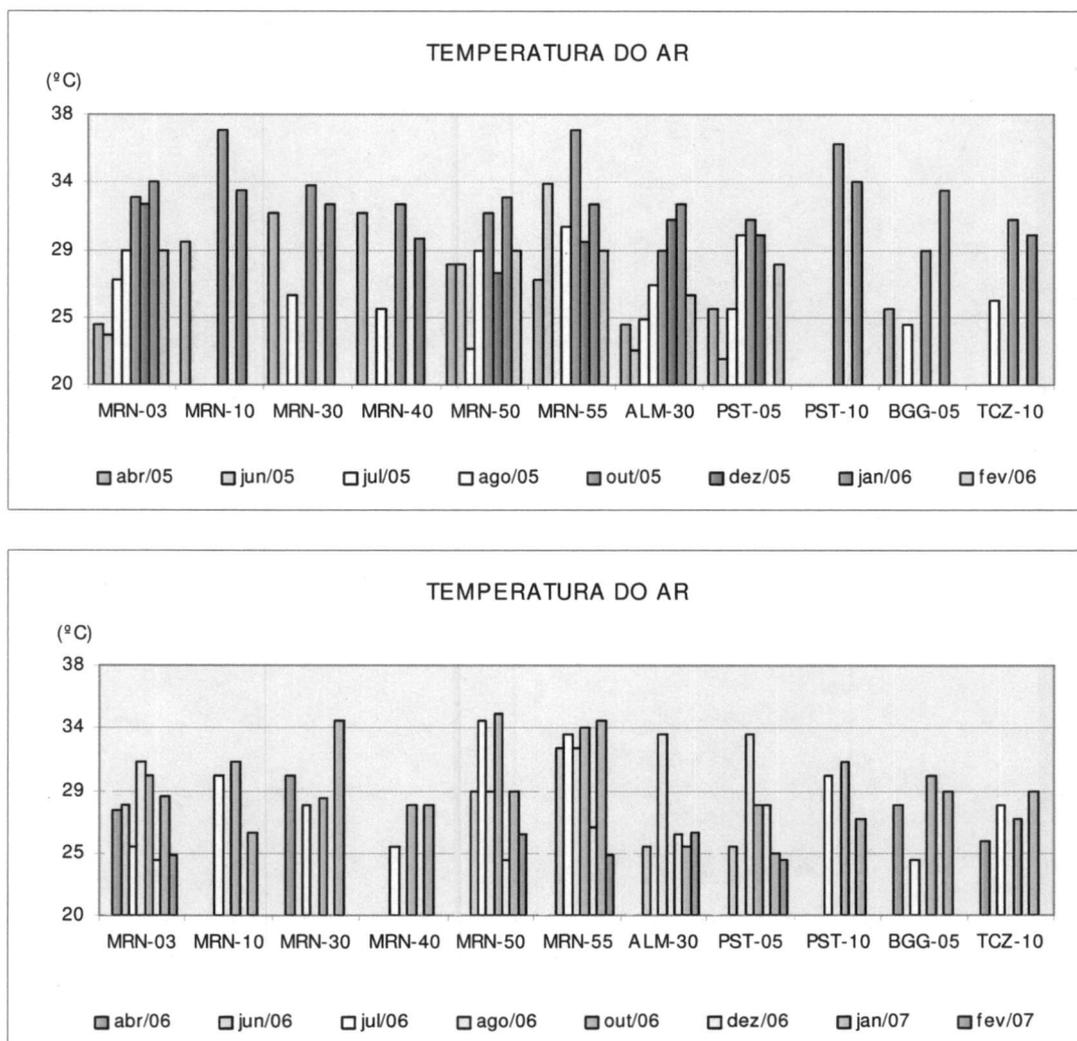


Figura 6.1.1 - Temperatura do ar registrada nas estações de coleta durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa (abril/2005 a fevereiro/2007).

Segue abaixo o perfil longitudinal do reservatório por campanha, mostrando alguns dos pontos monitorados quanto ao parâmetro temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade e turbidez. Os dados utilizados foram registrados pela sonda até a



MULTIGEO

profundidade de 60 metros nos pontos MRN-50, MRN-40 e MRN-30, que atingem maiores profundidades. O perfil no ponto MRN-10 reflete a profundidade local. Cabe lembrar ainda, que a distância da barragem foi estimada pelo canal principal.

Temperatura da Água

Nas Figuras de 6.1.2 a 6.1.9 são apresentados os perfis longitudinais da temperatura da água ao longo do reservatório nas diferentes campanhas. As estações de amostragem foram posicionadas de forma a representar o fluxo da água em direção à barragem situada próximo à estação MRN-50.

Analisando-se o perfil longitudinal do reservatório referente à campanha de abril/2005, é possível constatar que à medida em que se aproxima da barragem ocorre um aumento da profundidade da camada de água que possui temperatura em torno de 29 °C. Verifica-se ainda, que na estação MRN-50, local com maior profundidade, ocorre queda de temperatura de maneira mais acentuada que nas outras estações, indicando tendência à estratificação térmica.

Na campanha de julho/2005 verifica-se temperatura da água mais baixa (23 °C e 27 °C) em função do clima que variou entre 22 °C e 27 °C. Queda brusca da temperatura ocorreu em profundidade maior em todas as estações, sendo o período caracterizado pela estação de seca.

Na campanha de outubro/2005 verifica-se que no ponto de entrada do reservatório, representado pela estação MRN-10, as águas chegam com temperatura mais elevada (31 °C) em relação aos pontos mais a jusante. Quedas bruscas da temperatura são mais evidentes nas estações MRN-30 e MRN-40. De modo geral, verifica-se que à medida em que se aproxima da barragem aumenta na coluna d'água a camada com temperaturas mais baixas, concentrando temperaturas mais altas até a profundidade de 20 metros.

Em janeiro/2006 foram constatadas temperaturas mais elevadas, chegando a registrar 33 °C na estação MRN-10, com queda brusca logo nos primeiros metros de profundidade. Esta variação provavelmente ocorreu em função da temperatura mais elevada à tarde, quando foi feita a medição no MRN-10. As quedas de temperatura nos demais pontos foram menos acentuadas e na superfície a temperatura da água esteve mais baixa, mesmo com temperaturas altas registradas para o ar.

Iniciando um novo ciclo em abril/06, verifica-se que o padrão geral se mantém, com queda da temperatura da água mais acentuada na estação MRN-50 e quedas mais gradativas conforme se aproxima da estação mais a montante (MRN-10). Também verifica-se águas mais quentes a partir da estação MRN-30 até a barragem.

Em julho/2006, semelhantemente ao ano anterior, verifica-se águas mais frias e distribuídas regularmente em todo o reservatório.



MULTIGEO

Já em outubro/2006, de modo geral as águas estavam mais baixas, mas como no ano anterior, a entrada das águas chegam com temperaturas levemente mais elevadas.

Em janeiro/2007 verifica-se que na estação MRN-10 há pouca variação da temperatura na coluna d'água, diferentemente do ano anterior, onde ocorreu queda mais brusca na superfície e águas mais frias no fundo.

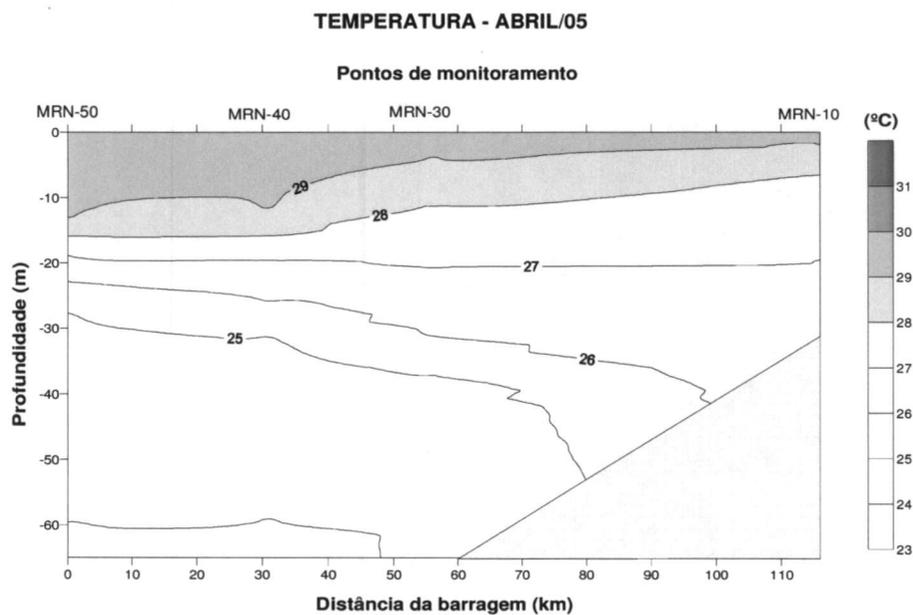


Figura 6.1.2 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de abril/2005.

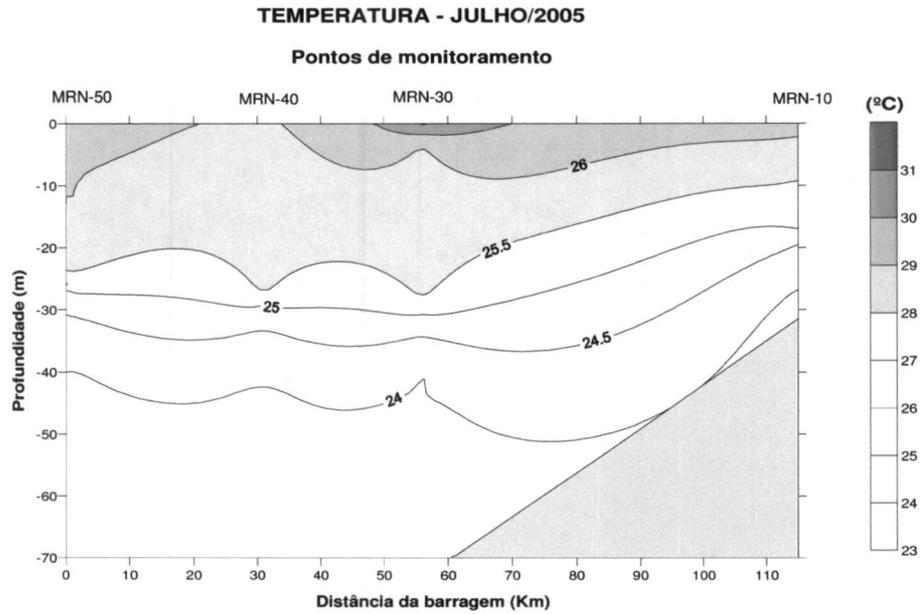


Figura 6.1.3 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de julho/2005.

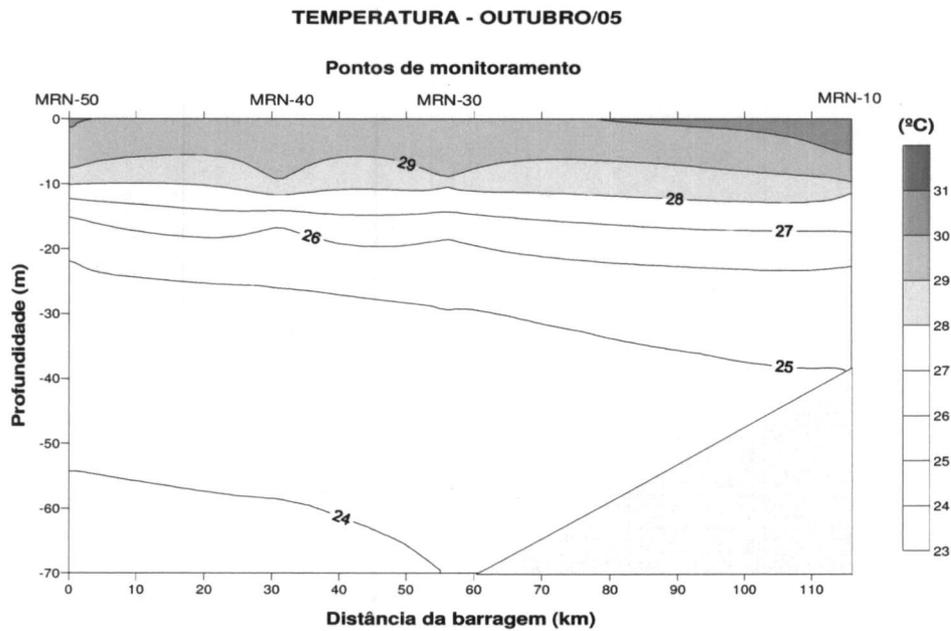


Figura 6.1.4 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de outubro/2005.

TEMPERATURA - JANEIRO/06

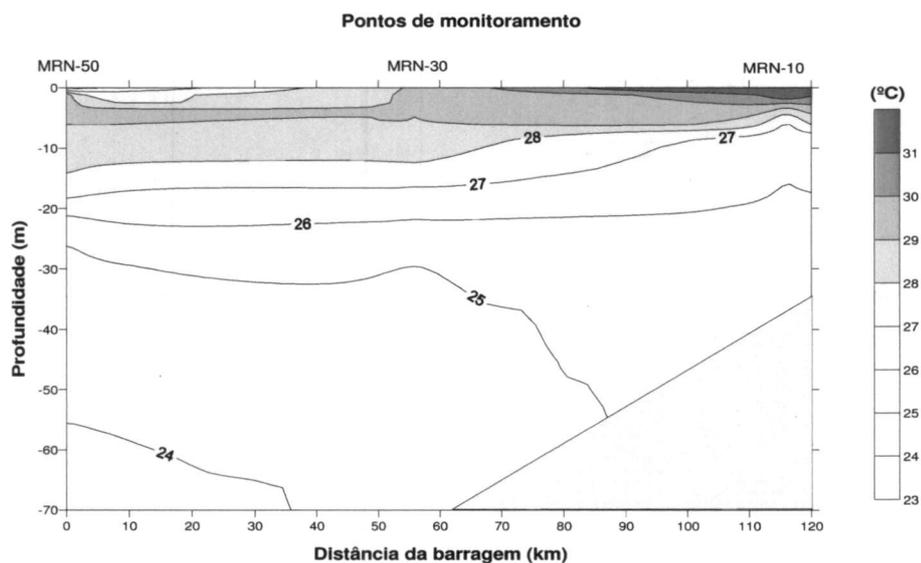


Figura 6.1.5 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de janeiro/2006. Nesta campanha não foi registrado dados na estação MRN-40.

TEMPERATURA - ABRIL/06

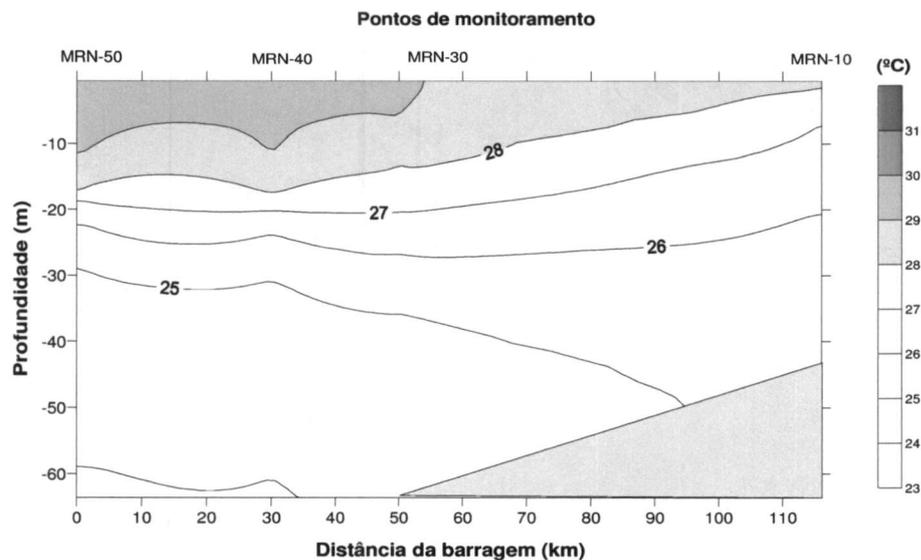


Figura 6.1.6 - Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de abril/2006.

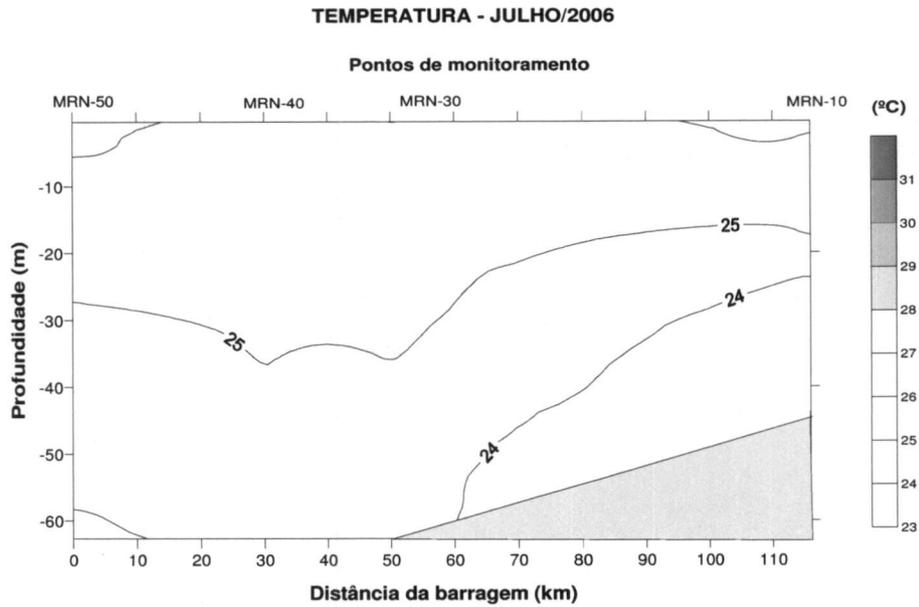


Figura 6.1.7 – Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de julho/2006.

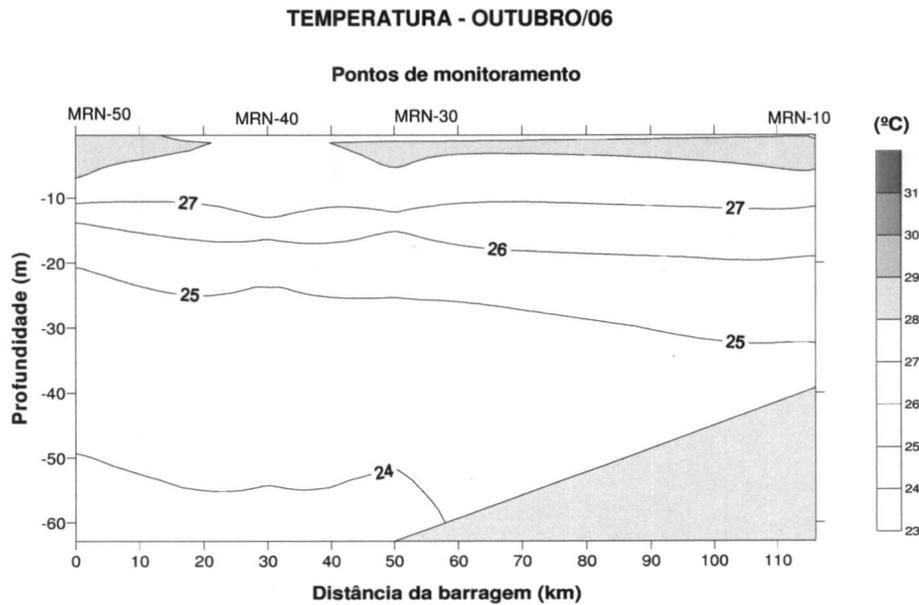


Figura 6.1.8 – Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de outubro/2006.

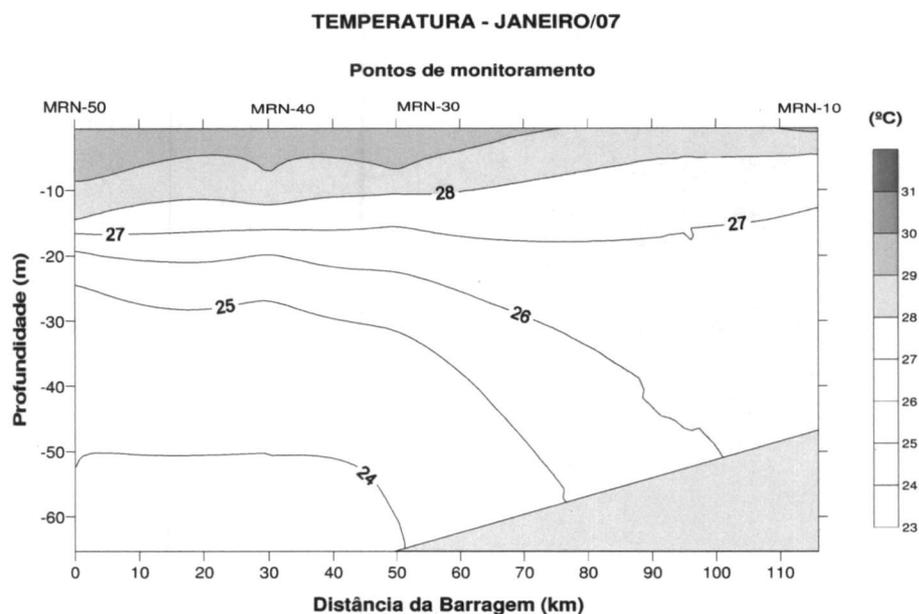


Figura 6.1.9 – Perfil longitudinal da temperatura da água no reservatório para a campanha de janeiro/2007.

As Figuras 6.1.10 a 6.1.17 mostram os perfis verticais, ou seja, a variação da temperatura na coluna d'água para cada ponto de amostragem e campanha. A estação MRN-50, pela sua localização, apresenta maior frequência de amostragem. Segue abaixo comentários sobre os perfis registrados para cada ponto considerado.

Estação MRN-10

De modo geral os perfis registrados tiveram a mesma variação nas campanhas correspondentes nos anos de 2005 e 2006, somente em janeiro/2006 verificou-se queda brusca logo nos primeiros metros de profundidade (antes dos 10 metros) e após esta profundidade ocorre pouca variação no valor. Considerando-se a superfície do reservatório, o maior valor registrado no ponto ocorreu em janeiro de 2006 (33,27 °C) e o menor em julho de 2006 (26,16°C).

Estação MRN-30 e MRN-40

Os valores registrados na estação MRN-40 refletem aqueles da estação MRN-30 (a montante do MRN-40), ou seja, apresentam perfis semelhantes. De modo geral, as águas na estação MRN-30 chegam com temperaturas um pouco mais elevadas.



MULTIGEO

Estação MRN-50

Nesta estação a estratificação torna-se mais evidente durante o período chuvoso. A partir de junho de 2005 as quedas bruscas da temperatura tendem a ocorrer em profundidades maiores e, conforme o período de seca se intensifica maior a mistura da água na coluna e menor a estratificação. O menor valor registrado na superfície deste local durante o monitoramento ocorreu em janeiro de 2006 quando a temperatura chegou a 25,63 °C. O maior valor foi registrado em outubro de 2006, quando a temperatura chegou a 30 °C. Na profundidade de 60 metros a temperatura variou em torno dos 23,6 °C no mínimo e 25,8 °C no máximo.

Estação PST-10

De modo geral nesta estação a queda da temperatura na coluna d'água é gradativa conforme aumenta a profundidade, diferindo apenas nos valores alcançados de acordo com o período sazonal. Somente em julho de 2005 verifica-se a formação de um patamar entre as profundidades de 4 e 14 metros, onde a temperatura se manteve em torno dos 25 °C.



MULTIGEO

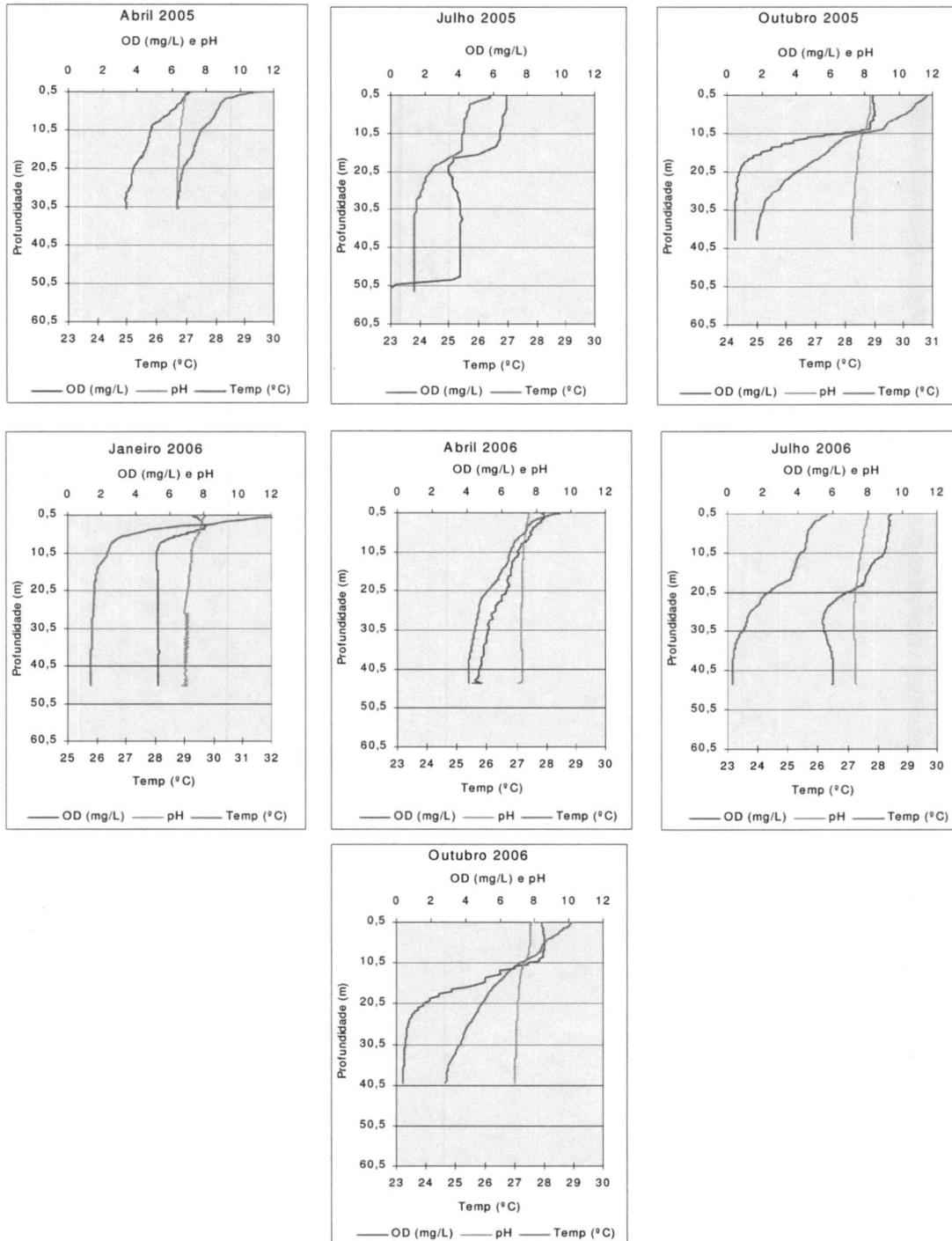


Figura 6.1.10 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-10 nas campanhas de monitoramento. Em jul/05 não foi registrado perfil de pH. Temperatura - escala diferenciada em out/05 e jan/06. Em jan/07 não foi possível o registro de dados com a sonda.

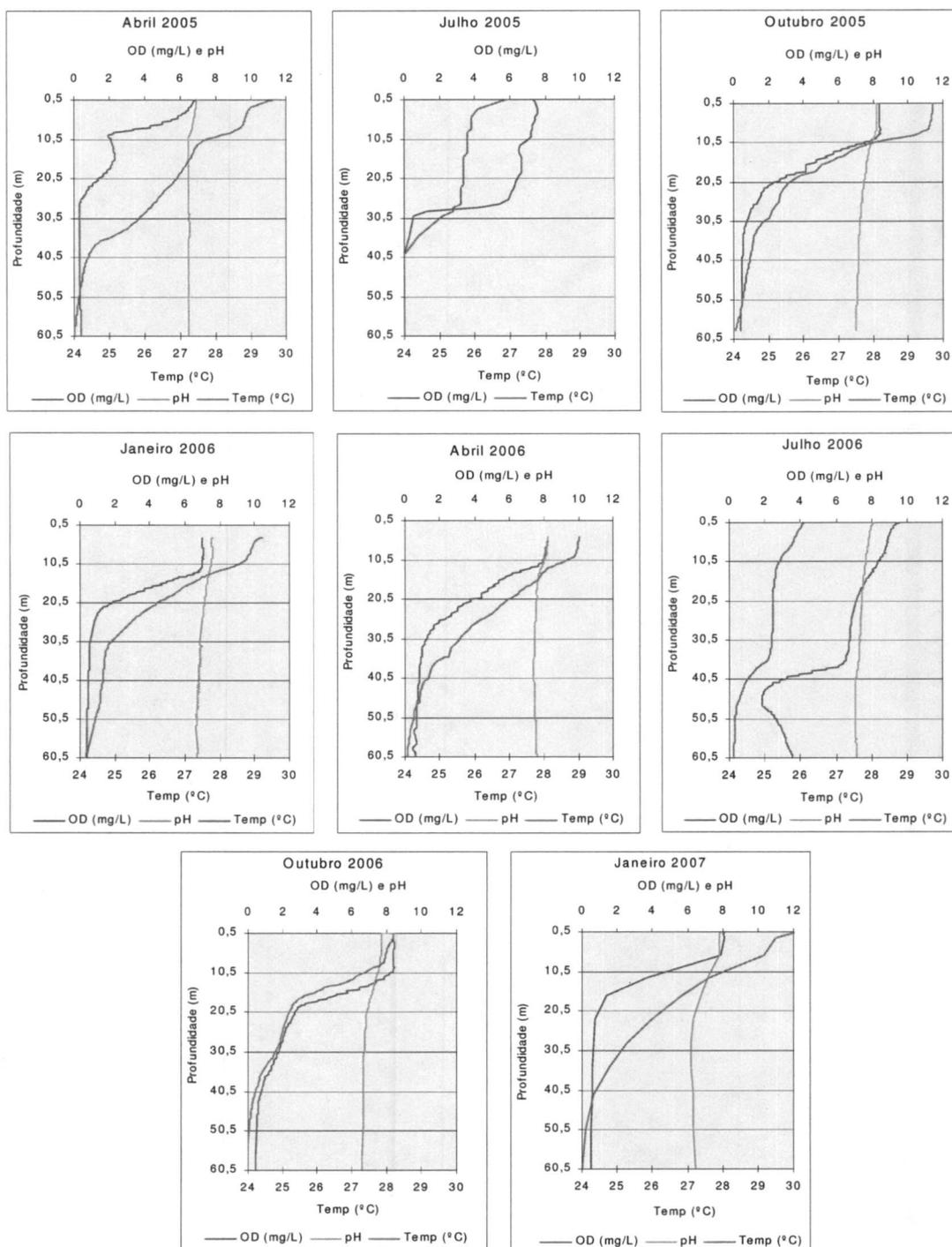


Figura 6.1.11 - Perfil vertical do OD, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-30 nas campanhas de monitoramento. Em jul/05 não foi registrado o perfil de pH. Em jan/07 não foi obtido um perfil contínuo dos dados, estes foram medidos com maior espaçamento.

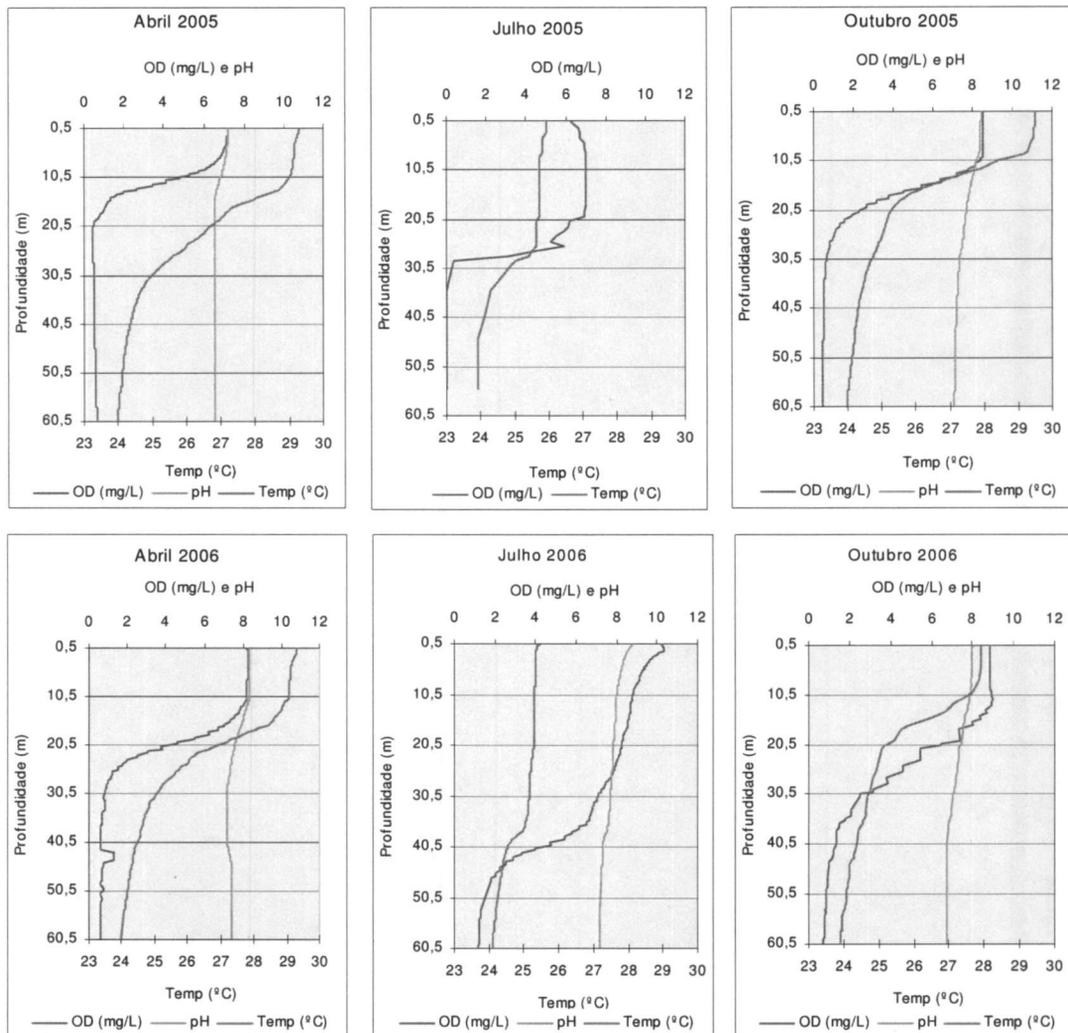


Figura 6.1.12 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-40 nas campanhas de monitoramento. Em jul/05 não foi registrado o perfil de pH. Não foi feito o registro com a sonda neste ponto em jan/06 e 07.

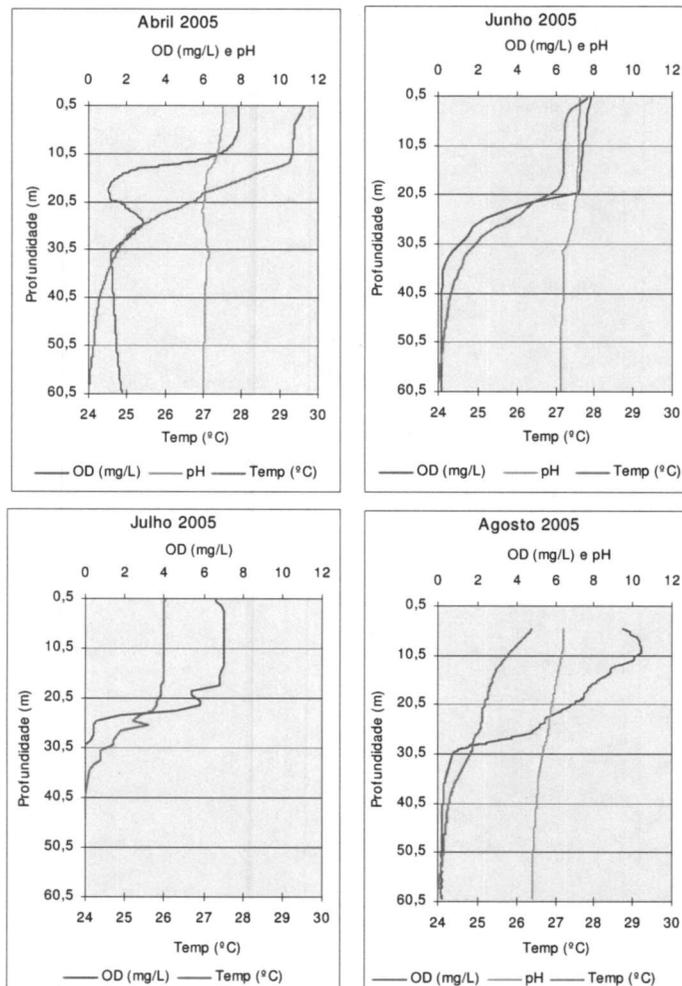


Figura 6.1.13 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento. Em julho de 2005 não foi registrado o perfil de pH.

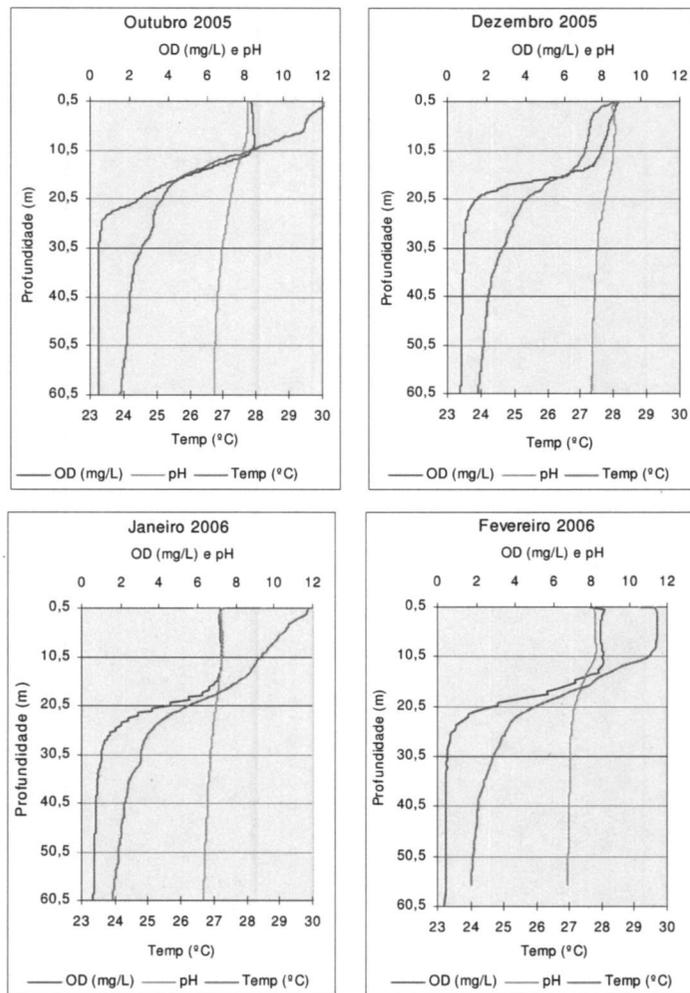


Figura 6.1.14 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento.

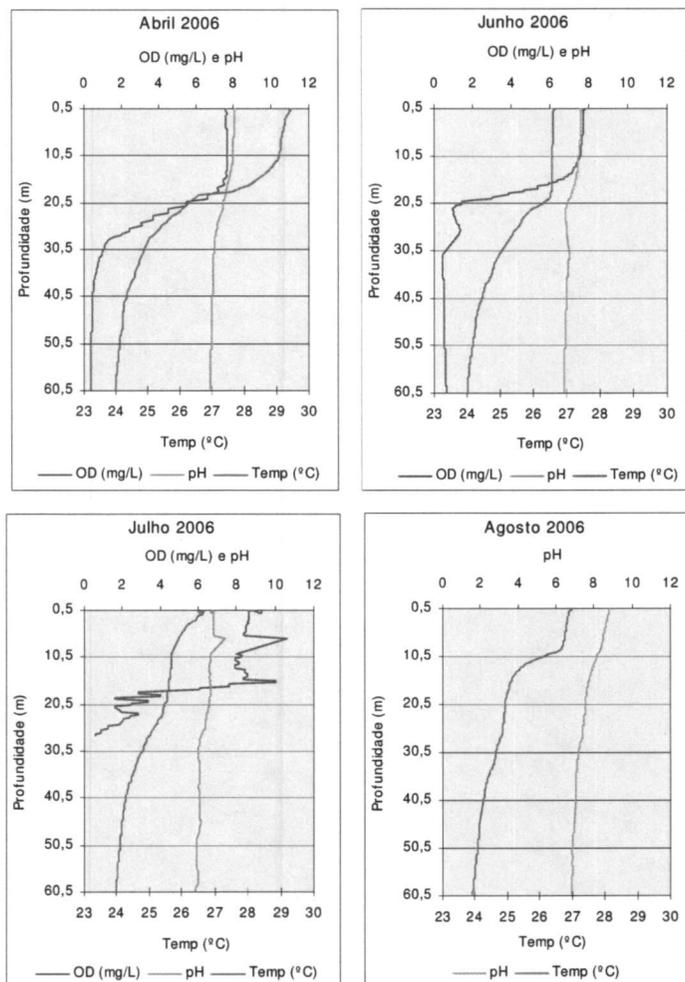


Figura 6.1.15 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento. Em jul/06 os registros de OD são parciais e em ago/06 não foi registrado o perfil deste parâmetro.



MULTIGEO

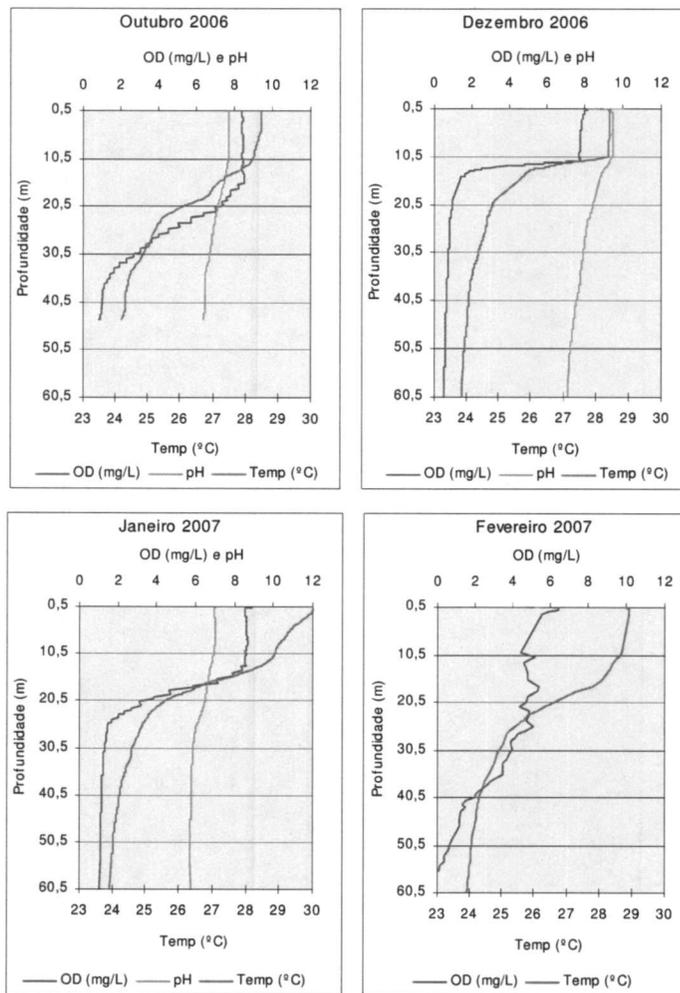


Figura 6.1.16 - Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento. Em fev/07 não foi registrado o perfil de pH.



MULTIGEO

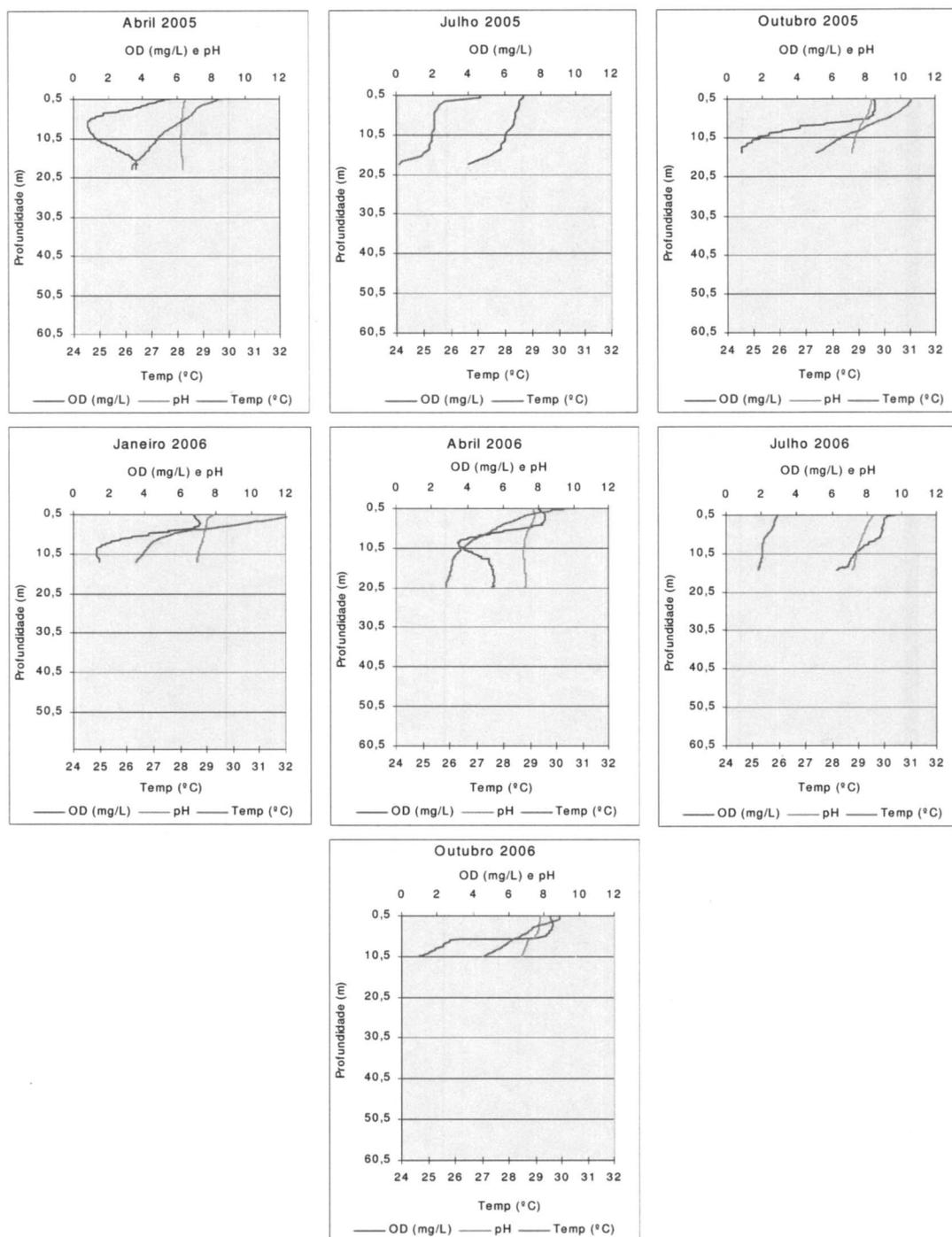


Figura 6.1.17 – Perfil vertical do oxigênio dissolvido, pH e temperatura da água registrados na estação PST-10 nas campanhas de monitoramento. Não foi registrado dados de pH em jul/05 e não foi feito o registro de dados em jan/07.



MULTIGEO

Transparência da água

A transparência da água, medida com o disco de Secchi, mostra a atenuação da radiação solar através da coluna d'água, que varia conforme a presença de substâncias particuladas. As radiações luminosas proporcionam a chamada "zona fótica", a qual compreende a região da massa d'água iluminada com até 1% da luz solar. A profundidade de penetração da luz visível corresponde, necessariamente, a duas vezes a profundidade em que desaparece o disco. Verifica-se na prática que cerca de 99% da radiação solar que atinge a água é absorvida nos dez primeiros metros de profundidade.

A maior profundidade alcançada pelo disco de Secchi em Serra da Mesa (Figura 6.1.18) durante o monitoramento foi registrada na estação MRN-50 com 8,6 metros de profundidade (abril/2006), mesmo com a ocorrência de chuva no dia anterior à medição. O menor valor registrado no período ocorreu na estação MRN-10 com 0,30 cm (janeiro/2007), devido às chuvas torrenciais comuns durante o período.

De modo geral, o aumento da transparência da água aumenta quanto mais próximo o ponto da barragem, devido à menor influência das entradas dos rios ao reservatório. O ponto PST-10 é o que apresenta os menores valores de transparência da água, muito provavelmente devido às interferências dos efluentes da cidade de Uruaçu e maior proximidade com a margem do rio.

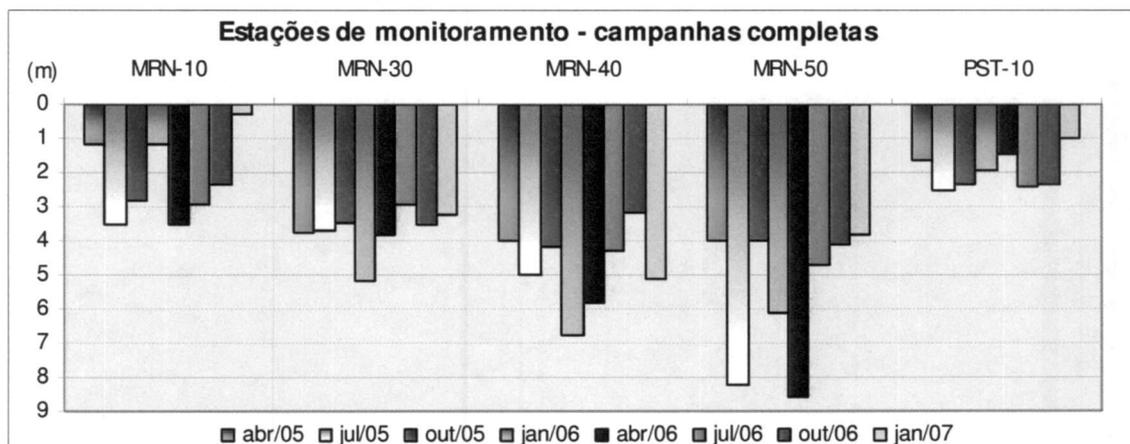


Figura 6.1.18 - Profundidades obtidas pelo disco de Secchi nas estações de monitoramento, durante as campanhas completas.

Parâmetro pH

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia dos organismos, ou indiretamente, contribuindo para a precipitação dos elementos químicos ou influenciando a solubilidade dos nutrientes. O valor de pH fora da faixa de neutralidade (6 a 8), pode alterar muito a dinâmica de um



MULTIGEO

ecossistema, provocando a diminuição da diversidade biológica, e também, potencializando a corrosão nos equipamentos e instalações da câmara de descarga das turbinas.

Analisando-se o perfil longitudinal do reservatório referente à campanha de abril/2005 (Figura 6.1.19) observa-se, de maneira pontual, valores mais altos de pH na estação MRN-40, provavelmente indicando atividade fotossintética das algas. Nas estações MRN-30 e MRN-50, observam-se valores de pH entre 7,0 e 7,5 na superfície, enquanto na estação MRN-10 o pH variou entre 6,5 e 7,0, levemente mais ácido. Cabe lembrar, que praticamente todo o entorno do reservatório apresenta solos ácidos, variando o pH entre 4 e 5,5, conforme mencionado no item 2.4. Por outro lado o rio Maranhão também passa por áreas ricas em rochas magmáticas e calcárias, que são maciços isolados conforme descrito no item 2.2, que justifica concentrações mais altas de pH principalmente na época de estiagem. De maneira geral, na estação MRN-40 observam-se concentrações um pouco mais altas em toda a coluna d'água, variando de 6,5 a 8,0. Em julho não foram registrados dados de pH.

Na campanha de outubro/2005 (Figura 6.1.20), verifica-se maior homogeneidade nos estratos, ou seja, valores de pH em torno de 8 foram registrados na superfície ao longo do reservatório, atingindo a profundidade máxima em torno de 12 metros. De modo geral, os valores de pH registrados nas estações de monitoramento foram mais elevados que na campanha de abril/2005, tendo variado entre 6,0 e 8,5. O pH mais baixo do período, em torno de 6,0 foi registrado a partir da profundidade de 45 metros no ponto da barragem (MRN-50).

Em janeiro/2006 (Figura 6.1.21), verifica-se que na entrada do reservatório (MRN-10) os rios chegam com pH mais elevado na superfície. Próximo ao ponto MRN-50 foram registrados os menores valores de pH, que variou em torno de 6,5 a partir dos 40 metros de profundidade. Cabe lembrar ainda, que na estação MRN-40 não foram registrados os dados deste parâmetro.

Em abril/2006 (Figura 6.1.22) altos valores de pH foram registrados na superfície dos pontos MRN-30, MRN-40 e MRN-50. No ponto de entrada do reservatório as águas chegaram com pH levemente mais baixo, ou seja, entre 7,0 e 7,5. Na estação MRN-50 observa-se águas levemente mais ácidas nas maiores profundidades.

Em julho/2006 (Figura 6.1.23) verifica-se maior variação do pH nos pontos de monitoramento. Os maiores valores foram registrados na estação MRN-40 e os menores nas profundidades da estação MRN-50, onde chegou-se a registrar valores abaixo 6,0.

Na campanha de outubro/2006 (Figura 6.1.24) a mesma variação dos valores de pH (entre 6,5 a 8,0) ocorreu nas estações consideradas. Somente na estação MRN-50 foram registrados valores mais ácidos nas profundidades (abaixo de 6,5).

Em janeiro/2007 (Figura 6.1.25) o pH sofreu grande variação na coluna d'água das estações MRN-10, MRN-30 e MRN-50. Nas estações MRN-30 e MRN-40 foram

registrados valores mais altos de pH (entre 7,5 e 8,0). Como ocorreu em outras campanhas os valores mais baixos de pH ocorreram nas profundidades da estação MRN-50.

Como era de se esperar, na maioria dos pontos os menores valores ocorreram nas regiões mais profundas, nas quais predominam os processos de decomposição biológica.

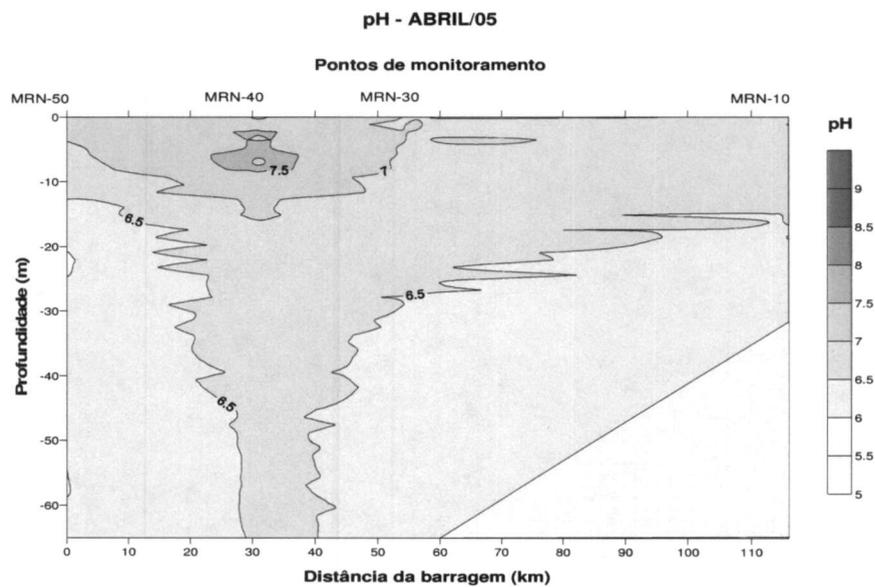


Figura 6.1.19 - Perfil longitudinal do pH em abril/05 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

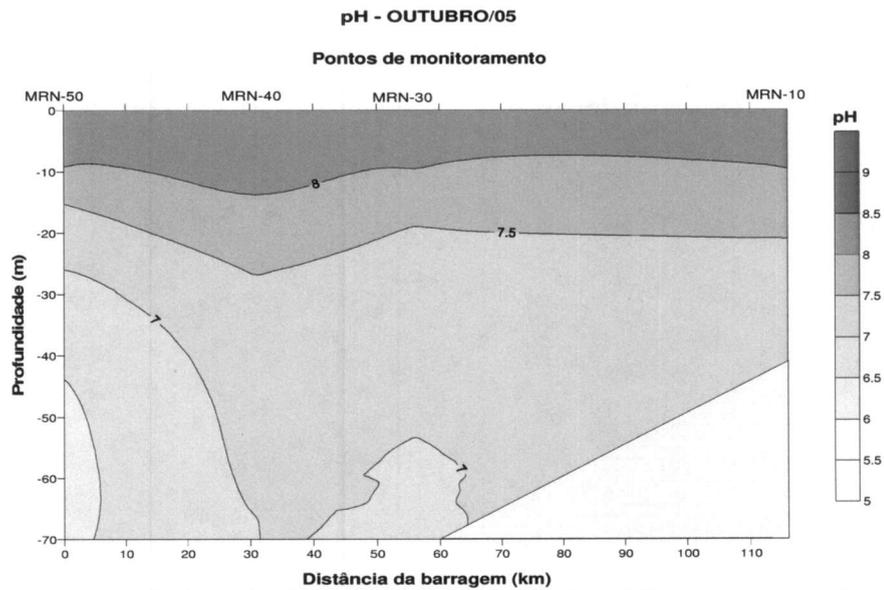


Figura 6.1.20 - Perfil longitudinal do pH em outubro/05 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

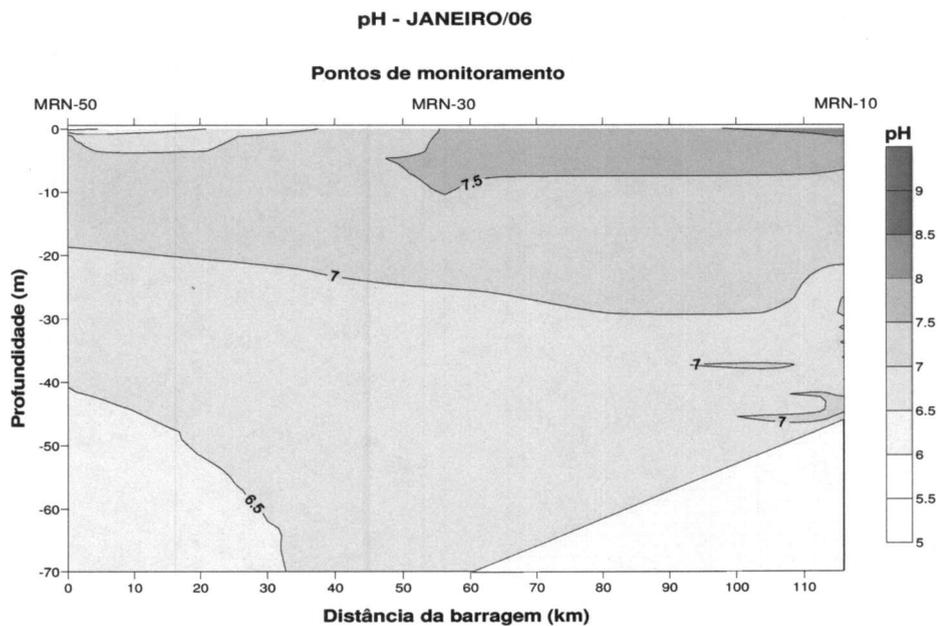


Figura 6.1.21 - Perfil longitudinal do pH em janeiro/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

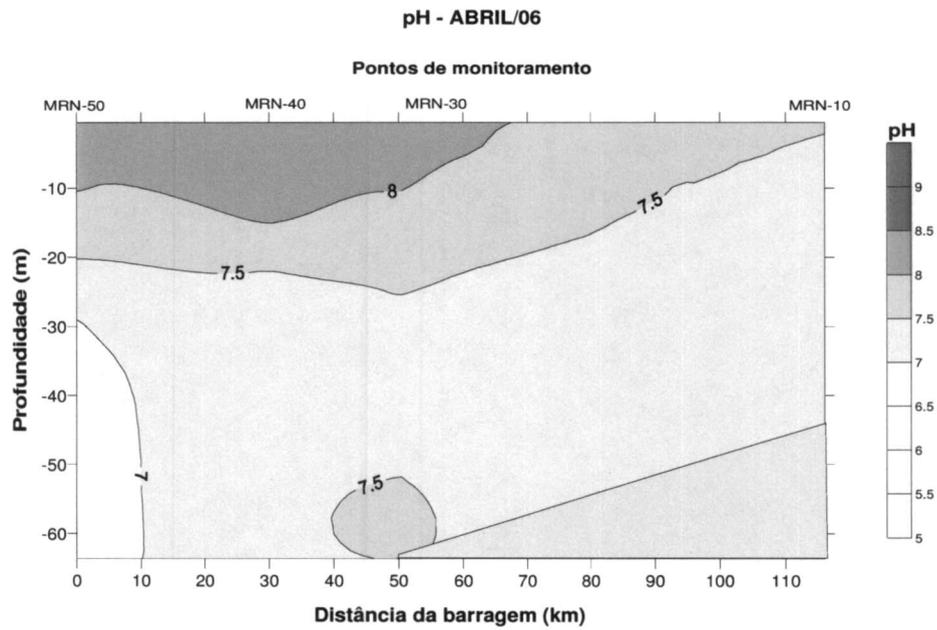


Figura 6.1.22 - Perfil longitudinal do pH em abril/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

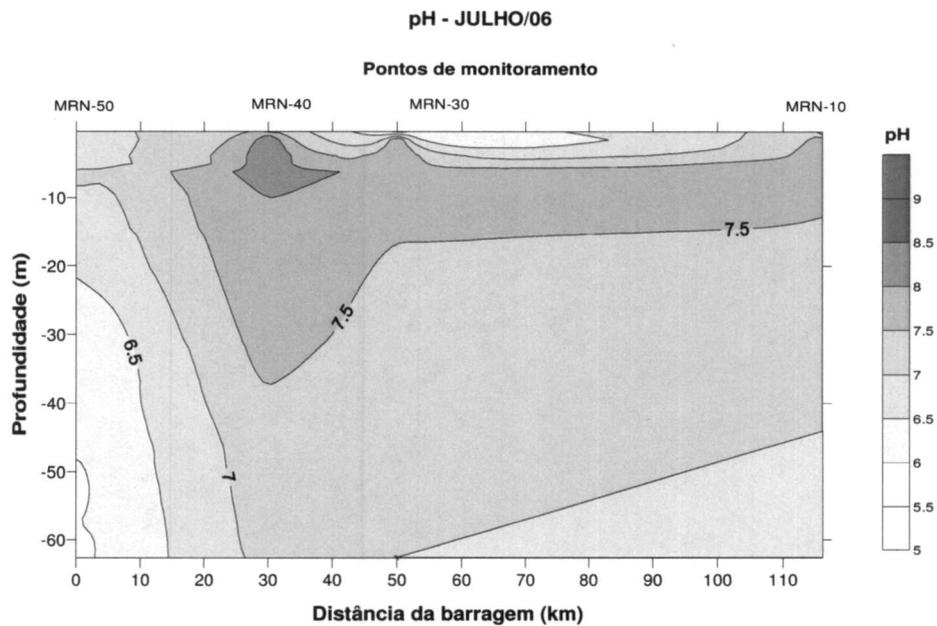


Figura 6.1.23 - Perfil longitudinal do pH em julho/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

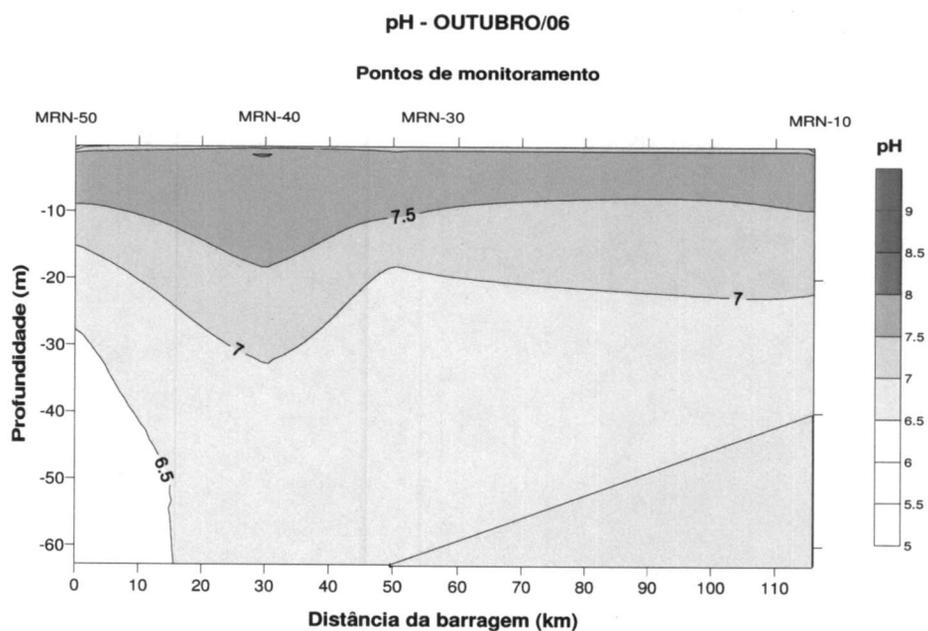


Figura 6.1.24 - Perfil longitudinal do pH em outubro/06 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

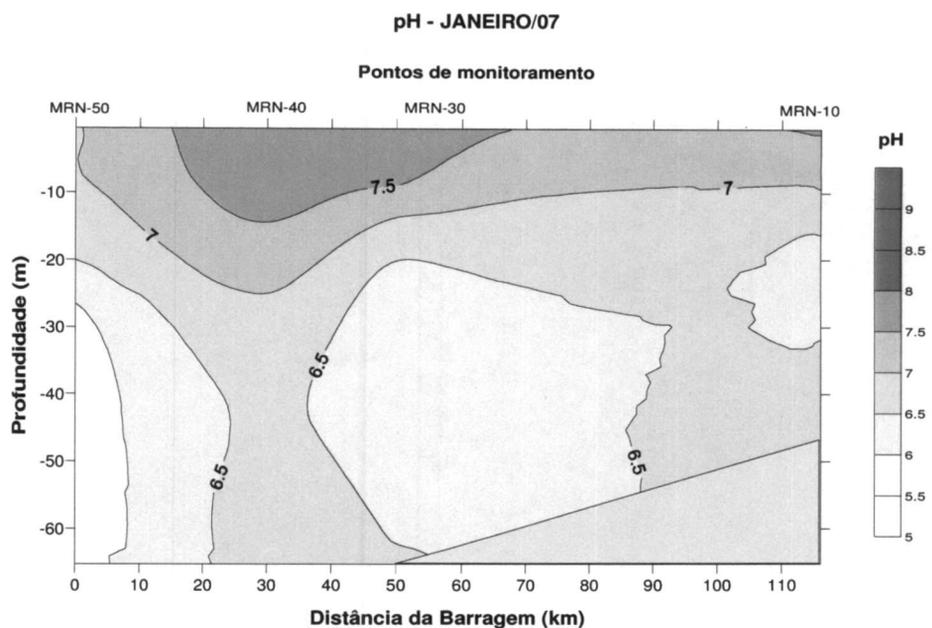


Figura 6.1.25 - Perfil longitudinal do pH em janeiro/07 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.



MULTIGEO

As Figuras 6.1.10 a 6.1.17, apresentadas anteriormente, mostram os perfis verticais, ou seja, a variação do pH na coluna d'água para cada ponto de amostragem e campanha. Segue abaixo comentários sobre os perfis registrados para cada ponto considerado.

Estação MRN-10

De modo geral na estação MRN-10 (Figura 6.1.10) o pH diminui gradativamente de acordo com a profundidade. O valor mínimo registrado foi de 6,4 e máximo de 8,3 durante todo o monitoramento. O valor mínimo foi observado na profundidade intermediária (20 - 25 m) e na profundidade maior do ponto.

Estações MRN-30 e MRN-40

As estações MRN-30 e MRN-40 parecem refletir as condições encontradas na estação a montante (MRN-10), tendo o segundo ponto apresentado valores maiores nas campanhas de julho e outubro de 2006 (Figura 6.1.11 e 6.1.12). O valor mínimo registrado na estação MRN-30 foi de 6,3 e máximo de 8,19 e na estação MRN-40, 6,5 e 8,8.

Estação MRN-50

A estação MRN-50 (Figuras 6.1.13 a 6.1.16) apresenta todos os registros das campanhas, com exceção da campanha de julho/2005 e fevereiro/2007. Em toda a coluna d'água o pH variou em torno de 4,9 e 9,9, com o limite mínimo registrado em agosto/2005 a 50 m de profundidade e máximo em dezembro/2006 na superfície. A variação ocorreu de forma gradativa da superfície para a maior profundidade na maioria das campanhas. Durante o mês de dezembro/2006, período de pico das chuvas, foram registrados os maiores valores de pH na coluna d'água, chegando a valores em torno de 10. Este resultado deve estar relacionado com a ocorrência de chuva no momento da coleta.

Estação PST-10

A estação PST-10 (Figura 6.1.17) durante o monitoramento apresentou a variação em torno de 6,2 e 8,3. O menor valor registrado no período ocorreu em abril/2005 na profundidade de 10 metros e o maior valor em julho/2006 na superfície.

Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é extremamente importante no corpo d'água, pois dele dependem as comunidades aeróbias aquáticas. Sua ausência ou restrição leva à redução da diversidade biológica.



MULTIGEO

Analisando-se o perfil longitudinal do reservatório referente à campanha de abril/2005 (Figura 6.1.26) verificou-se um bloco de massa d'água com concentração de 0 a 2 mg/L de OD a partir do trecho posterior ao ponto MRN-10, estendendo-se até a barragem. No ponto da barragem (MRN-50) a concentração de OD variou entre 7 e 8 mg/L nos primeiros 10 metros de profundidade, tendo queda acentuada a partir daí, chegando a registrar 1 mg/L. No ponto MRN-10 verifica-se queda gradativa da concentração de OD com o aumento da profundidade, chegando a registrar concentrações entre 3 e 4 mg/L nas maiores profundidades, entre 20 e 30 metros.

Em julho/2005 (Figura 6.1.27), uma camada com concentração de oxigênio entre 0 e 1 mg/L inicia-se próximo da estação MRN-30 e se estende até a barragem. Apenas na estação MRN-10 verificam-se concentrações acima de 3 mg/L em toda a coluna d'água. De maneira geral, na superfície do reservatório as concentrações de OD variaram entre 6 a 8 mg/L.

Em outubro/2005 verifica-se uma camada de OD com concentração entre 0 e 2 mg/L por todo o reservatório, inclusive na estação MRN-10, iniciando-se entre os 18 e 30 metros de profundidade (Figura 6.1.28). Também é possível verificar uma queda brusca da concentração de OD em todas as estações a partir dos 10 metros de profundidade, como pode se verificar nas Figuras 6.1.10 a 6.1.17 – perfis verticais.

Já em janeiro/2006 (Figura 6.1.29), a camada de OD com concentração entre 0 e 2 mg/L se estendeu entre os pontos MRN-50 e MRN-30. Não houve registro do perfil no ponto MRN-40, por isso seus dados não foram considerados nessa campanha. Também se verifica que no ponto MRN-10 há concentrações acima de 5 mg/L em toda a coluna d'água. De modo geral, constata-se que nesta campanha as camadas com mais oxigênio dissolvido se estenderam para profundidades maiores que nos perfis anteriores de abril e outubro de 2005.

Em abril/2006 (Figura 6.1.30), na estação MRN-10 os valores registrados estiveram acima de 4 mg/L. Da estação MRN-30 até a barragem nas profundidades verifica-se concentrações mais baixas (menores que 1 mg/L). Nas estações MRN-30, MRN-40 e MRN-50 até a profundidade de aproximadamente 20 metros foram registradas concentrações de 5 mg/L durante esta campanha.

Em julho/2006 (Figura 6.1.31), a massa de água com valores de OD abaixo de 1 mg/L se concentrou na estação MRN-50. Verifica-se ainda que nesta estação, ocorre queda brusca da concentração de OD a partir da profundidade de 15 metros aproximadamente, abaixo dos 20 metros a concentração situa-se abaixo de 3 mg/L.

Na campanha de outubro/2006 (Figura 6.1.32), verifica-se que a camada com menor concentração de OD se estende da estação MRN-50 (barragem) até a entrada do rio, como aconteceu em outubro/2005.

A configuração das concentrações de OD no mês de janeiro/2007 (Figura 6.1.33) é semelhante ao mesmo período do ano anterior, a diferença apenas está no fato de não ter sido registrado o parâmetro na estação MRN-40. A massa de água com



MULTIGEO

concentrações abaixo de 1 mg/L iniciaram-se a partir da estação MRN-30 até a barragem.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO - ABRIL/05

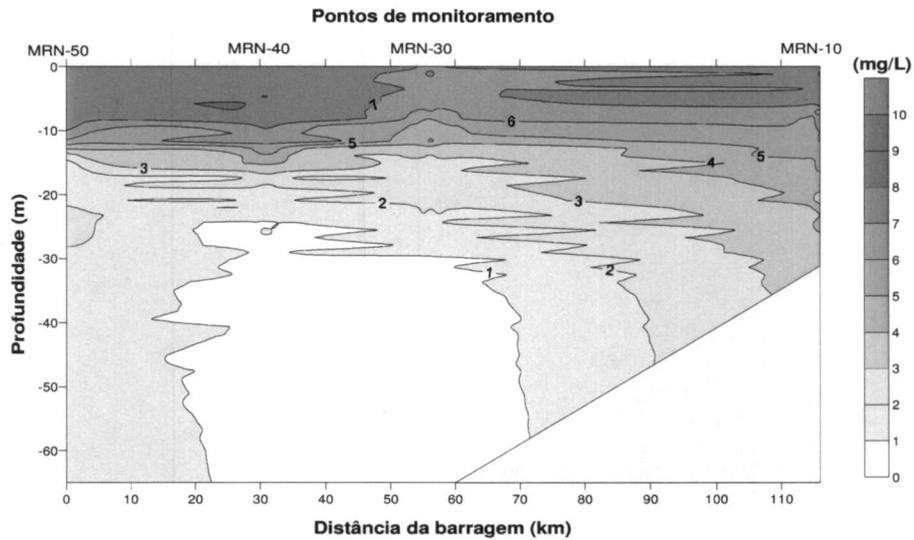


Figura 6.1.26 - Perfil longitudinal do OD em abril/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO - JULHO/05

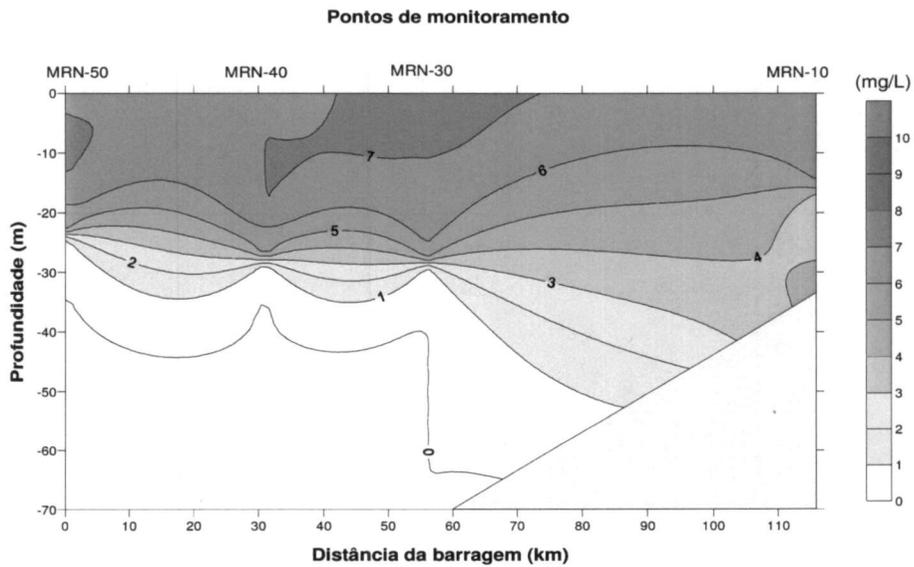


Figura 6.1.27 - Perfil longitudinal do OD em julho/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.



MULTIGEO

OXIGÊNIO DISSOLVIDO - OUTUBRO/05

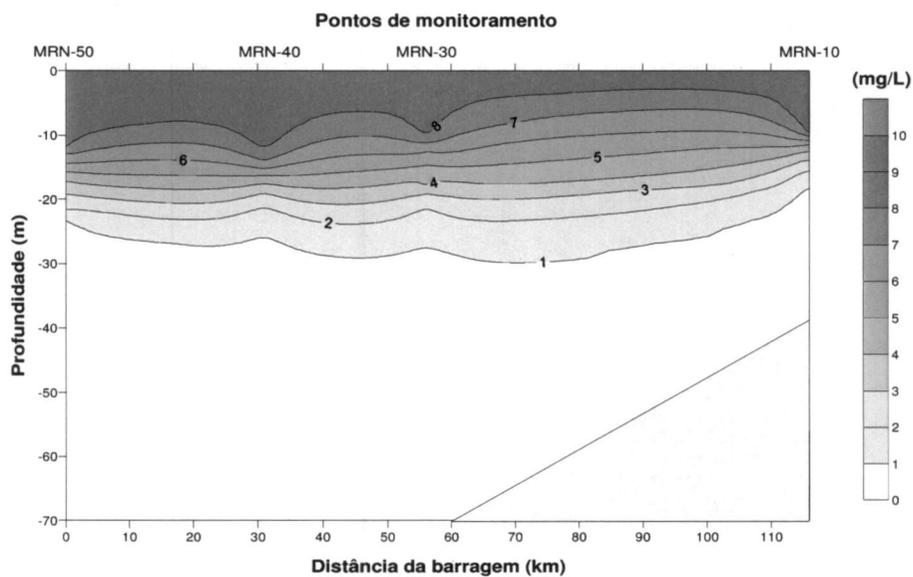


Figura 6.1.28 - Perfil longitudinal do OD em outubro/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO - JANEIRO/06

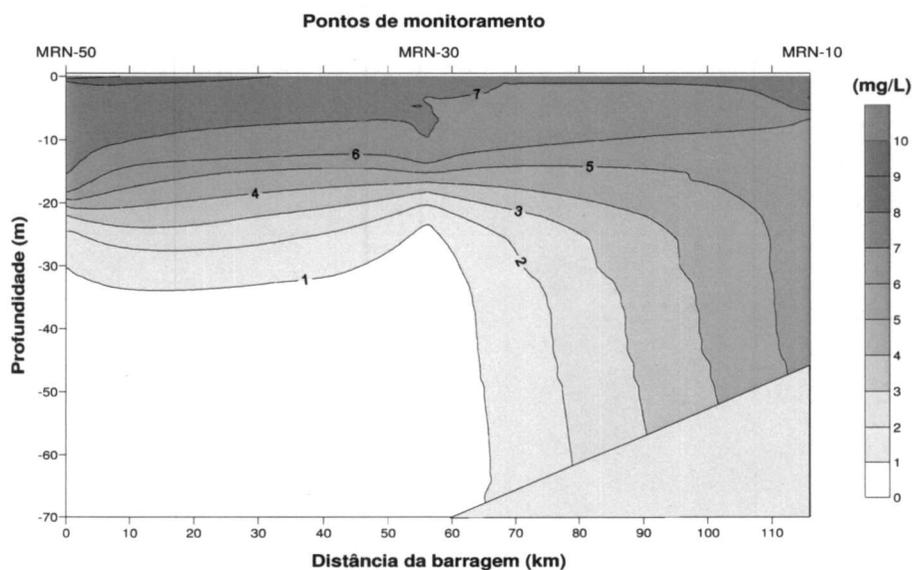


Figura 6.1.29 - Perfil longitudinal do OD em janeiro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa. Nesta campanha não foi registrado dados da estação MRN-40

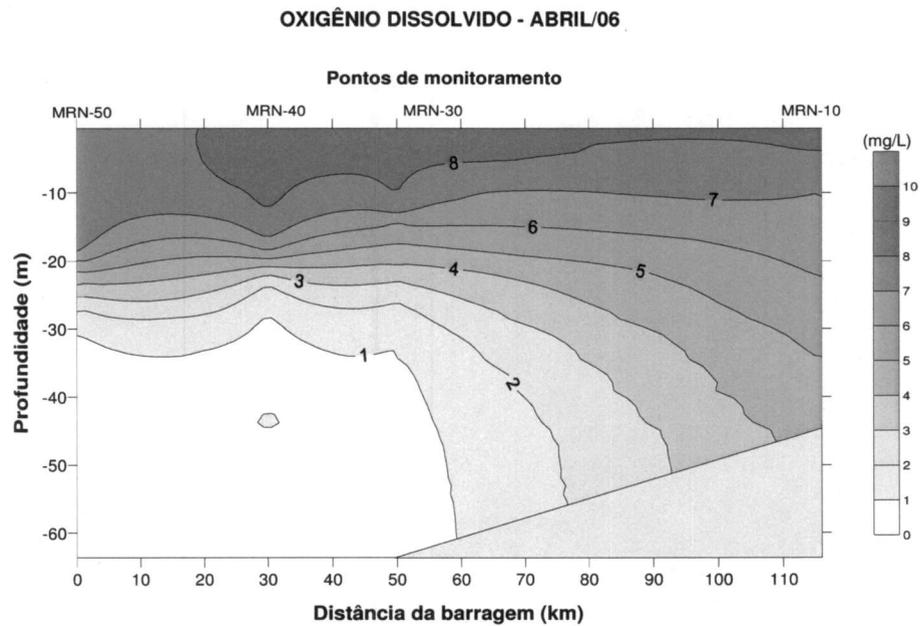


Figura 6.1.30 - Perfil longitudinal do OD em abril/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

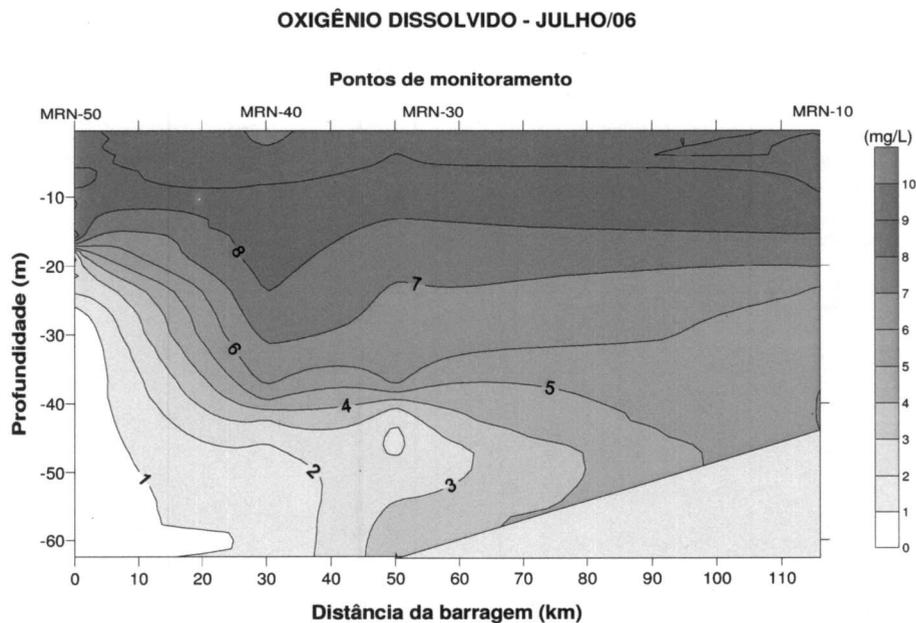


Figura 6.1.31 - Perfil longitudinal do OD em julho/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

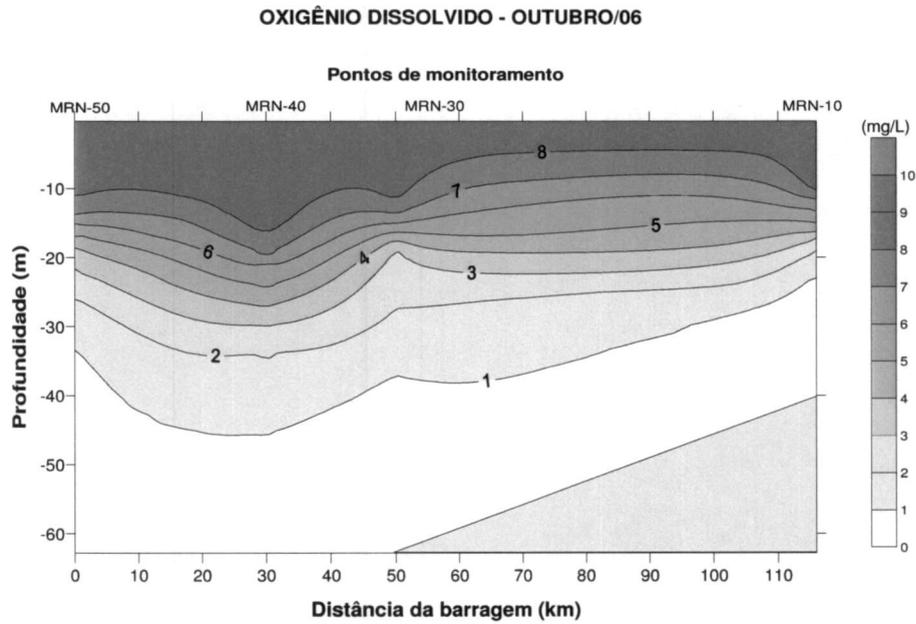


Figura 6.1.32 - Perfil longitudinal do OD em outubro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

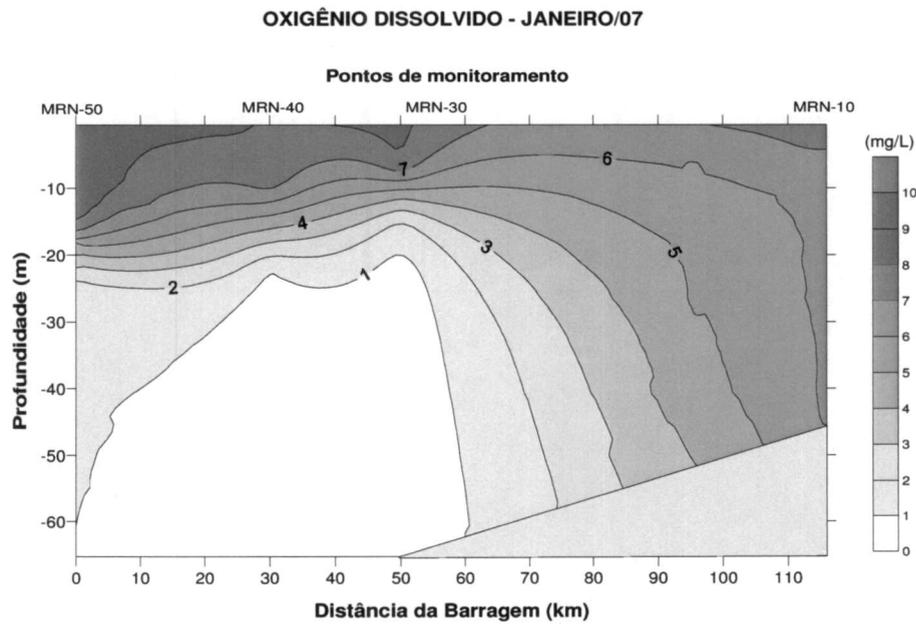


Figura 6.1.33 - Perfil longitudinal do OD em janeiro/07 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.



MULTIGEO

O perfil vertical do oxigênio dissolvido é apresentado nas Figuras 6.1.10 a 6.1.17, apresentadas anteriormente, para cada ponto de amostragem, de forma a mostrar a variação do parâmetro na coluna d'água durante as campanhas. Segue abaixo a análise do perfil vertical para cada estação de amostragem.

Estação MRN-10

O oxigênio dissolvido na estação MRN-10 apresentou quedas gradativas nas campanhas de abril/2005 e abril/ 006. Nas outras campanhas de monitoramento houve formação de patamares nas primeiras profundidades seguidas de quedas mais acentuadas. Na campanha de julho/2005 não foi registrado oxigênio dissolvido na maior profundidade de registro e nas campanhas de outubro/2005 e 2006, as quedas se acentuaram após os 10 metros de profundidade, chegando a registrar valores abaixo de 1 mg/L a partir dos 25 metros de profundidade.

Estação MRN-30 e MRN-40

Estas estações são analisadas em conjunto, pois apresentam a mesma configuração do perfil na coluna d'água para a maioria das campanhas. De modo geral as quedas da concentração de OD ocorrem de acordo com a profundidade de medição. Os maiores valores registrados ocorreram em julho de 2006, com valores entre 9 e 10 mg/L, muito provavelmente em função do horário de maior insolação e atividade das algas. Na maioria das campanhas os valores registrados na profundidade de 60 metros não chegaram a ser nulos, somente na campanha de julho de 2005 isto ocorreu em ambas as estações.

Estação MRN-50

De modo geral o oxigênio dissolvido desapareceu a partir da profundidade de 25 metros. Nesta estação são comuns os patamares formados pela constância de valores logo na superfície seguida de quedas. Somente em algumas campanhas não houve a formação destes patamares, como ocorrido em julho/2006, quando se verificou grande variação na concentração de OD registrada ao longo da coluna d'água. Em abril/2005 uma provável entrada do rio Boa Nova pode ter provocado um ligeiro aumento na concentração de OD entre 20 e 30 metros de profundidade. Entre as campanhas de junho a agosto/2005 as concentrações de OD chegaram próximos ao zero a partir dos 25 metros profundidade.



MULTIGEO

Estação PST-10

Excepcionalmente nas campanhas de abril (2005 e 2006) foram observadas quedas da concentração de OD, seguida de aumento com aumento da profundidade de medição. É provável que a entrada do próprio rio Passa Três em determinados períodos aconteça pelo fundo do reservatório neste ponto, por apresentar temperaturas mais baixas. Tal fato pode ser confirmado pelos valores de turbidez e condutividade. Nas outras campanhas as quedas são gradativas a partir da superfície até as profundidades.

Condutividade

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade do meio aquático em conduzir uma corrente elétrica em função da concentração dos íons presentes e é influenciada pela temperatura. Os valores de condutividade variam muito nos reservatórios tropicais e estão mais associados às características geoquímicas regionais e ao clima do que ao estado trófico do lago (ESTEVES, 1998). Altos valores podem indicar características corrosivas da água.

Analisando-se o perfil longitudinal do reservatório referente à campanha de abril/2005 (Figura 6.1.34), a condutividade chega ao reservatório pela estação MRN-10 com valores entre 40 a 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A partir da estação MRN-30 verificam-se valores mais altos de condutividade nas maiores profundidades.

Durante a campanha de outubro/2005 (Figura 6.1.35), verifica-se maior variação dos valores de condutividade na estação MRN-10, além disso, ocorre menor variação da condutividade na coluna d'água à medida que se aproxima da barragem, situação diferente da ocorrida em abril/2005. Neste período foram registrados os maiores valores de condutividade 160 a 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na maior profundidade, iniciando-se no MRN-10 até o MRN-40.

Em janeiro/2006 (Figura 6.1.36), verifica-se maior variação da condutividade na coluna d'água próxima da estação MRN-30, com o maior valor registrado a 60 metros de profundidade desta estação. Neste período não foi realizada a medição na estação MRN-40.

Em abril/2006 (Figura 6.1.37), inicia-se um novo período de monitoramento e as variações observadas não diferem muito daquelas registradas no mesmo período no ano anterior. As águas chegam na estação MRN-10 com condutividade em torno de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Maiores valores de condutividade foram registradas nas profundidades da estação MRN-30.



MULTIGEO

Em julho/2006 (Figura 6.1.38) percebe-se a entrada de águas pelo fundo (MRN-10) com maiores valores de condutividade ($> 120 \mu\text{S}/\text{cm}$). Na estação MRN-40 observa-se valores mais altos desde a superfície, onde se registrou condutividade de $102 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Em outubro/2006 (Figura 6.1.39) também foram registradas maiores variações da condutividade na coluna d'água próxima da estação MRN-10. Na profundidade intermediária desta estação foram registrados os maiores valores de condutividade ($> 180 \mu\text{S}/\text{cm}$). Provavelmente devido à entrada do rio Maranhão, que drena por áreas calcárias.

Janeiro/2007 (Figura 6.1.40) foi caracterizado por apresentar menor variação no reservatório. Os maiores valores registrados ($> 120 \mu\text{S}/\text{cm}$) foram constatados nas maiores profundidades das estações MRN-30 e MRN-40.

Embora não estejam estabelecidos limites na legislação para a condutividade, os valores registrados nas campanhas são altos e provavelmente refletem as condições geoquímicas da região. Altos valores de condutividade e baixos valores de oxigênio dissolvido nas profundidades podem também indicar elevadas taxas de decomposição da matéria orgânica.

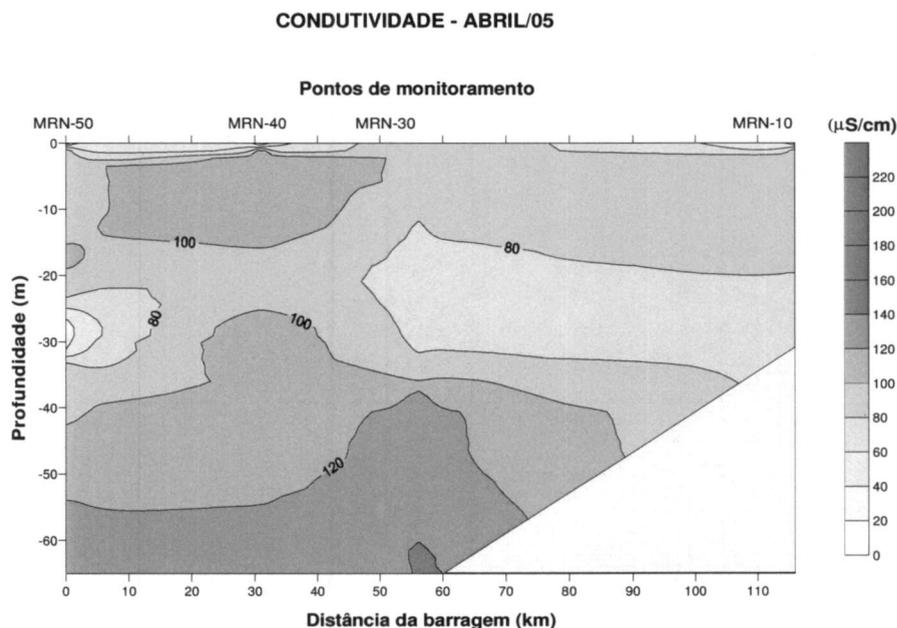


Figura 6.1.34 - Perfil longitudinal da condutividade em abril/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

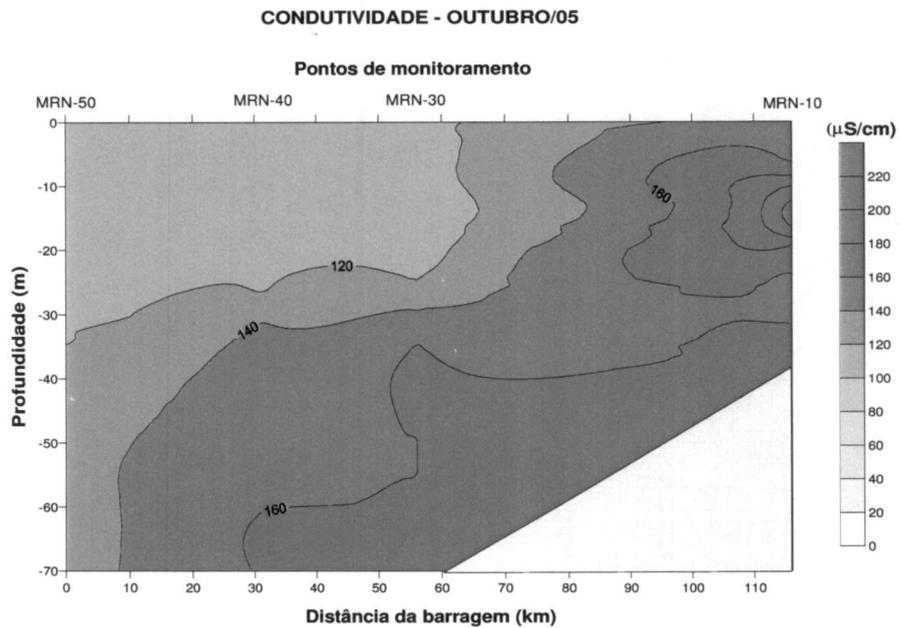


Figura 6.1.35 - Perfil longitudinal da condutividade em outubro/2005 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

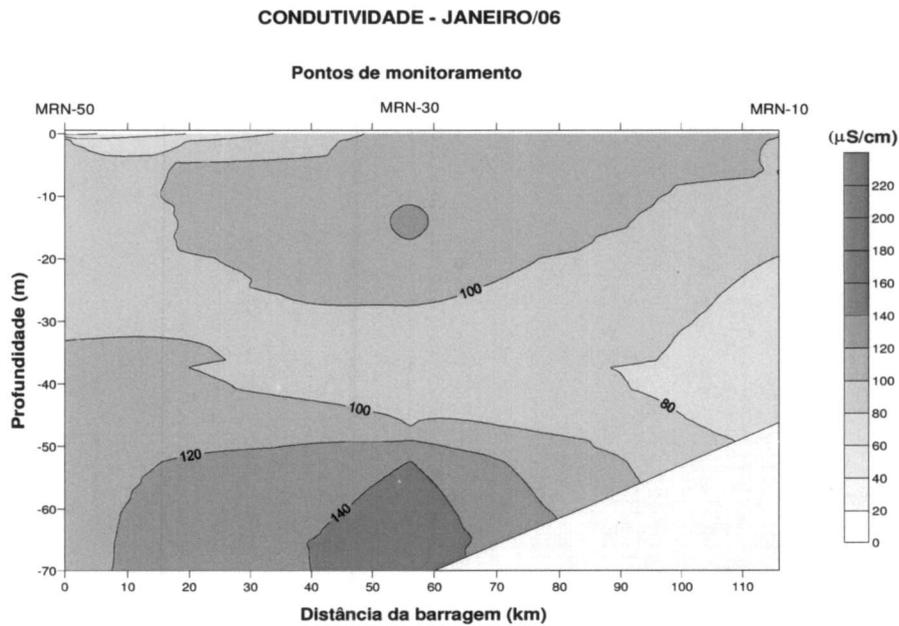


Figura 6.1.36 - Perfil longitudinal da condutividade em janeiro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa. Nesta campanha não foi registrado dados da estação MRN-40

CONDUTIVIDADE - ABRIL/06

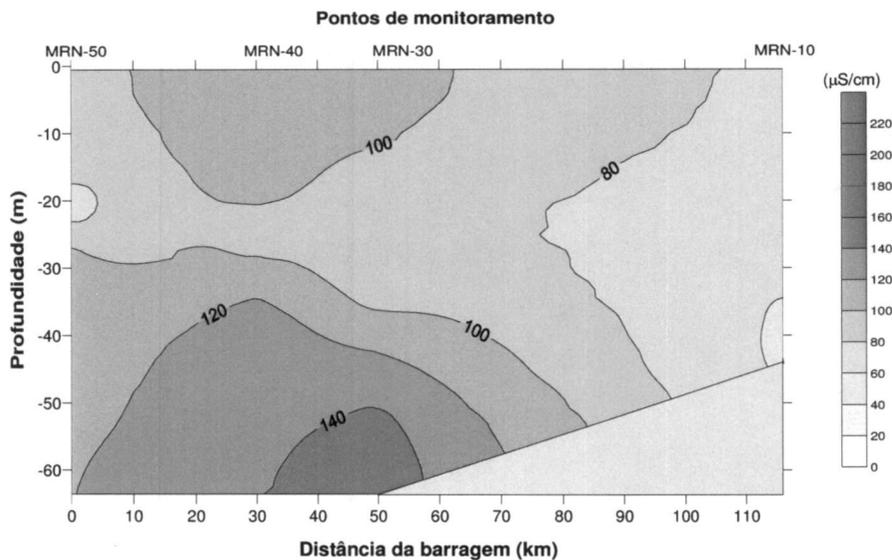


Figura 6.1.37 - Perfil longitudinal da condutividade em abril/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

CONDUTIVIDADE - JULHO/06

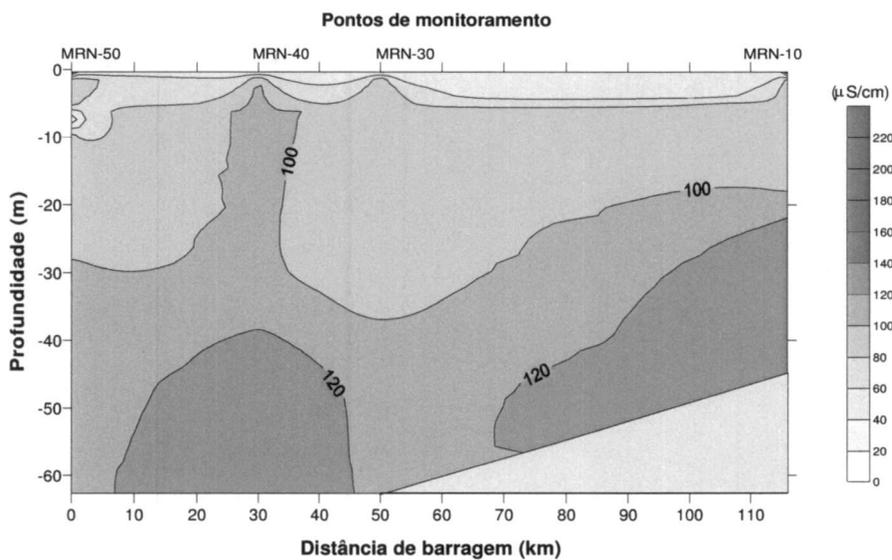


Figura 6.1.38 - Perfil longitudinal da condutividade em julho/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

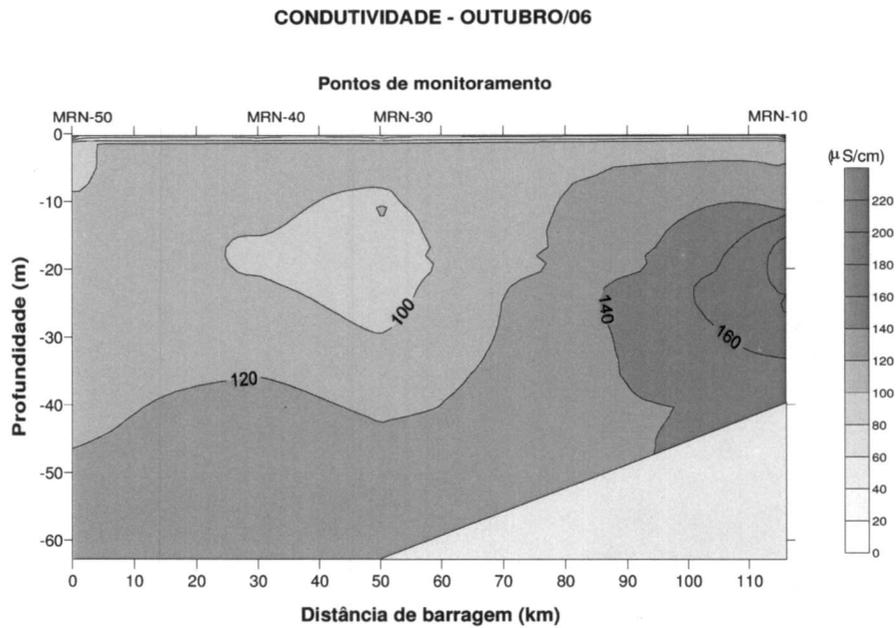


Figura 6.1.39 - Perfil longitudinal da condutividade em outubro/2006 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

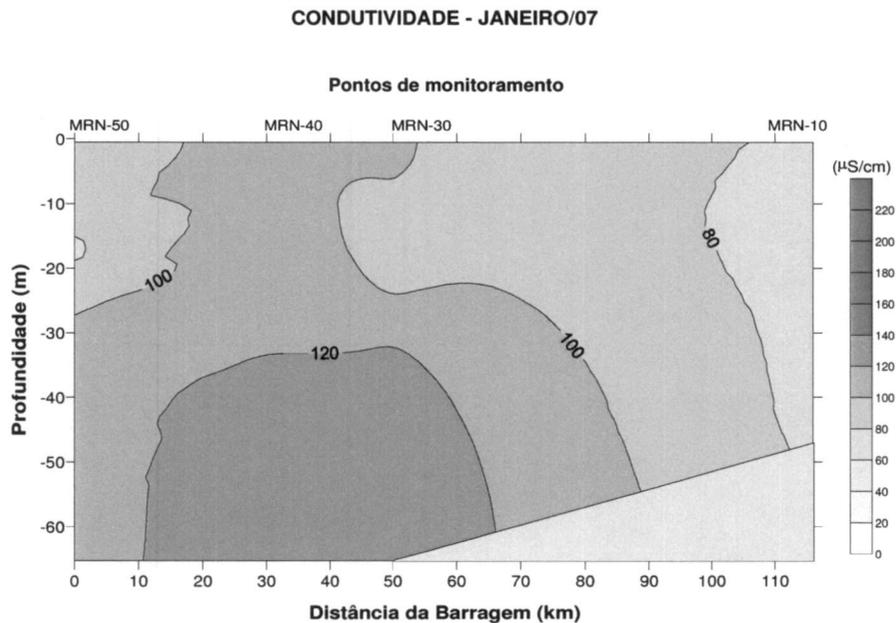


Figura 6.1.40 - Perfil longitudinal da condutividade em janeiro/07 no reservatório da UHE-Serra da Mesa.

As Figuras de 6.1.41 a 6.1.46 mostram os perfis verticais de condutividade para cada estação de amostragem ao longo do período de monitoramento. Segue abaixo comentários sobre os perfis registrados para cada ponto considerado.

Estação MRN-10

Nesta estação MRN-10 a condutividade variou entre 57,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 228,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O maior valor registrado ocorreu na profundidade de 14 metros em outubro/2005, conforme Figura 6.1.41.

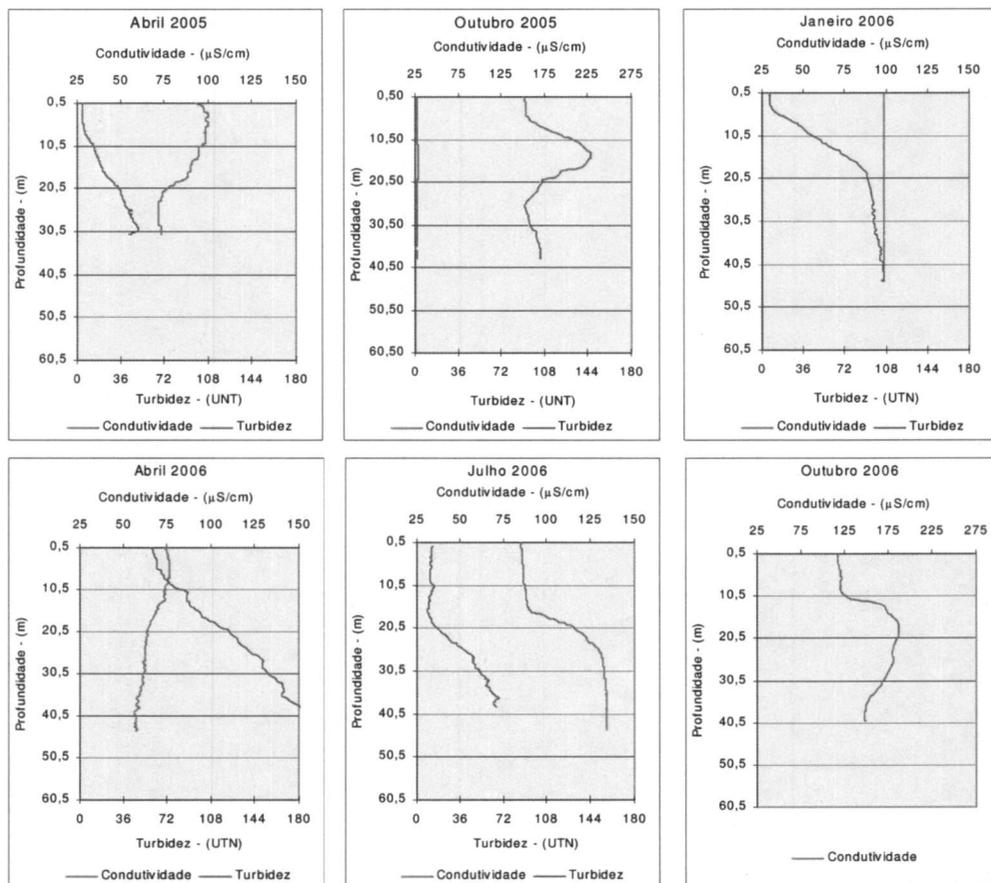


Figura 6.1.41 – Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-10 nas campanhas de monitoramento. Não foi registrado perfil de turbidez em out/06 e os perfis de condutividade e turbidez em jan/07. Condutividade – escala diferenciada em out/05 e out/06.



MULTIGEO

Estações MRN-30 e MRN-40

Os valores mais altos de condutividade registrados na estação MRN-30 (Figura 6.1.42) se concentraram nas maiores profundidades durante a campanha de outubro/2005, chegando a registrar 163 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 40 metros. Os menores valores registrados nesta estação ocorreram em abril/2005, na profundidade intermediária próxima dos 20 metros. A estação MRN-40 (Figura 6.1.43) apresenta perfis semelhantes ao ponto a montante (MRN-30). De modo geral, os valores são maiores, porém não se distanciando muito do ponto anterior.

Estação MRN-50

De modo geral na estação MRN-50 (Figura 6.1.44 e 6.1.45), que apresenta maior frequência de amostragem, verificam-se valores mais altos de condutividade nas maiores profundidades. O maior valor de condutividade (161 $\mu\text{S}/\text{cm}$) registrado no ponto ocorreu na profundidade de 60 metros em agosto/2005, período de seca. Em algumas campanhas foi registrada a ocorrência de quedas bruscas no valor de condutividade em profundidades intermediárias, por exemplo, nas campanhas de abril e junho de 2005 e abril, junho e julho 2006.

As campanhas de outubro, dezembro/2005, janeiro e fevereiro/2006 apresentaram perfis semelhantes entre si e com valores mais baixos que na campanha de agosto/2005, também apresentando aumento dos valores de condutividade com a profundidade.

Estação PST-10

Na estação PST-10 (Figura 6.1.46) os maiores valores de condutividade ocorreram na campanha de outubro/2005, quando se registrou 161 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no fundo. As duas campanhas de outubro (2005 e 2006) apresentaram valores crescentes com a profundidade de registro, nas outras campanhas, pelo contrário, ocorreram quedas gradativas de acordo com a profundidade.

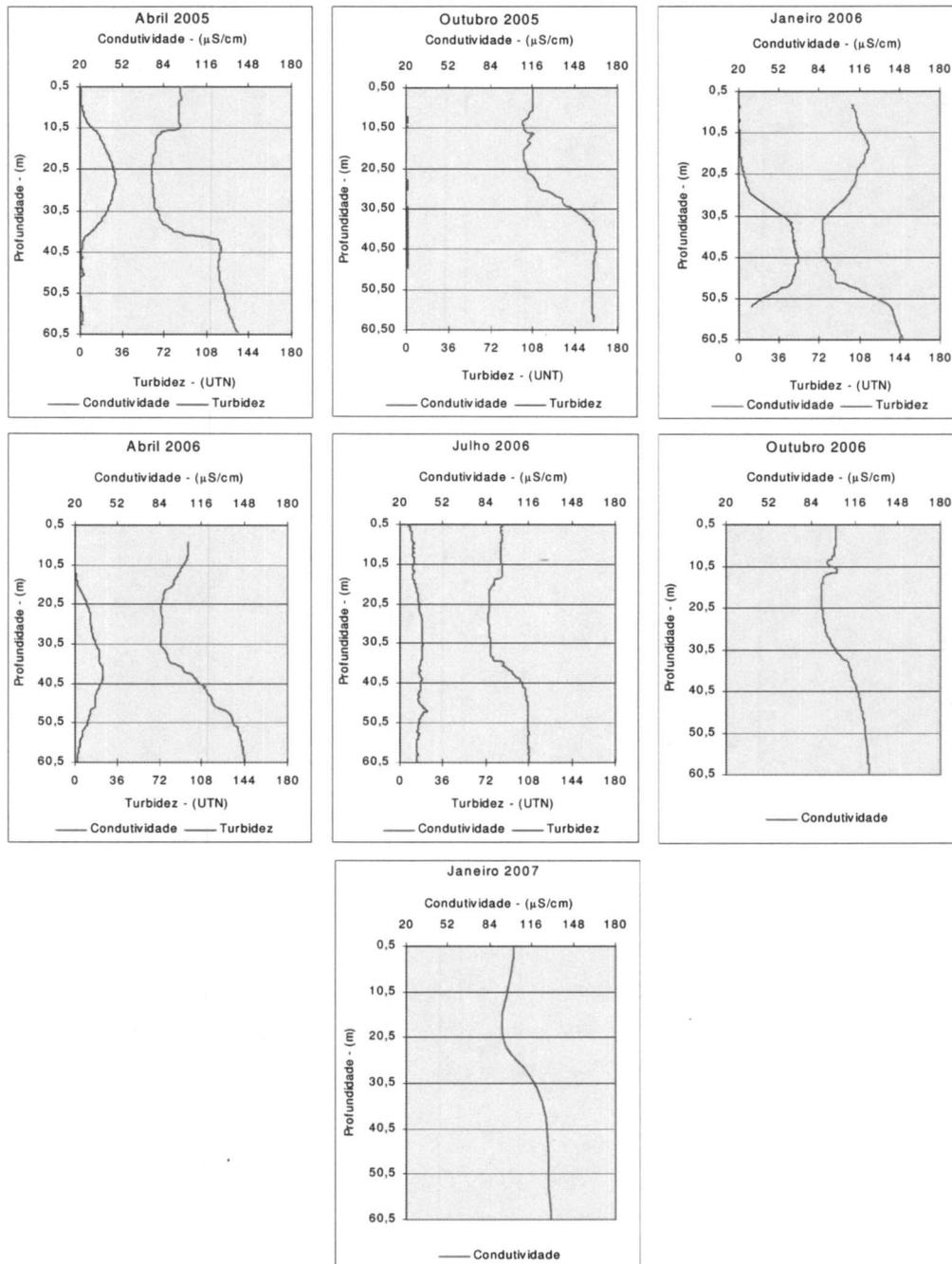


Figura 6.1.42 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-30 nas campanhas de monitoramento. Em out/06 e jan/07 não foi registrado o perfil de turbidez.

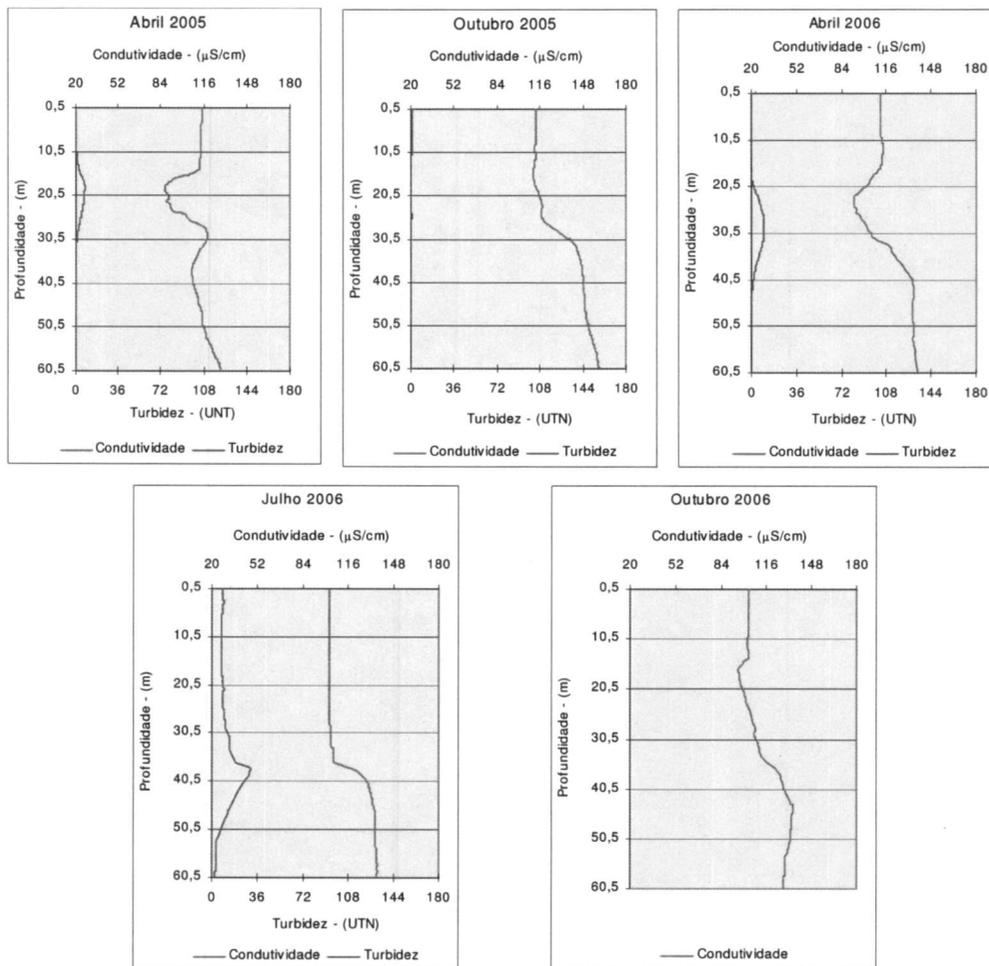


Figura 6.143 – Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-40 nas campanhas de monitoramento. Não foi registrado o perfil de turbidez em out/06 e não foram obtidos dados de condutividade e turbidez em jan/06 e 07.

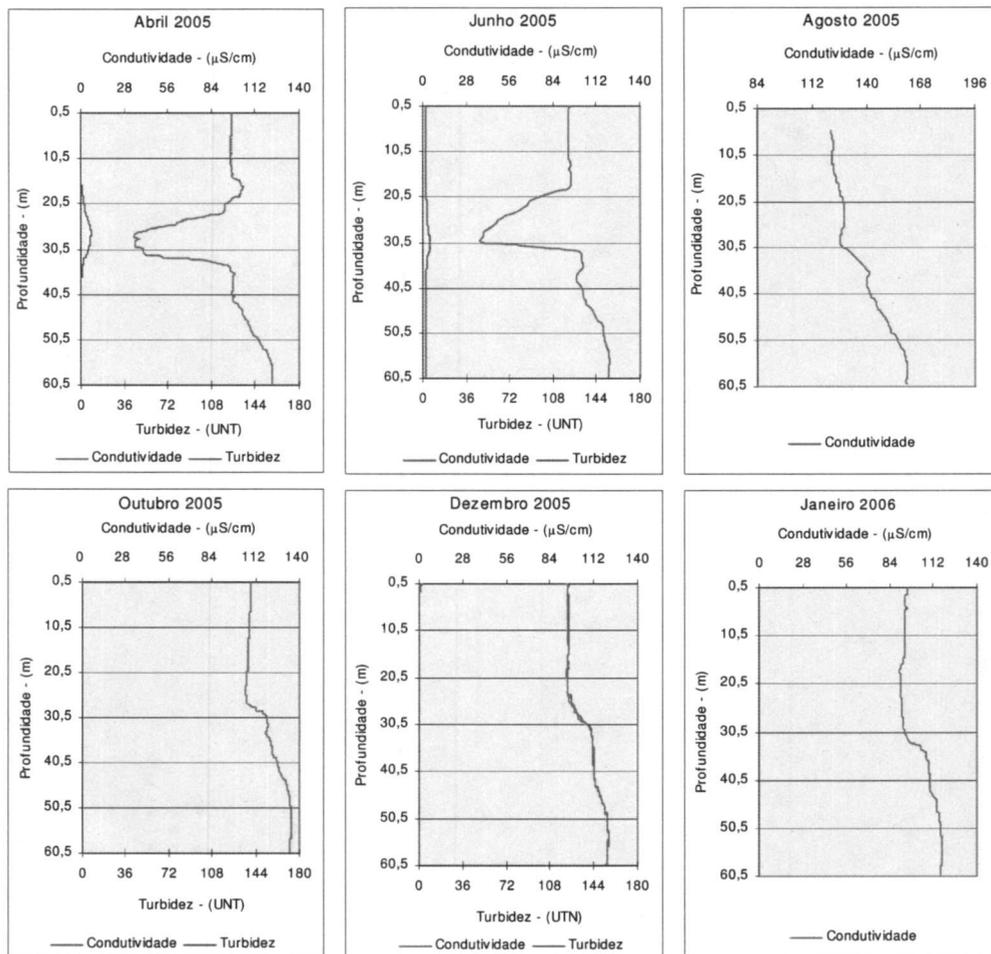


Figura 6.1.44 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento. Não foi registrado o perfil de turbidez em ago/05 e jan/06. Condutividade - escala diferenciada em ago/05.

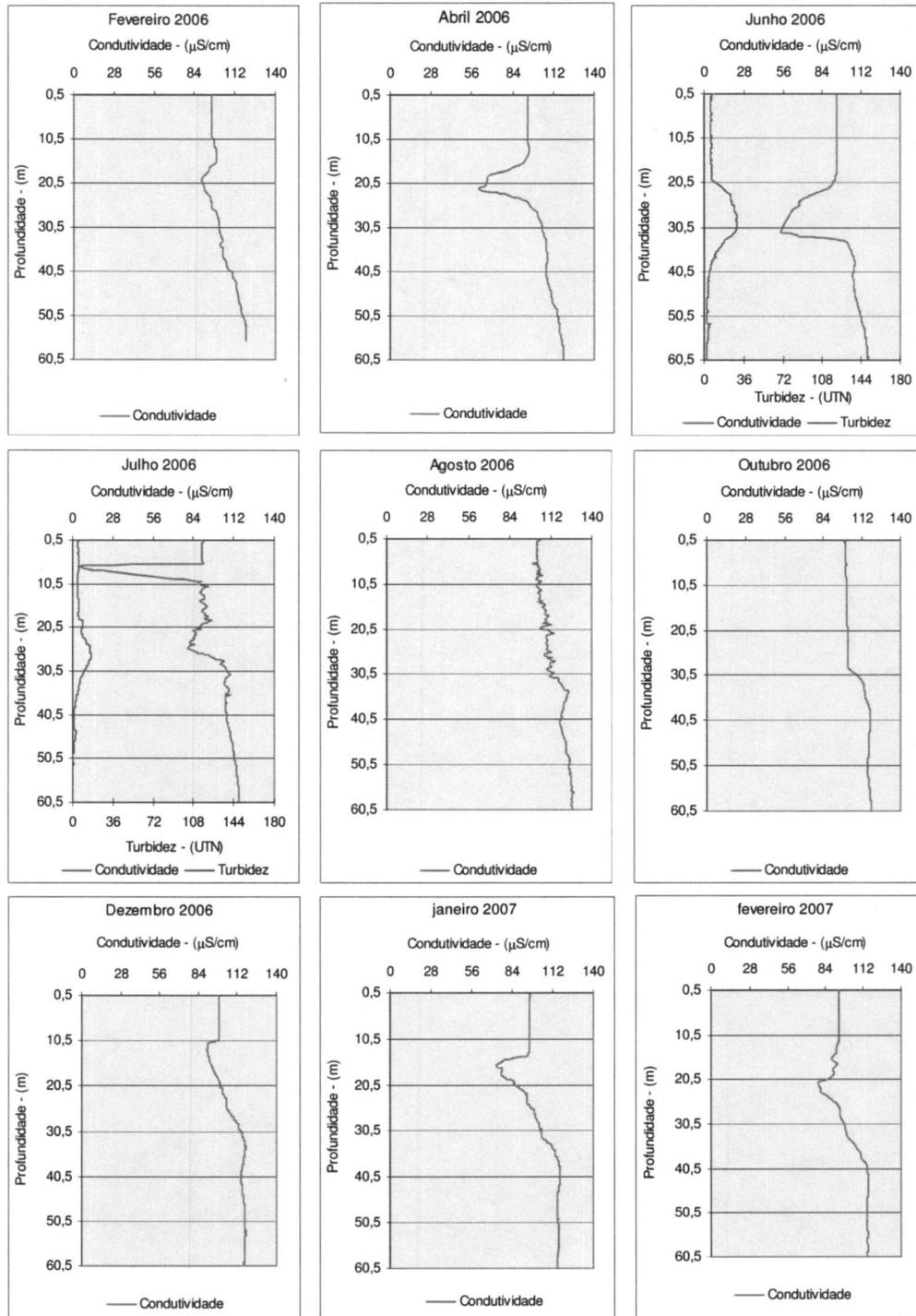


Figura 6.1.45 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação MRN-50 nas campanhas de monitoramento. O registro de turbidez só foi realizado em jun e jul/06.

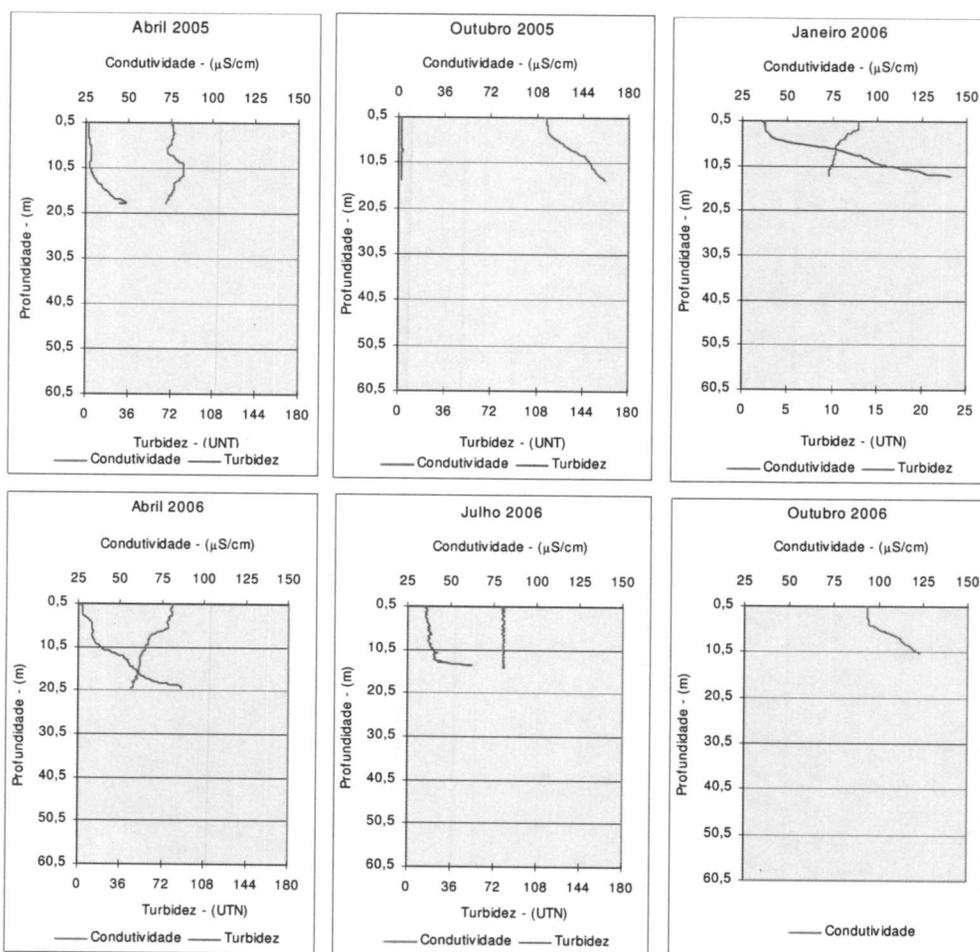


Figura 6.1.46 - Perfil vertical da condutividade e turbidez da água registrados na estação PST-10 nas campanhas de monitoramento. Não foi registrado o perfil de turbidez em out/06 e não foram registrados dados de condutividade e turbidez em jan/07. Escala diferenciada da condutividade - out/05 e turbidez - jan/06.



MULTIGEO

Alcalinidade

A alcalinidade é decorrente dos sais alcalinos e mede a capacidade do meio aquoso de neutralizar ácidos. A alcalinidade depende do valor do pH, da composição mineral, da temperatura e da força iônica.

Nas campanhas o parâmetro variou entre 8,84 mg/L a 122,80 mg/L, com o menor valor detectado na superfície da estação TCZ-10 em abril/2006 e o maior valor na superfície da estação PST-05 em outubro/2005. Na estação MRN-03 foi registrado 113,45 mg/L em julho/2005, também na superfície.

Sólidos em Suspensão

As propriedades ópticas da água constituem um importante elemento para caracterização das águas superficiais, sendo modificadas por substâncias dissolvidas e em suspensão. Os sólidos em suspensão, representados entre outros por partículas de rocha, silte e os próprios microorganismos, promovem a turbidez da água, interferindo na penetração da luz, podendo também causar assoreamento dos cursos d'água. Na bacia de contribuição de Serra da Mesa, os processos erosivos, intensificados pelas atividades antrópicas, contribuem para o transporte de sólidos ao reservatório, especialmente na época das chuvas.

No monitoramento de Serra da Mesa foram analisados os sólidos suspensos fixos e voláteis. Os sólidos suspensos fixos variaram entre valores abaixo de 0,10 mg/L e 540 mg/L, sendo este último resultado observado na estação ALM-30 em dezembro/2006. Durante o período também foi registrado o valor de 187,6 na estação MRN-03 e em abril/2006 foi encontrada a concentração de 523,5 mg/L na estação BGG-05. Os dois pontos onde foram constatados altos valores de sólidos suspensos fixos são entradas do reservatório.

Quanto aos sólidos suspensos voláteis os resultados obtidos variaram entre valores abaixo de 0,10 mg/L a 90 mg/L. O maior valor registrado ocorreu na estação ALM-30 em dezembro/2006.

Turbidez

A turbidez da água é a medida de sua capacidade de dispersar luz, promovida principalmente pelas partículas suspensas (silte, areia, colóides, microorganismos) (ESTEVES, 1998). Valores elevados de turbidez podem alterar a atividade fotossintética de um corpo d'água. Quando sedimentadas, as partículas formam bancos de lodo, nos quais o processo de digestão anaeróbia pode resultar na formação de gases como metano, gás carbônico e gás sulfídrico.

Conforme o perfil longitudinal de abril/2005, apresentado na Figura 6.1.47, a turbidez apresentou-se mais elevada na profundidade do ponto MRN-30. Na superfície os valores registrados foram baixos e nas profundidades observa-se o fluxo de águas mais turvas entrando pela estação MRN-10. Cabe lembrar que a estação MRN-10 sofre a influência dos rios Maranhão e das Almas e em todas as estações foi registrada a ocorrência de chuva na véspera da coleta.

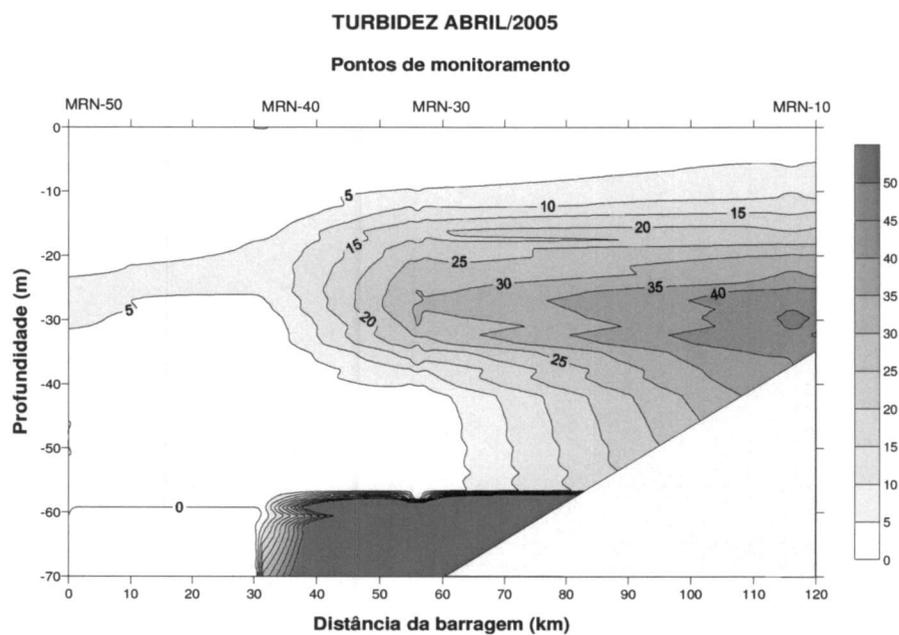


Figura 6.1.47 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de abril/2005.

Em outubro/2005 (Figura 6.1.48), os valores registrados foram muito baixos em todas as estações de monitoramento. Já em janeiro/2006 (Figura 6.1.49), verifica-se perfil semelhante ao período de abril/2005, com águas mais turvas entrando no reservatório pela estação MRN-10. Na superfície os valores também foram baixos e não foi registrada maior turbidez no fundo da estação MRN-30, como observado em abril. Em janeiro/2006 a estação MRN-40 não foi considerada no perfil longitudinal.

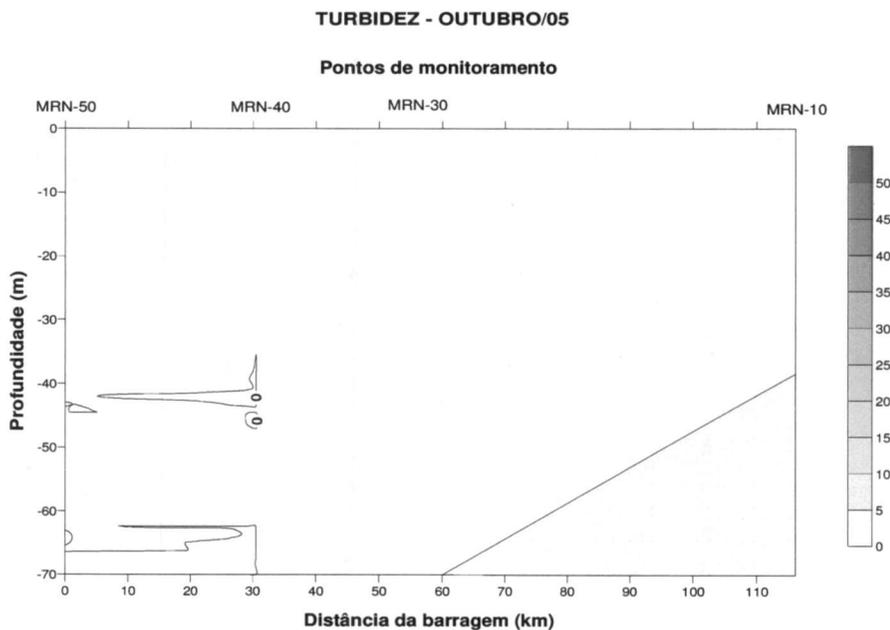


Figura 6.148 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de outubro/2005.

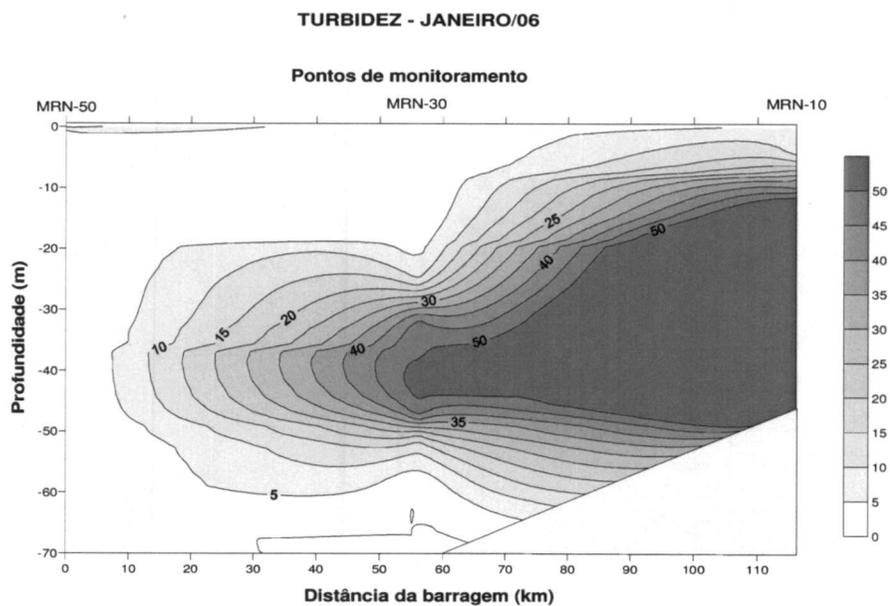


Figura 6.149 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de janeiro/2006.

Em julho/2006, as águas entram pela estação MRN-10 com valores de turbidez mais altos na superfície e fundo do ponto. Possivelmente isto pode ser explicado pela ocorrência de chuva no período, o que pode ter carregado material para o

reservatório. A partir da estação MRN-30, as concentrações de turbidez foram baixas até o ponto de barragem.

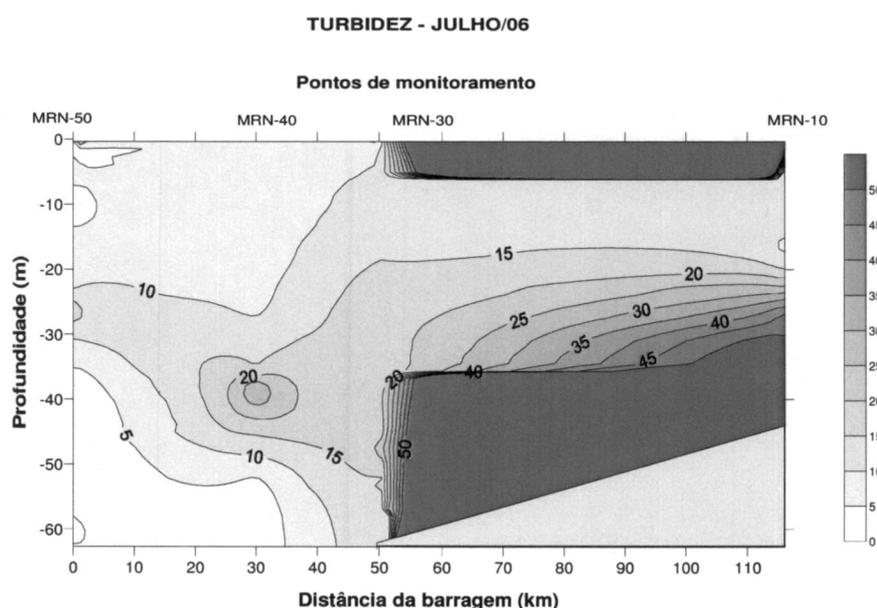


Figura 6.1.50 - Perfil longitudinal da turbidez da água no reservatório para a campanha de julho/2006.

As Figuras de 6.1.41 a 6.1.46 mostram os perfis verticais de turbidez para cada estação de amostragem ao longo do período de monitoramento.

Estação MRN-10

Na estação MRN-10, a turbidez apresentou maior expressividade durante a campanha de abril/2006, chegando a registrar em torno de 180 UNT na maior profundidade. Para a maioria das campanhas os valores de turbidez eram crescentes de acordo com o aumento da profundidade de medição. Apenas em outubro/2005 os valores registrados foram bastante baixos (Figura 6.1.41).

Estação MRN-30

Diferentemente na estação MRN-30, verifica-se que os valores mais altos registrados no ponto ocorreram em profundidades intermediárias, como ocorreu em abril/2005 e

2006 e em janeiro/2006. O limite máximo alcançado foi de aproximadamente 52,60 UNT em janeiro/2006 (Figura 6.1.42). Na estação MRN-40 os valores registrados para turbidez foram menores que aqueles registrados na estação MRN-30 (Figura 6.1.43).

Estação MRN-50

Na estação MRN-50 os valores registrados foram baixos, o maior valor ocorreu em junho/2006, quando se registrou a turbidez de 18,40 UNT na profundidade intermediária.

Estação PST-10

Na estação PST-10 o maior valor registrado (88 UNT) ocorreu em abril/2006 na maior profundidade. Na maioria das campanhas os valores de turbidez era crescente de acordo com o aumento da profundidade.

Demanda química de oxigênio

A demanda química de oxigênio (DQO) indica a presença de matéria redutora, isto é, que consome oxigênio nos processos de decomposição. Em corpos d'água que contenham apenas substâncias de fácil decomposição biológica, a DQO tem seu valor próximo ao da DBO. Resultados de DQO muito superiores aos de DBO indicam a presença de substâncias de lenta biodegradabilidade ou de compostos tóxicos que inibem a ação de bactérias.

Considerando-se os pontos com características de reservatório (exclui-se os pontos de cabeceiras), a DQO variou de valores 0,44 a 52,76 mg/L. O maior valor foi registrado na estação MRN-55, em dezembro/2005, lembrando que a água coletada neste ponto representa as condições na profundidade de tomada d'água da usina. Na estação MRN-50, localizada a montante da estação MRN-55, no mesmo período a DQO variou entre 13,07 mg/L e 45,8 mg/L, com o maior valor registrado no fundo (105 metros).

Nos pontos de cabeceiras observam-se valores superiores, como ocorreu em dezembro/2006 quando foi detectada a concentração de 81,06 mg/L de DQO na estação ALM-30.

É preciso ressaltar que os altos valores detectados nos pontos ocorreram exatamente quando houve o registro de chuvas no período.

Carbono orgânico dissolvido

O carbono orgânico dissolvido (COD) é decorrente da decomposição de plantas e animais e da excreção destes organismos (ESTEVES, 1998). É um parâmetro importante no estudo da dinâmica dos ecossistemas aquáticos, atuando como fonte de energia, como precipitador de nutrientes e complexador de metais.

Os valores de carbono orgânico dissolvido variaram entre 0,70 mg/L e 6,70 mg/L. O maior valor foi registrado em julho/2006, na estação MRN-30 e a 25 metros de profundidade.

Fósforo

O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são biodisponíveis e uma vez assimilados são convertidos em fosfato orgânico e em fosfatos condensados. Após a morte de um organismo, os fosfatos condensados são liberados na água. Entretanto, eles não estão disponíveis para a absorção biológica até que sejam hidrolisados para ortofosfato, processo executado por bactérias. Em geral as fontes naturais de fósforo presentes nas águas são a lixiviação de rochas fosfatadas e a decomposição de matéria orgânica, podendo ser fontes adicionais os fertilizantes agrícolas, os esgotos domésticos e dejetos de bovinos e de aves. Em comparação com outros componentes estruturais dos seres vivos, o fósforo é o menos abundante e em geral o principal fator limitante à produtividade de lagos. Altas concentrações de fósforo na água propiciam a eutrofização da mesma, não devendo ultrapassar limites de 0,01 mg/L (BRANCO, 1986). Em locais mais profundos, a disponibilidade de fósforo pode estar relacionada à condição de anaerobiose que propicia a solubilização de compostos de fósforo dos sedimentos.

Em Serra da Mesa, considerando-se os pontos de reservatório, o fósforo total variou entre valores abaixo de 0,001 mg/L a 0,201 mg/L (Figuras 6.1.51 a 6.1.53). A maior disponibilidade de fósforo ocorreu na maior profundidade da estação MRN-10, em abril/2006.

Nas estações de cabeceiras foram registrados valores de até 0,402 mg/L, este valor ocorreu na estação ALM-30 em abril/2006. Nas estações MRN-03 e BGG-05 foram registrada a concentração de 0,282 mg/L em janeiro/2007 e 0,279 mg/L em outubro/2006, respectivamente (Figuras 6.1.54 e 6.1.55).

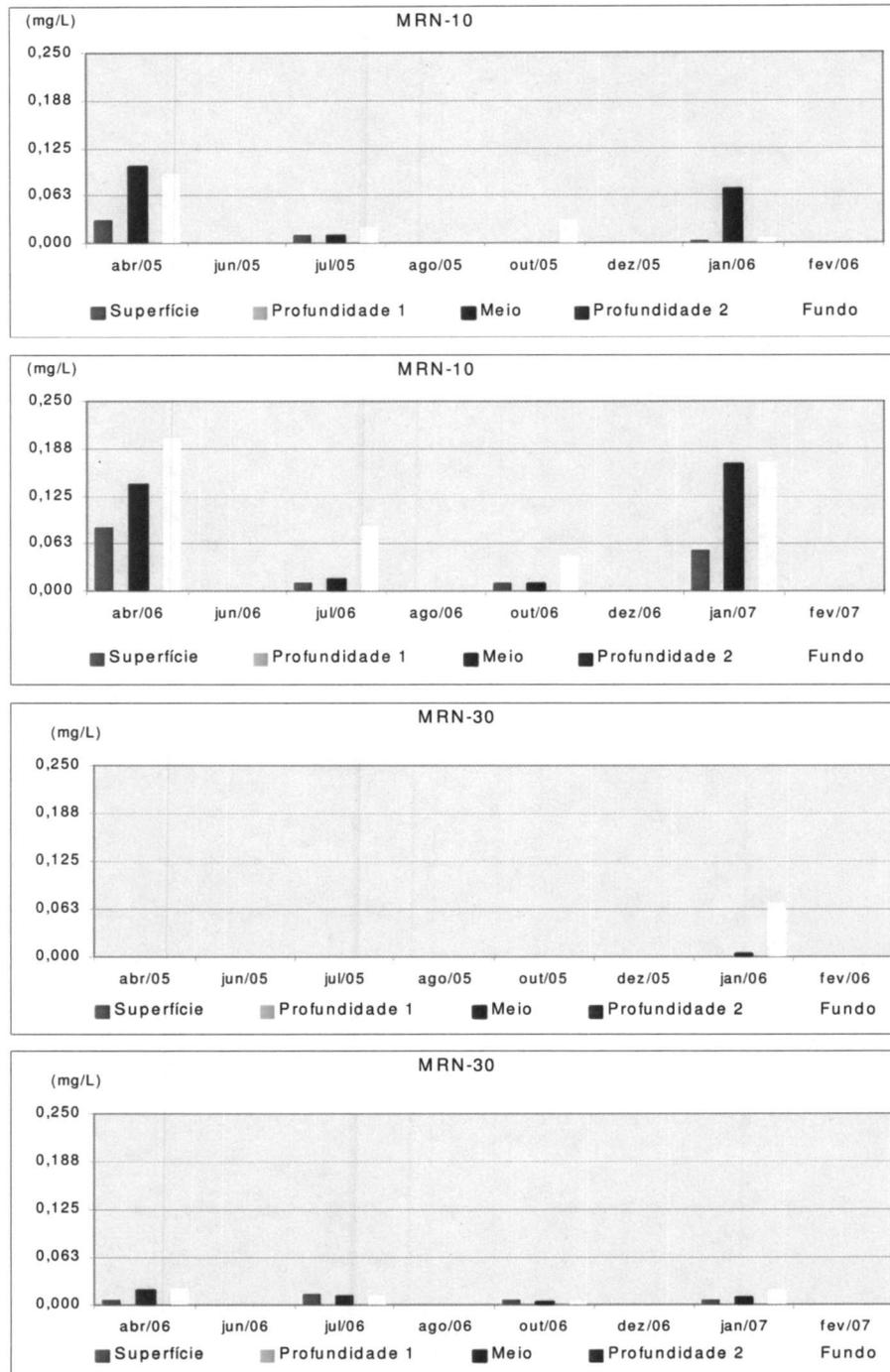


Figura 6.1.51 - Dados de fósforo total registrados na estação MRN-10 e MRN-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

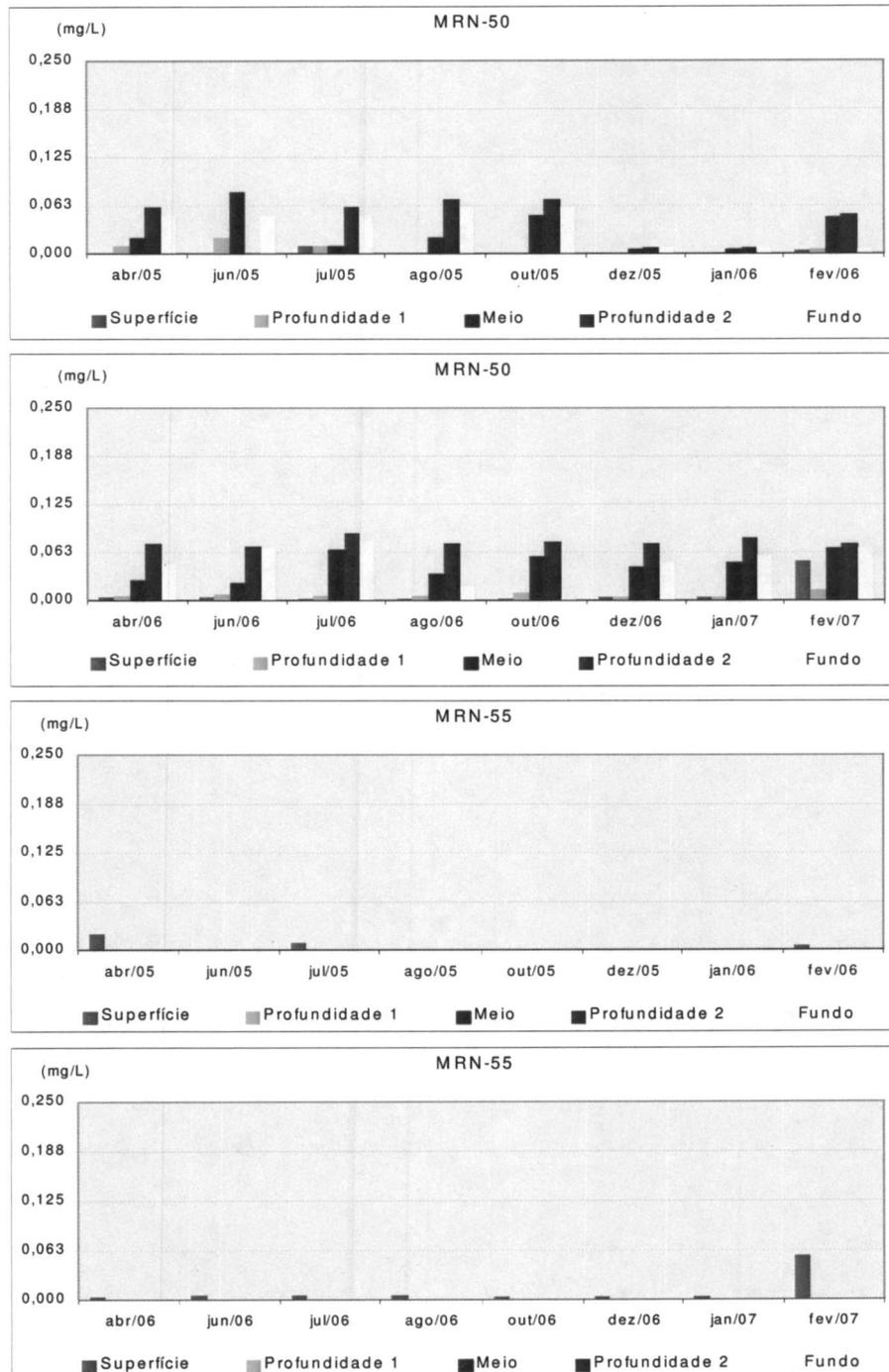


Figura 6.152 - Dados de fósforo total registrados nas estações MRN-50 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

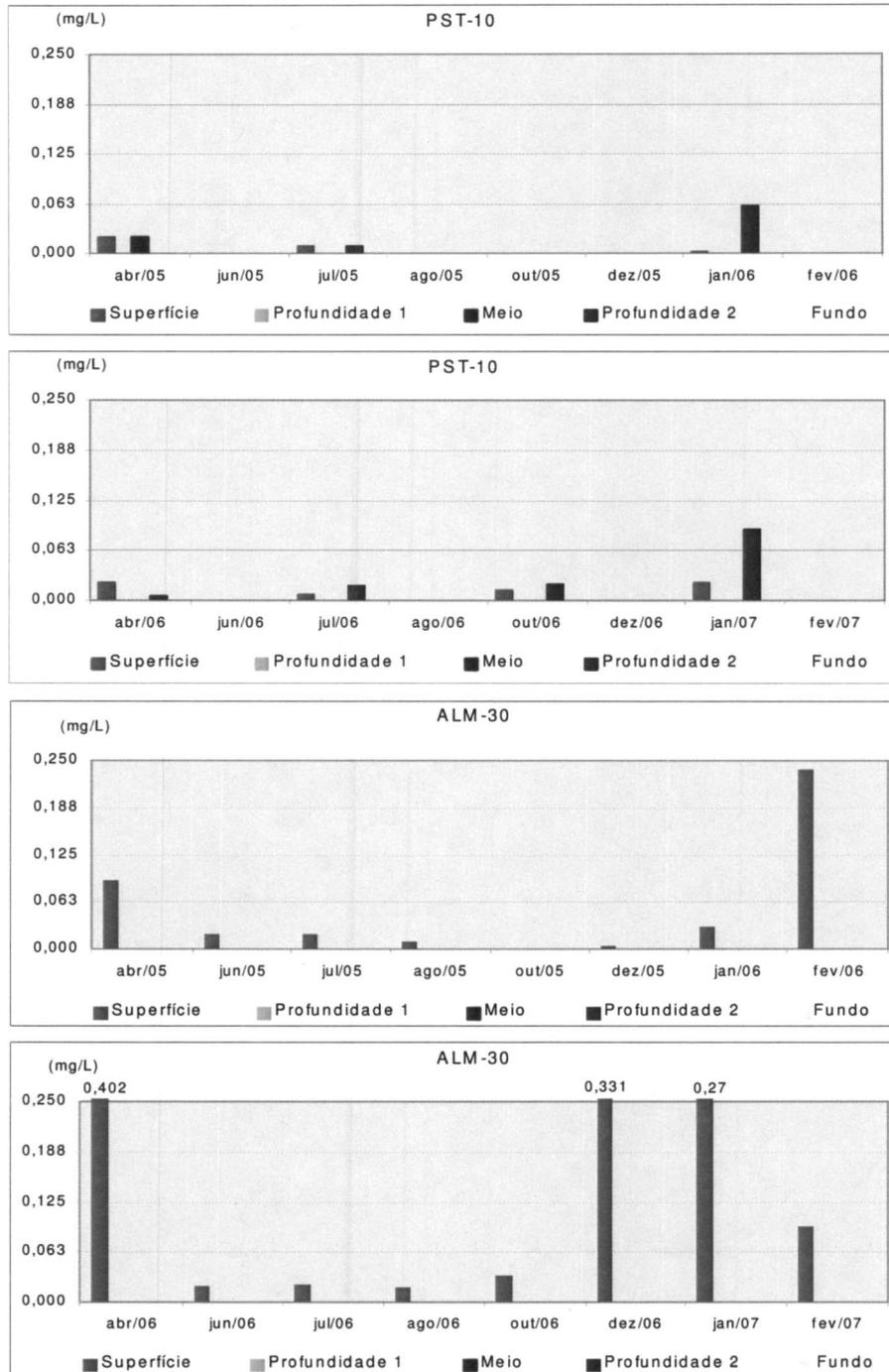


Figura 6.1.53 - Dados de fósforo total registrados nas estações PST-10 e ALM-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

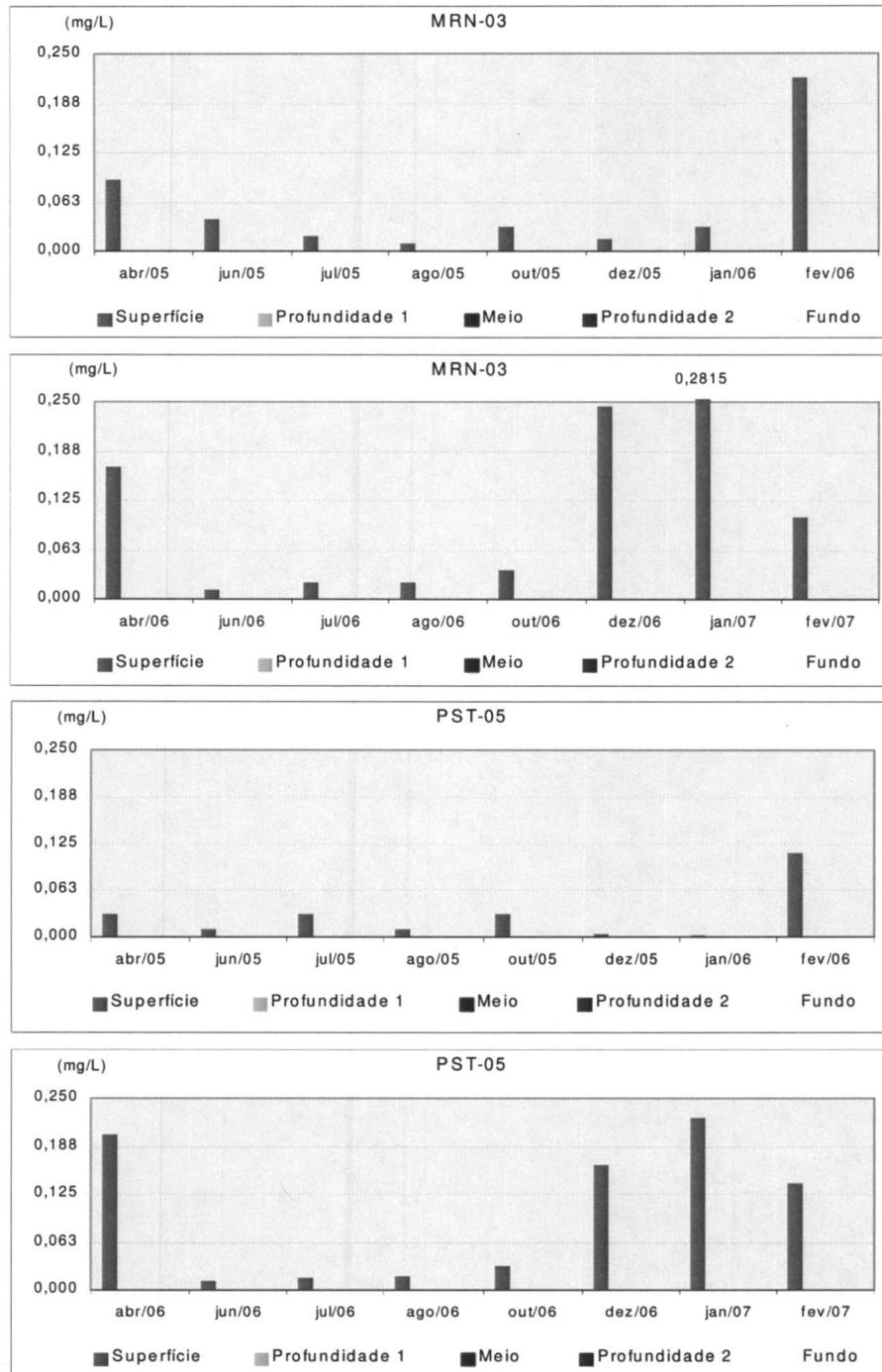


Figura 6.154 - Dados de fósforo total registrados nas estações MRN-03 e PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

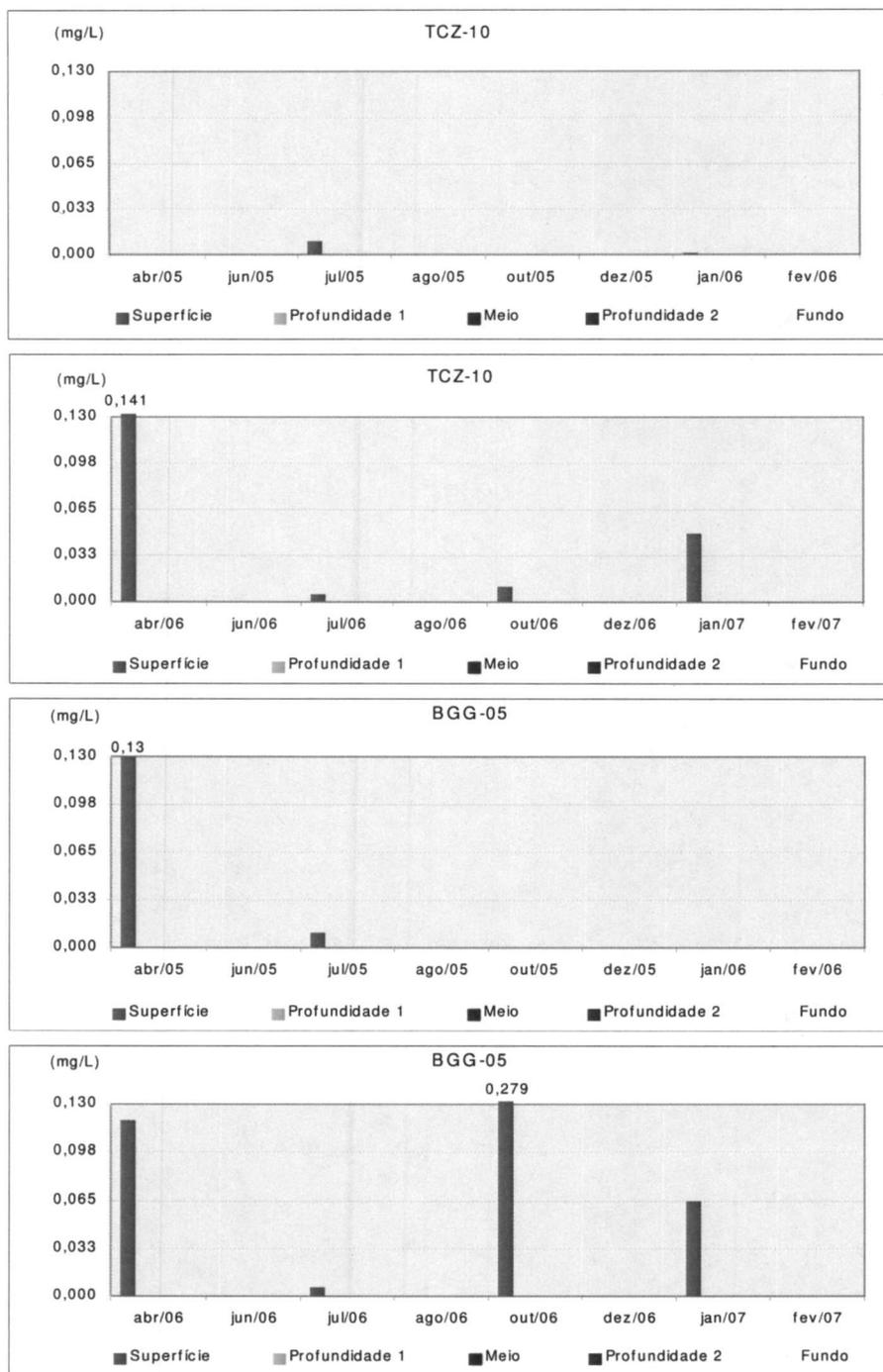


Figura 6.1.55 - Dados de fósforo total registrados nas estações TCZ-10 e BGG-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa. Escalas alteradas em relação às Figuras anteriores.

Os teores de fósforo dissolvido variaram entre valores abaixo de 0,001 mg/L e 0,082mg/L (Figuras 6.1.56 a 6.1.61), com o valor mais alto registrado na profundidade intermediária da estação MRN-50 em julho/2006. Na superfície deste ponto o valor máximo registrado foi de 0,017 mg/L.

Nas estações que representam a entrada do reservatório os valores variaram entre 0,001 mg/L e 0,218 mg/L, com o maior valor registrado na superfície da estação BGG-05. Na estação PST-05 também foi registrado um alto valor em fevereiro/2007, ou seja, 0,069mg/L na amostra de superfície.

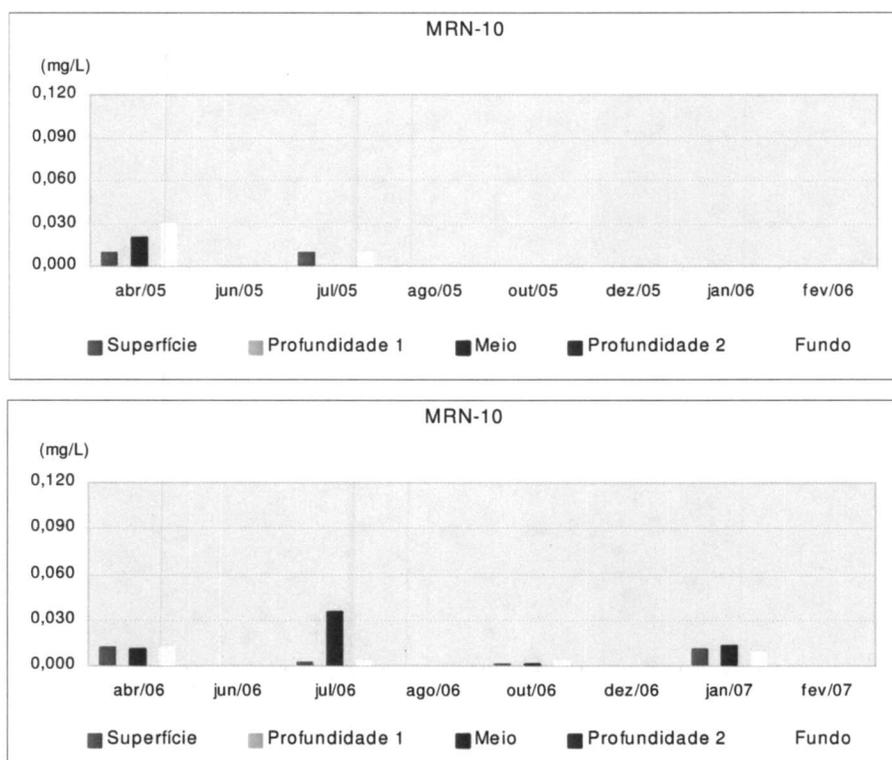


Figura 6.1.56 - Dados de fósforo dissolvido registrados na estação MRN-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

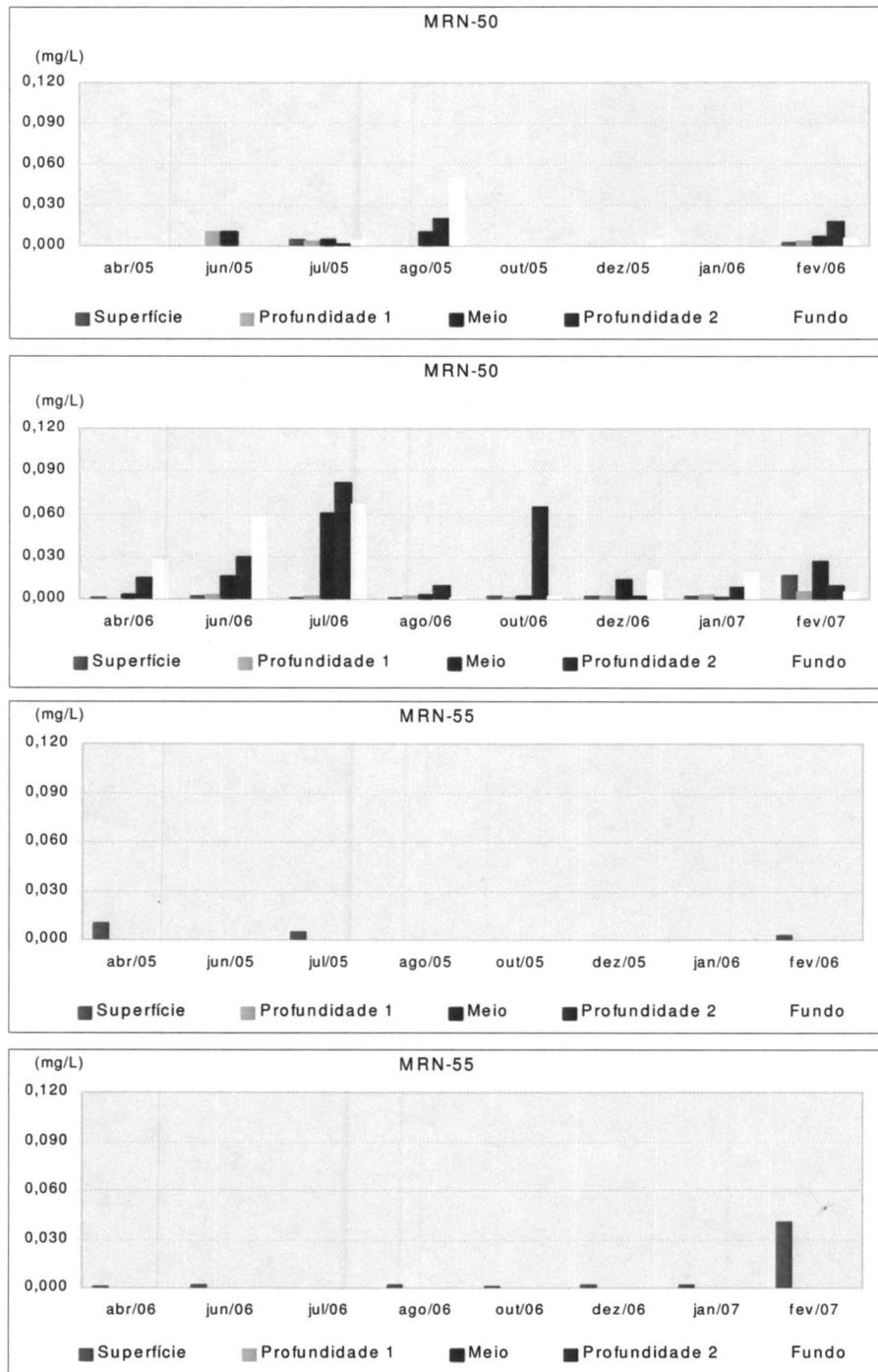


Figura 6.157 - Dados de fósforo dissolvido registrados na estação MRN-50 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

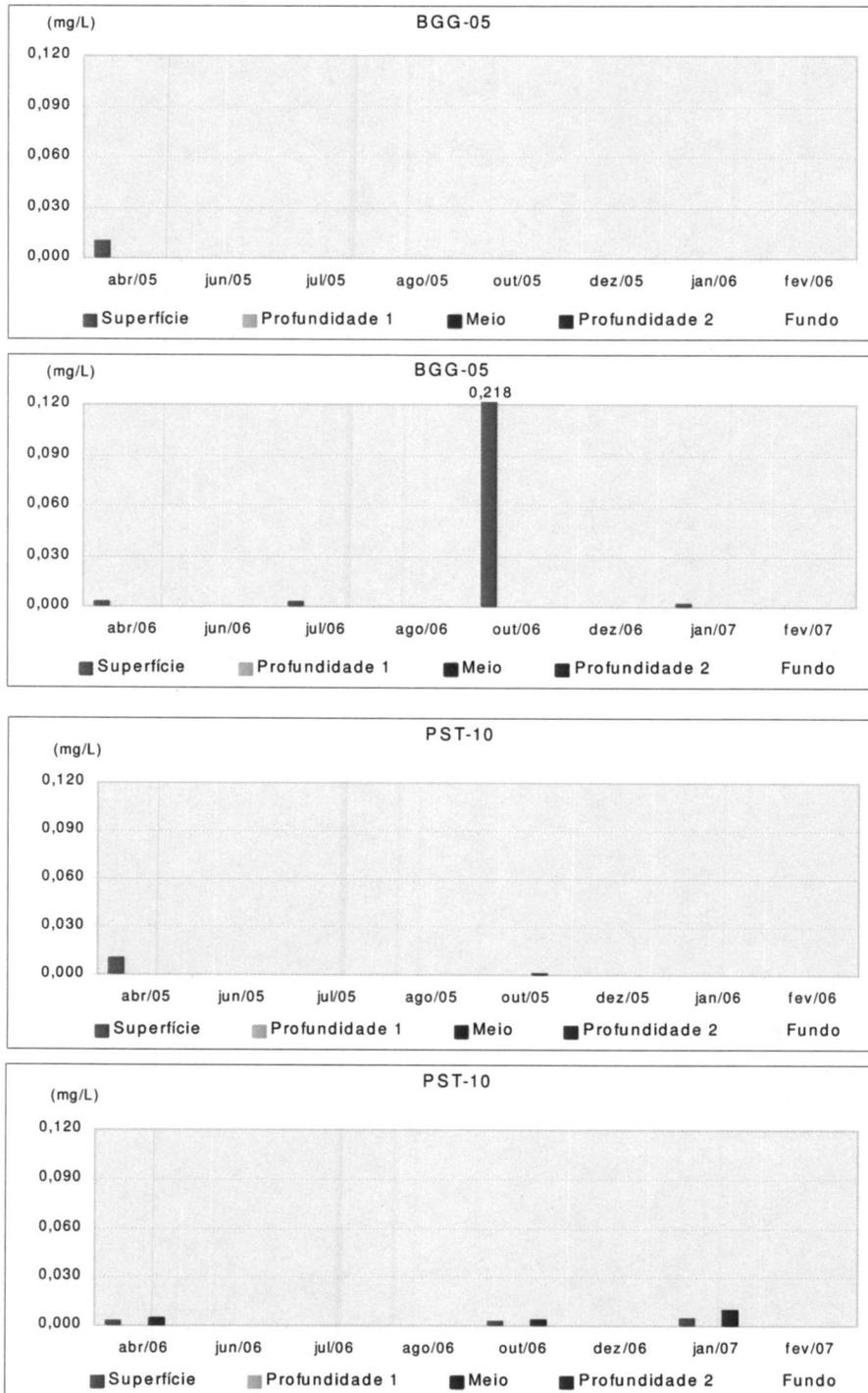


Figura 6.158 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações BGG-05 e PST-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

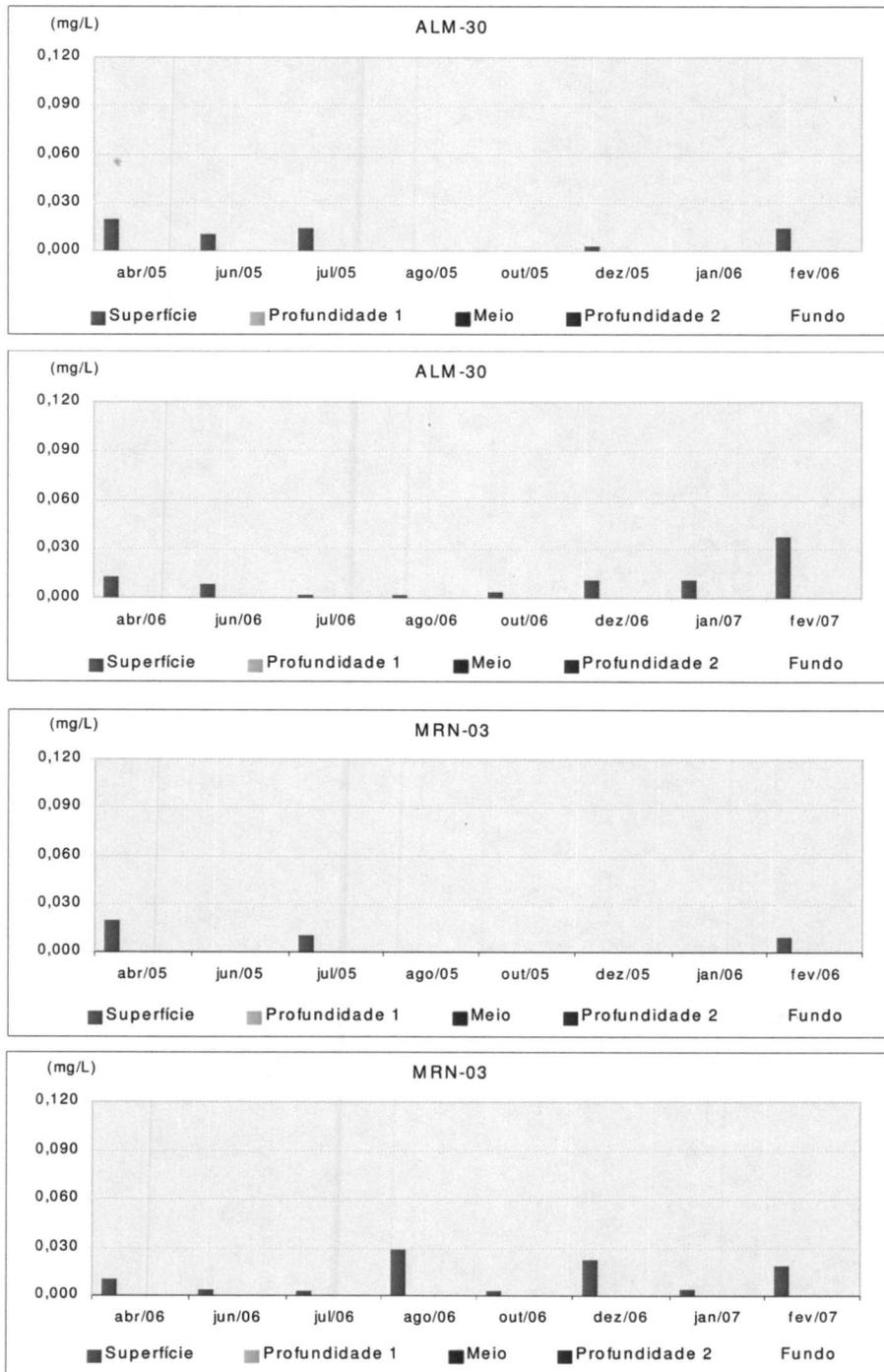


Figura 6.159 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações ALM-30 e MRN-03 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

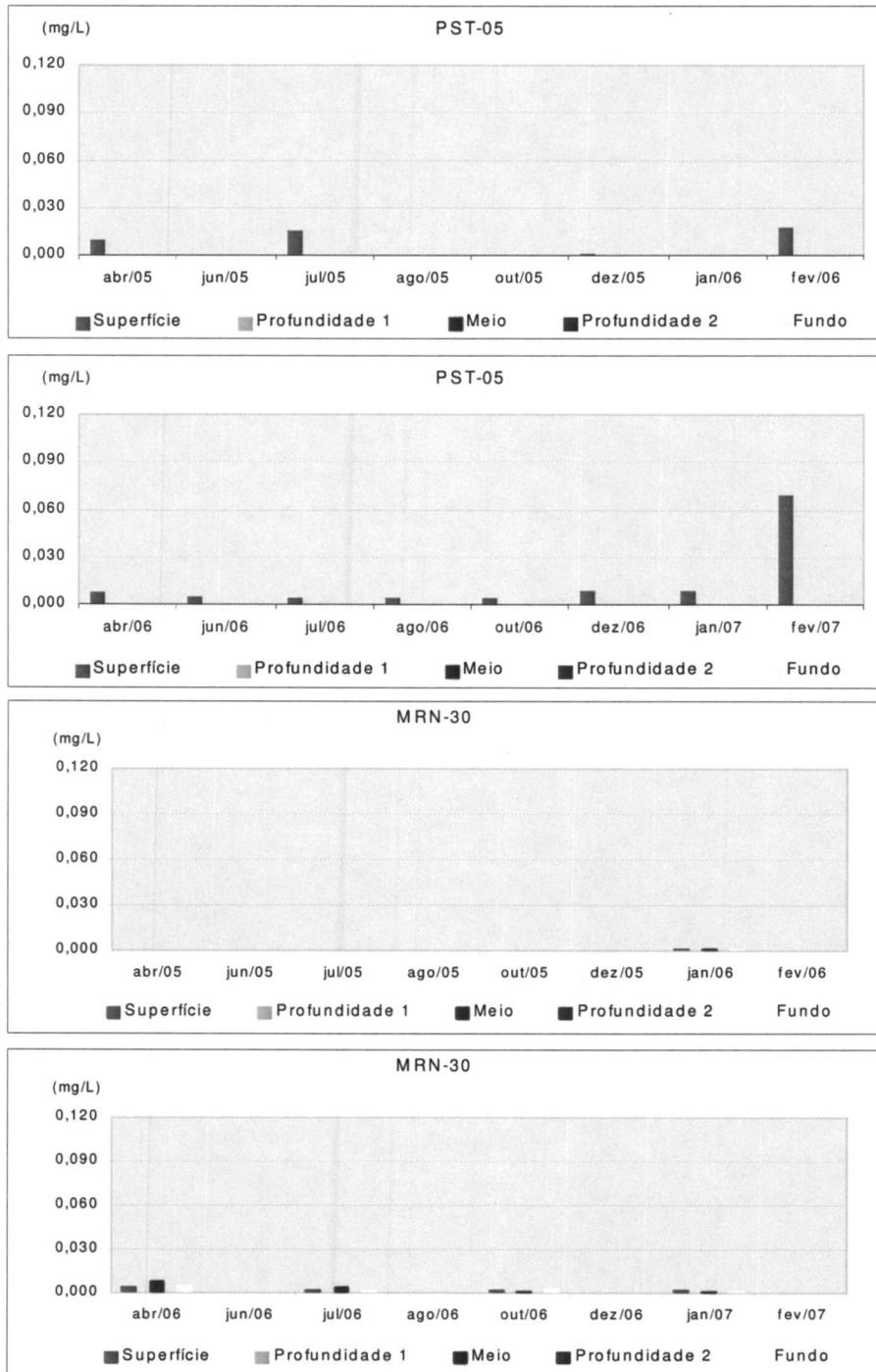


Figura 6.1.60 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações PST-05 e MRN-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

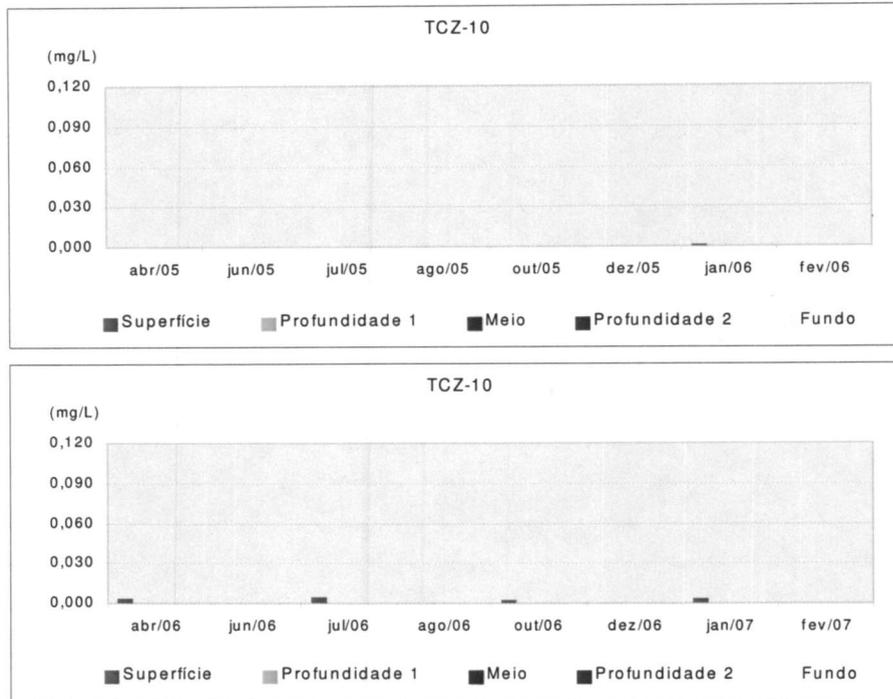


Figura 6.1.61 - Dados de fósforo dissolvido registrados nas estações TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

O ortofosfato dissolvido foi detectado em concentrações que variaram entre valores abaixo de 0,001 mg/L e 0,052 mg/L. O maior valor foi registrado na maior profundidade da estação MRN-50, em julho/2006. Nas estações de cabeceira os resultados variaram de valores abaixo de 0,001 mg/L a 0,014 mg/L, sendo que este último valor foi registrado na estação ALM-30 em fevereiro/2006. As Figuras 6.1.62 a 6.1.65 mostram a variação do ortofosfato dissolvido nos pontos e campanhas do monitoramento, a ausência de gráficos para alguns deles indicam valores abaixo do limite de detecção do método.

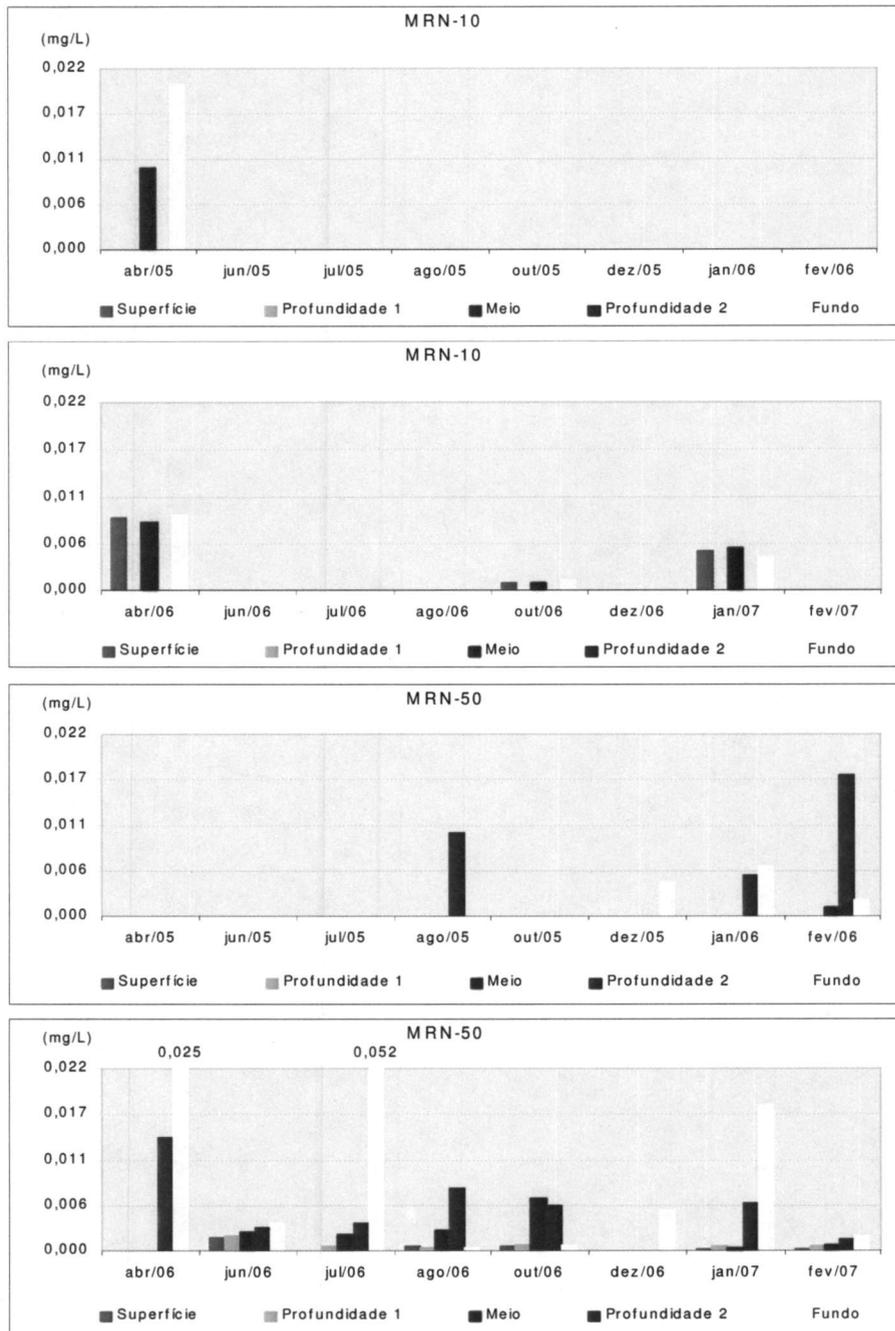


Figura 6.1.62 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados na estação MRN-10 e MRN-50 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

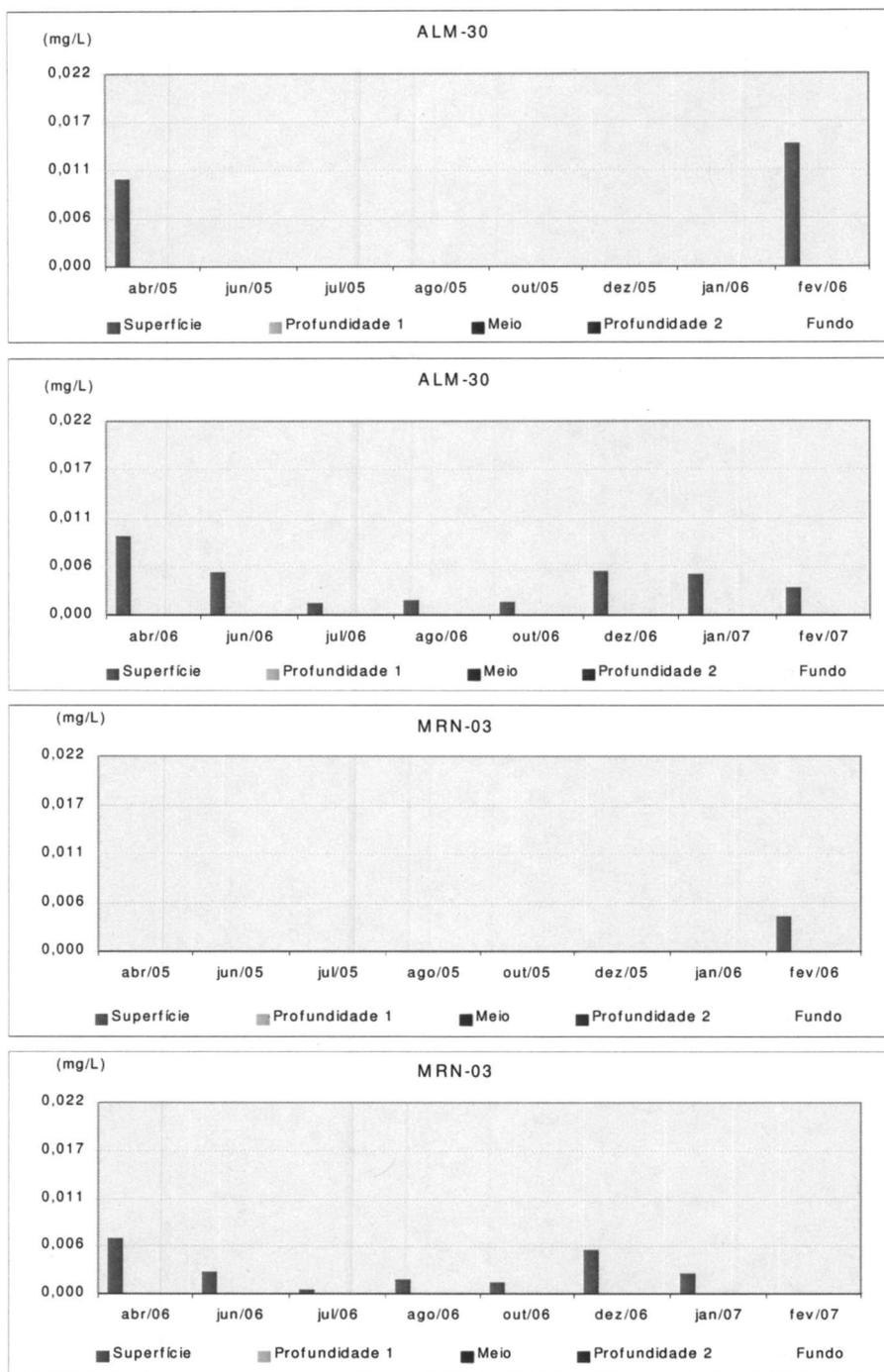


Figura 6.1.63 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados nas estações ALM-30 e MRN-03 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

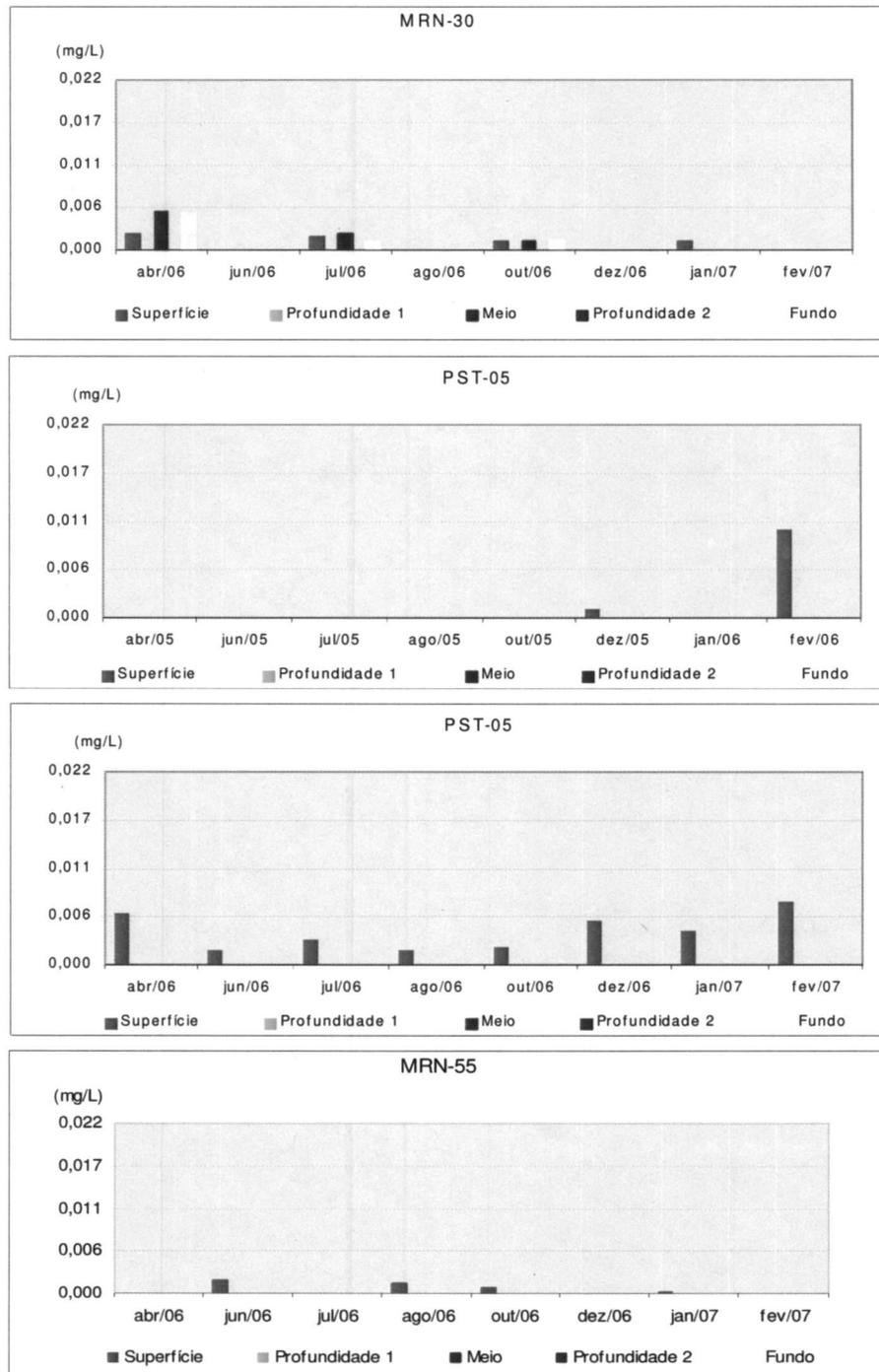


Figura 6.1.64 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados nas estações MRN-30, PST-05 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

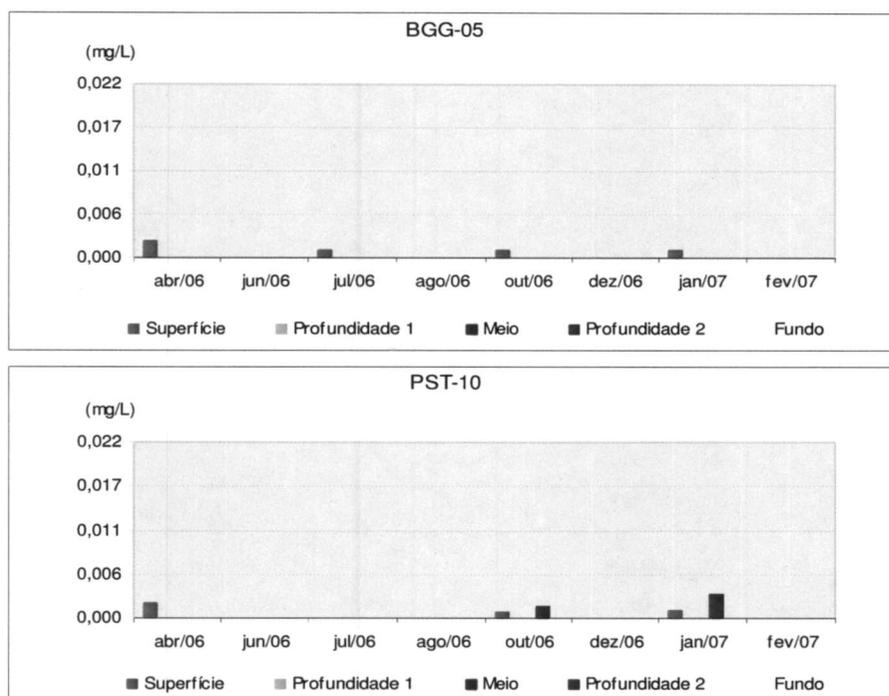


Figura 6.1.65 - Dados de ortofosfato dissolvido registrados nas estações BGG-05 e PST-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

Nitrogênio

O nitrogênio é extremamente importante nos ecossistemas aquáticos, participa da formação de proteínas no metabolismo dos organismos vivos, sendo necessário sobretudo na alimentação das algas e plantas aquáticas. Devido às constantes interferências antrópicas no meio, tem se tornado uma das principais causas de eutrofização dos ambientes aquáticos.

O nitrogênio pode estar presente no meio aquático em diversos compostos orgânicos e nas formas inorgânicas de nitrato, nitrito, amônia, podendo se originar da fixação do nitrogênio molecular (N_2), tanto na água como nos sedimentos, da precipitação atmosférica e das drenagens superficiais e subterrâneas (WETZEL, 1983). O nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrada nas águas e estimulam o desenvolvimento de plantas, sendo que organismos aquáticos, como algas, florescem na presença deste. Concentrações de nitrogênio de 0,3 mg/L em lagos são suficientes para induzir a proliferação de algas (BRANCO, 1986). As principais fontes de nitrato são os despejos humanos e animais. Dependendo da concentração da amônia, ela pode tornar-se tóxica para comunidade de peixes. Concentrações de amônia superiores a 0,25 mg/L afetam o desenvolvimento dos peixes, sendo letais quando superiores a 0,5 mg/L.



MULTIGEO

Os dados de nitrogênio total representam a somatória de nitrogênio Kjeldhal, nitrato e nitrito. Durante o monitoramento, o nitrogênio total variou de 0,01 mg/L até 2,23 mg/L, com o maior valor detectado no ponto MRN-50 na profundidade intermediária (50 metros) em outubro/2005 (Figuras 6.1.66 a 6.1.71). Na superfície deste ponto, o valor máximo registrado foi de 0,48 mg/L.

Dentre as outras estações, o PST-10 se destaca, principalmente pela concentração encontrada em outubro/2005 (2,20 mg/L) na maior profundidade de coleta.

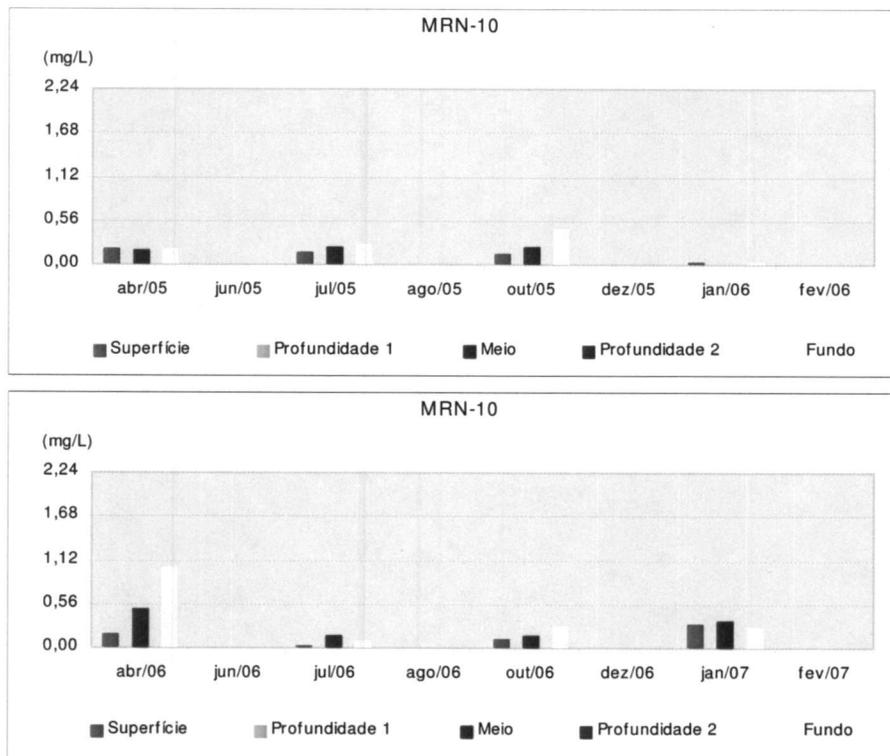


Figura 6.1.66 - Dados de nitrogênio total registrados na estação MRN-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

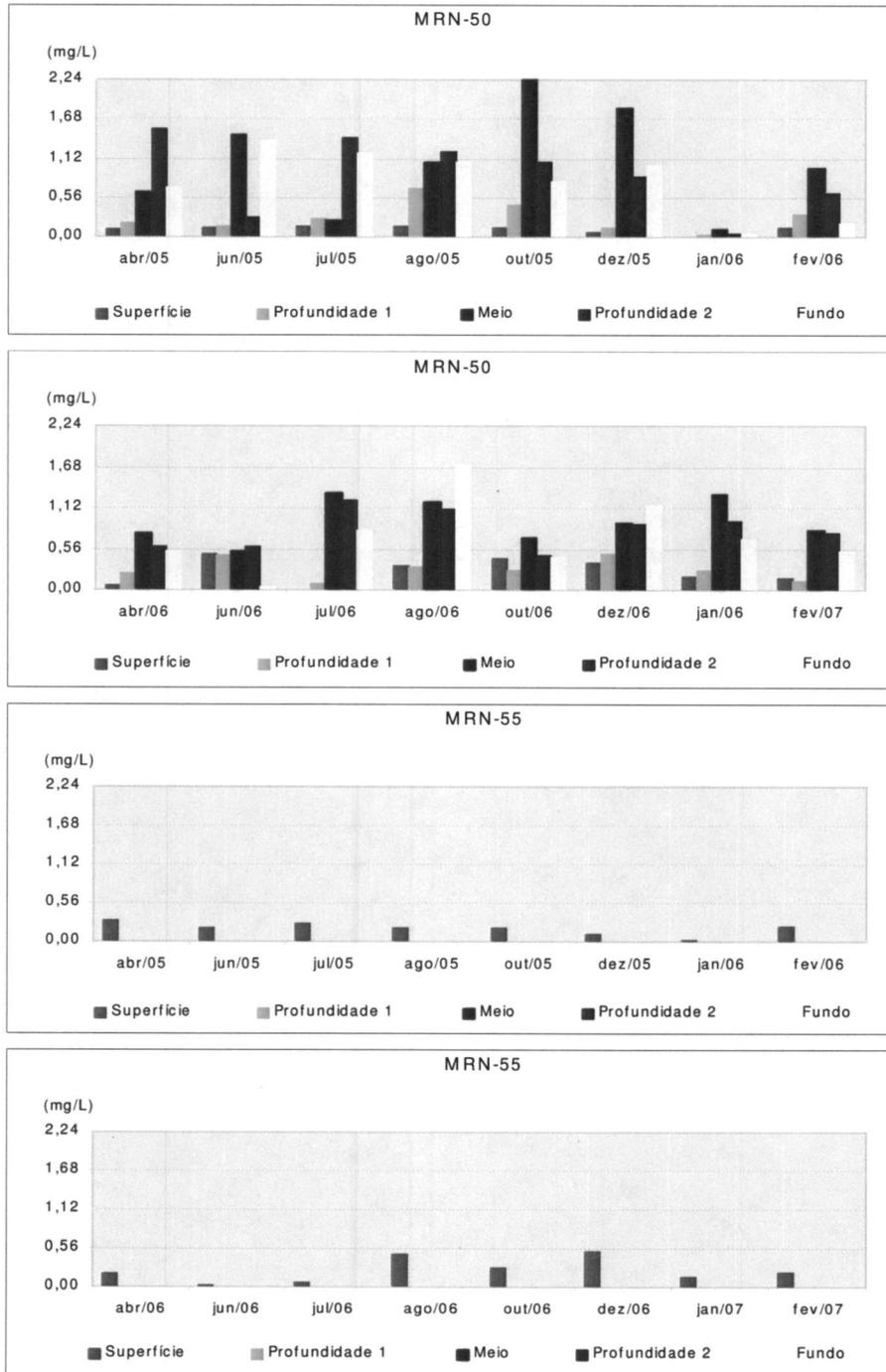


Figura 6.1.67 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações MRN-50 e MRN-55 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

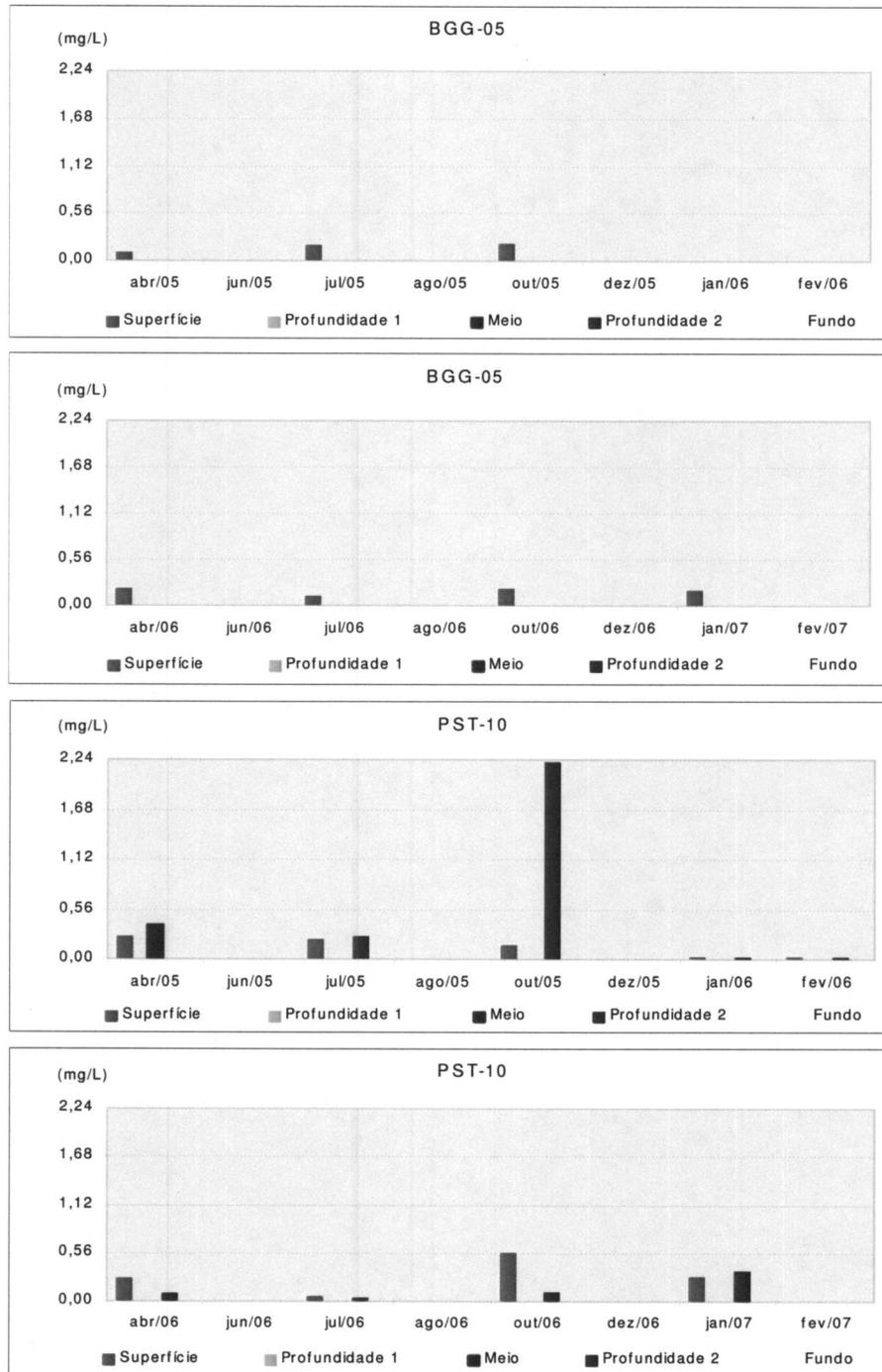


Figura 6.1.68- Dados de nitrogênio total registrados nas estações BGG-05 e PST-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

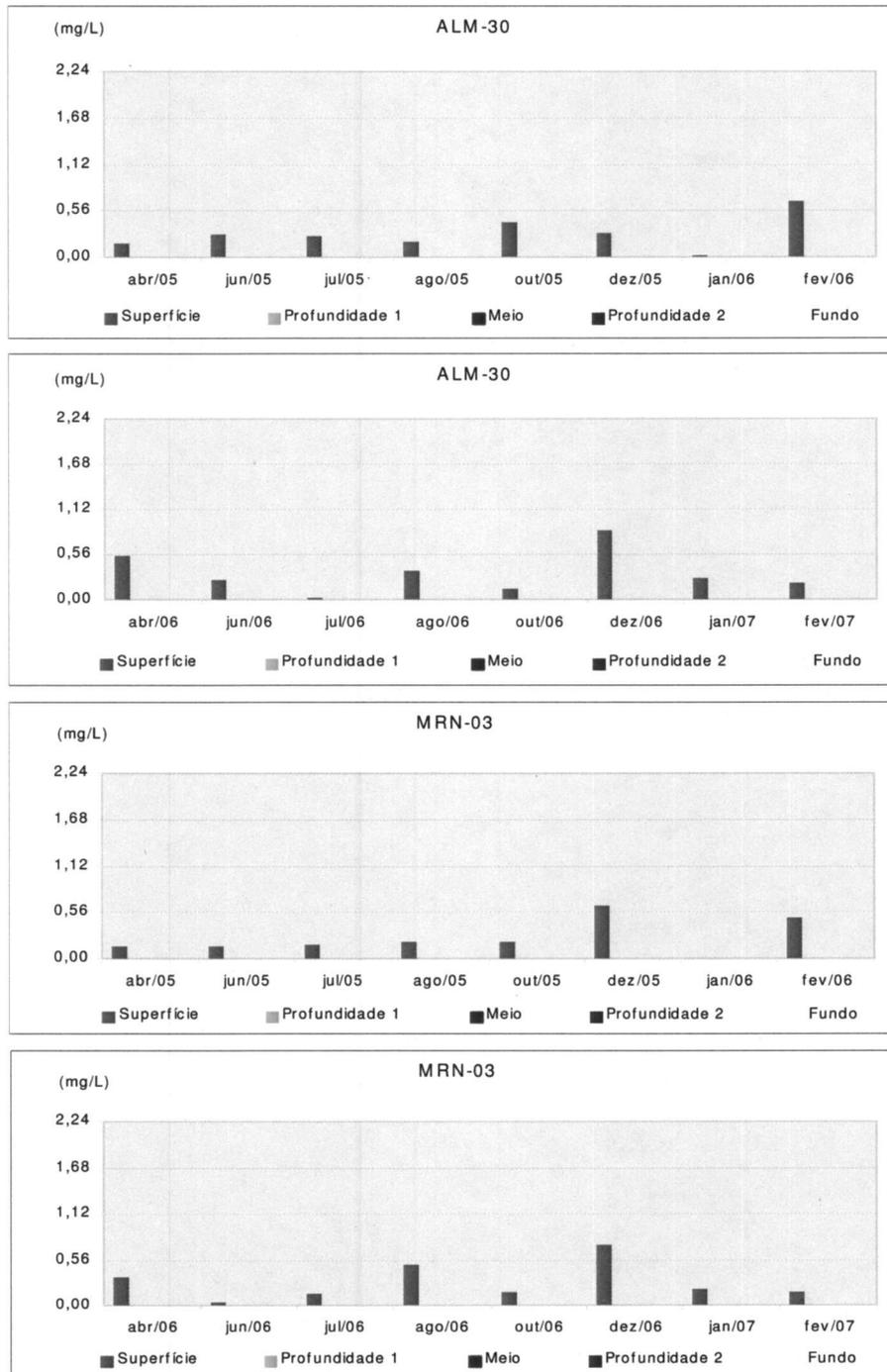


Figura 6.1.69 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações ALM-30 e MRN-03 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

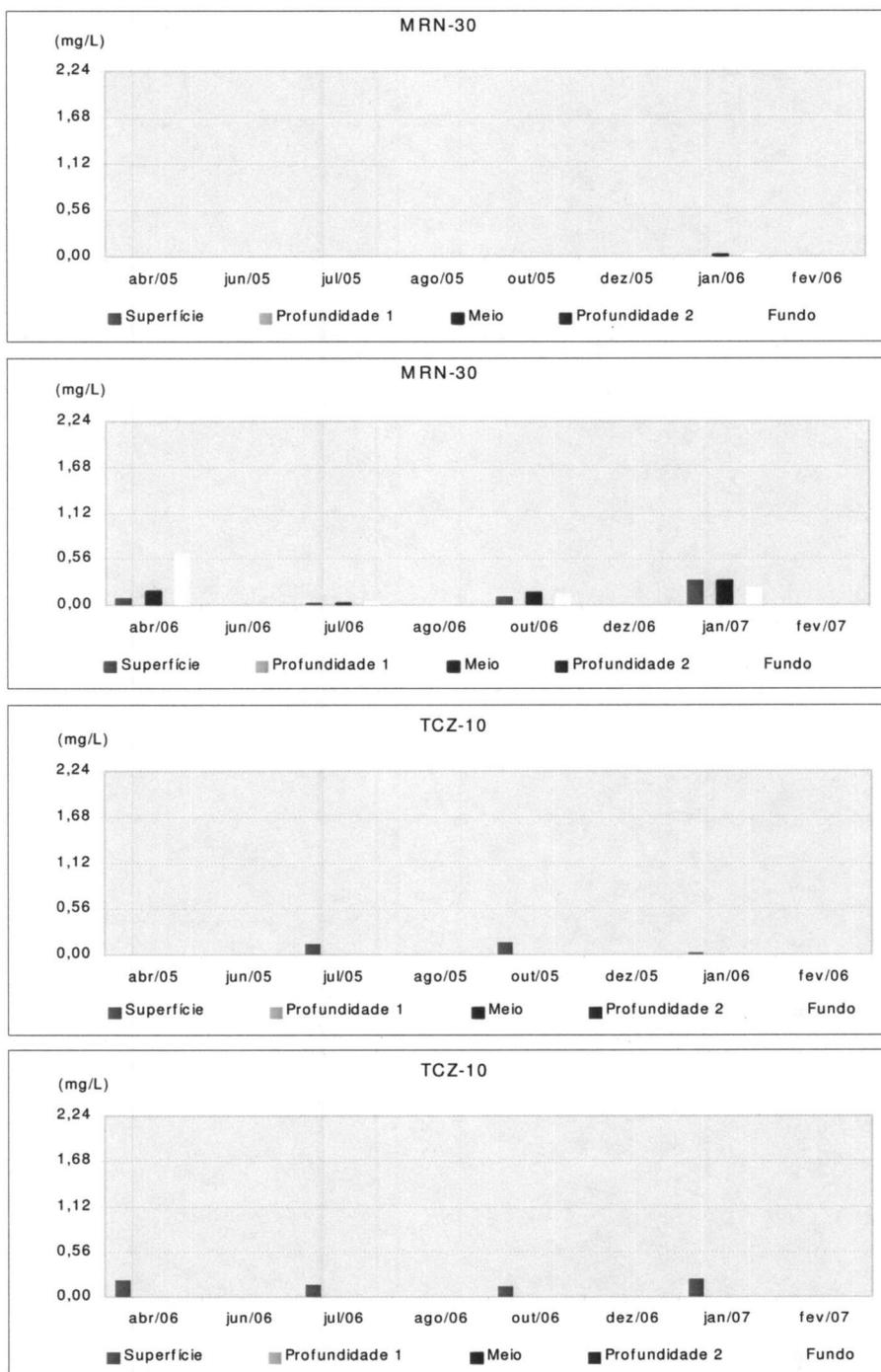


Figura 6.1.70 - Dados de nitrogênio total registrados nas estações MRN-30 e TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

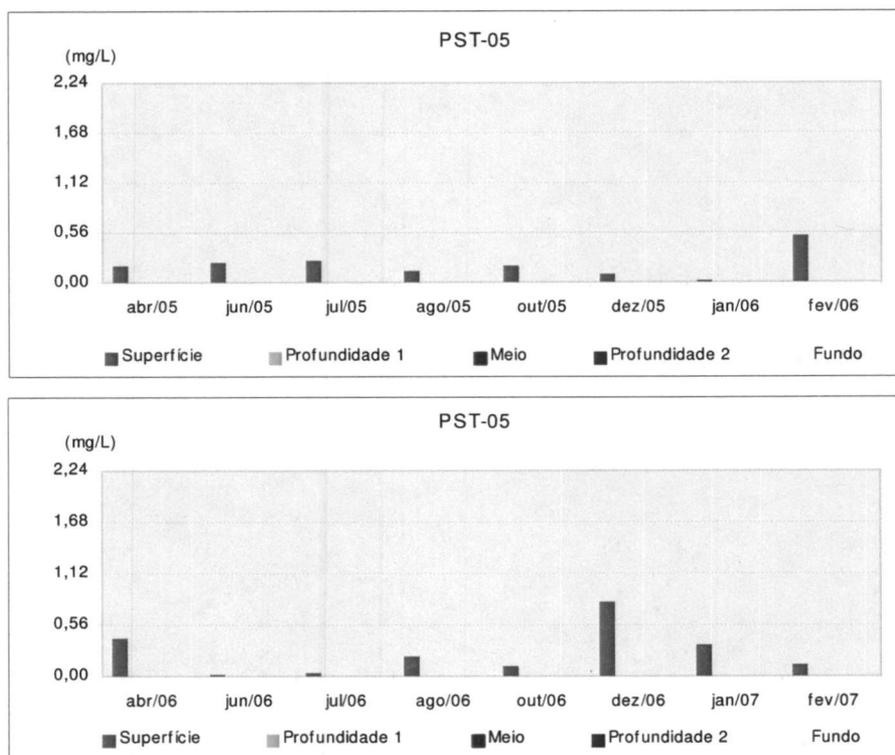


Figura 6.1.71 - Dados de nitrogênio total registrado na estação PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

Nas diversas campanhas o nitrogênio amoniacal variou entre valores abaixo de 0,01 mg/L e 0,97 mg/L (Figuras 6.1.74 a 6.1.76), com o maior valor detectado na estação MRN-50, na campanha de abril/2005, profundidade intermediária de 80 metros. De modo geral, a situação é semelhante ao ocorrido para o nitrogênio total, quando concentrações mais altas ocorreram nas profundidades intermediárias. Além disso, verifica-se que no ponto PST-10 foi observada concentração de 0,95 mg/L.

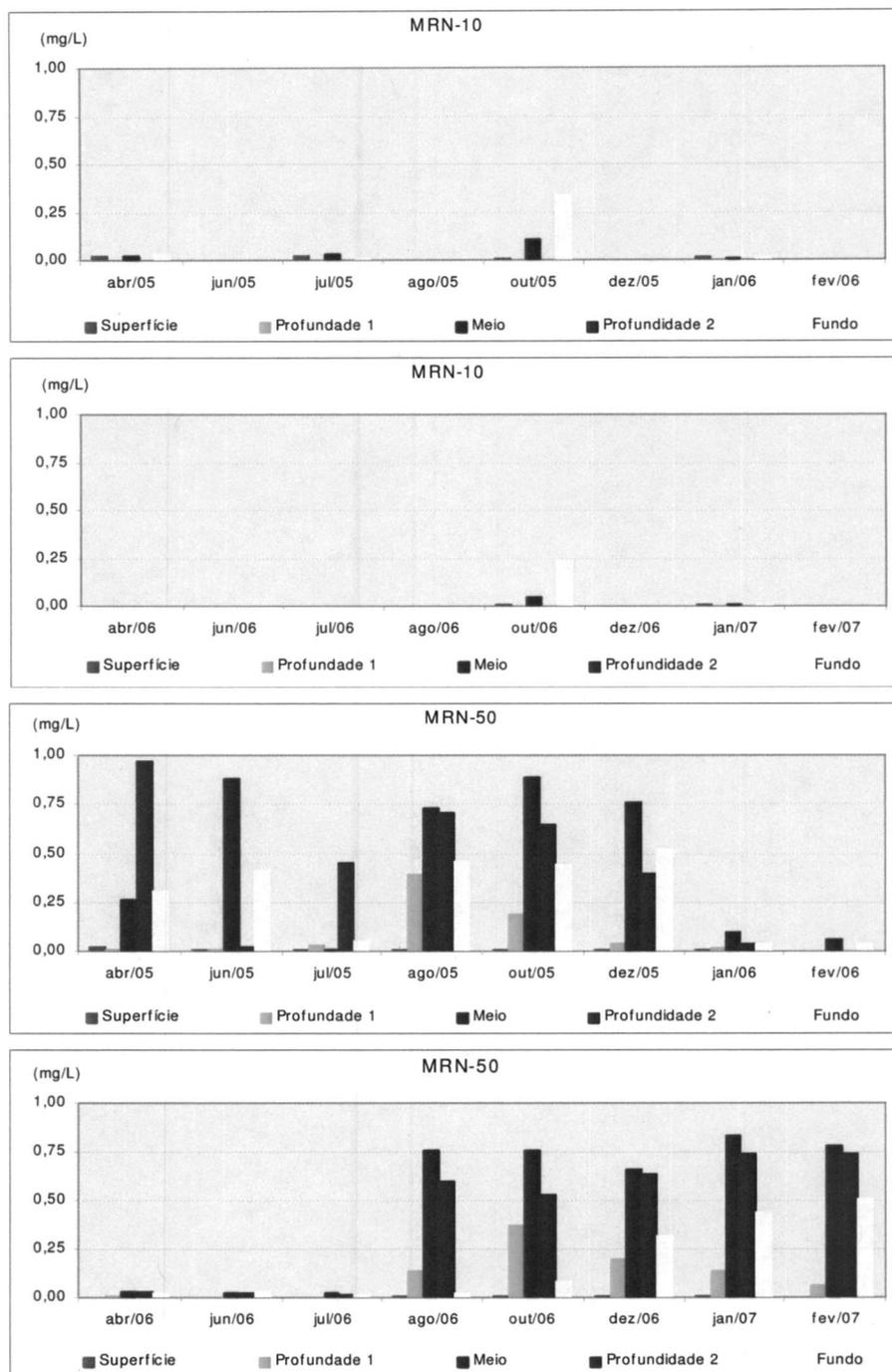


Figura 6.1.72 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-10 e MRN-50 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

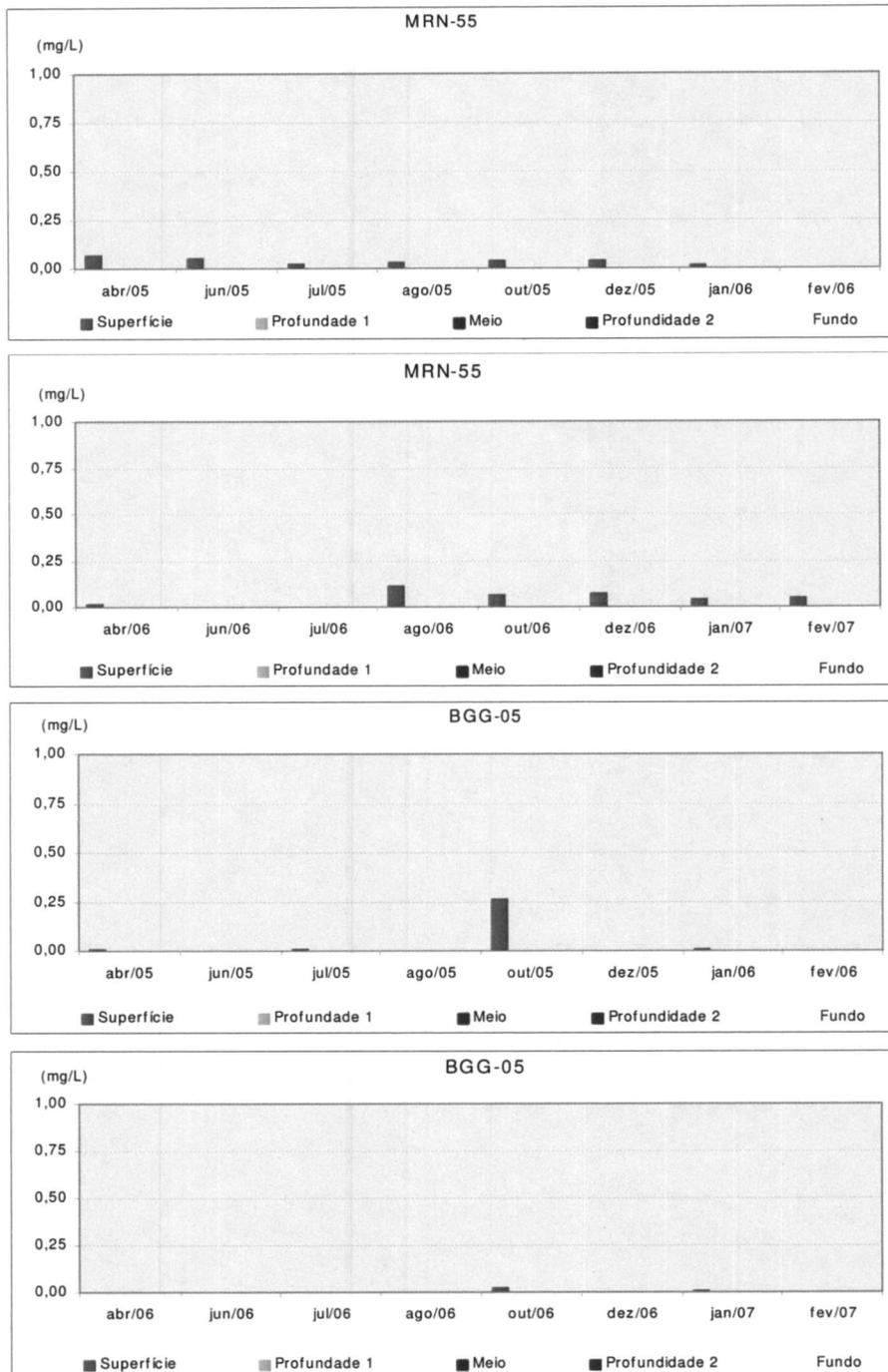


Figura 6.1.73 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-55 e BGG-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

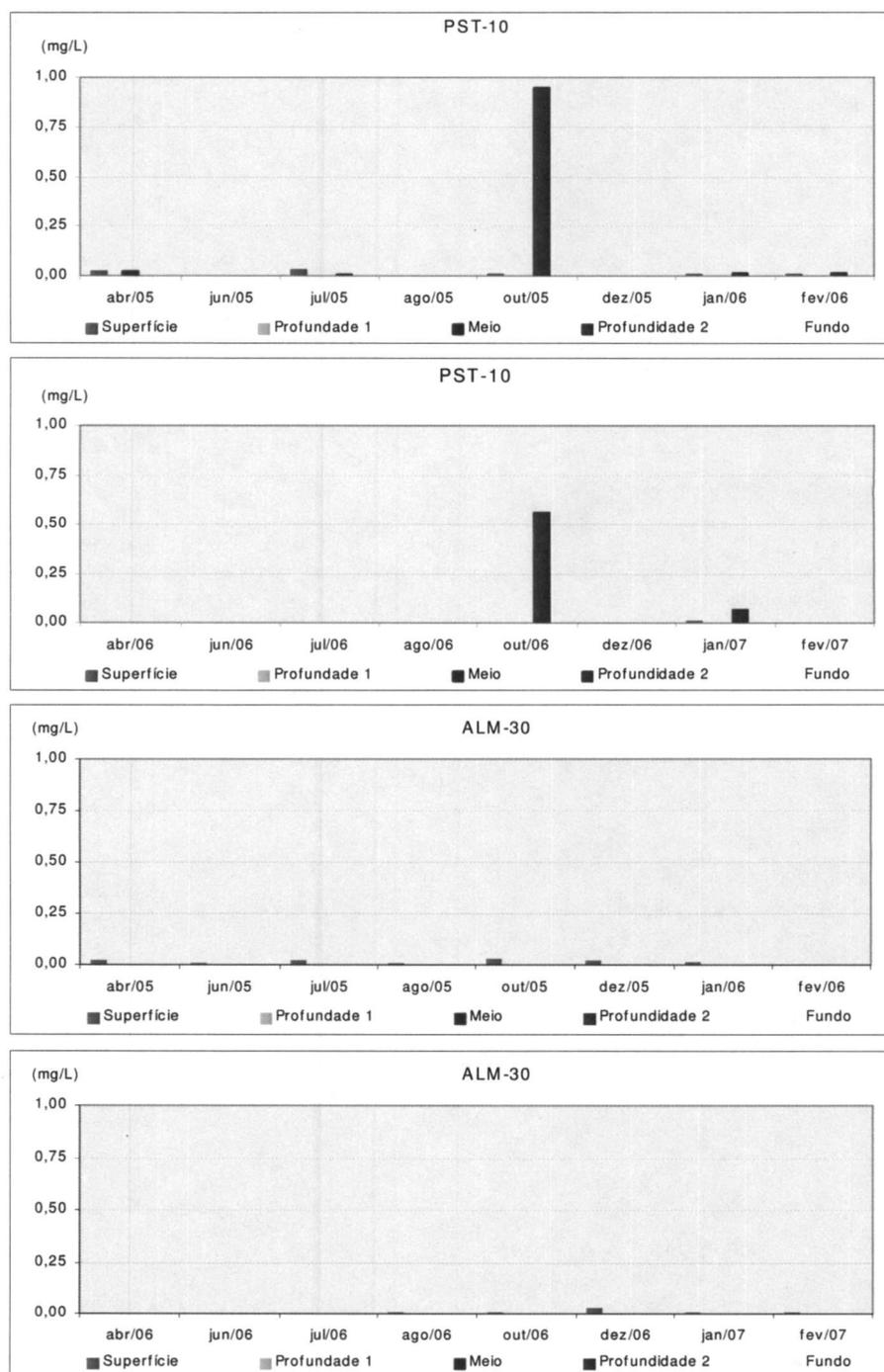


Figura 6.1.74 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações PST-10 e ALM-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

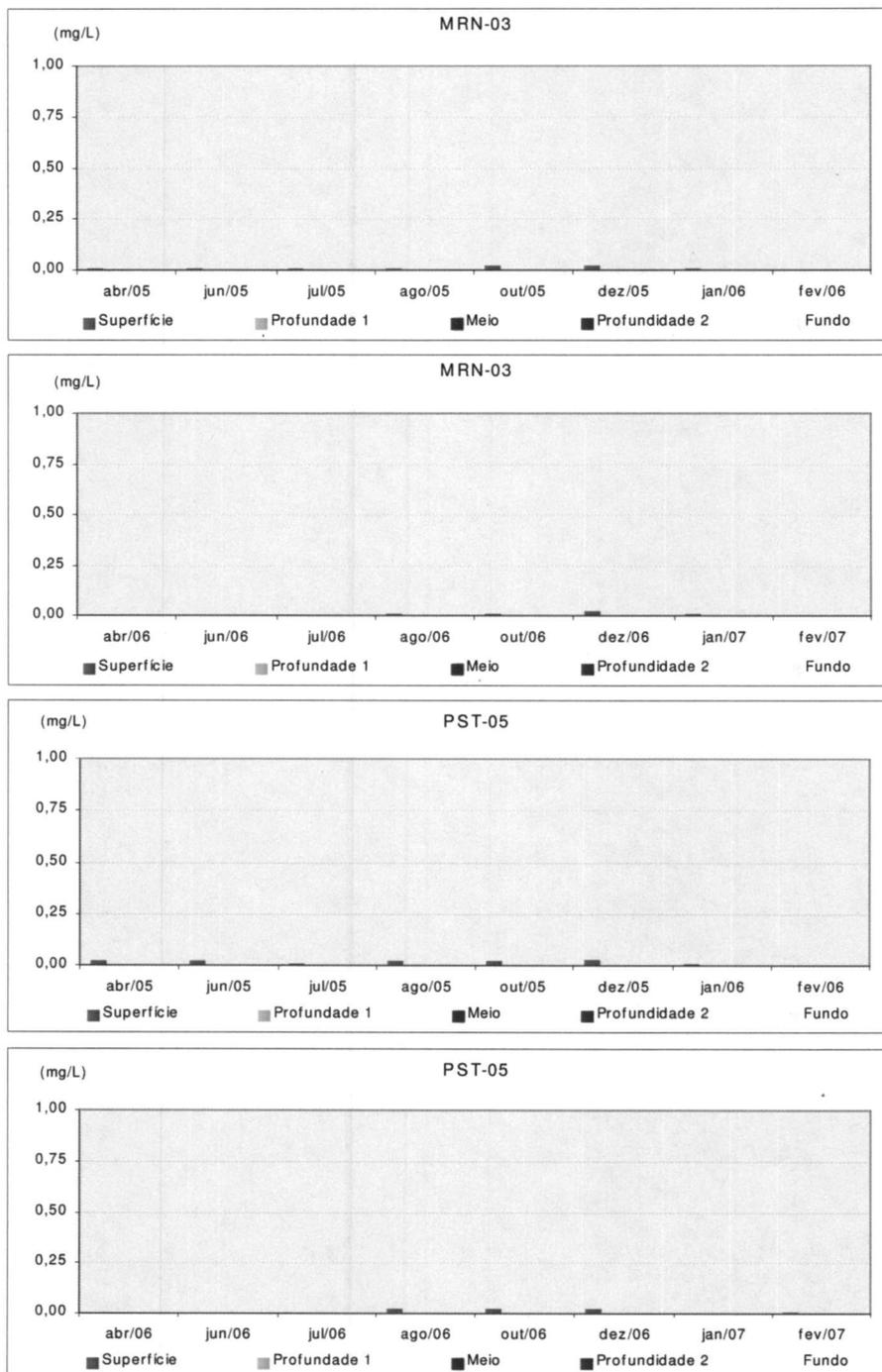


Figura 6.1.75 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-03 e PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

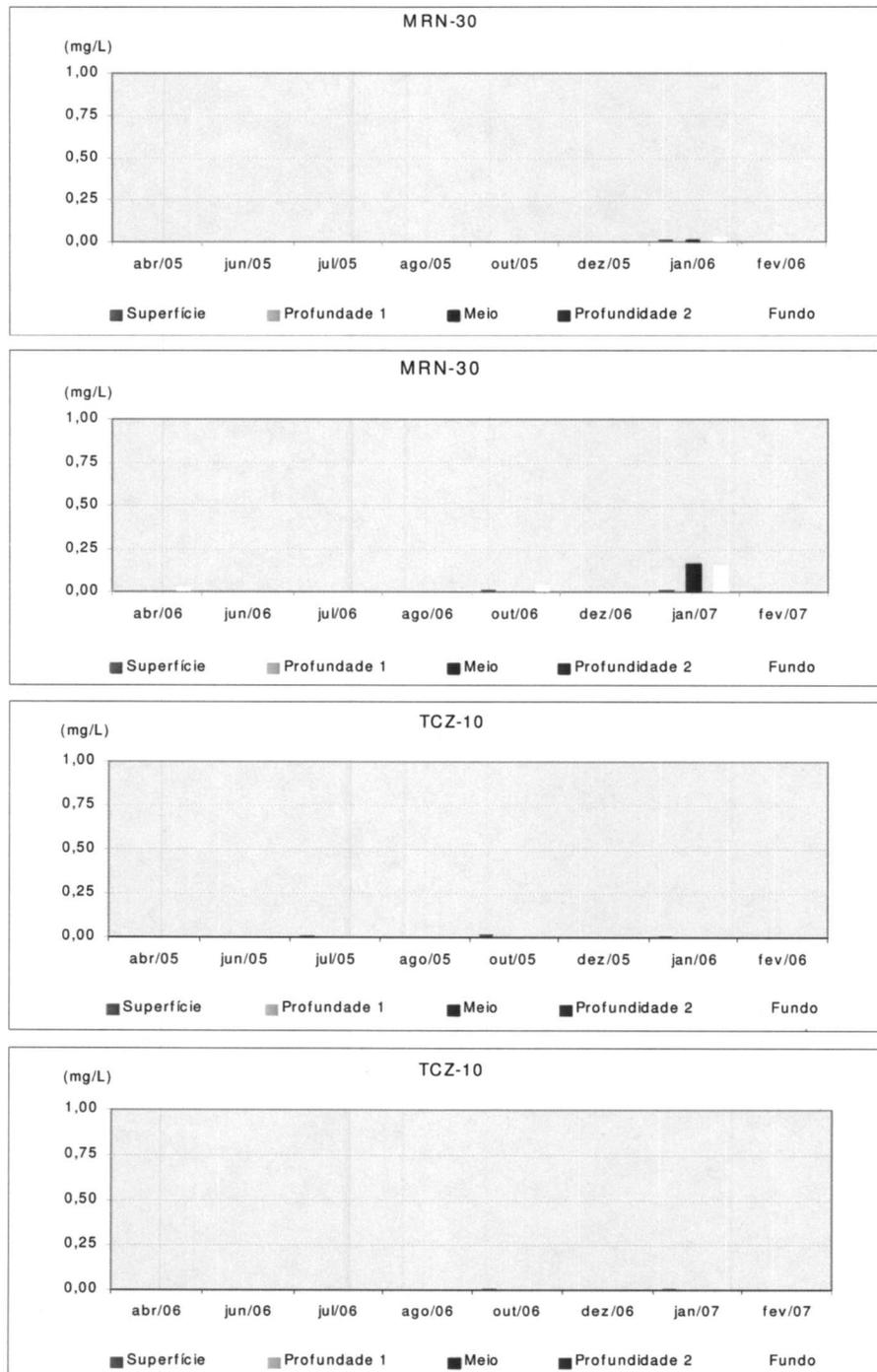


Figura 6.1.76 - Dados de nitrogênio amoniacal registrados nas estações MRN-30 e TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

As concentrações de nitrato variaram de valores menores que 0,04 mg/L a 0,24 mg/L durante o período (Figuras 6.1.77 a 6.1.81). O maior valor foi encontrado na profundidade intermediária do ponto MRN-10 em abril/2006. Adicionalmente, em julho/2005 o rio Bilháguas (BLG-10) foi amostrado e registrou-se o valor de 0,45 mg/L de nitrato. Nas cabeceiras os valores máximos encontrados variaram entre valores abaixo de 0,04 e 0,23 mg/L. Na estação MRN-50, o maior valor registrado foi de 0,16 mg/L tanto na superfície como nas profundidades. A legislação estabelece o limite de 10 mg/L para nitrato nos corpos d'água classe 2.

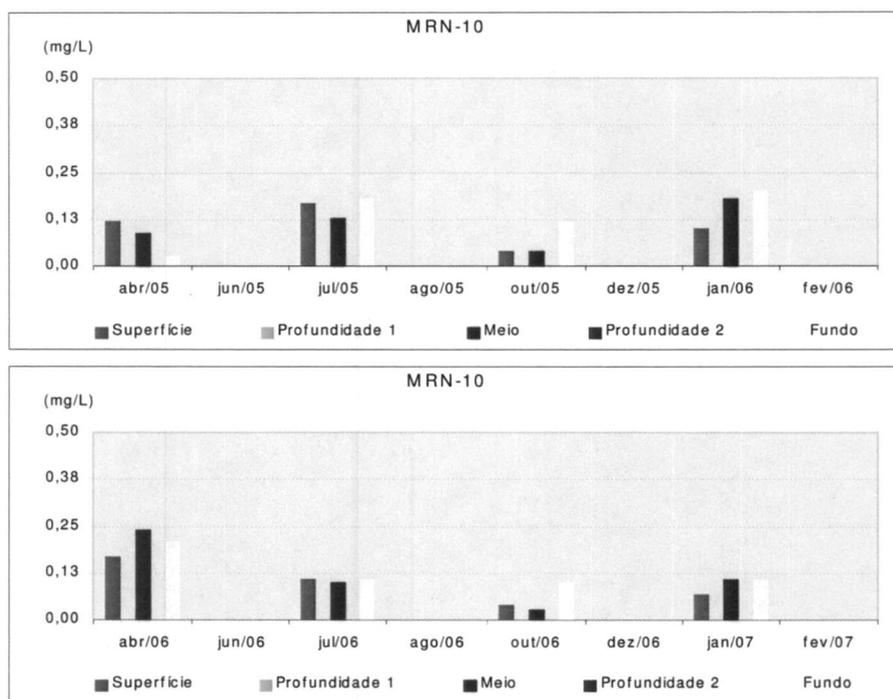


Figura 6.1.77 - Dados de nitrato registrados na estação MRN-10 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

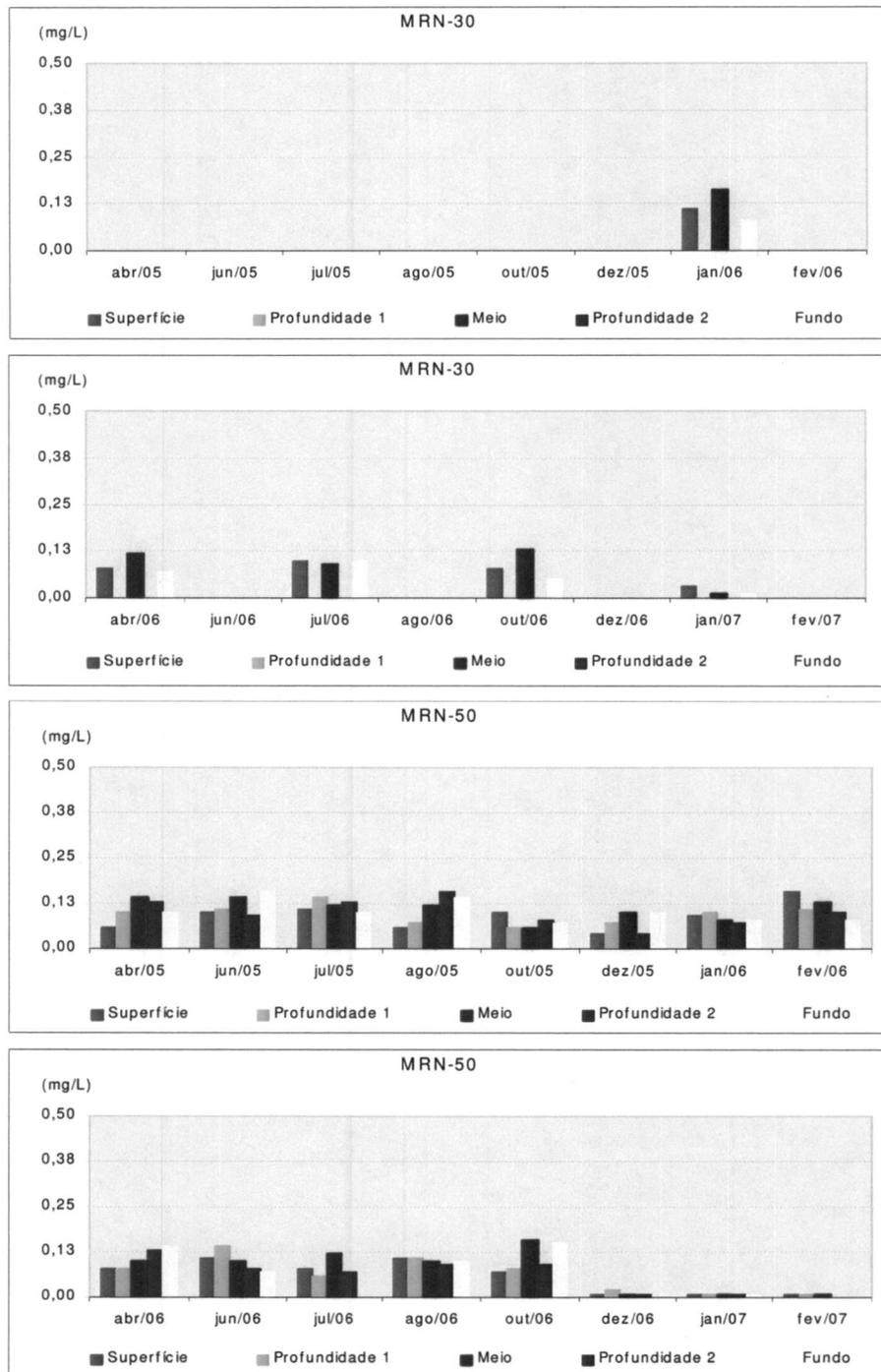


Figura 6.1.78 - Dados de nitrato registrados nas estações MRN-30 e MRN-50 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

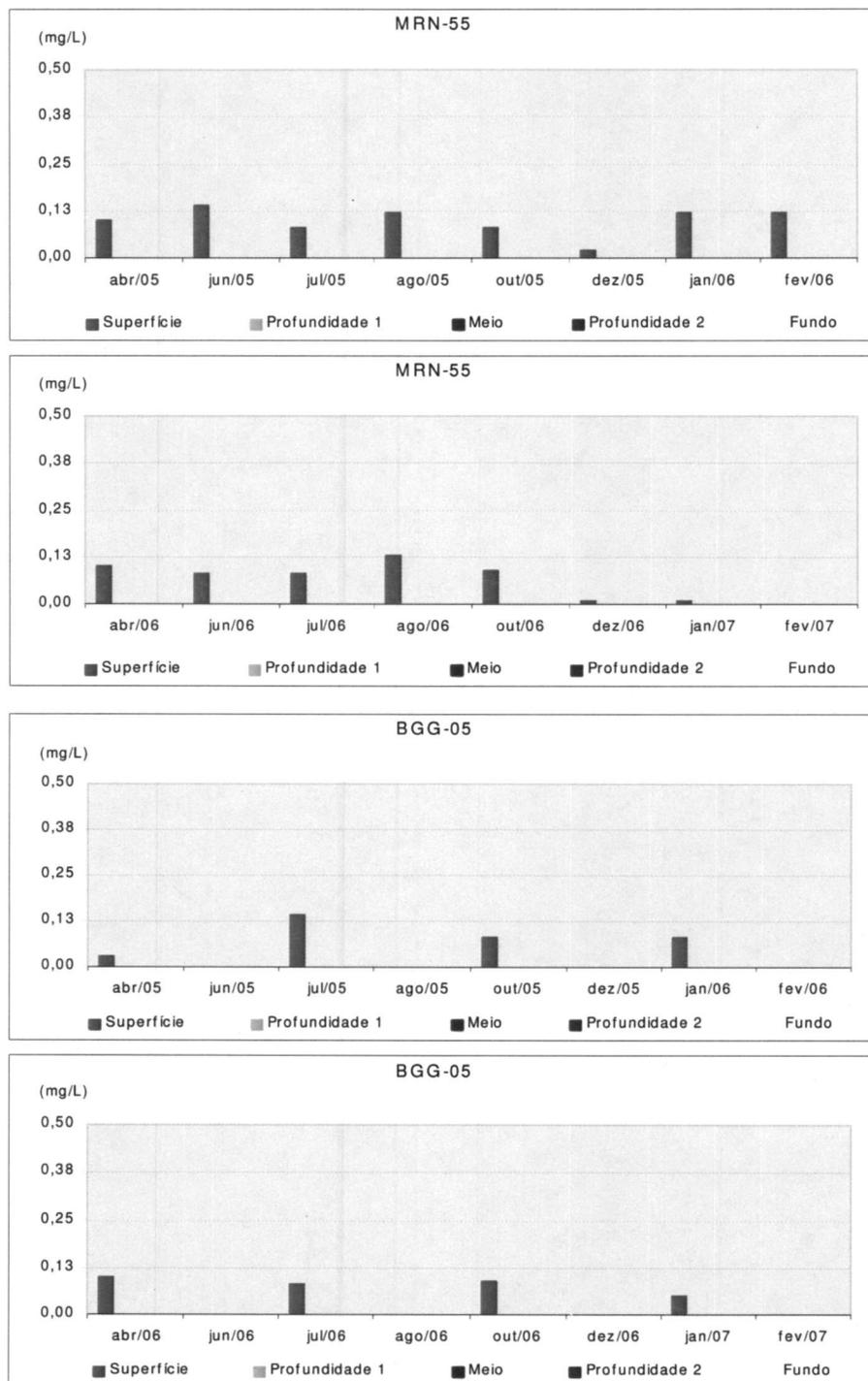


Figura 6.1.79 - Dados de nitrato registrados nas estações MRN-55 e BGG-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

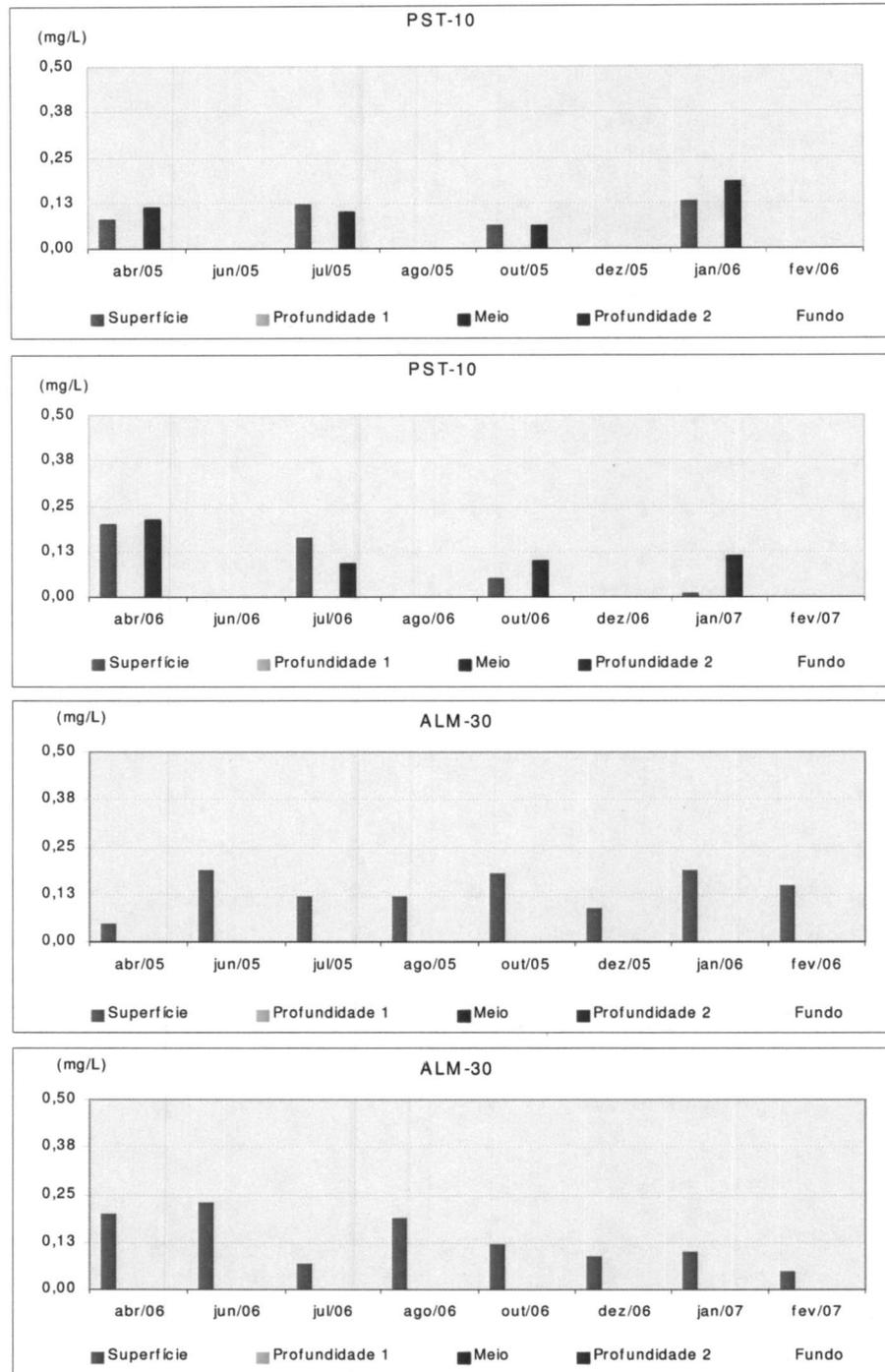


Figura 6.1.80 - Dados de nitrato registrados nas estações PST-10 e ALM-30 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

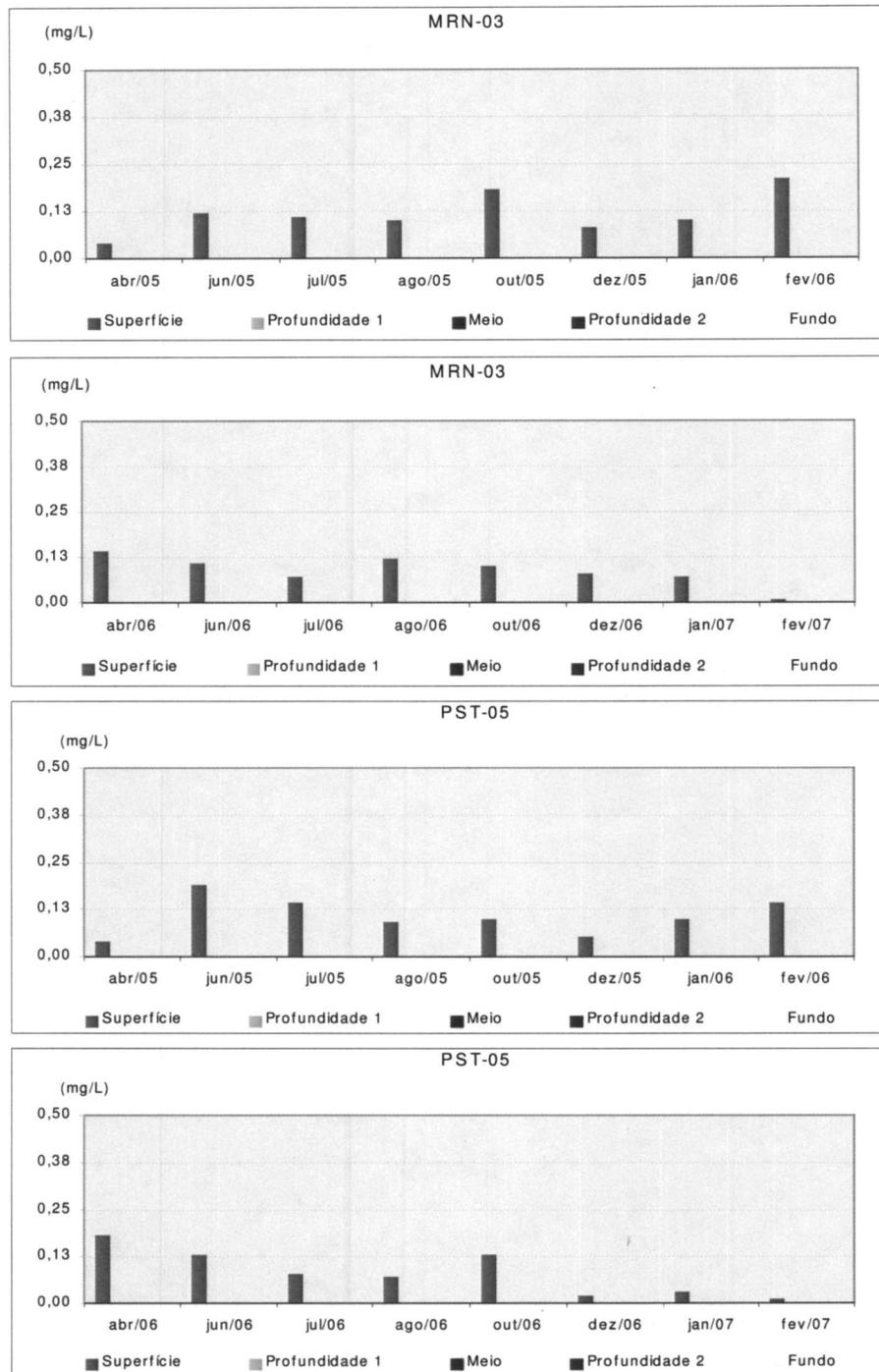


Figura 6.1.81 - Dados de nitrato registrados nas estações MRN-03 e PST-05 durante o Monitoramento Limnológico do UHE - Serra da Mesa.

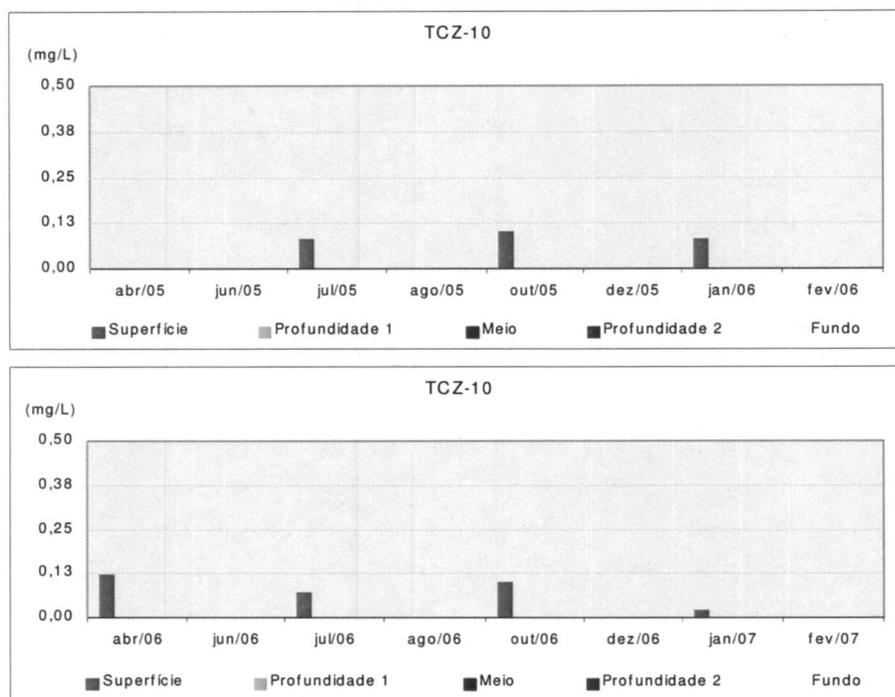


Figura 6.1.82 - Dados de nitrato registrados na estação TCZ-10 durante o Monitoramento Limnológico do UEH - Serra da Mesa.

De modo geral o nitrito ocorreu em baixas concentrações nas estações de monitoramento. O maior valor detectado ocorreu na superfície da estação ALM-30 (0,020 mg/L) em fevereiro/2006, valor bem abaixo do limite estabelecido para classe 2 na resolução Conama.

Outros Parâmetros - Cátions e Ânions

Os principais cátions e ânions presentes em ambientes aquáticos são: **cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro, sulfato, cloreto e carbonatos**. A concentração desses elementos depende da geologia da bacia de drenagem, do regime de chuvas e da influência das atividades antrópicas no entorno. São importantes nos processos fisiológicos dos organismos, participam da ciclagem de outros nutrientes, compõem as moléculas orgânicas, interferem no pH do meio, auxiliam a troca e transporte de outros íons, além de participarem nos processos de corrosão ou deposição nas tubulações. Em geral, as águas doces mostram uma forte tendência em apresentar, entre os cátions, proporções maiores de cálcio, seguidas de magnésio, sódio e potássio, enquanto entre os ânions prevalecem os carbonatos sobre os sulfatos, e estes sobre os cloretos. A distribuição espacial e temporal de sódio e potássio em lagos em geral é uniforme com pequenas variações durante as estações do ano, indicando sua natureza



MULTIGEO

conservativa. A elevação nos níveis de cloreto aponta a contaminação das águas por despejos domésticos, pois o homem elimina esse ânion na urina. As concentrações de cálcio e sulfato são fortemente influenciadas pelo metabolismo de microorganismos.

Os valores encontrados para o cálcio no reservatório de Serra da Mesa, considerando-se todos os pontos, variaram no intervalo de 1,91 mg/L e 32,94 mg/L e os de magnésio entre 0,31 mg/L e 12,73 mg/L. Os maiores valores de cálcio e magnésio foram registrados nas estações MRN-03, MRN-10 e PST-05.

O sódio e potássio foram registrados nas seguintes concentrações máximas, 12,29 mg/L e 3,34 mg/L, respectivamente.

No reservatório de Serra da Mesa o valor máximo registrado para sulfato foi de 10,70 mg/L e cloreto 1,89 mg/L.

Ferro

O ferro é muito freqüente na superfície da terra e, conseqüentemente, é encontrado em todos os corpos d'água. Origina-se naturalmente pela diluição de compostos do solo, sendo que sua concentração pode variar muito em função da litologia da região e do período de chuvas. O ferro é indispensável no metabolismo dos seres vivos por ser um micronutriente, e, além disso, pode participar da ciclagem de outros elementos químicos. O ferro (como o manganês) apresenta um comportamento variável, dependendo da presença ou ausência de oxigênio dissolvido na água, bem como do pH. A presença de oxigênio e pH elevados causam insolubilização do mesmo, que assume formas coloidais e precipita. Já nas regiões profundas, em ausência de oxigênio e baixo pH, ele tende novamente a ser solubilizado, misturando-se à massa d'água. Isso pode influenciar o teor de fósforo que, adsorvido pelo ferro coloidal, é arrastado para o fundo, onde poderá ser novamente liberado em ausência de oxigênio. Em pontos onde ocorram fenômenos de ressurgência, o fósforo pode, assim, ser levado à superfície, ou zona fótica, condicionando a maior reprodução de organismos fotossintéticos. A legislação estabelece limite máximo de 0,3 mg/L de ferro dissolvido para corpos d'água classe 2.

Inicialmente o parâmetro ferro foi analisado em sua forma total nos pontos de monitoramento. Os valores registrados variaram entre abaixo de 0,25 mg/L a 5,71 mg/L, com o maior valor registrado na estação ALM-30 em fevereiro/2006.

A partir de abril de 2006 o ferro passou a ser analisado na sua forma dissolvida e variou de <0,25 mg/L a 5,74 mg/L. O maior valor foi detectado na estação MRN-50 em outubro/2006 na profundidade intermediária.



MULTIGEO

Sílica

A sílica está presente no ambiente aquático e é proveniente da decomposição de minerais, por exemplo, feldspato. A importância da sílica no ambiente aquático está relacionada à formação de carapaça das diatomáceas, um dos principais grupos de algas.

Em Serra da Mesa a sílica variou entre 2,80 mg/L a 43,50 mg/L, a maior concentração ocorreu em outubro/2005 na estação PST-10. Na estação MRN-10 também se verifica concentração alta da sílica dissolvida (40,5 mg/L), registrada em outubro/2005.

Mercúrio

O mercúrio é um metal que possui características de toxicidade aos organismos aquáticos, e que também pode refletir na saúde humana. É muito rara a ocorrência de mercúrio natural na água, devido à sua baixa solubilidade. Por outro lado, compostos orgânicos e inorgânicos de mercúrio podem ser altamente solúveis em água e muito tóxicos ao homem e outros animais. Embora historicamente sejam conhecidos os efeitos tóxicos do mercúrio, são numerosos os incidentes epidemiológicos relacionados a esse elemento através da contaminação da água e de pescados. Para o homem, a dose oral fatal varia de 20 mg a 3,0 g, dependendo do sal de mercúrio. No ambiente, o mercúrio introduzido, por exemplo, pela mineração do ouro, é inicialmente incorporado aos sedimentos. Estes, por sua vez, podem trocar sua carga de mercúrio com a água por um período estimado em até cem anos, ao longo do qual ocorre a bioacumulação ao longo da cadeia trófica.

Em Serra da Mesa, o mercúrio foi analisado em três campanhas (abril/2005, julho/2005 e janeiro/2006) pelo laboratório de Química Ambiental (LQA) do Instituto de Química da UNICAMP.

Os níveis de mercúrio nos pontos considerados no estudo variaram entre menores que 0,2 ng/L a 23,1 ng/L (Quadro 6.1.1). O maior valor foi registrado na estação MRN-40, em julho/2005. Conforme a resolução Conama 357/2005, o limite estabelecido para o mercúrio é de 0,0002 mg/L (200 ng/L) para corpos d'água classe 2. Cabe destacar que os resultados obtidos das análises estão expressos em ng/L, ou seja, o valor máximo encontrado em Serra da Mesa (23,1 ng/L) situa-se muito abaixo do limite estabelecido na resolução acima citada, que é de 200 ng/L.

Quadro 6.1.1 - Concentrações de mercúrio registradas nas estações de monitoramento.

PARÂMETRO	MERCÚRIO (ng/L)	
MRN-50 (n=3)	mínimo	2,00
	máximo	9,40
MRN-55 (n=3)	mínimo	<0,2
	máximo	0,60
MRN-03 (n=3)	mínimo	2,30
	máximo	14,40
PST-05 (n=3)	mínimo	<0,2
	máximo	6,60
ALM-30 (n=3)	mínimo	<0,2
	máximo	3,00
MRN-40 (n=3)	mínimo	0,90
	máximo	23,10
MRN-10 (n=3)	mínimo	1,50
	máximo	16,70
PST-10 (n=1)	mínimo	<0,2
	máximo	<0,2
BGG-05 (n=1)	mínimo	<0,2
	máximo	<0,2
MRN-30 (n=3)	mínimo	<0,2
	máximo	1,70
BLG-10 (n=2)	mínimo	2,10
	máximo	4,80

n = número de amostras realizadas



6.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS

As campanhas contemplam análises de clorofila *a* e análises qualitativas e quantitativas das comunidades fitoplanctônica e zooplanctônica.

6.2.1 Clorofila *a*

A clorofila *a* é um dos principais responsáveis pela fotossíntese e o conhecimento de sua concentração pode dar indicações da biomassa de fitoplâncton de um ambiente. A análise individualizada permite concluir que os valores obtidos são reduzidos considerando-se ambientes lênticos.

A clorofila *a* foi analisada em laboratório e os resultados variaram entre valores menores que 0,0001 µg/L até 9,35 µg/L (Quadro 6.2.1.1). O maior valor foi determinado no ponto BGG-05 em outubro/2006.

A resolução Conama 357 estabelece o valor de até 30 µg/L para corpos d'água classe 2.

Quadro 6.2.1.1 - Valores mínimos e máximos registrados para a clorofila *a* nas estações de monitoramento do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

PARÂMETROS	PROF.	mínimo máximo		mínimo máximo		PROF.	mínimo máximo	
		MRN-10		PST-10			MRN-55	
Clorofila- <i>a</i> (µg/L)	S	1,2000	8,9720	<0,0001	8,3848	S	0,1300	4,1700
	P1	-	-	-	-	-	MRN-03	
	M	0,2937	1,6600	3,9000	3,9000	S	<0,0001	3,6300
	P2	-	-	1,3085	3,1200	-	BGG-05	
	F	0,1300	2,1400	-	-	S	0,1600	9,3500
	-	MRN-50		MRN-30		-	PST-05	
	S	0,3738	4,5400	1,0900	5,0355	S	<0,0001	1,6700
	P1	<0,0001	8,8300	-	-	-	ALM-30	
	M	<0,0001	2,7500	0,3200	1,2016	S	<0,0001	8,9990
	P2	<0,0001	4,0600	-	-	-	TCZ-10	
	F	<0,0001	0,8000	<0,0001	0,4807	S	<0,0001	1,4700

Obs.: S - superfície, M - meio, F - fundo, P1 e P2 - profundidades intermediárias.

6.2.2 Fitoplâncton

Composição da comunidade fitoplanctônica

O inventário taxonômico dos representantes da comunidade fitoplanctônica, considerando-se o período de abril/05 a fevereiro/07, resultou na identificação de 167 táxons em níveis específicos e infraespecíficos, os quais foram classificados em 10 classes a saber: Chlorophyceae, Cyanobacteria, Zygnemaphyceae, Bacillariophyceae, Euglenophyceae, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Dinophyceae, Xanthophyceae e

Oedogoniophyceae. A maior riqueza foi da classe Chlorophyceae com 63 táxons seguindo-se da classe Cyanobacteria com 33 táxons (Figura 6.2.2.1).

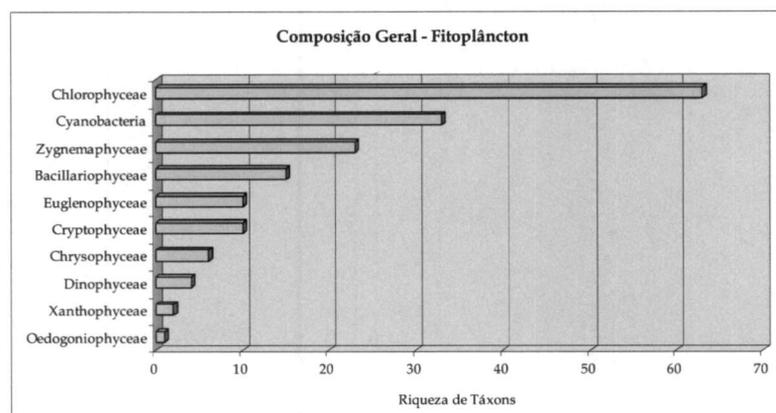


Figura 6.2.2.1 - Riqueza de táxons no período de abril de 2005 a fevereiro de 2007 na UHE - Serra da Mesa

De acordo com a Figura 6.2.2.2 verifica-se o predomínio da classe das Chlorophyceae no ponto MRN-50 em todas as profundidades consideradas. A percentagem de contribuição das clorofíceas na superfície da estação MRN-50 foi de 63% seguida da classe das Cyanobacteria com 22% (Figura 6.2.2.2 A).

Na escala vertical o mesmo padrão pode ser observado a 50% de penetração de luz, onde observou-se 57% de contribuição das clorofíceas e 27% de cianobactérias (Figura 6.2.2.2 B). A 1% de penetração de luz, obteve-se 61% de clorofíceas e 20% de cianobactérias (Figura 6.2.2.2 C).

Alta representatividade da classe **Chlorophyceae** é devida à grande riqueza de espécies, com diferentes espectros de crescimento em resposta às variações críticas do ambiente, como irradiação, estratificação térmica e disponibilidade de nutrientes.

As algas verdes encontradas no reservatório eram diminutas e sem flagelos podendo sua presença estar associada à elevada transparência (valores obtidos de até 8,6 metros no ponto MRN-50 em abril/2006), ou seja, de extensa zona eufótica. Esta elevada transparência pode ser atribuída à proximidade da barragem devido à menor influência das entradas dos rios ao reservatório.

As diferentes estratégias morfológicas de sobrevivência estão associadas a diferentes grupos. Algas com pequenas dimensões (nano e picoplâncton) são consideradas oportunistas, devido ao crescimento rápido. As algas verdes imóveis dependem primariamente do tempo de permanência na zona eufótica e da concentração de nutrientes no epilímnio. Essas são capazes de crescer em condições de estratificação térmica temporária e dependem da turbulência da água no epilímnio para a sua suspensão (HAPPEY-WOOD, 1988 in TUCCI-MOURA, 1996).

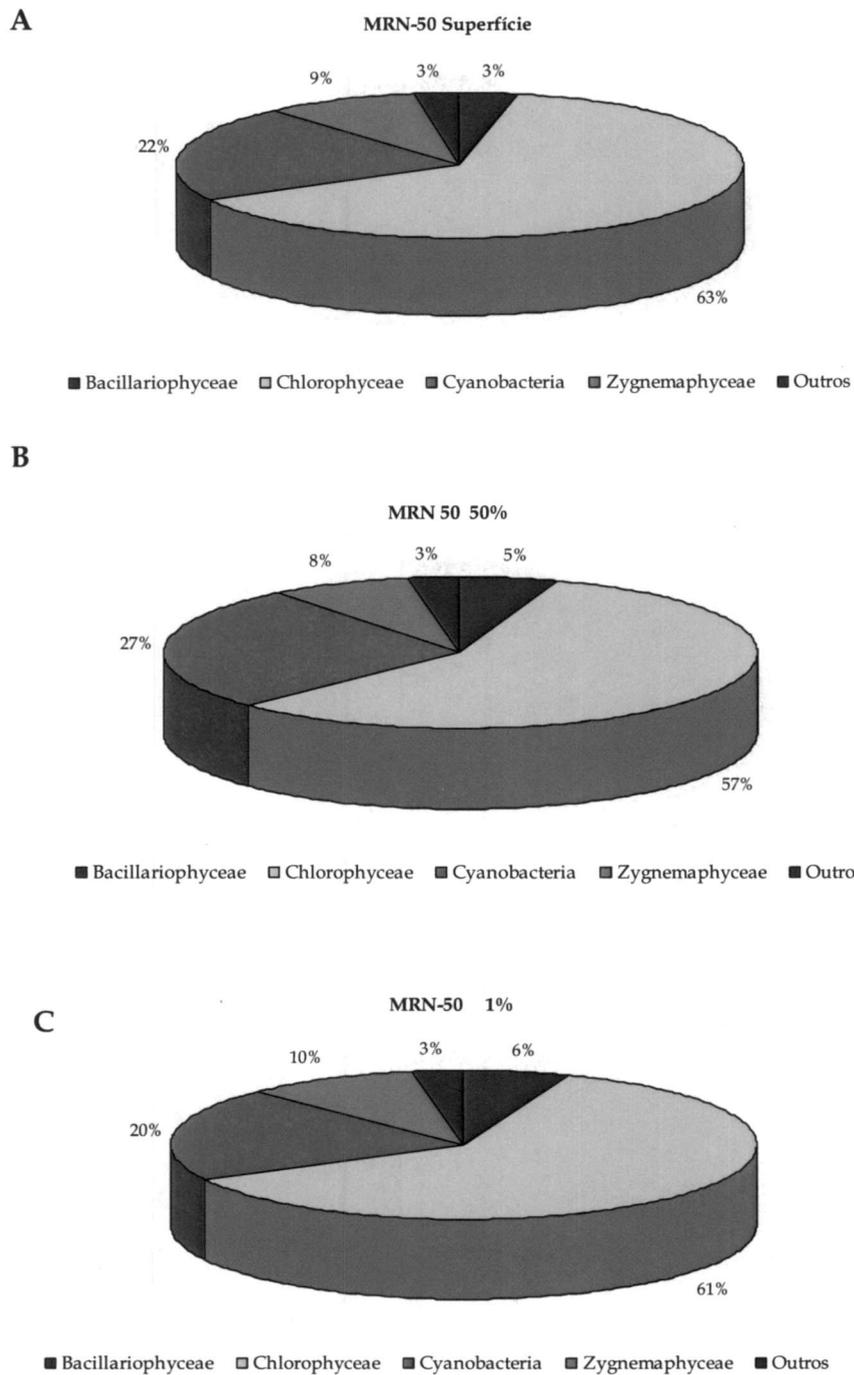


Figura 6.2.2.2 - Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto MRN-50 (A - superfície; B - 50%; C - 1% penetração de luz), considerando-se a densidade total (abril de 2005 a fevereiro de 2007).

Conforme pode ser visto na Figura 6.2.2.3 no ponto PST-10 nota-se maior porcentagem de contribuição das clorofíceas 47%. Entretanto em comparação com o ponto MRN-50 verifica-se que a contribuição de cianobactérias foi maior com valor de 38% ao longo do período de estudo.

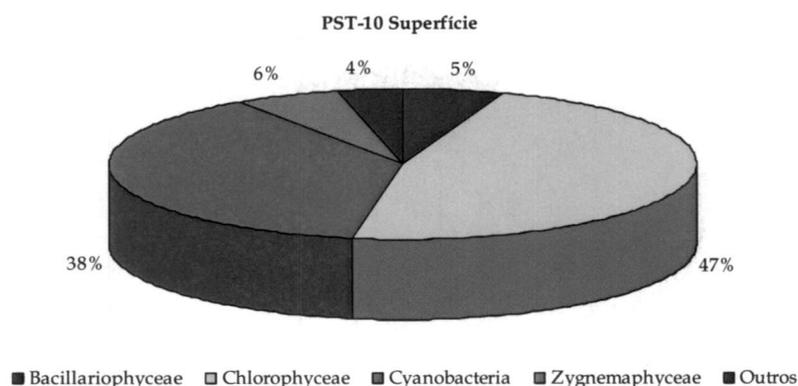


Figura 6.2.2.3 - Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto PST-10 superfície, considerando-se a densidade total anual (abril de 2005 a janeiro de 2007).

Na estação MRN-10 verifica-se que, durante o período de estudo, ocorreu predomínio das clorofíceas com 52% de porcentagem de contribuição seguida das cianobactérias com 33% (Figura 6.2.2.4).

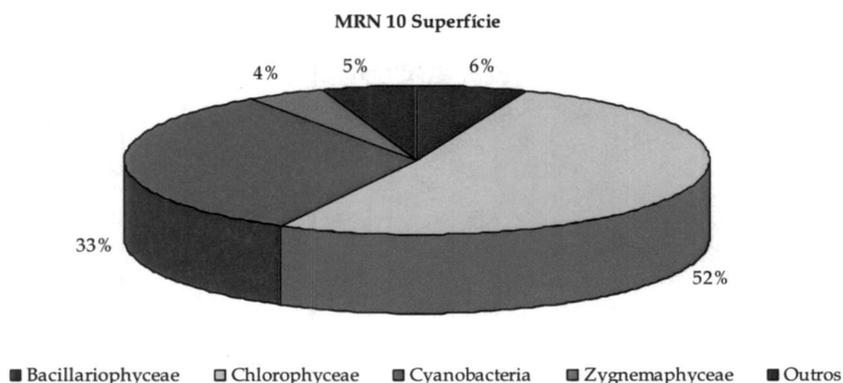


Figura 6.2.2.4 - Porcentagem de contribuição das classes fitoplanctônicas no ponto MRN-10 superfície, considerando-se a densidade total anual (abril de 2005 a janeiro de 2007).

Para o ponto MRN-30 (Figura 6.2.2.5) pode-se observar o mesmo padrão com relação a um ciclo sazonal completo dos demais pontos amostrados ao longo do reservatório. Observa-se maior porcentagem de contribuição das clorófitas (58%), seguido da classe das cianobactérias (32%).

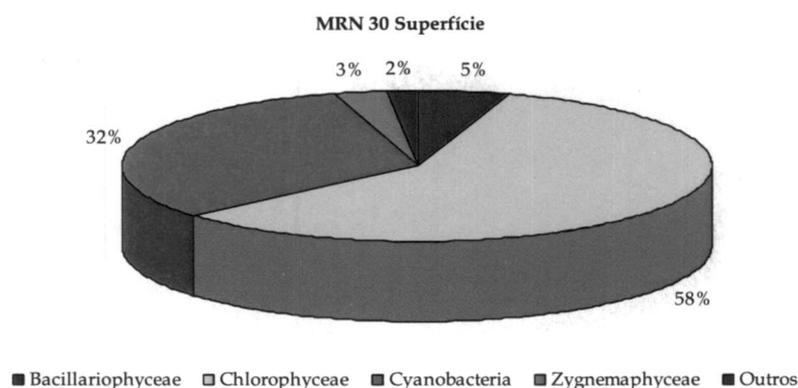


Figura 6.2.2.5 Porcentagem de contribuição das classes fitoplantônicas no ponto MRN- 30 superfície, considerando-se a densidade total (janeiro de 2006 a janeiro de 2007).

Densidades numéricas e abundâncias relativas

No ponto MRN-50 confirma-se o predomínio das clorófitas tanto em escala temporal (abril/2005 a fevereiro/2007), quanto em escala vertical (superfície, 50% e 1% de penetração de luz).

Na superfície (Figura 6.2.2.6) a menor densidade total entre os meses amostrados ocorreu em abril/2005 quantificando-se 3.797 org./mL e a maior em outubro/2006 com valor de 15.145 org./mL.

A 50% de penetração de luz (Figura 6.2.2.7) a menor densidade total ocorreu no mês de abril/2005 com valor de 3.080 org./mL e a maior foi obtida em agosto/2005 quantificando-se 9.896 org./mL.

Quanto ao ponto MRN-50 a 1% de penetração de luz observou-se elevada densidade total no mês de agosto/2005 (36.053 org./mL), neste período verificou-se a dominância da clorófitas *Choricystis minor* (Figura 6.2.2.8). Durante os demais meses de amostragem a menor densidade total foi observada no mês de junho/2005 quantificando-se 585 org./mL.

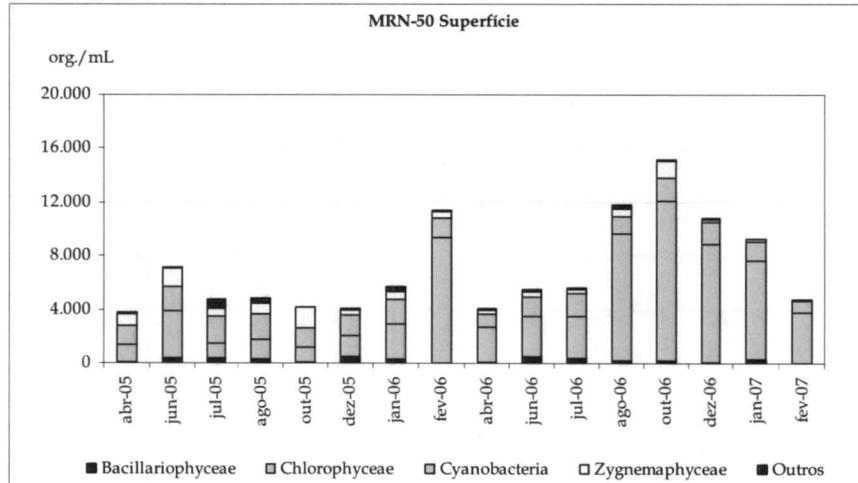


Figura 6.2.2.6- Densidades totais no ponto MRN-50 superfície.

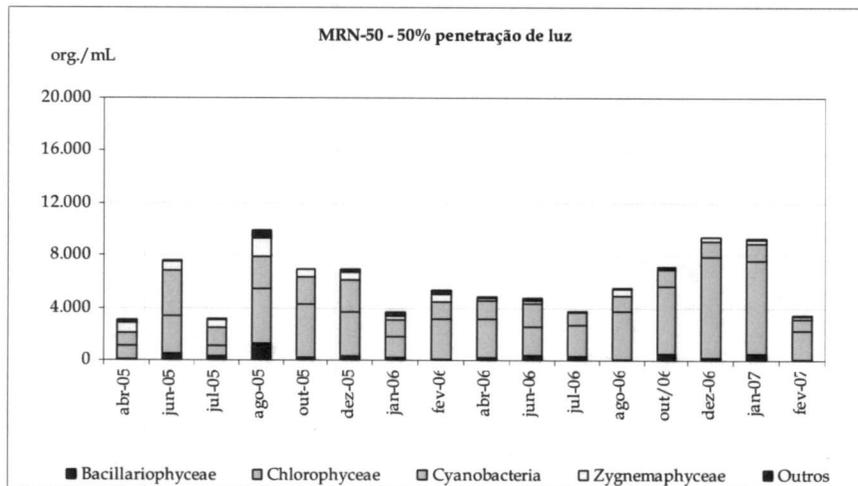


Figura 6.2.2.7 - Densidades totais no ponto MRN-50 a 50% de penetração de luz.

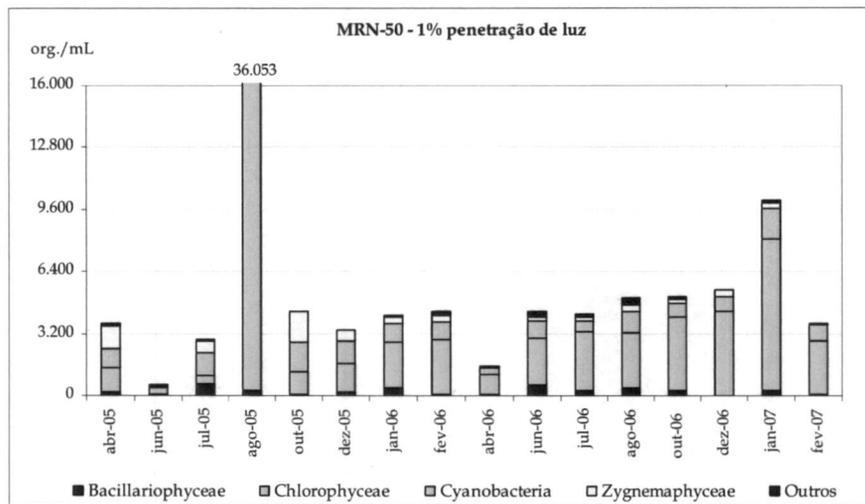


Figura 6.2.2.8 - Densidades totais no ponto MRN-50 a 1% de penetração de luz.

Na estação PST-10 verifica-se que a menor densidade total ocorreu em julho/2005 com valor de 5.117 org./mL e a maior densidade foi obtida no mês de outubro/2006 quantificando-se 15.738 org./mL (Figura 6.2.2.9).

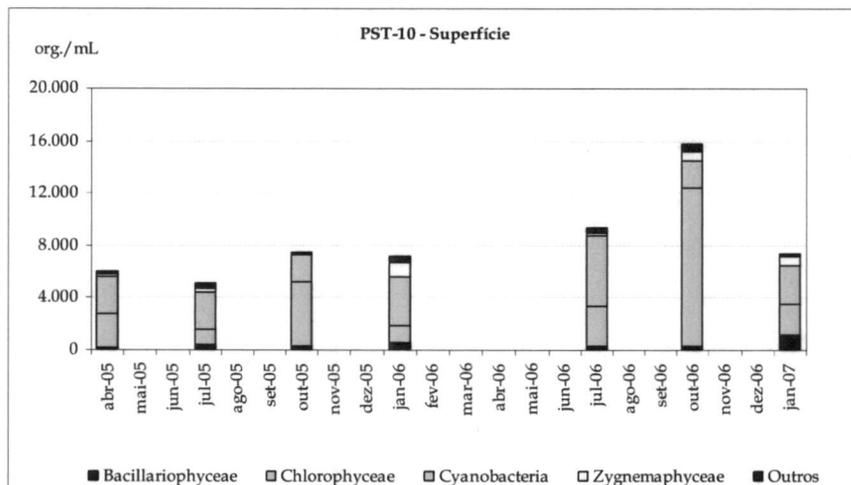


Figura 6.2.2.9 - Densidades totais no ponto PST-10 superfície.

A Figura 6.2.2.10 mostra os resultados obtidos de densidade total para o ponto MRN-10. A menor densidade foi obtida no mês de abril/2006 com valor de 881 org./mL e a maior foi verificada em outubro/2006 com valor de 18.947 org./mL.

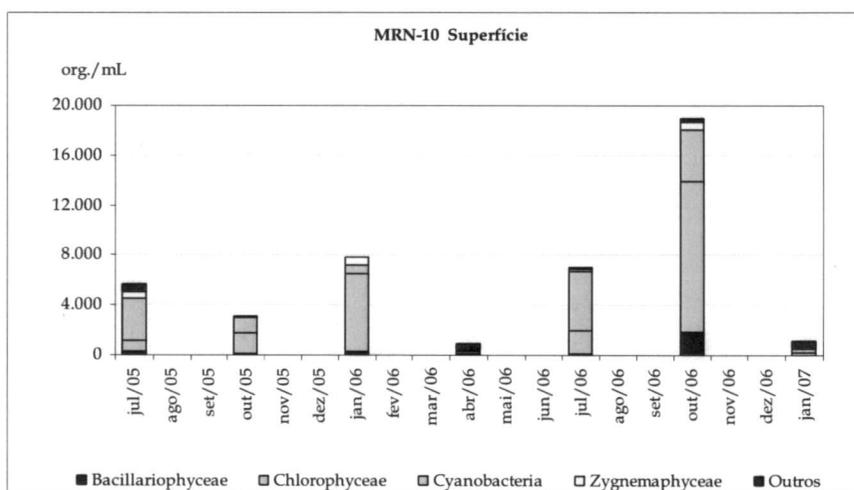


Figura 6.2.2.10 - Densidades totais no ponto MRN-10 superfície.

Os resultados da densidade total do ponto MRN-30 podem ser vistos na Figura 6.2.2.11, verificando-se que a menor densidade entre os meses amostrados foi de 5.944 org./mL em abril/2006 e a maior observada em outubro/2006 com valor de 16.682 org./mL.

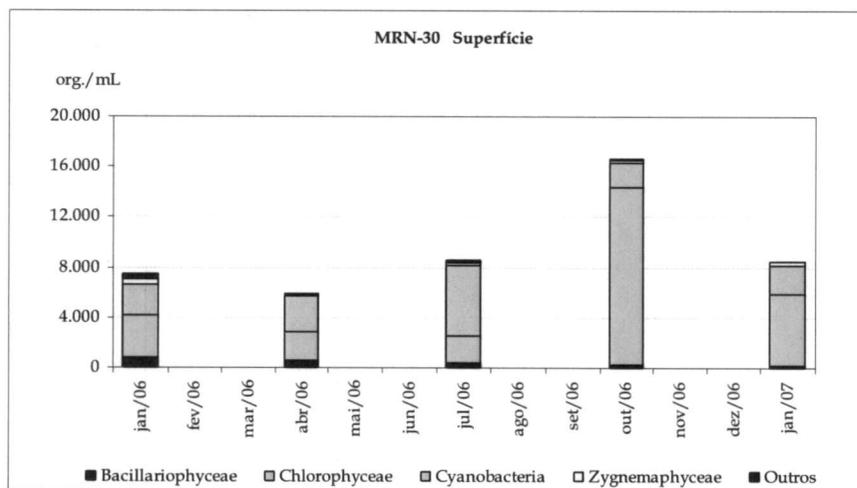


Figura 6.2.2.11 - Densidades totais no ponto MRN-30 superfície (janeiro de 2006 a janeiro de 2007).



Espécies Indicadoras ou Descritoras

A partir do cálculo das abundâncias relativas foi possível estabelecer as espécies descritoras ou indicadoras do sistema.

Estabeleceu-se 15 espécies indicadoras, sendo que a grande maioria enquadram-se na categoria de tamanho de nanoplanctônicas e unicelulares sem flagelos (cocóides).

O Quadro 6.2.2.1 mostra a ocorrência de 15 espécies descritoras de hábito unicelular isolado e colonial não flageladas, bem como formas filamentosas todas distribuídas nas categorias de tamanho pico e nanoplanctônicas, considerando a porcentagem acima de 1%.

Quadro 6.2.2.1 - Formas de hábito e categorias de tamanho das espécies descritoras presentes no Reservatório Serra da Mesa quantificadas no período de abril/2005 a fevereiro/2007.

Táxons	hábito	Categoria de tamanho	%
<i>Cyclotella stelligera</i>	unicelular	Nanoplanctônica	3
<i>Chlorella minutissima</i>	unicelular	Nanoplanctônica	5
<i>Monoraphidium contortum</i>	unicelular	Nanoplanctônica	36
<i>Monoraphidium komarkovae</i>	unicelular	Nanoplanctônica	4
<i>Choricystis minor</i>	unicelular	Nanoplanctônica	10
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	colonial	Nanoplanctônica	1
<i>Aphanocapsa elachista</i>	colonial	Nanoplanctônica	1
<i>Aphanothece smithi</i>	colonial	Nanoplanctônica	4
<i>Synechococcus</i> cf. <i>nidulans</i>	unicelular	Picoplanctônica	2
<i>Synechocystis</i> cf. <i>aquatilis</i>	unicelular	Picoplanctônica	2
<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	filamentosa	Nanoplanctônica	9
<i>Planktolyngbya</i> sp.	filamentosa	Nanoplanctônica	2
<i>Cosmarium majae</i>	unicelular	Nanoplanctônica	2
<i>Cosmarium contractum</i>	unicelular	Nanoplanctônica	2
<i>Staurastrum tetracerum</i> var. <i>tortum</i>	unicelular	Nanoplanctônica	1

A espécie melhor descritora ou indicadora do sistema foi *Monoraphidium contortum* com 36% de contribuição. Trata-se de uma clorócea imóvel cocóide (sem flagelos), nanoplanctônica, com uma relação superfície/volume alta, o que significa dizer que tem alta capacidade de assimilar nutrientes com características de espécies r-estrategistas, apresentando rápido crescimento quando da ocorrência de condições favoráveis.

A segunda espécie melhor indicadora do sistema foi *Choricystis minor* com 10% de contribuição. Esta espécie apresenta as mesmas características descritas para o *Monoraphidium*, ou seja, trata-se uma clorócea imóvel (sem flagelos), nanoplanctônica, com uma relação superfície/volume alta, e portanto, com alta capacidade de assimilar nutrientes, sendo considerada espécies r-estrategistas.

Cylindrospermopsis cf. *raciborskii* pertencente a classe das cianobactérias representou 9% de contribuição total de todas as espécies encontradas, situando-se como a 11ª espécie indicadora. Como já mencionado anteriormente esta espécie é potencialmente tóxica, no entanto, apresentou-se ao longo do estudo em baixa densidade, estando muito longe do limite estabelecido pelo Ministério da Saúde, o qual considera fato prejudicial a presença de 10.000 células/mL em uma única amostra. No caso do presente estudo a densidade total anual de *Cylindrospermopsis* não ultrapassou 20.000 células/mL, considerando-se todas as coletas nos diferentes meses.

6.2.3. Zooplâncton

Composição da comunidade zooplanctônica

A figura 6.2.3.1 mostra a composição do zooplâncton, com rotíferos, copépodos ciclopoídes e calanóides, e cladóceros registrados nas estações monitoradas de abril de 2005 a fevereiro de 2007 (estações MRN-10, PST-10 e MRN-50). A partir de janeiro de 2006, a estação MRN-30 foi incorporada ao programa com coletas biológicas. Nas estações estudadas foram registrados 39 táxons de rotíferos, 16 de cladóceros, 3 de copépodos ciclopoídes e 1 de copépodo calanóide.

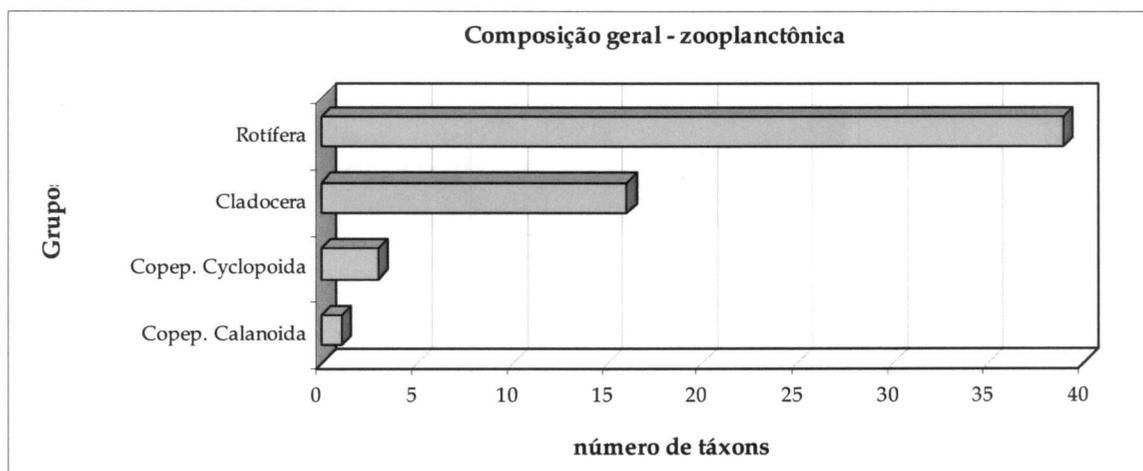


Figura 6.2.3.1 – Táxons registrados ao longo do monitoramento no reservatório da UHE – Serra da Mesa.

Analisando-se a composição zooplanctônica por estação de monitoramento (Figuras 6.2.3.2 a 6.2.3.5), verifica-se que os rotíferos formaram o grupo predominante em todas as estações de monitoramento, seguido dos ciclopoídes.

Nas estações de monitoramento os rotíferos tiveram representatividade variando entre 47% e 71%, o menor percentual registrou-se na estação PST-10 e o maior na estação MRN-50.

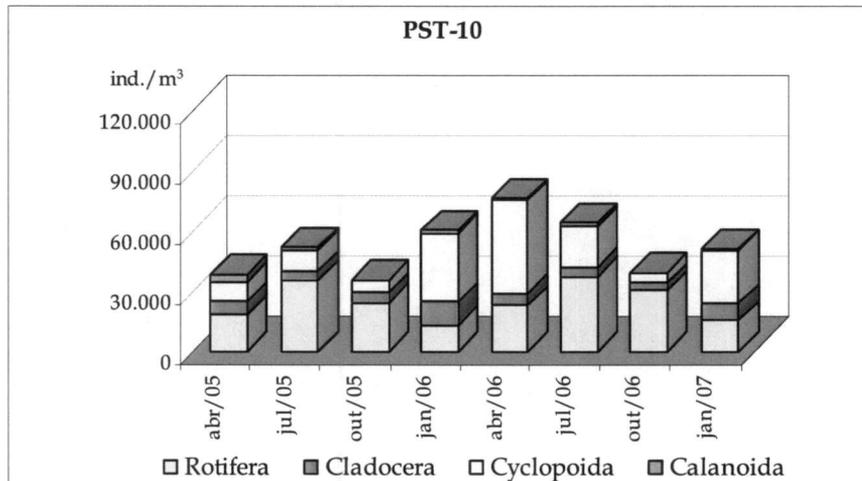


Figura 6.2.3.8 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação PST-10.

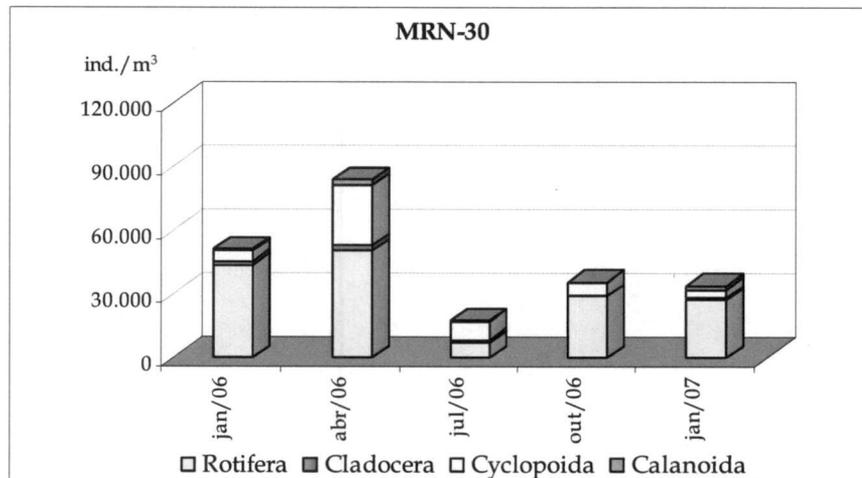


Figura 6.2.3.9 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação MRN-30.

A estação MRN-50 apresentou grandes oscilações nos valores das densidades numéricas totais em algumas campanhas, que variaram com valores de 10 org./L (junho/2005 e agosto/2006), 114 org./L (abril/2005) e 80 org./L (fevereiro/2007) (Figura 6.2.3.10). É possível que a tomada d'água tenha afetado as densidades numéricas do zooplâncton nesta estação.

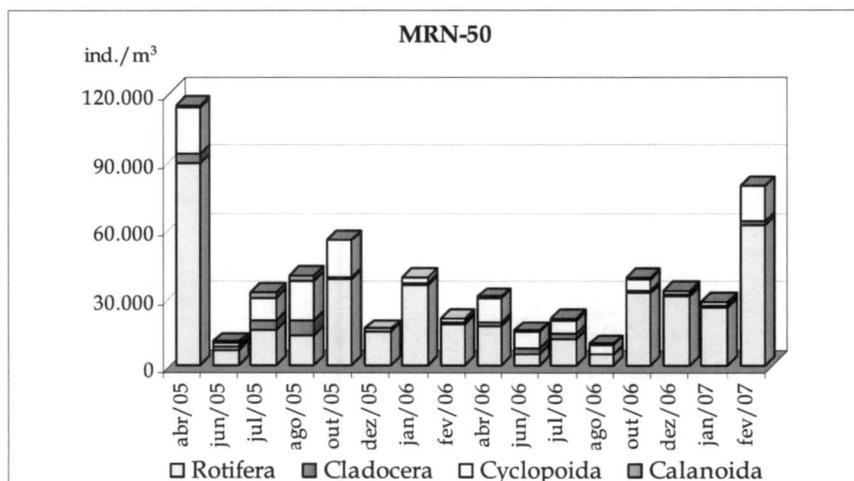


Figura 6.2.3.10 - Densidades numéricas (ind./m³) na estação MRN-50.

Na análise espaço-temporal, verificou-se o esperado aumento das densidades numéricas de organismos zooplantônicos no sentido cabeceiras-barragem, que costuma ocorrer devido a redução da velocidade da corrente, maior sedimentação do material em suspensão e o desenvolvimento de condições mais favoráveis para colonização por organismos autotróficos, entre outros fatores.

A análise quantitativa de organismos zooplantônicos revelou, como era esperado, o predomínio de rotíferos nas estações. Este grupo domina tanto em ambientes oligotróficos como eutrófico, conduzindo à idéia de que a abundância de rotíferos esteja relacionada não só ao estado trófico do sistema, mas também a outros fatores, tais como a natureza e origem dos lagos e problemas de interações biológicas, como produção e competição interespecífica por alimentos (MATSUMURA-TUNDISI *et al.*, 1990.).

Não foi possível associar dados de densidade numérica total de rotíferos aos períodos chuvoso-quente e estiagem-frio. De um modo geral, em corpos d'água oligotróficos, ocorre um aumento das densidades numéricas de rotíferos com as chuvas, que provocariam um aumento na produção primária do sistema devido à maior disponibilidade de nutrientes, bem como um maior aporte de material em suspensão, parte de origem orgânica, que favoreceriam o aumento das populações microbianas, que têm uma grande importância como fonte alimentar para os rotíferos (MELÃO,1997).

Algumas espécies como *Ptygura libera*, *Conochilus unicornis* e *Collotheca ornata* têm sido associadas a corpos d'água oligotróficos (PIVA-BERTOLETTI, 2001). Estas espécies foram importantes nas estações MRN-50 (*Ptygura libera* e *Collotheca ornata*), PST-10 (*Conochilus unicornis*) e MRN-30 (*Ptygura libera*).

INDICES DE DIVERSIDADE, EQUITATIVIDADE E RIQUEZA

O conhecimento dos índices de diversidade, riqueza e equitatividade é um instrumento de grande valia para a caracterização ou tipificação de um corpo d'água. Estes índices podem ser alterados pela eutrofização, resultando na exclusão de determinadas espécies, e no elevado crescimento populacional de outras (PINTO-COELHO *et al.*, 1999). Vários autores têm demonstrado que os índices de diversidade se encontram correlacionados com o grau de trofia do sistema, sendo seus valores menores nos sistemas com alto grau de trofia (MARGALEF, 1983).

O Quadro 6.2.3.1 e a Figura 6.2.3.11 mostram os índices médios de diversidade, equitatividade e riqueza determinados nas estações estudadas. Destaca-se que somente para a estação MRN-50 os resultados refletem o período de abril de 2005 a fevereiro de 2007 (16 campanhas). Para as estações MRN-10 e PST-10 o cálculo do índice se baseou nos resultados das campanhas de abril, julho, outubro e janeiro de cada ano (8 campanhas) e estação MRN-30 nas campanhas de janeiro, abril, julho, outubro de 2006 e janeiro de 2007.

Quadro 6.2.3.1 - Índices de Diversidade, Equitatividade e Riqueza das estações de monitoramento da UHE-Serra da Mesa.

	Diversidade	Equitatividade	Riqueza
MRN-10	3,63	0,75	29,00
PST-10	3,48	0,72	29,00
MRN-30	3,38	0,70	29,00
MRN-50	2,99	0,64	26,00

Considerou-se para a riqueza, o número de táxons euplanctônicos presentes em cada estação, excluindo-se Ostracoda, Insecta e Platyhelminthes.

Os valores médios de riqueza foram semelhantes para as estações MRN-10, PST-10 e MRN-30 (29 táxons), tendo sido verificado um valor inferior na estação MRN-50 (26 táxons) (Figura 6.2.3.11).

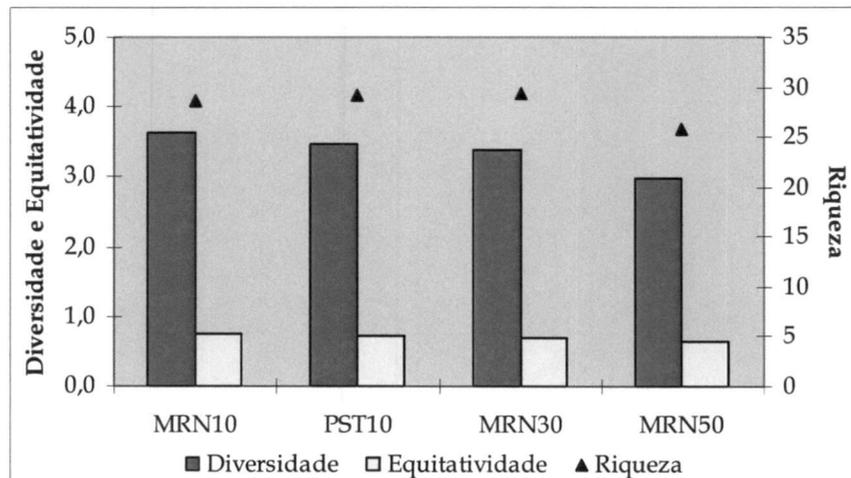


Figura 6.2.3.11 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza nas estações de monitoramento do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

Ao longo do tempo, houve uma oscilação nos valores de riqueza em todas as estações estudadas. A estação MRN-50, estudada em intervalos mais curtos, mostrou valores de riqueza entre 18 (fev./2006) e 32 (ago/2006) (Figura 6.2.3.12). Esta estação apresentou ainda um comportamento diferente das demais quanto à diversidade e equitatividade, os valores registrados foram mais baixos do que nas demais estações, cujos valores médios foram semelhantes (Figuras 6.2.3.13 a 6.2.3.15).

As oscilações nos valores de riqueza verificadas na estação MRN-50, assim como os baixos valores de diversidade e equitatividade ao longo do período estudado, podem estar relacionados à tomada d'água, cuja influência maior ocorre nesta estação.

Os valores mais baixos de diversidade ocorridos durante o período chuvoso-quente, conforme constatado na estação MRN-50, parecem estar relacionados à diminuição da equitatividade. O predomínio em termos de densidade numérica de *Ptygura* em relação ao total de rotíferos neste reservatório seria um dos fatores responsáveis por este fato.

A diminuição do índice de diversidade, atribuído a um declínio da equitatividade como consequência do predomínio de certos táxons confirma as observações de PAYNE (1986 *apud* CALEFFI, 1994). De acordo com este autor, o predomínio de um pequeno número de espécies indica uma baixa uniformidade na distribuição dos recursos, típica de baixa diversidade. Várias formas de estresse abiótico, tais como poluição, temperaturas extremas ou depleção de oxigênio, também tendem a reduzir a diversidade (LAMPERT & SOMMER, 1997).

Segundo MATSUMURA-TUNDISI *et al.* (1990) os ambientes aquáticos eutrofizados oferecem maior amplitude de recursos alimentares, o que permite uma maior especialização de nichos, evitando assim a interação competitiva interespecífica e aumentando a diversidade de espécies. Tal fato parece ter ocorrido em relação às estações MRN-10 e PST-10, localizadas próximas aos tributários do reservatório.

Por outro lado, valores elevados de equitatividade, tais como o observado nas estações PST-10 e MRN-10, podem indicar também baixa dominância, mais comum em ambientes oligotróficos. De acordo com PEJLER (1983), em condições extremas de oligotrofia o número de espécies de rotíferos planctônicos é reduzido, nos ambientes mesotróficos este número aumenta e em condições hipereutróficas diminui novamente.

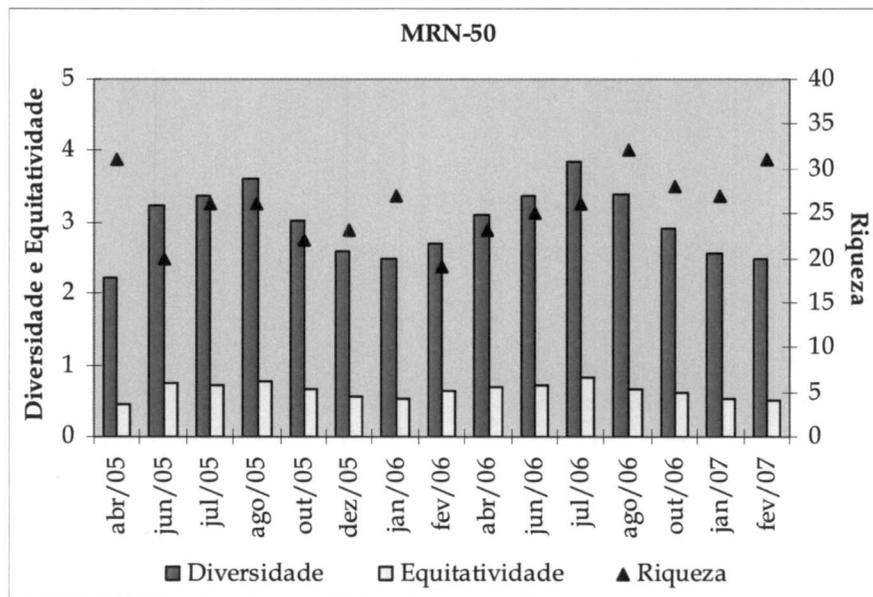


Figura 6.2.3.12 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação MRN-50 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

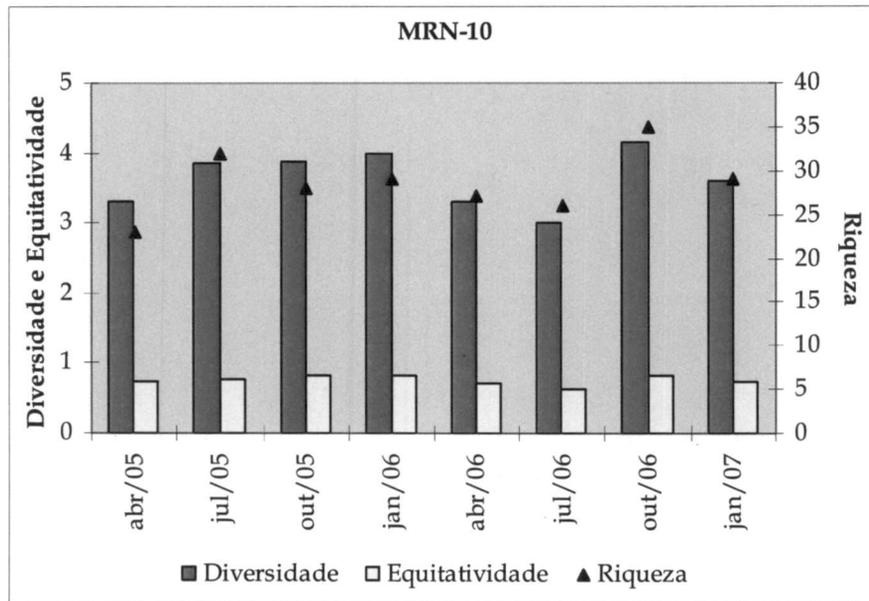


Figura 6.2.3.13 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação MRN-10 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

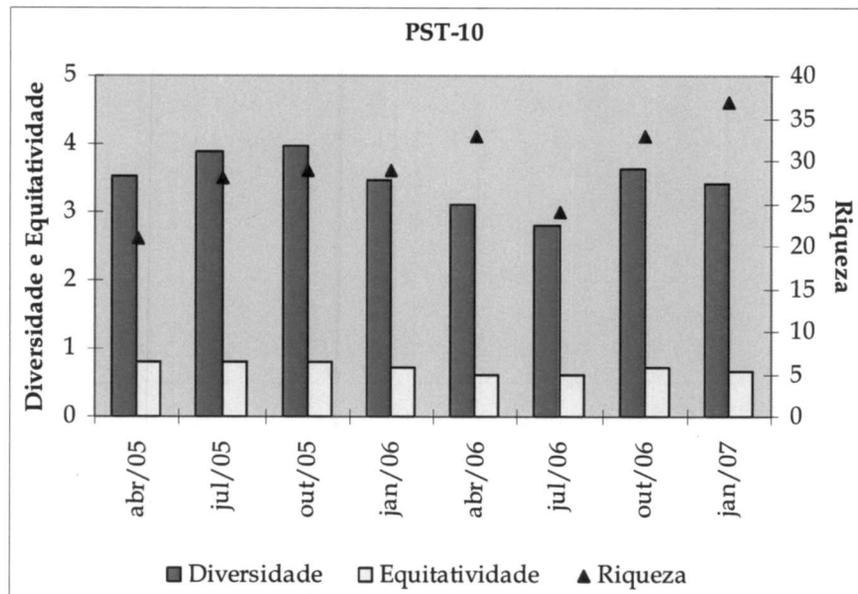


Figura 6.2.3.14 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação PST-10 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.

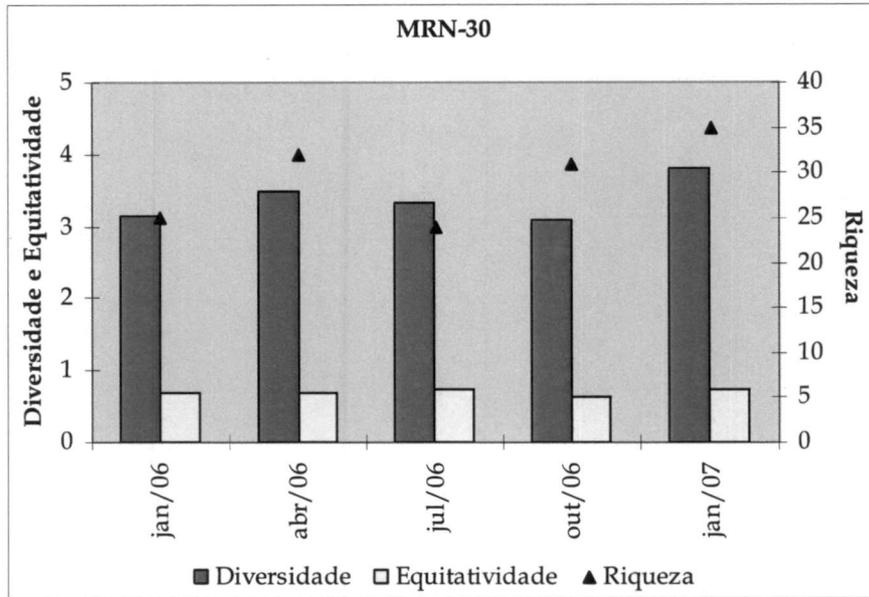


Figura 6.2.3.15 - Índices de diversidade, equitatividade e riqueza na estação MRN-30 do reservatório da UHE - Serra da Mesa.



MULTIGEO

Dendrograma de Similaridade

A análise de agrupamento aplicada revelou dois grupos (Figura 6.2.3.16). O primeiro agrupamento, com cerca de 100% de similaridade, é formado pelas estações MRN-10 e PST-10. O segundo, com cerca de 75% de similaridade, é formado pelas estações MRN-30 e MRN-50.

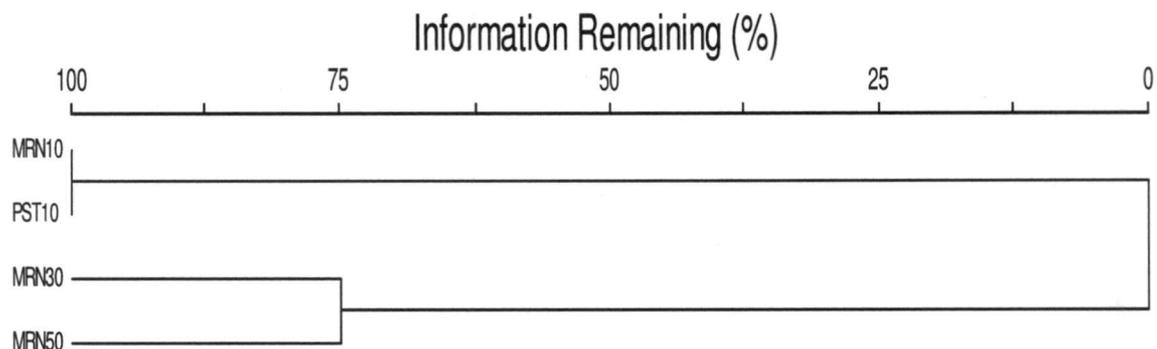


Figura 6.2.3.16 - Dendrograma de similaridade entre as estações estudadas.

As semelhanças das estações MRN-30 e MRN-50 se devem ao fato de estarem situadas no eixo principal do reservatório e das estações PST-10 e MRN-10, por estarem ambas sujeitas a uma maior influência de tributários. A composição de espécies, densidades numéricas e espécies dominantes diferenciam os dois grupos formados, assim como os valores de equitatividade, que foram mais baixos nas estações localizadas no eixo central devido provavelmente à dominância do rotífero *Ptygura libera*.



MULTIGEO

7. DISCUSSÃO

Durante o período de maio de 2001 a janeiro de 2003, a Multigeo foi responsável pelo monitoramento limnológico e da qualidade da água do reservatório da UHE - Serra da Mesa, o que resultou no Relatório Final de Avaliação (RELTEC/MULTIGEO/03063). Este programa foi retomado em abril de 2005, priorizando o monitoramento das cargas afluentes ao reservatório.

No próximo item (7.1) apresenta-se uma análise comparativa entre os resultados obtidos no período de monitoramento anterior e os atuais, enquanto no item seguinte (7.2) é feita uma caracterização das águas das estações de cabeceiras.

7.1 ESTAÇÕES DO RESERVATÓRIO

Do atual programa foram considerados os pontos de amostragem MRN-10, MRN-50, MRN-55, PST-10 e MRN-30 (considerado a partir de janeiro de 2006), que também foram monitorados no programa anterior, com eles foram elaborados o Quadro 7.1.1 e as Figuras 7.1.1 a 7.1.5. Os dados apresentados nesse quadro permitem uma análise comparativa das condições encontradas no período anterior de monitoramento (2001 a 2003) com o atual (2005 a 2007).

De modo geral, os resultados atuais indicam, para os valores extremos registrados nos dois períodos:

- aumento no valor máximo de transparência da água;
- concentrações de oxigênio dissolvido mais baixas na superfície;
- aumento no valor máximo do pH na superfície e fundo do reservatório;
- valores máximos da turbidez menores tanto na superfície quanto nas profundidades;
- valores de condutividade levemente mais baixos em relação ao máximo registrado na superfície e fundo e mais alto com relação à profundidade intermediária;
- sólidos suspensos voláteis em concentrações menores na superfície e ligeiramente menores na profundidade intermediária e fundo;
- valores de alcalinidade mais altos em todas as profundidades;
- DQO mais alta na superfície ligeiramente mais alta também no fundo;
- fósforo total mais baixo na superfície e levemente mais alto nas outras profundidades;
- ortofosfato dissolvido mais alto na superfície, mais baixo na profundidade intermediária e muito mais baixa no fundo do reservatório;
- concentração de nitrogênio total muito mais baixa em todas as profundidades;
- nitrogênio amoniacal mais baixo em todas as profundidades;



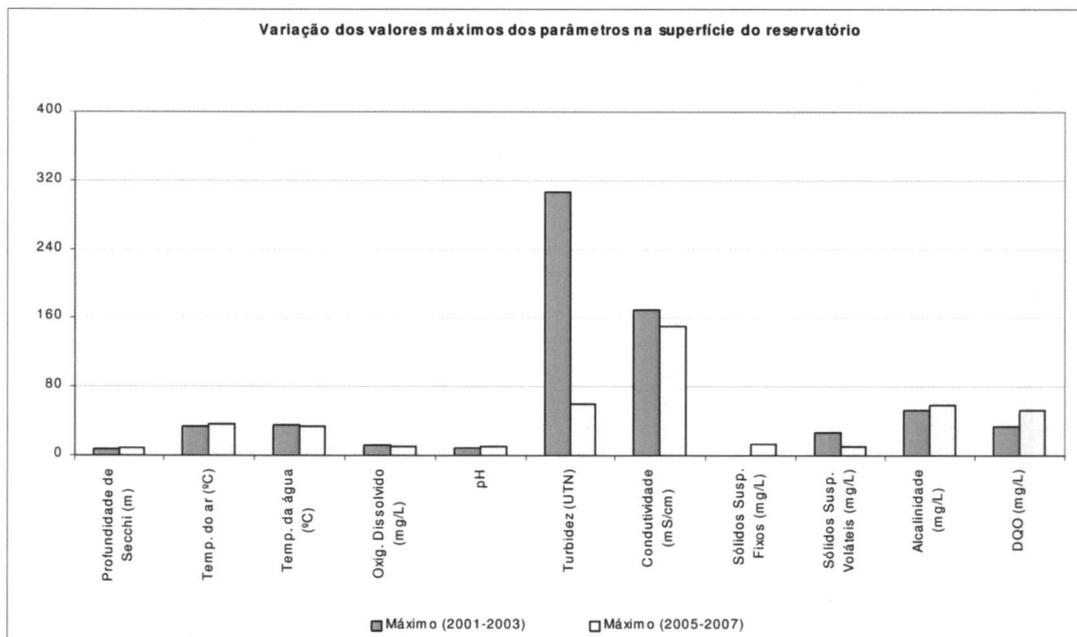
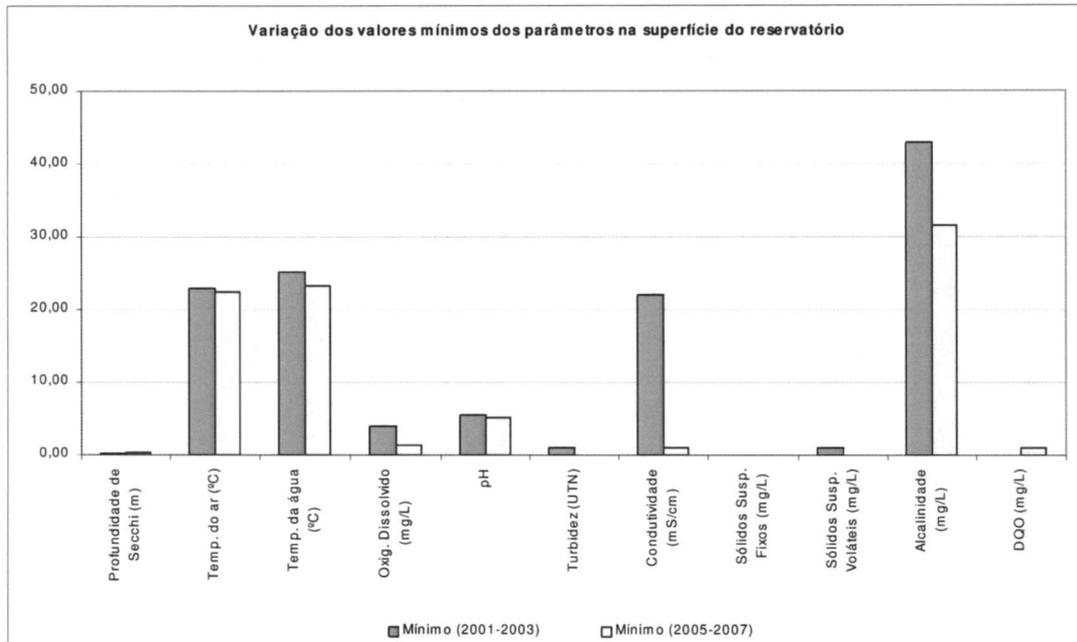
MULTIGEO

- carbono orgânico dissolvido com concentrações bem menores em todas as profundidades;
- sílica dissolvida com valores mais altos em todas as profundidades. Valores altos de sílica dissolvida, implica em valores de sílica total ainda maiores;
- sulfato sofreu aumento, principalmente na superfície e fundo do reservatório;
- menores concentrações de potássio na superfície;
- sódio com valores mais altos em todas as profundidades;
- magnésio com valores menores em todas as profundidades;
- cálcio com valores um pouco menores na superfície e o inverso nas demais profundidades;
- ferro total com valores bem mais baixos, principalmente na superfície.

Quadro 7.1.1 - Comparação dos valores mínimos e máximos obtidos em Serra da Mesa - período do monitoramento de 2001 a 2003 com a fase atual do reservatório (2005 a 2007)

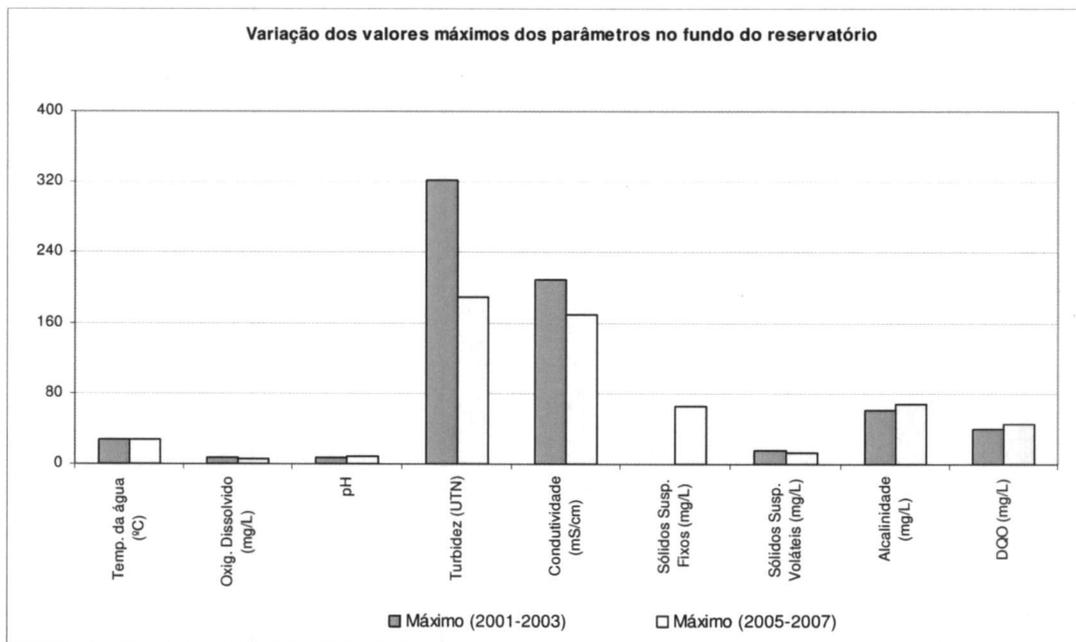
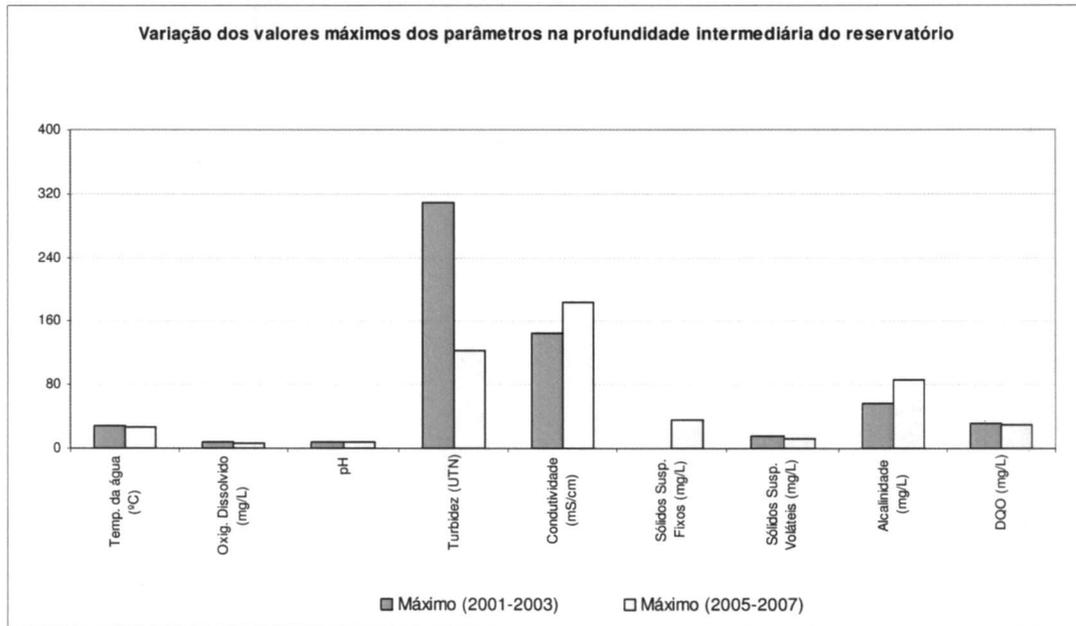
PARÂMETROS	MONITORAMENTO 2001 - 2003						MONITORAMENTO 2005 - 2007					
	Superfície		Meio		Fundo		Superfície		Meio		Fundo	
	Mínimo (2001-2003)	Máximo (2001-2003)	Mínimo (2001-2003)	Máximo (2001-2003)	Mínimo (2001-2003)	Máximo (2001-2003)	Mínimo (2005-2007)	Máximo (2005-2007)	Mínimo (2005-2007)	Máximo (2005-2007)	Mínimo (2005-2007)	Máximo (2005-2007)
Profundidade de Secchi (m)	0,10	7,00	-	-	-	-	0,30	8,60	-	-	-	-
Temp. do ar (°C)	23,00	33,50	-	-	-	-	22,40	37,00	-	-	-	-
Temp. da água (°C)	25,20	35,70	23,70	27,60	23,40	27,10	23,30	33,27	23,90	27,30	23,18	26,70
Oxig. Dissolvido (mg/L)	4,00	11,80	0,00	7,20	0,00	6,80	1,30	9,62	<0,01	6,93	<0,01	6,02
pH	5,50	8,70	5,60	7,70	5,40	7,70	5,20	9,93	4,90	7,51	5,95	8,20
Turbidez (UTN)	1,00	306,50	0,40	308,70	0,20	322,00	<0,10	59,90	<0,10	122,20	<0,10	188,70
Condutividade (µS/cm)	22,00	169,00	24,00	145,00	27,00	209,00	1,10	151,00	64,20	185,00	2,00	169,00
Sólidos Susp. Fixos (mg/L)	-	-	-	-	-	-	<0,10	12,60	<0,10	36,17	<0,10	65,67
Sólidos Susp. Voláteis (mg/L)	1,00	27,00	1,00	16,00	1,00	16,00	<0,10	9,80	<0,10	12,00	<0,10	12,36
Alcalinidade (mg/L)	43,00	53,00	48,00	56,00	47,00	61,00	31,62	58,97	29,85	86,14	26,23	68,31
DQO (mg/L)	<0,10	33,00	<0,10	31,00	<0,10	40,00	0,97	52,76	0,73	29,82	0,44	45,80
Fósforo Total (mg/L)	<0,001	0,630	<0,001	0,110	<0,001	0,180	<0,001	0,082	0,004	0,168	0,004	0,201
Fósforo Dissolvido (mg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	0,080	<0,001	0,050	<0,001	0,040	<0,001	0,061	<0,001	0,067
Ortofosfato Dissolvido (mg/L)	<0,001	<0,001	<0,001	0,090	<0,001	0,210	<0,001	0,009	<0,001	0,010	<0,001	0,052
Nitrogênio Total (mg/L)	<0,01	7,500	<0,01	14,000	<0,01	1,900	0,004	0,550	0,010	2,230	0,012	1,716
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	<0,01	0,22	<0,01	1,20	<0,01	1,30	<0,007	0,110	<0,007	0,890	<0,007	0,520
Nitrato (mg/L)	<0,01	0,20	<0,01	0,27	<0,01	0,52	<0,04	0,20	<0,04	0,24	<0,04	0,21
Nitrito (mg/L)	-	-	-	-	-	-	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,003
Carbono Org. Dissolvido (mg/L)	1,90	15,00	1,30	17,00	1,20	18,00	0,94	2,42	0,78	6,70	0,83	2,79
Sílica (mg/L)	5,20	25,00	5,30	24,00	5,90	25,00	6,50*	26,20*	5,50*	40,50*	7,80*	38,50*
Sulfato (mg/L)	<1,00	3,00	<1,00	5,00	<1,00	2,00	1,00	6,10	1,50	7,10	1,50	10,70
Cloreto (mg/L)	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	0,07	1,23	0,44	1,14	0,17	1,05
Potássio (mg/L)	0,67	6,07	1,08	4,10	0,89	2,05	1,26	2,29	1,21	2,23	0,85	2,49
Sódio (mg/L)	0,56	4,04	<0,05	3,87	0,41	4,01	1,25	12,14	1,21	8,06	0,80	12,29
Cálcio (mg/L)	1,59	20,20	6,20	12,70	8,18	13,10	5,18	14,12	4,68	16,28	4,11	15,38
Magnésio (mg/L)	2,96	15,10	5,21	10,40	4,79	13,30	2,21	6,13	1,76	8,47	1,43	6,87
Ferro Dissolvido (mg/L)**	-	-	-	-	-	-	<0,25	1,35	<0,25	5,74	<0,25	3,39
Ferro Total (mg/L)	<0,01	8,93	7,90	11,40	2,91	10,10	<0,25	0,88	<0,25	5,69	<0,25	4,50

Fonte: Monitoramento de 2001 - 2003 - RELTEC/MULTIGEO/03063 (pontos considerados: MRN-05, MRN-10, MRN-30, MRN-40, MRN-50, MRN-55, BCG-20, PST-10). Monitoramento 2005 - 2007 pontos considerados: MRN-10, MRN-50, MRN-55, PST-10 e MRN-30 (considerado a partir da campanha de janeiro 2006).
 (*) - resultados de sílica dissolvida. (**) - resultados de ferro dissolvido, que passou a ser utilizado como parâmetro a partir de abril/06 no lugar do Ferro Total.



Obs.: Condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$

Figura 7.1.1 - Variação dos valores mínimos e máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.



Obs.: Condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$

Figura 7.1.2 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.

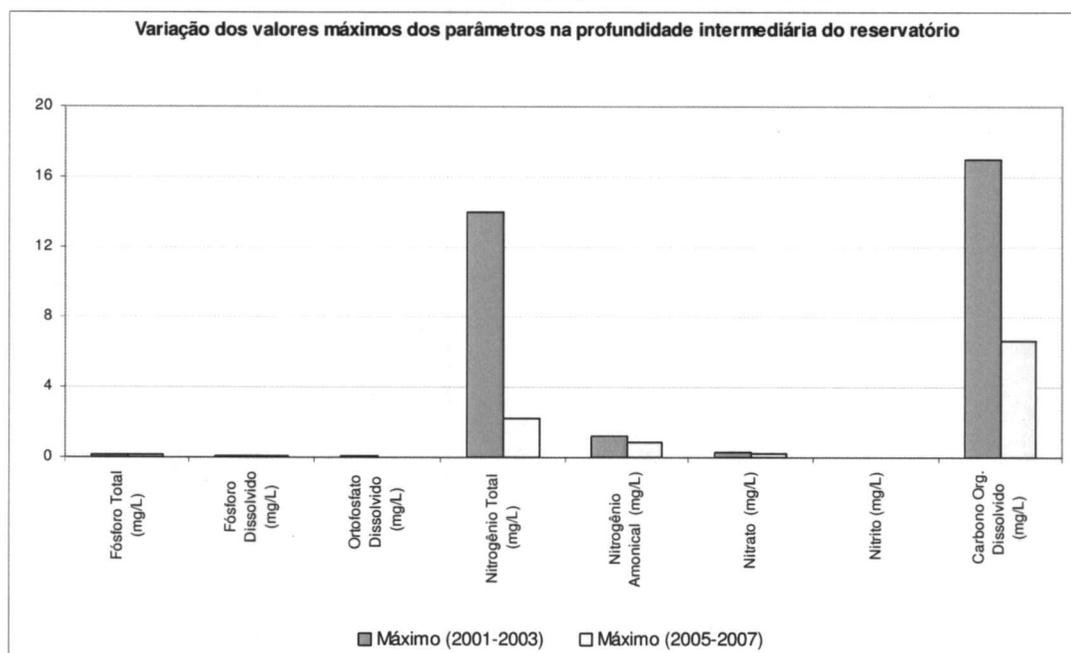
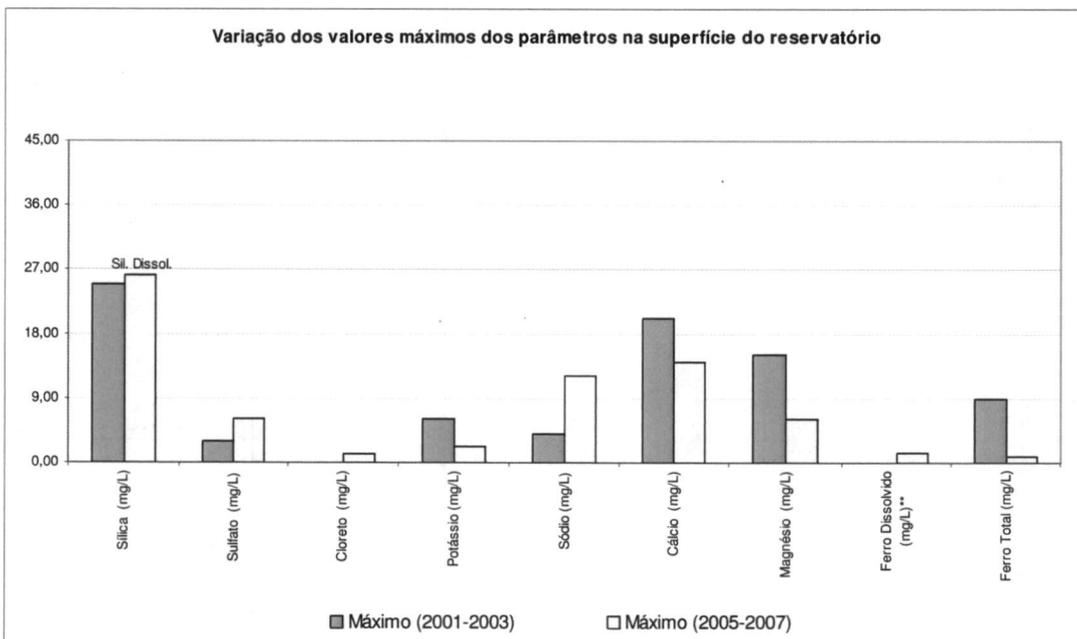
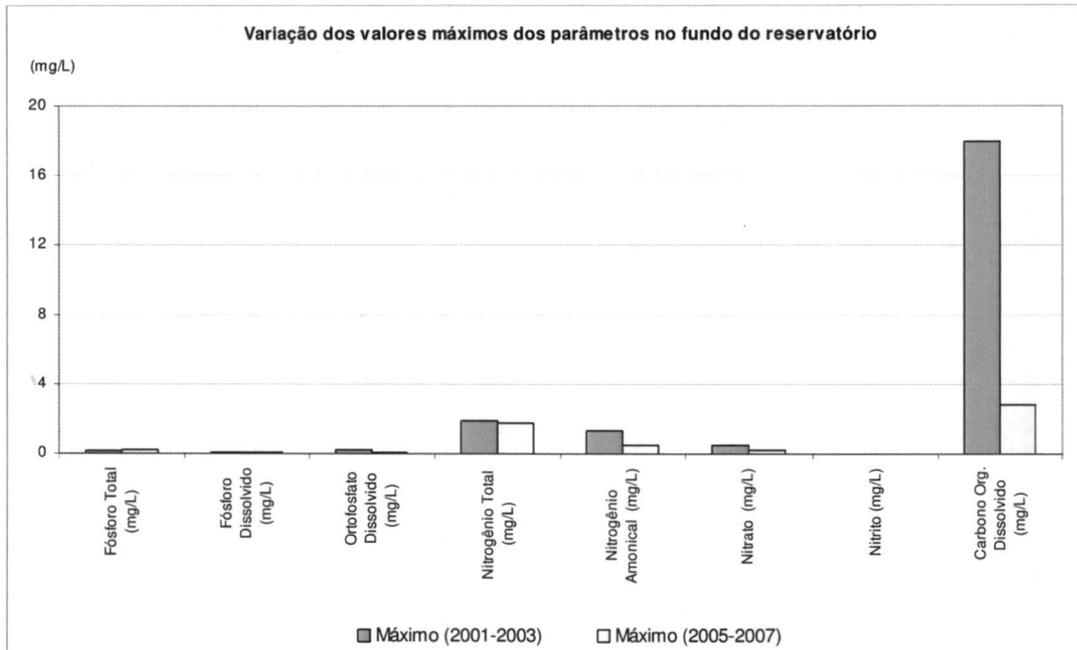
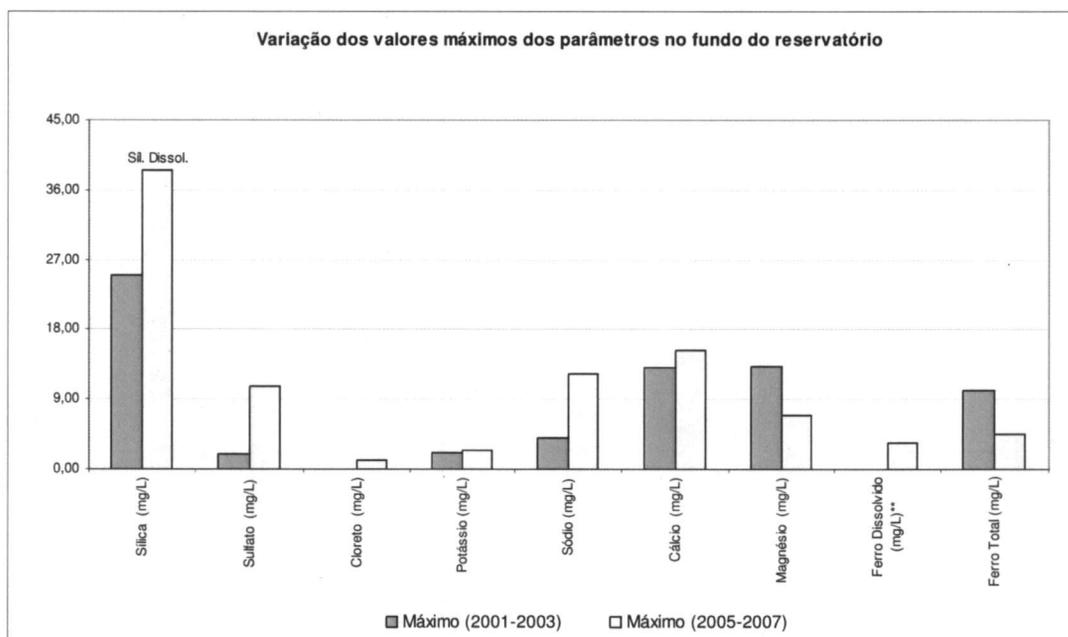
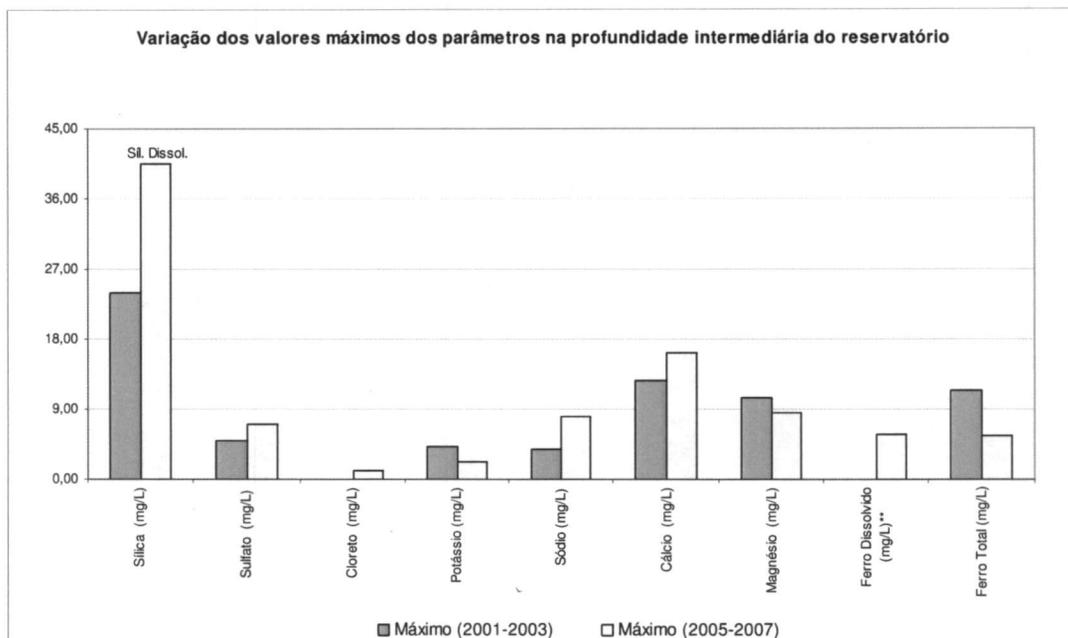


Figura 7.1.3 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.



Obs: O parâmetro Ferro Dissolvido (mg/L) foi considerado a partir de abril de 2006.

Figura 7.1.4 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.



Obs: O parâmetro Ferro Dissolvido (mg/L) foi considerado a partir de abril de 2006.

Figura 7.1.5 - Variação dos valores máximos de parâmetros durante o período de 2001-2003 e 2005-2007.



MULTIGEO

7.2 ESTAÇÕES NAS CABECEIRAS

As estações MRN-03, PST-05, ALM-30, BGG-05 e TCZ-10 estão localizadas em trechos do rio onde a interferência do reservatório é menor. As interferências nestes pontos estão mais relacionadas aos usos e ocupações das áreas a montante. Assim sendo, o rio Almas recebe influência de área urbanizada agrícola; o rio Bagagem recebe influência de área agrícola; e o rio Maranhão, por sua vez apresenta menor interferência antrópica. Os resultados obtidos nestes pontos refletem as condições de entrada da água no reservatório.

As Figuras 7.2.1 e 7.2.2 mostram a variação média dos valores dos parâmetros registrados nesses pontos.

No geral os parâmetros temperatura do ar e água, transparência, oxigênio dissolvido, pH e carbono orgânico dissolvido, na média, apresentaram pequena variação nos pontos amostrados.

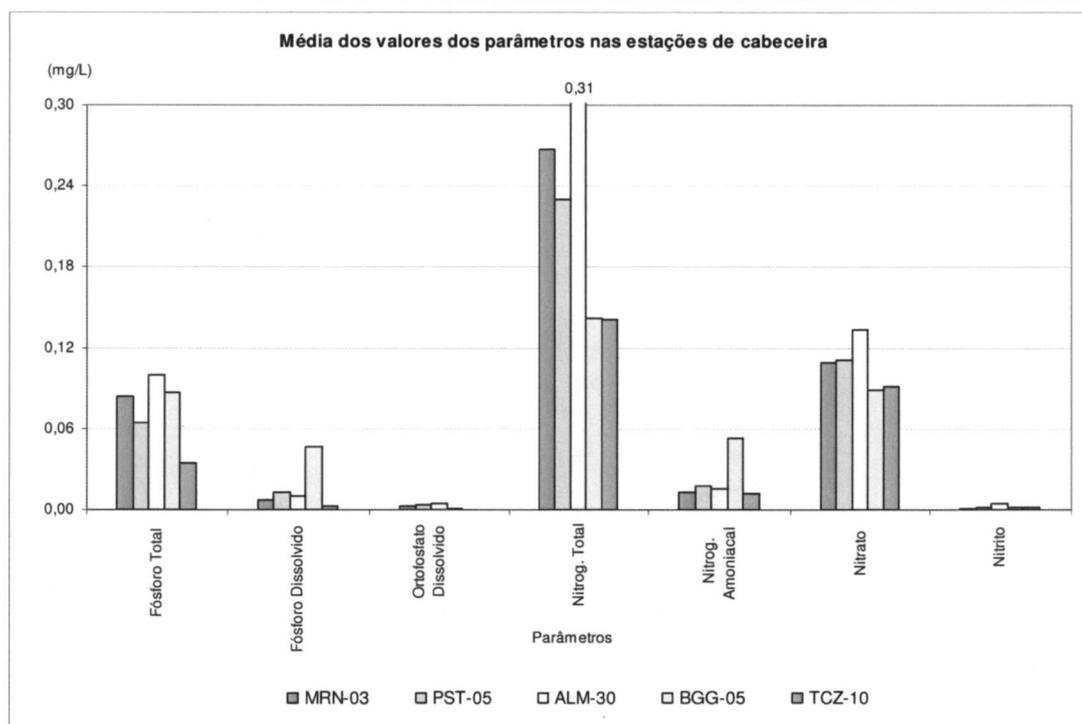
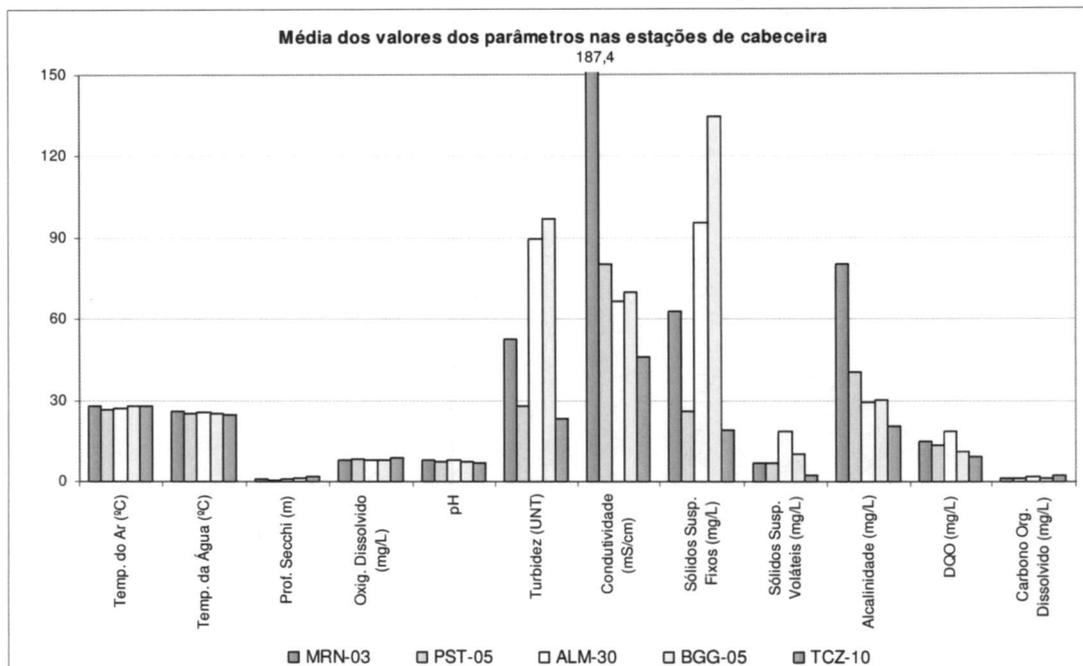
Em média, a turbidez foi mais alta na estação BGG-05, seguida da estação ALM-30, provavelmente em função do período de chuvas na região. A condutividade e alcalinidade se destacaram na estação MRN-03, muito provavelmente devido às próprias características da bacia de drenagem que passa por regiões com maciços calcários. Importante notar que neste ponto os valores absolutos de condutividade variaram entre 102 e 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Anexo 2).

A concentração de sólidos suspensos fixos se destacou na estação BGG-05, seguida da estação ALM-30. E a DQO, em média, foi mais alta na estação ALM-30 e mais baixa na TCZ-10.

A maior média do valor de fósforo e nitrogênio total foi registrada na estação ALM-30, com 0,1 mg/L e 0,31 mg/L respectivamente. O valor de nitrogênio amoniacal sobressaiu na estação BGG-05, onde se registrou a concentração de 0,05 mg/L, já o nitrato foi maior na estação ALM-30, com 0,13 mg/L, porém não muito diferente das outras estações.

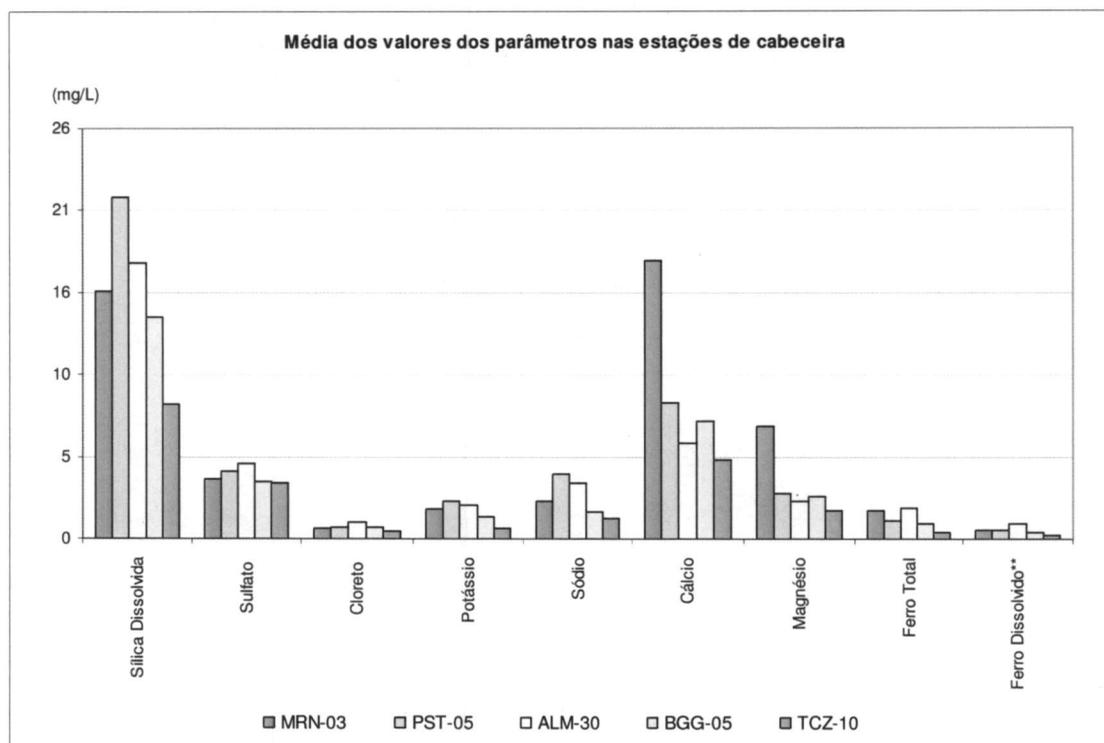
A maior concentração média da sílica dissolvida ocorreu na estação PST-05, seguida das estações ALM-30 e MRN-03. As médias dos valores de sulfato sofreram poucas variações nas estações de cabeceira. O cloreto e o potássio sofreram pouca variação nestas estações de monitoramento, não se destacando em nenhum ponto. O sódio ocorre em concentrações maiores na estação PST-05, seguida da estação ALM-30 e o cálcio destaca-se na estação MRN-03, assim como o magnésio.

As médias calculadas de ferro dissolvido variaram entre 0,39 e 0,80 mg/L, com o maior valor registrado na estação ALM-30.



Obs.: Condutividade em $\mu\text{S}/\text{cm}$

Figura 7.2.1 - Média dos valores dos parâmetros nas estações de cabeceira.



Obs: O parâmetro Ferro Dissolvido foi considerado a partir de abril de 2006.

Figura 7.2.2 - Média dos valores dos parâmetros nas estações de cabeceira.

7.3 DINÂMICA HIDROBIOLÓGICA DO RESERVATÓRIO

A dinâmica hidrobiológica de Serra da Mesa, em resumo, pode ser entendida de acordo com os distintos trechos que compõem o reservatório.

Para avaliação da dinâmica hidrobiológica da UHE - Serra da Mesa, apresenta-se, inicialmente, a compartimentação espacial sugerida para o reservatório, segundo os aspectos físicos, químicos e biológicos preponderantes observados nas camadas superficial, intermediária e profunda, no período de abril de 2005 a fevereiro de 2007.

a) Afluentes

Compreende as estações localizadas em trechos dos principais rios que afluem para formar o reservatório da UHE - Serra da Mesa. Abrange as estações MRN-03, ALM-30, BGG-05, PST-05 e TCZ-10.

Este setor recebe pouca influência do reservatório, apresentando as seguintes características:

- Fluxo da água de moderado a alto, dependendo da estação de monitoramento.



- Temperatura da água tende a ser mais baixa em relação a outros setores da represa.
- Transparência da água mais baixa.
- Águas mais oxigenadas, em função da maior movimentação.
- Turbidez e condutividade mais elevada, dependendo da época.
- Ausência de estratificação térmica e, portanto, melhor condição de mistura da coluna d'água.
- Maior concentração de nutrientes, principalmente na época das chuvas.
- De modo geral, valores máximos registrados mais elevados que nas estações de reservatório, com exceção apenas do parâmetro sódio.
- Grande influência do entorno adjacente.

b) Zona Fluvial

Abrange uma zona do lago definida como fluvial, sendo representada na rede de monitoramento pelos pontos MRN-10, PST-10 e TCZ-10.

O sistema de correnteza proporcionada pela alta vazão dos rios, ao atingir uma região do reservatório de menor profundidade, tende a promover turbulência nas águas e o revolvimento do lodo acumulado.

O ponto MRN-10 atua como principal ponto de introdução de elementos no sistema, por meio de seu formador, o rio Maranhão, cuja influência se dá ao longo de todo corpo principal do reservatório. Trata-se da primeira estação de monitoramento no reservatório propriamente dito. Sofre forte influência dos rios Maranhão e Almas, pois está localizada abaixo da confluência destes rios.

No ponto MRN-10 as condições de turbidez e de nutrientes tendem a ser ainda mais elevadas nos períodos chuvosos em função das águas dos rios Maranhão e das Almas, que transportam altos teores de sólidos em suspensão e carga de nutrientes resultantes de várias fontes de poluição dispersas nas zonas urbanas e rurais. Essas condições de turbulência se traduzem em menor diversidade biológica e menor densidade de organismos fitoplanctônicos e zooplanctônicos.

O ponto PST-10 está localizado no rio Passa Três, afluente da margem esquerda do reservatório. É considerado um ponto importante de ser monitorado, pois recebe forte influência do município de Uruaçu. Este ponto, por sua localização, apresenta características peculiares, tendo forte influência das atividades do entorno adjacente (áreas de pastagem e habitações), além do recebimento do esgoto doméstico da cidade de Uruaçu.

O ponto TCZ-10 localizado no rio Tocantinzinho, a jusante do município de Colinas, sofre forte influência desta. A estação localiza-se exatamente após a área de corredeiras formada pelo rio.



MULTIGEO

c) Zona de Transição

Este setor é representado pelas estações MRN-30 e MRN-40, localizadas a entre as estações MRN-10 e MRN-50, consideradas no programa de monitoramento. Cabe destacar que estes dois pontos estavam sendo monitorados apenas quanto aos parâmetros medidos em campo pela sonda multiparâmetros (OD, turbidez, condutividade, pH e temperatura). A partir de janeiro de 2006, a estação MRN-30 passou a ser monitorada quanto aos outros parâmetros, incluindo os biológicos.

De modo geral, este setor mostra de maneira atenuada as condições encontradas na estação a montante (MRN-10).

À medida que se segue em direção à barragem, o reservatório apresenta-se com maior profundidade, tendendo à estratificação térmica mais permanente.

d) Zona Lacustre

Esse setor, representado pelo ponto MRN-50, situa-se nas imediações da barragem da UHE - Serra da Mesa, sendo receptor de toda vazão afluyente ao reservatório, o que, em última instância, determina a qualidade das águas que passam pelas turbinas, que podem ser avaliadas pelas condições no ponto MRN-55, situado imediatamente a jusante da barragem.

Apresenta como principais características:

- Maior volume de água armazenada e profundidade superior a 80 metros, mesmo em época de forte estiagem.
- Acentuado nível de estratificação térmica e zona anóxica pronunciada.
- Com variação na diversidade e na densidade numérica de organismos planctônicos, dependendo da época.

7.4 EUTROFIZAÇÃO

O processo de eutrofização se inicia pela entrada de nutrientes na água (nitrogênio e fósforo), que propiciam o aumento da população de algas e de plantas aquáticas, como aguapés, resultando dentre outras conseqüências, na queda da concentração de oxigênio no corpo aquático.

As principais fontes de nitrogênio e fósforo para o processo de eutrofização artificial são os efluentes domésticos, industriais ou agropastoris. O aporte destes efluentes acarreta a desestabilização do ecossistema, pois a matéria orgânica é produzida em quantidade maior do que seria consumida e decomposta.



MULTIGEO

Os lagos podem ser classificados segundo a composição de nitrogênio e fósforo presentes nos corpos d'água. Uma das classificações mais conhecidas é aquela apresentada por Vollenweider (1974) para lagos europeus (Quadro 7.4.1).

Quadro 7.4.1 - Classificação do nível trófico de lagos segundo o fósforo total e as formas nitrogenadas.

Parâmetros (mg/L)	Fósforo total	Nitrogênio Amoniacal	Nitrato mg/L	Nitrogênio inorgânico total
Tipos de lagos				
Vollenweider, 1968				
Ultra-oligotrófico	<0,005	-	-	-
Oligotrófico	-	0,0 - 0,3	0,0 - 1,0	-
Oligo-mesotrófico	0,005 - 0,01	-	-	0,23 - 0,39
Mesotrófico	-	0,3 - 2,0	1,0 - 5,0	-
Meso-eutrófico	0,01 - 0,03	-	-	0,34 - 0,62
Eutrófico	-	2,0 - 15,0	5,0 - 50,0	-
Eu-politrófico	0,03 - 0,1	-	-	-
Politrófico	>0,1	-	-	0,42 - 2,37
EPA - Agência de Proteção Ambiental dos E.U.A.				
Oligotrófico	<0,01	-	-	-
Mesotrófico	0,01 - 0,02	-	-	-
Eutrófico	>0,02	-	-	-

Fonte: Habtec, 2000.

Monitoramento de 2001 a 2003

Considerando-se a classificação proposta por Vollenweider (1974) e os valores apresentados no Quadro 7.4.2, o valor máximo (0,63 mg/L) detectado de fósforo total na superfície, durante o período de 2001 a 2003, indicou que o ambiente passou por um período de heterogeneidade espacial. Por outro lado, os parâmetros amônia e nitrato indicam que este mesmo ponto poderia ser classificado como oligotrófico, enquanto o parâmetro nitrogênio inorgânico total indica uma situação oligo-mesotrófica. As discrepâncias indicam bem a magnitude da instabilidade presente no reservatório. Utilizando-se a classificação adotada pela EPA, que utiliza apenas o parâmetro fósforo total, o reservatório de Serra da Mesa poderia ser considerado como apresentando características favoráveis ao desenvolvimento da condição eutrófica.

Quadro 7.4.2 - Valores mínimos e máximos do fósforo total e formas nitrogenadas obtidos na UHE - Serra da Mesa no período de monitoramento de maio/2001 a janeiro/2003.

PARÂMETROS (mg/L)	RESERVATÓRIO					
	Superfície		Meio		Fundo	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Fósforo total	<0,01	0,63	<0,01	0,11	<0,01	0,18
Amônia	<0,01	0,22	<0,01	1,20	<0,01	1,30
Nitrato	<0,01	0,20	<0,01	0,27	<0,01	0,52
Nitrogênio inorgânico	0,02	0,31	0,02	1,22	0,02	1,31

Fonte: RELTEC/MULTIGEO/03063.

Obs.: Estações de monitoramento consideradas no período: MRN-05, MRN-10, MRN-30, MRN-40, MRN-50, MRN-55, MRN-60, BGG-20 e PST-10.



É preciso levar em consideração que a ordem de grandeza do valor máximo detectado na superfície ocorreu somente no ponto PST-10 em fevereiro/2002, neste período observou-se uma grande quantidade de lixo acumulado na superfície do rio Passa Três, que poderia explicar o alto valor detectado. Na maioria das campanhas o fósforo total não foi detectado na superfície. A disponibilização do nutriente fósforo não é uma condição necessária, é uma potencialidade, mas não é condição suficiente para a classificação do ambiente, é preciso que o fósforo seja absorvido pelos organismos aquáticos, que estes se proliferem e apresentem as condições indesejadas de altos níveis tróficos.

De acordo com os resultados de fósforo, clorofila *a* e disco de Secchi obtidos em cada estação e campanha, foram calculados os índices do estado trófico, segundo Carlson (1977). Com os valores resultantes de cada parâmetro foi calculada a média, a qual é utilizada para classificar o estado trófico de cada ponto. Os critérios de classificação baseados no TSI são indicados no Quadro 7.4.3.

Quadro 7.4.3 - Critérios para classificação em função do TSI

TSI	Clorofila (mg/L)	Disco de Secchi (m)	Fósforo (mg/L)	Atribuição
< 30	<0,95	> 8	< 0,006	Oligotrófico
30 - 40	0,95 - 2,6	8 - 4	0,006 - 0,012	Hipolimnio de lagos rasos pode se tornar anóxico
40 - 50	2,6 - 7,3	4 - 2	0,012 - 0,024	Mesotrófico
50 - 60	7,3 - 20	2 - 1	0,024 - 0,048	Eutrófico
60 - 70	20 - 56	0,5 - 1	0,048 - 0,096	Predomínio de algas azuis, espuma de algas e problemas com macrófitas
70 - 80	56 - 155	0,25 - 0,5	0,096 - 0,192	Hipereutrófico
> 80	> 155	< 0,25	0,192 - 0,384	Espumas de algas, poucas macrófitas

Fonte: Carlson & Simpson (1996).

Considerando a média dos valores calculados para cada ponto, têm-se os pontos de entrada (MRN-05, MRN-10 e PST-10) classificados como eutróficos. O ponto MRN-30 parece refletir ainda a condição dos pontos de entrada, situando-se na categoria de mesotrofia e os demais pontos (MRN-40, MRN-50 e BGG-20) situaram-se na categoria oligotrófica.

Diante destes resultados, pode-se inferir que os pontos de entrada, principalmente o MRN-10 e PST-10 (em média no estado eutrófico), já apresentam condições desfavoráveis para o reservatório em termos de trofia. Os pontos a jusante destes parecem apenas refletir as condições encontradas a montante.

Cabe ressaltar, conforme já detectado ao longo das campanhas de monitoramento, que as concentrações de nutrientes minerais, especialmente fósforo, não refletem as condições de eutrofização observadas através de outros parâmetros de monitoramento.



MULTIGEO

O Quadro 7.4.4, a seguir, resume as observações acima, indicando para cada ponto o seu estado trófico. Ressalta-se que o cálculo do TSI deste período foi realizado segundo Carlson (1977).

Quadro 7.4.4 - Valor do TSI por estação e por campanha

Estação	Campanhas								Média
	mai/01	jul/01	out/01	fev/02	abr/02	jul/02	out/02	jan/03	
MRN-05	55	46	-	-	-	-	-	-	51
MRN-10	-	-	61	70	51	-	-	62	61
MRN-30	40	41	41	52	37	-	-	41	42
MRN-40	39	42	39	41	38	-	-	33	39
MRN-50	38	37	39	40	33	-	-	37	37
BGG-20	38	40	42	39	38	-	-	35	39
PST-10	48	48	55	71	50	-	-	47	53

Obs.: (-) sem dados para cálculo

 Oligotrófico  Mesotrófico  Eutrófico  Hipereutrófico

Monitoramento 2005 a 2007

Para o período de abril de 2005 a fevereiro de 2007, o cálculo do índice de estado trófico foi baseado em TOLEDO JR. *et al* (1983), conforme o recomendado em MERCANTE & TUCCI (1999). O referido índice é originado de CARLSON (1977) modificado para ambientes tropicais. Ainda como proposta, foram utilizadas as concentrações de fósforo total como indicador do grau de trofia do sistema, sendo que o índice apresentado está baseada na média entre os resultados do índice de fósforo total. Para tanto os limites de valores resultantes do cálculo do índice foram os seguintes:

TSI < 44 oligotrófico
44 < TSI < 54 mesotrófico
TSI > 54 eutrófico

O Quadro 7.4.5 apresenta o cálculo do TSI segundo o fósforo total para o reservatório de Serra da Mesa.



MULTIGEO

Quadro 7.4.5 - Valores de TSI de acordo com as concentrações de fósforo total.

Estação	Campanhas															Média	
	abr/05	jun/05	jul/05	ago/05	out/05	dez/05	jan/06	fev/06	abr/06	jun/06	jul/06	ago/06	out/06	dez/06	jan/07		fev/07
MRN-10	46	-	28	-	-	-	40	-	60	-	29	-	29	-	54	-	41
MRN-50	0	0	23	0	0	0	0	17	18	16	9	0	10	14	16	53	11
MRN-55	40	0	30	0	0	0	0	23	17	23	20	23	17	13	17	54	17
MRN-03	62	50	41	30	44	0	46	74	71	33	41	41	48	76	78	64	50
BGG-05	67	-	23	-	0	-	0	-	66	-	23	-	78	-	57	-	39
PST-05	46	30	45	30	47	17	7	65	73	34	36	38	46	70	75	68	45
PST-10	40	-	31	-	0	-	7	-	41	-	25	-	35	-	41	-	28
ALM-30	62	40	40	30	0	17	46	76	83	40	41	38	48	80	77	62	49
MRN-30	-	-	-	-	-	-	0	-	23	-	30	-	25	-	30	-	22
TCZ-10	-	-	25	-	-	-	0	-	68	-	20	-	31	-	53	-	33
BLG-10	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43

	TSI = 0
	TSI < 44 oligotrófico
	44 < TSI < 54 mesotrófico
	TSI > 54 eutrófico

De modo geral, para o período de estudo, o reservatório apresentou características de ambientes pobres em nutrientes (oligotrófico). Isto é corroborado pela estimativa da biomassa fitoplanctônica dada pelas concentrações de clorofila *a*, constantemente abaixo de 5 µg/L. Ressalta-se que estudos demonstram que ambientes oligotróficos apresentam valores de clorofila até 5 µg/L e eutróficos acima de 30 µg/L. Além disso, as baixas densidades totais da comunidade fitoplanctônica reforçam a suposição de que o referido reservatório tem baixa produtividade e é pobre em nutrientes. Tal fato pode ser explicado pelas baixas concentrações (constantemente abaixo do valor de detecção do método) de fósforo solúvel reativo (ortofosfato), que é o elemento biologicamente disponível para o fitoplâncton. Estas baixas concentrações foram verificadas nos diferentes meses, profundidades e pontos de amostragem. Muito embora as concentrações de fósforo total muitas vezes se apresentaram elevadas, muito provavelmente este elemento ficou adsorvido nas partículas inorgânicas como areias e argilas não se tornando biodisponível.

Pode-se observar pelos resultados dos últimos anos (abril/2005 a fevereiro/2007) que mesmo ocorrendo níveis mais elevados do índice de estado trófico esporadicamente em alguns meses (valores acima de 54), este ficou mais frequentemente abaixo de 54, evidenciando que o sistema apresenta bom grau de autodepuração da matéria orgânica que entra na água. Novamente fica claro que mesmo ocorrendo um aporte maior de matéria orgânica, notadamente nos pontos MRN-03, BGG-05 e PST-05 (cabeceras), não se verificou incremento da biomassa do fitoplâncton, estimada pela clorofila *a*, no reservatório fazendo supor que o mesmo não se encontra em estágio avançado de um processo de eutrofização artificial.

Como mencionado anteriormente, o processo de eutrofização tem relação com a entrada excessiva de fósforo que promove o aumento das algas e das plantas aquáticas, fato que não foi observado para o período de 2005 a 2007 e nem nos períodos de 2001 a 2003. Deve-se destacar, entretanto, que a anoxia do fundo se deve



muito provavelmente ao processo de decomposição da matéria orgânica advinda da deposição de material particulado e da vegetação de fundo, que eventualmente foi coberta pela água no período do enchimento, podendo promover em médio e longo prazo uma eutrofização do reservatório. Portanto, o monitoramento do perfil de oxigênio e do perfil de temperatura da água são essenciais para acompanhar ao longo do tempo o estágio de trofia do sistema. Além disso, o monitoramento dos parâmetros relacionados diretamente ao processo de eutrofização como clorofila *a*, transparência da água, fósforo total e fósforo solúvel reativo (ortofosfato ou fosfato inorgânico) são essenciais para o controle do referido processo.

7.5 COMPOSIÇÃO IÔNICA

Nos ecossistemas aquáticos os íons exercem importantes funções relacionadas com os processos fisiológicos de suas comunidades. Nas águas continentais ocorrem grandes variações nas concentrações dos íons, devido principalmente às características geológicas da bacia, as condições climáticas da região e ainda, mais recentemente, devido às atividades industriais e mineração.

O padrão de distribuição vertical dos principais cátions e íons em corpos d'água profundos, onde ocorre estratificação térmica, geralmente é apresentar elevada concentração no hipolímnio, e conseqüentemente elevada condutividade elétrica.

A região onde se localiza a UHE - Serra da Mesa se caracteriza pela presença de rochas magmáticas e calcárias, influenciando, portanto, na caracterização iônica do reservatório. No Quadro 7.5.1, são apresentados valores médios dos íons registrados durante o monitoramento de abril/2005 a fevereiro/2007 no reservatório de Serra da Mesa. Comparativamente são apresentados os valores médios encontrados nos rios de diversos continentes.

Quadro 7.5.1 - Valores médios dos íons registrados na UHE - Serra da Mesa e em diversos rios.

Ecossistemas	Íons (mg/L)					
	Sódio	Potássio	Magnésio	Cálcio	Cloreto	Sulfato
Europeus	5,4	1,7	5,6	31,1	6,9	24,0
Norte-Americanos	9,4	1,4	5,0	21,0	8,0	2,0
Sul-Americanos	4,0	2,0	1,5	7,0	4,9	4,8
Africanos	11,0	-	3,8	12,5	12,1	13,5
Média Mundial	6,3	2,3	4,1	15,0	7,8	11,2
UHE - SERRA DA MESA	2,6	1,8	3,7	8,9	0,8	3,7

Obs.: Valores de Serra da mesa - média referente à superfície, considerando todos os pontos.

Fonte: Esteves, 1998 (modificado).

De maneira geral, os resultados dos íons obtidos no reservatório da UHE - Serra da Mesa são compatíveis com os ecossistemas Sul-Americanos, sendo inferiores aos verificados para os ecossistemas de diversos continentes.



MULTIGEO

Considerando-se os rios Maranhão e Almas, principais tributários do rio Tocantins, é possível verificar que o primeiro contribui com uma concentração média de cálcio e magnésio maior que o segundo. Quanto aos outros íons, os valores do rio das Almas são levemente maiores que do rio Maranhão (Quadro 7.5.2).

Quadro 7.5.2 - Média dos valores de íons registrados nas estações MRN-03 e ALM-30

Íons	Estações de monitoramento	
	MRN-03	ALM-30
cloreto (mg/L)	0,69	1,06
sulfato (mg/L)	3,75	4,73
cálcio (mg/L)	17,61	6,08
magnésio (mg/L)	7,17	2,40
potássio (mg/L)	1,90	2,12
sódio (mg/L)	2,40	3,51

7.6 QUALIDADE DA ÁGUA

As águas do reservatório de Serra da Mesa se enquadram na classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005. Podendo, portanto, ser destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à aqüicultura e atividades de pesca.

De acordo com os resultados obtidos, alguns parâmetros se apresentaram em desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005. No Quadro 7.6.1 são apresentadas as estações de monitoramento, cuja qualidade na superfície da coluna d'água esteve em desacordo com a classe 2. Observe-se que essas estações referem-se às entradas do reservatório (que refletem as cargas da bacia de drenagem) ou a sua saída (que refletem camadas inferiores da coluna de água).

Quadro 7.6.1 - Estações de amostragem, cujos parâmetros estiveram em desacordo com os limites para classe 2 - CONAMA 357/2005.

PARÂMETROS	CLASSE 2	Estações de monitoramento							
		ALM-30	MRN-03	MRN-10	MRN-50	MRN-55	BGG-05	PST-05	TCZ-10
Oxigênio Dissolvido	> 5 mg/L	-	-	-	-	1,30 mg/L (abr/05) 3,20 mg/L (jan/06) 2,68 mg/L (fev/06) 1,70 mg/L (abr/06)	-	-	-
Turbidez	< 100 UNT	336,00 UNT (abr/06) 353,60 UNT (fev/07)	128,00 UNT (dez/05) 160,00 UNT (abr/06)	-	-	-	400,00 UNT (abr/06) 130,00 UNT (out/06)	117,00 UNT (abr/06) 130,00 UNT (out/06)	110,00 UNT (abr/06)
pH	6 a 9	9,20 (dez/06)	-	-	5,84 (jan/06) 9,93 (dez/06)	5,20 (ago/05)	-	-	4,14 (abr/06)
Fósforo Total	≤ 0,03 mg/L ambiente lântico	0,090 mg/L (abr/05) 0,030 mg/L (jan/06) 0,238 mg/L (fev/06) 0,402 mg/L (abr/06) 0,034 mg/L (out/06) 0,331 mg/L (dez/06) 0,270 mg/L (jan/07) 0,094 mg/L (fev/07)	0,090 mg/L (abr/05) 0,040 mg/L (jun/05) 0,030 mg/L (out/05) 0,219 mg/L (fev/06) 0,167 mg/L (abr/06) 0,036 mg/L (out/06) 0,245 mg/L (dez/06) 0,282 mg/L (jan/07) 0,103 mg/L (fev/07)	0,030 mg/L (abr/05) 0,082 mg/L (abr/06) 0,053 mg/L (jan/07)	0,051 mg/L (fev/07)	0,054 mg/L (fev/07)	0,130 mg/L (abr/05) 0,119 mg/L (abr/06) 0,279 mg/L (out/06) 0,065 mg/L (jan/07)	0,030 mg/L (abr/05) 0,033 mg/L (out/05) 0,111 mg/L (fev/06) 0,202 m/L (abr/06) 0,031 mg/L (out/06) 0,163 mg/L (dez/06) 0,223 mg/L (jan/07) 0,138 mg/L (fev/07)	0,141 mg/L (abr/06) 0,048 mg/L (jan/07)
Ferro Dissolvido*	≤ 0,3 mg/L	1,94 mg/L (abr/06) 0,34 mg/L (jun/06) 1,00 mg/L (dez/06) 1,17 mg/L (jan/07) 1,29 mg/L (fev/07)	0,57 mg/L (abr/06) 0,56 mg/L (jan/07) 1,00 mg/L (fev/07)	1,35 mg/L (abr/06) 0,87 mg/L (jan/07)	0,66 m/L (fev/07)	0,65 mg/L (abr/06) 0,42 mg/L (jul/06) 0,40 mg/L (out/06) 0,40 mg/L (dez/06) 0,51 mg/L (fev/07)	0,45 mg/L (abr/06) 0,36 mg/L (jul/06) 0,46 mg/L (out/06)	1,00 mg/L (abr/06) 0,38 mg/L (jul/06) 0,40 mg/L (ago/06) 0,36 mg/L (out/06) 0,60 mg/L (dez/06) 0,84 mg/L (jan/07) 0,82 mg/L (fev/07)	-

Obs: Ferro Dissolvido* - considerado a partir de abril/06.



O oxigênio dissolvido esteve abaixo do limite estabelecido pela legislação somente na estação MRN-55 nas campanhas de abril/2005, janeiro, fevereiro e abril/2006, com valores entre 1,3 mg/L e 3,2 mg/L. Nesta estação as amostras refletem as condições no ponto de captação da água da usina, que ocorre nas camadas inferiores do reservatório, onde naturalmente há menos oxigênio dissolvido. A medição é feita na saída das turbinas, de modo que não houve turbulência suficiente do fluxo para incorporação do oxigênio atmosférico pela água. Nos pontos do reservatório, mesmo os de cabeceira, o OD esteve em conformidade com a classe 2.

Como era de se esperar os maiores valores de turbidez foram registrados no período de chuva, além disso, os valores de turbidez que excederam o limite (100 UNT) foram registrados nas estações de cabeceira (ALM-30, MRN-03, BGG-05, PST-05 e TCZ-10). O maior valor foi registrado na estação BGG-05 em abr/06 (400 UNT). A estação ALM-30 também se destacou pelos altos valores registrados de turbidez (336 UNT em abr/06 e 353,6 UNT em fev/07).

Os valores de pH que estiveram fora do limite estabelecido pela legislação ocorreram nas estações MRN-50 (jan/06 e dez/06), MRN-55 (ago/05) e TCZ-10 (abr/06), com o menor valor registrado nesta última estação (4,14). Esta estação localiza-se a jusante do município de Colinas e é caracterizada pelo alto fluxo das águas, presença de vegetação nas margens e solo pedregoso, a única observação que pode estar relacionada ao valor baixo é a presença de matéria orgânica e turbidez alta (110 UNT). Como já salientado anteriormente, as condições encontradas na estação MRN-55 refletem aquelas da profundidade de tomada d'água, que passam pelas turbinas da UHE - Serra da Mesa. Nas estações ALM-30 e MRN-50 foram registrados ainda os valores de pH de 9,2 e 9,93, respectivamente, estes valores provavelmente estiveram relacionados com a ocorrência de chuvas no período.

O fósforo total foi detectado com valores acima do limite estabelecido pela legislação nas estações de cabeceira (ALM-30, MRN-03, PST-05, TCZ-10 e BGG-05) e também nas estações de reservatório (MRN-10, MRN-50, MRN-55). As estações de cabeceira estão localizadas nos trechos dos rios Maranhão, Almas, Passa Três e Bagagem, ou seja, são áreas de pouca influência do reservatório e consideradas, portanto, os locais de entrada para o sistema; elas refletem o efeito do uso e ocupação do solo na bacia de drenagem. A estação MRN-10 caracteriza-se por ser o ponto do reservatório com alta influência ainda dos rios Maranhão e Almas, já as estações restantes caracterizam as águas situadas nas imediações da barragem (MRN-50) e logo a jusante dela (MRN-55). O maior valor de fósforo total ocorreu na estação ALM-30 (0,402 mg/L em abr/06). Nas estações MRN-03 e PST-05 também foram registrados valores altos de fósforo e com ocorrência freqüente de valores acima do limite estabelecido para a classe 2. Na estação MRN-10 os valores variaram de 0,030 e 0,082 mg/L e na estação MRN-50 somente em uma campanha o valor foi alto (0,054 mg/L em fev/07). De modo geral, os resultados elevados obtidos de fósforo total parecem estar relacionados com a



MULTIGEO

ocorrência de chuvas no período. As águas das chuvas promovem carreamento dos nutrientes utilizados na agricultura para dentro do reservatório.

Outro parâmetro cujo limite foi superado em alguns pontos e campanhas foi o ferro dissolvido. Este metal foi detectado em várias campanhas nas estações ALM-30, MRN-03, MRN-10, MRN-50, MRN-55, BGG-05 e PST-05. O maior valor (1,94 mg/L) ocorreu na estação ALM-30 em abril de 2006. Na estação MRN-55, que se localiza a jusante do MRN-50, o ferro dissolvido foi detectado em várias campanhas com valor acima do limite estabelecido pela legislação. Tal fato ocorre porque a tomada d'água situa-se na profundidade e não na superfície do reservatório, local em que a quantidade de ferro dissolvido é maior, portanto a água que chega na estação MRN-55 reflete as condições de profundidade da estação MRN-50.



MULTIGEO

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas dezesseis campanhas realizadas na UHE - Serra da Mesa foram executadas as atividades programadas e estabelecidas no licenciamento.

As águas do reservatório estão enquadradas na Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005. De acordo com os resultados obtidos no reservatório de Serra da Mesa, durante o período de abril/2005 a fevereiro/2007, a quase totalidade dos parâmetros apresentou resultados compatíveis com os limites da resolução.

Alguns parâmetros se apresentarem em desacordo com a legislação. Basicamente, essas desconformidades são devidas a causas naturais ou ao uso e ocupação do solo a montante do reservatório. A seguir apresentam-se apenas os valores das amostras que estão em desacordo com o preconizado para a Classe 2:

- a) O **oxigênio dissolvido** (OD) atendeu plenamente ao padrão legal em todos os pontos do reservatório, com exceção do ponto MRN-55 (já a jusante do reservatório), cujas concentrações estiveram abaixo de 5,0 mg/L, nas campanhas de abril/2005, janeiro, fevereiro e abril/2006. A explicação para esse efeito é o fato de suas águas serem provenientes da câmara de descarga da UHE onde juntam-se águas de diversas profundidades do reservatório, parte delas com baixa concentração de oxigênio;
- b) O valor de **turbidez** somente foi superior ao limite máximo estabelecido para a classe nas estações de entrada do reservatório (ALM-30, MRN-03, BGG-05, PST-05 e TCZ-10) e estiveram relacionadas com as chuvas que ocorreram durante o período de coleta.
- c) O **pH** tem seus limites entre 6 e 9, que são estabelecidos para corpos d'água de classe 2. Na estação MRN-55 registrou-se pH de 5,2 na campanha de agosto/2005, este resultado pode ser explicado pela mesma razão observada para o parâmetro oxigênio dissolvido. Na estação TCZ-10 (entrada do reservatório pelo rio Tocantinzinho), foi registrado o menor valor de pH (4,14), muito provavelmente este resultado esteja relacionado com a presença de muita matéria orgânica no local onde se efetuou a coleta de amostras e ainda pela localização do ponto (a jusante do município de Colinas); nas estações ALM-30 e MRN-50, foram registrados valores de 9,2 e 9,9, respectivamente, ambos em dezembro/2006, muito provavelmente estes resultados estivessem relacionados com a ocorrência de chuva no período.
- d) O **fósforo total** foi detectado com valores acima do limite (de 0,03 a 0,40 mg/L) nos pontos de entrada do reservatório (ALM-30, MRN-03, BGG-05, PST-05 e TCZ-10), nas estações que representam o reservatório (MRN-10, MRN-50) e na estação a jusante da barragem da usina (MRN-55). Na resolução CONAMA 357/2005 o fósforo total tem como limite superior o valor de 0,030 mg/L (para ambientes



MULTIGEO

lênticos) e 0,050 mg/L (para ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico)

- e) O **ferro dissolvido** foi detectado com valores acima do limite estabelecido pela legislação nos pontos de entrada (ALM-30, MRN-03, MRN-10, MRN-50, BGG-05, MRN-55 e PST-05) e na estação a jusante da barragem (MRN-55). O maior valor ocorreu na estação ALM-30 (1,94 mg/L), porém foi detectado com maior frequência apresentando valores acima do limite na estação PST-05.

As condições preponderantes observadas na UHE - Serra da Mesa no período de abril/2005 a fevereiro/2007 refletem a inserção desse sistema hídrico na bacia de drenagem, que ainda mantém grandes extensões de vegetação natural, representada pelo cerrado. O uso e ocupação do solo nessa área é basicamente destinado à pastagem e, em menor percentual, ao cultivo de lavouras e à extração de minérios. Os núcleos urbanos são dispersos e de pequeno porte, mas a maioria deles não possui sistemas adequados de coleta e tratamento de esgotos. Esses fatores contribuem para o aporte de sedimentos e de nutrientes ao reservatório, especialmente através dos rios Maranhão e das Almas, como foi analisado no item 7.2.

Presentemente, o reservatório está claramente em estado de oligotrofia, evidenciado pelas baixas densidades da comunidade fitoplanctônica e corroborado pela baixas concentrações de clorofila *a*, além de alta transparência da água e baixas concentrações de nutrientes particularmente de fósforo biologicamente assimilável (ortofosfato ou fósforo solúvel reativo).

Esporadicamente foram constatados valores mais altos no cálculo do índice de estado trófico, principalmente nos meses chuvosos e nas estações de cabeceiras. A média final calculada para a maioria dos pontos de monitoramento resultou na categoria oligotrófica. Apenas os pontos de cabeceiras (MRN-03, PST-05 e ALM-30) situaram-se na categoria mesotrófica.

Considerando-se o aspecto biológico, durante o período de monitoramento, a comunidade fitoplanctônica ocorreu em baixa densidade total e relativa. A classe das clorofíceas predominou por todo o período e pontos de monitoramento, sendo as cianobactérias o segundo grupo predominante. Curiosamente, em agosto/2005 foi registrada a presença de elevada densidade de uma espécie de clorofícea, *Choricystis minor* (35.252 org./mL) na estação MRN-50 à profundidade correspondente à 1% de luz. No entanto, nas campanhas subseqüentes não foram relatadas quantidade expressiva desta alga, tratando-se portanto, de um caso esporádico.

Embora as cianobactérias tenham ocorrido em baixas densidades no reservatório, elas são algas com potencial tóxico, que em condições favoráveis, como a elevada entrada de matéria orgânica no sistema associada às temperaturas acima de 20 °C entre outros fatores, têm crescimento rápido levando à florações e conseqüentemente ocasionar a deterioração da qualidade da água do reservatório em curto prazo. Ressalta-se que as densidades relativas foram bastante inferiores ao preconizado pela legislação, onde se



MULTIGEO

considera que valores de densidades iguais ou superiores a 10.000 cel./mL em uma única amostra podem causar sérios riscos a saúde humana, notadamente em águas de abastecimento.

Quanto ao zooplâncton, de modo geral, não foi constatado um padrão de dominância de espécies ao longo do reservatório. Também não foi observada uma relação da densidade com a sazonalidade, mas constatou-se que ocorre aumento da densidade numérica no sentido cabeceiras-barragem. Isto costuma ocorrer devido à redução da velocidade da corrente, maior sedimentação do material em suspensão e o desenvolvimento de condições mais favoráveis para colonização por organismos autotróficos, entre outros fatores.

Considerando-se a composição específica do zooplâncton de cada estação, verificaram-se semelhanças entre as estações situadas no eixo principal do reservatório, MRN-30 e MRN-50 e entre as estações sujeitas a uma maior influência de tributários, PST-10 e MRN-10, que apresentaram táxons não euplanctônicos, tais como larvas de insetos e Platyhelminthes.

Ressalta-se que a entrada de fósforo e nitrogênio no corpo aquático relaciona-se diretamente aos usos múltiplos do reservatório e da bacia hidrográfica como um todo. Tais usos relacionam-se notadamente às atividades agrícolas, pastagens, piscicultura, uso industrial e aos lançamentos de esgotos domésticos. Portanto, a expansão dessas atividades e o conseqüente carreamento de matéria orgânica ao sistema aquático poderá em curto a médio prazo desencadear um processo de eutrofização no reservatório, trazendo prejuízos a sua qualidade da água.

O monitoramento limnológico e da qualidade das águas do reservatório é uma importante ferramenta para o registro de alterações ao longo do tempo, podendo indicar com antecedência a necessidade de medidas de controle para evitar problemas que levem riscos aos usos preponderantes a que se destinam os corpos d'água.



9. BIBLIOGRAFIA

- ALLAN, J. D. 1976 Life history patterns in zooplankton. *Amer. Naturalist*, 110(971):165-180.
- ANA, 2005. Mapa das Bacias Hidrográficas Brasileiras. <http://hidroweb.ana.gov.br>.
- ANAGNOSTIDIS, K. & KOMÁREK, J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 3: Oscillatoriales. *Algological Studies* 50 (53): 327-472.
- BOURRELLY, P. 1981. Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 2: les algues jaunes et brunes, les Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Volume 2. Paris: Éditions N. Boubée. 517p.
- BOURRELLY, P. 1985. Les algues d'eau douce: initiation à la systématique, 3: les algues bleues et rouges, les Eugléniens, Peridiniens, et Cryptomonadines. Volume 3. (Ed. rev. aum.) Paris: Éditions N. Boubée. 606p.
- BEYRUTH, Z. 1996. Comunidade fitoplanctônica da Represa de Guarapiranga: 1991-92. Aspectos ecológicos, sanitários e subsídios para reabilitação da qualidade ambiental. São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 191 p.
- BRANCO, S. M., 1986. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. CETESB/ASCETESB, 640 p.
- CALEFFI, S. 1994 A represa de Guarapiranga: estudo da comunidade zooplanctônica e aspectos da eutrofização. São Paulo. Dissertação de Mestrado - FSP/USP.
- CARLSON, R. E. 1977. A Trophic state index for lakes. *Limnol. & Oceanogr.*, 22:361-369
- CARLSON, R. E. & SIMPSON, J. 1996. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96 p.
- COELHO-BOTELHO, M.J.; Cabianca, M.A.A. & Sendacz, S. em prep. Alterações na composição da comunidade zooplanctônica em represas do Alto e Médio Tietê, Estado de São Paulo.
- CROSSETTI, L. & BICUDO, C. E.M 2005. Effects of nutrient impoverishment on phytoplankton biomass: a mesocosms experimental approach in a shallow eutrophic reservoir (Garças Pond), São Paulo, southeast Brazil. *Revista Brasileira de Botânica.*, Mar, vol.28, no.1, p.95-108. ISSN 0100-8404



- ELOLANTRA, P. 1993. Diversity and succession of phytoplankton in a small lake over a two-year period. *Hydrobiologia* 249: 25-32. In: Padisák, J.; Reynolds, C.S. and Sommer, U. Belgium.
- ESPINDOLA, E. L. G., Matsumura-Tundisi, T. & Rietzler, A. 2000. Spatial heterogeneity of the Tucuruí Reservoir (State of Pará, Amazonia, Brazil) and distribution of zooplanktonic species. *Rev. Bras. Biol.*, 60(2):179-194.
- ESTEVES, F. de A., 1998. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed., Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 575 p.
- FURNAS/IESA, 1996. Projeto Básico Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico Serra da Mesa, Implantação dos Programas Ambientais. Ago./1996.
- HABTEC, 2000. Relatório Final de Avaliação - Monitoramento Limnológico e da Qualidade da Água, fase III - Operação do Reservatório. Set. 2000.
- HAPPEY-WOOD, C.M. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. In: C. D. Sandgren (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press. 1988 p. 103-133.
- HINO, K. 1979. Análise quantitativa e qualitativa do microfcton da Represa do Lobo (Broa), São Carlos-SP. São Carlos, 1979. Dissertação de Mestrado - UFSCar, 119p.
- IBGE a, 2005. Mapa da Vegetação do Brasil. www.ibge.gov.br .
- IBGE b, 2005. Censo da População. www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php .
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophyte, 2: Chroococcales. *Algological Studies* 43: 157-226.
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 1989. Modern approach to the classification system of cyanophytes, 4: Nostocales. *Algological Studies* 56: 247-345.
- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 1999. Cyanoprokaryota. 1. Teil Chroococcales. In: Ettl, H., Gärtner, G.; Heynig, H. & Möllenhauer, D. (Ed.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. vol. 19/1, p. 1-548.
- LACERDA FILHO, J. V., 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia. CPRM/METAGO/UNB. www.cprm.gov.br/geo/geolgoias.html .
- LAMPERT, W. & SOMMER, U. 1997. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. 382 pp.
- LEGENDRE, L. & LEGENDRE, P. 1983 *Numerical Ecology*. Elsevier, New York. 419 p.



- LUND, J.W.G., KIPLING, C. & LECREN, E.D. 1958. The invert microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11:143-170.
- MARGALEF, R., 1983. *Limnología*. Barcelona: Omega S.A., 1010p.
- MARGALEF, 1991 *Ecologia*. Barcelona: Ed. Ediciones Omega.
- MARINHO, M.M. 1994. Dinâmica da comunidade fitoplanctônica de um pequeno reservatório raso densamente colonizado por macrófitas aquáticas submersas (Açude do Jacaré, Mogi-Guaçu, SP, Brasil). Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 151 p.
- MATSUMURA-TUNDISI, T., NEUMANN-LEITÃO, S., AGUENA, L.S. & MIYAHARA, J. 1990. Eutrofização da represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de Rotifera. *Rev. Bras. Biol.*, 50(4):923-935.
- MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J.G. 2003 Calanoida (Copepoda) species composition changes in the reservoir of São Paulo State (Brazil) in the last twenty years. *Hydrobiologia* 504:215-222.
- MELÃO, M.G.G. 1997 A comunidade planctônica (fitoplâncton e zooplâncton) e produtividade secundária do zooplâncton de um reservatório oligotrófico. São Carlos, SP. Tese (Doutorado). UFSCar.
- MERCANTE, C. T. J. 1993. *Croasdalea marthae* (Zygnemaphyceae): Estudo da distribuição espaço-temporal e avaliação das características taxonômicas em função de variáveis ambientais no Açude do Jacaré, Moji Guaçu, SP. Dissertação de Mestrado - UNESP de Rio Claro, 212p.
- MERCANTE, C.T.J. & TUCCI-MOURA, A. 1999. Comparação entre os índices de Carlson e de Carlson modificado aplicados a dois ambientes aquáticos subtropicais, São Paulo, SP. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 11 (1): 1-14.
- PAYNE, A. I. 1986. *The ecology of Tropical Lakes and Rivers*. New York, John Wiley. 301p.
- PEJLER, B. 1977. On the global distribution of the family Brachionidae (Rotatoria). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 53:225-306.
- PEJLER, B. 1983 On the global distribution of the family Brachionidae (Rotatoria). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 53:225-306.
- PEREIRA, R.H.G. 2003 Análise da distribuição, densidade e diversidade de Copepoda Calanoida e Cyclopoida nos reservatórios e tributários do Médio e Baixo rio Tietê e sua relação com as características limnológicas do sistema. São Carlos: EESC/USP (Tese de Doutorado).



- PIANKA, E.R. 1970. On r- and k - selection. *Am. Nat.* 104: 592-597.
- PINTO-COELHO, R.M., COELHO, M.M., ESPÍRITO SANTO, M.M. & CORNELISSEN, T.G., 1999. Efeitos da eutrofização na comunidade planctônica da Lagoa da Pampulha, Belo Horizonte, M.G. In: Henry (ed.), *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. FAPESP-FUNDIBIO, 551-572.
- PIVA-BERTOLETTI, S.A.E. 2001 Zooplâncton dos algos do Parque Estadual das fontes do Ipiranga (SP) e relações entre espécies zooplânctônicas e estado trófico em corpos d'água do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado). FSP/USP. 253 pp.
- REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T., 1998. Solos do Bioma Cerrado: Aspectos Pedológicos. In: SANO, S. M. & ALMEIDA, S. P. (orgs.). *Cerrado - Ambiente e Flora*. Embrapa. Planaltina. 556 p.
- REID, J.W. 1989. The distribution of species of the genus *Thermocyclops* (Copepoda Cyclopoida) in the western hemisphere, with description of *T. parvus*, new species. *Hydrobiologia* 175:149-174.
- REYNOLDS, C. S., 1983. A physiological interpretation of the dynamic responses of a population of a planktonic diatom to physical variability of the environment. *New Phytologist* 95: 41-53. Apud: <http://www.wsu.edu/cctfish/bib-pht.html>
- ROUND, F.E. 1971. The taxonomy of the Chlorophyta II. *British Phycological Journal* 6 (2): 235-264.
- SENDACZ, S. & KUBO, E. 1999 Zooplâncton de Reservatórios do Alto Tietê, Estado de São Paulo. In: Henry, R. (ed). *Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função, Aspectos Sociais*. Botucatu, SP: FUNDIBIO: FAPESP. p. 509-530.
- SILVESTRE, R., 2000. Estrutura de Comunidades de Formigas do Cerrado. Tese de Doutorado - FFCL. Ribeirão Preto. 216 p.
- SIMONSEN, R. 1979. The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria* 2: 9-71.
- TALLING, J. F. 1986. The seasonality of phytoplankton in África lakes. *Hydrobiologia*, v.138, p.139-160.
- TOLEDO, A.P., TALARICO, M., CHINEZ, S.J. & AGUDO, E.G. 1983. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação e processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. P. 1-34.
- TUNDISI, J.G. 1990 Perspectives for ecological modelling of tropical and subtropical reservoirs in South America. *Ecological Modelling*, 52:7-20



MULTIGEO

- UTERMÖHL, H. 1958. Perfeccionamento del método cuantitativo del fitoplâncton. Commun. Assoc. Int. Limnol. Theor. Appl. (9): 1-89.
- VOLLENWEIDER, R. A. 1974. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris Rep. Organization for Economic cooperation and Development 192 p. (DAS/ CSI; 68.27).
- WEBER, C.I. 1973. Plankton. In: National Environmental Research Center Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati (Ed.). Biological field and laboratory methods for measuring the quality of surface water and effluents. p.1-17.
- WETZEL, R.G., 1983. Limnology. Philadelphia: Saunders. 2^a ed..
- WETZEL, R. G. & LIKENS, G. E., 1991, Limnological analyses. Springer-Verlag, New York, 391p.



ANEXO 1 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

RELTEC/MULTIGEO/06067



MULTIGEO

**ANEXO 2 - VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DOS PARÂMETROS
POR ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM**

RELTEC/MULTIGEO/07066

R.Funchal,19-4ºand-V.Olimpia-São Paulo/SP-04551-060-multigeo@multigeo.com.br-www.multigeo.com.br-PABX/FAX 11-3842-1383



MULTIGEO

ANEXO 3 - ART

RELTEC/MULTIGEO/07066

R.Funchal,19-4ªand-V.Olímpia-São Paulo/SP-04551-060-multigeo@multigeo.com.br-www.multigeo.com.br-PABX/FAX 11-3842-1383



MULTIGEO

Obs.: n = número de campanhas.

Obs.: n = número de campanhas.

Obs.: n = número de campanhas.



MULTIGEO



Foto 1 - Rio Almas, local de coleta da estação ALM-30.



Foto 4 - Vista da ponte sobre o rio Passa Três, local de coleta da estação PST-05.

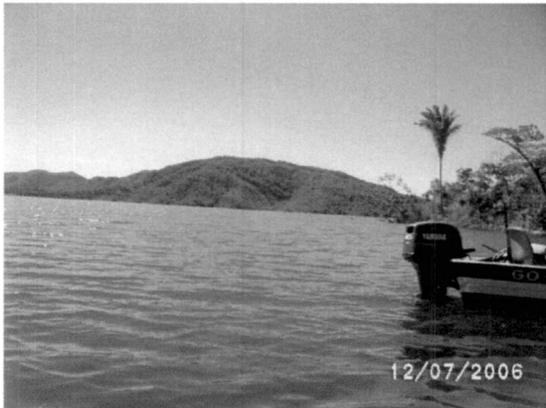


Foto 2 - Vista da área próxima da estação MRN-30.



Foto 5 - Coleta de amostras de água na estação PST-05. O ponto localiza-se logo abaixo à antiga ponte na BR-153.



Foto 3 - Ao fundo local de saída da água que passa pelas turbinas da usina hidrelétrica de Serra da Mesa. Registro de dados na estação MRN-55.

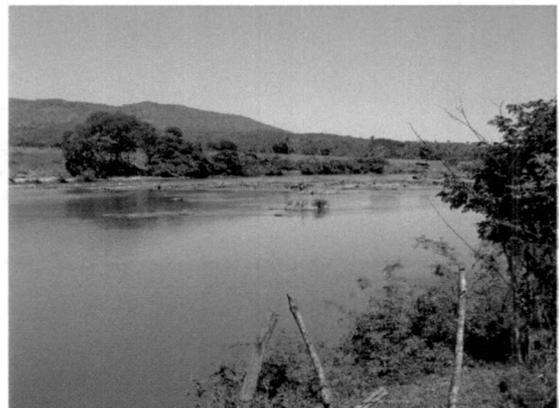


Foto 6 - Rio Bagagem, local de coleta da estação BGG-05.

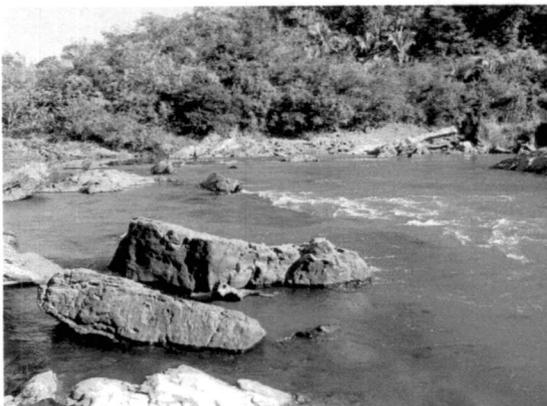


Foto 7 - Rio Tocantinzinho, local de coleta da estação TCZ-10.



Foto 10 - Coleta de amostras de água com a garrafa de Van Dorn nas profundidades da estação MRN-50.



Foto 8 - Registro com a sonda multiparâmetros na estação MRN-55.



Foto 11 - Casa de apoio da Usina de Serra da Mesa.



Foto 9 -Preparação para medição com a sonda multiparâmetros no ponto TCZ-10.



Foto 12 - Marcação dos frascos de amostras de água para determinações laboratoriais.



MULTIGEO

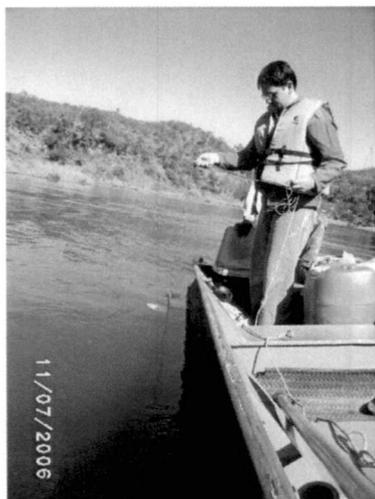


Foto 13 - Medição da transparência com o Disco de Secchi na estação TCZ-10.



Foto 15 - Coleta de fitoplâncton na campanha de janeiro de 2007.

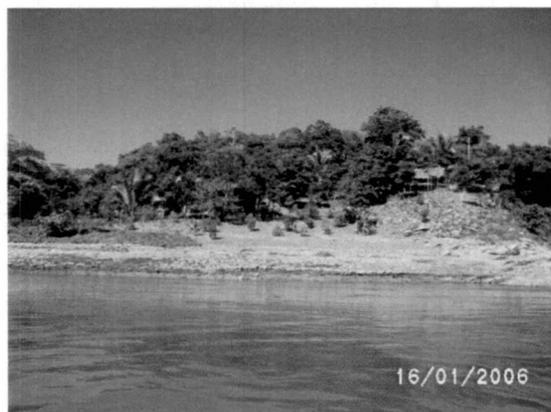


Foto 14 - Margem esquerda do rio Tocantinzinho, exemplificando o tipo de ocupação do solo. A estação de coleta TCZ-10 localiza-se a montante desta área.

PARÂMETROS	PROF.	MRN-50 (n=16)		MRN-55 (n=16)		MRN-10 (n=8)		PST-10 (n=8)		MRN-30 (n=8)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Profundidade de Coleta (m)	S	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	P1	25,00	30,00	-	-	-	-	-	-	30,00	30,00
	M	50,00	50,00	-	-	16,00	25,00	10,00	10,00	20,00	50,00
	P2	70,00	85,00	-	-	-	-	14,00	15,00	-	-
	Extra I	90,00	90,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	95,00	95,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	100,00	100,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	90,00	118,00	-	-	32,00	50,00	-	-	59,00	75,00
Temperatura do Ar (°C)		22,40	34,50	24,40	37,00	26,00	37,00	27,00	36,00	26,00	34,00
Temperatura da Água (°C)	S	25,63	30,06	23,30	27,60	26,16	33,27	25,97	32,30	25,98	30,01
	P1	24,40	25,50	-	-	-	-	-	-	25,10	25,10
	M	23,90	24,16	-	-	24,10	27,20	27,30	27,30	23,90	25,90
	P2	23,61	25,00	-	-	-	-	25,00	27,40	-	-
	Extra I	23,73	24,90	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	23,68	24,50	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	23,65	24,30	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	23,58	25,80	-	-	23,18	26,70	-	-	23,92	24,09
Profundidade de Secchi (m)		3,80	8,60	0,48	7,00	0,30	3,50	1,00	2,50	2,95	5,15
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	S	6,47	9,51	1,30	7,37	6,80	9,19	5,60	9,62	6,80	9,45
	P1	0,09	5,20	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50
	M	0,10	1,50	-	-	0,79	6,93	1,20	1,20	<0,01	6,64
	P2	<0,01	3,52	-	-	-	-	0,78	6,13	-	-
	Extra I	1,12	1,12	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	0,90	0,90	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	2,90	2,90	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	<0,01	3,50	-	-	0,30	6,02	-	-	0,36	0,60
pH	S	5,84	9,93	5,20	7,96	6,90	8,32	6,50	8,34	6,90	8,19
	P1	5,70	7,95	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	4,90	7,45	-	-	6,40	7,51	6,20	6,20	6,30	7,48
	P2	5,20	7,64	-	-	-	-	6,80	7,19	-	-
	Extra I	6,78	7,63	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	6,77	7,63	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	7,63	7,63	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	5,95	8,20	-	-	6,40	7,36	-	-	6,50	7,56
Turbidez (UNT)	S	<0,1	11,1	<0,1	10,3	1,2	59,9	1,7	13,4	0,4	5,6
	P1	<0,1	18,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,1	3,3	-	-	1,6	122,2	3,2	3,2	0,7	44,0
	P2	<0,1	0,6	-	-	-	-	2,1	53,3	-	-
	F	<0,1	16,0	-	-	0,6	188,7	-	-	1,8	5,0
Condutividade (µS/cm)	S	28,50	123,00	77,40	125,00	75,60	151,00	75,00	115,00	82,00	116,00
	P1	37,00	128,70	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	75,00	155,90	-	-	64,20	185,00	82,00	82,00	78,00	163,00
	P2	69,00	156,00	-	-	-	-	61,10	161,00	-	-
	Extra I	87,10	110,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	51,00	86,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	50,00	84,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	2,00	143,00	-	-	57,40	169,00	-	-	122,50	160,00
Alcalinidade (mg/L)	S	36,66	46,96	36,25	45,02	33,37	58,97	31,62	43,90	36,22*	49,58*
	P1	22,74	47,04	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	29,92	47,78	-	-	29,85	86,14	33,28	33,28	38,62*	55,56*
	P2	30,42	47,49	-	-	-	-	26,68	54,94	-	-
	Extra I	35,06	41,48	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	33,29	41,09	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	33,68	38,37	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	26,23	44,03	-	-	26,44	68,31	-	-	53,81*	63,75*
DQO (mg/L)	S	1,46	33,76	0,97	52,76	4,80	28,91	1,88	20,20	2,44*	19,05*
	P1	1,09	13,66	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	0,73	29,82	-	-	4,82	18,28	7,19	7,19	4,66*	12,44*
	P2	1,64	42,61	-	-	-	-	6,48	34,26	-	-
	F	0,44	45,80	-	-	3,23	22,97	-	-	2,56*	12,28*
Clorofila-a (µg/L)	S	0,3738	4,5400	0,1300	4,1700	1,2000	8,9720	<0,0001	8,3848	1,0900*	5,0355*
	P1	<0,0001	8,8300	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,0001	2,7500	-	-	0,2937	1,6600	3,9000	3,9000	0,3200*	1,2016*
	P2	<0,0001	4,0600	-	-	-	-	1,3085	3,1200	-	-
	F	<0,0001	0,8000	-	-	0,1300	2,1400	-	-	<0,0001*	0,4807*

Obs: (*) Parâmetros analisados a partir de janeiro/2006.

PARÂMETROS	PROF.	MRN-50 (n=16)		MRN-55 (n=16)		MRN-10 (n=8)		PST-10 (n=8)		MRN-30 (n=8)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Cloreto (mg/L)	S	0,34	1,05	0,07	0,88	0,51	1,23	0,52	1,14	0,69*	0,86*
	P1	0,26	1,14	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	0,44	0,88	-	-	0,51	0,88	1,14	1,14	0,52*	0,87*
	P2	0,26	0,96	-	-	-	-	0,51	1,22	-	-
	F	0,17	1,05	-	-	0,69	1,05	-	-	0,51*	0,87*
Nitrato (mg/L)	S	<0,04	0,160	<0,04	0,140	0,040	0,170	<0,04	0,200	<0,04*	0,110*
	P1	<0,04	0,140	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,04	0,160	-	-	0,030	0,240	0,110	0,110	<0,04*	0,160*
	P2	<0,04	0,160	-	-	-	-	0,060	0,210	-	-
	F	<0,04	0,160	-	-	0,080	0,210	-	-	<0,04*	0,100*
Nitrito (mg/L)	S	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,001*	0,003*
	P1	<0,001	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,001	0,002	-	-	<0,001	<0,001	-	-	0,002*	0,002*
	P2	<0,001	0,002	-	-	-	-	0,002	0,004	-	-
	F	<0,001	0,003	-	-	<0,001	<0,001	-	-	<0,001*	0,002*
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	S	<0,007	0,01	<0,007	0,110	<0,007	0,020	<0,007	0,030	<0,007*	0,010*
	P1	<0,007	0,390	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	0,010	0,890	-	-	<0,007	0,110	0,020	0,020	<0,007*	0,160*
	P2	<0,01	0,970	-	-	-	-	<0,007	0,950	-	-
	Extra I	0,450	0,640	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	0,380	0,600	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	0,400	0,550	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	0,016	0,520	-	-	<0,007	0,340	-	-	<0,007*	0,150*
Nitrogênio Total (mg/L)	S	0,004	0,480	0,013	0,470	0,012	0,290	0,009	0,550	0,009*	0,300*
	P1	0,017	0,680	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	0,100	2,230	-	-	0,010	0,486	0,380	0,380	0,013*	0,290*
	P2	0,035	1,530	-	-	-	-	0,015	2,200	-	-
	F	0,039	1,716	-	-	0,012	1,032	-	-	0,027*	0,627*
Fósforo Total (mg/L)	S	<0,001	0,051	<0,001	0,054	<0,001	0,082	<0,001	0,022	<0,001*	0,013*
	P1	<0,001	0,020	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	0,005	0,080	-	-	0,009	0,168	0,020	0,020	0,004*	0,019*
	P2	<0,001	0,088	-	-	-	-	<0,001	0,089	-	-
	F	0,006	0,078	-	-	0,006	0,201	-	-	0,0036*	0,070*
Fósforo Dissolvido (mg/L)	S	<0,001	0,017	<0,001	0,040	<0,001	0,012	<0,001	0,010	<0,001*	0,004*
	P1	<0,001	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,001	0,061	-	-	<0,001	0,035	-	-	<0,001*	0,008*
	P2	<0,001	0,082	-	-	-	-	<0,001	0,010	-	-
	F	<0,001	0,067	-	-	<0,001	0,030	-	-	<0,001*	0,005*
Ortofosfato Dissolvido (mg/L)	S	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,009	<0,0001	0,002	<0,001*	0,002*
	P1	<0,001	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,001	0,006	-	-	<0,001	0,010	-	-	<0,001*	0,005*
	P2	<0,001	0,017	-	-	-	-	<0,0001	0,003	-	-
	F	<0,001	0,052	-	-	<0,001	0,020	-	-	<0,001*	0,005*
Sulfato (mg/L)	S	1,00	5,60	1,80	5,40	1,70	6,10	1,80	5,40	1,30*	4,90*
	P1	1,40	5,80	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	1,50	5,20	-	-	2,00	7,10	4,80	4,80	2,00*	6,30*
	P2	1,80	5,40	-	-	-	-	2,00	8,00	-	-
	Extra I	1,90	2,10	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	2,00	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	2,00	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	1,80	5,40	-	-	1,80	10,70	-	-	<1,00*	2,10*
Carbono Orgânico Dissolvido (mg/L)	S	0,97	2,28	0,94	2,42	1,35	2,26	1,28	2,00	1,17*	1,62*
	P1	0,72	2,38	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	1,00	1,97	-	-	0,78	6,31	2,45	2,45	1,00*	6,70*
	P2	1,00	3,21	-	-	-	-	1,55	2,12	-	-
	F	0,91	2,79	-	-	0,90	2,79	-	-	0,83*	1,44*
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	S	<0,10	1,00	<0,10	2,20	<0,10	12,60	0,20	3,00	<0,10*	0,50*
	P1	<0,10	1,45	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,10	15,57	-	-	0,30	36,17	1,90	1,90	0,50*	8,33*
	P2	<0,10	6,00	-	-	-	-	1,00	47,00	-	-
	F	<0,10	38,64	-	-	4,70	65,67	-	-	0,93*	32,70*

Obs: (*) Parâmetros analisados a partir de janeiro/2006.



MULTIGEO

PARÂMETROS	PROF.	MRN-50 (n=16)		MRN-55 (n=16)		MRN-10 (n=8)		PST-10 (n=8)		MRN-30 (n=8)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	S	<0,10	2,00	<0,10	1,90	0,50	9,80	0,60	3,60	<0,10*	1,75*
	P1	<0,10	2,37	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,10	5,17	-	-	0,60	12,00	2,50	2,50	0,29*	4,00*
	P2	<0,10	3,10	-	-	-	-	1,50	8,67	-	-
	F	<0,10	5,36	-	-	1,60	12,36	-	-	0,36*	7,90*
Cálcio (mg/L)	S	7,44	12,11	6,56	11,45	5,18	14,12	5,87	11,62	7,2*	13,55*
	P1	4,18	12,18	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	7,20	11,80	-	-	4,68	16,28	8,07	8,07	6,76*	11,76*
	P2	6,43	12,03	-	-	-	-	4,13	12,35	-	-
	Extra I	6,41	9,01	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	6,32	8,41	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	6,19	7,37	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	4,11	11,62	-	-	4,15	15,38	-	-	8,43*	11,89*
Ferro Dissolvido(mg/L)	S	<0,25	0,66	<0,25	0,65	0,87	1,35	<0,25	<0,25	<0,25*	<0,25*
	P1	<0,25	3,04	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	0,69	5,74	-	-	1,08	1,76	-	-	<0,25*	1,33*
	P2	1,94	4,79	-	-	-	-	<0,25	2,78	-	-
	F	<0,25	3,39	-	-	0,99	2,63	-	-	<0,25*	1,64*
Magnésio (mg/L)	S	2,21	5,07	2,46	5,33	2,25	6,13	2,70	4,44	3,71*	4,87*
	P1	1,85	5,45	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	1,76	4,80	-	-	1,91	8,47	2,77	2,77	2,80*	5,09*
	P2	1,29	5,18	-	-	-	-	0,57	4,49	-	-
	Extra I	3,53	4,58	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	3,34	4,19	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	3,44	3,89	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	1,94	4,77	-	-	1,43	6,87	-	-	5,33*	5,90*
Potássio (mg/L)	S	1,46	2,21	1,26	2,16	1,57	2,00	1,74	2,29	1,72*	2,09*
	P1	0,93	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	1,21	1,95	-	-	1,62	2,23	2,21	2,21	1,56*	1,90*
	P2	1,04	1,94	-	-	-	-	1,67	3,15	-	-
	F	0,85	2,49	-	-	1,38	2,33	-	-	1,27*	1,58*
Sódio (mg/L)	S	1,38	12,14	1,25	9,16	1,50	4,77	1,61	5,06	1,62*	4,32*
	P1	0,80	5,67	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	1,21	8,06	-	-	1,55	4,52	1,93	1,93	1,60*	4,70*
	P2	0,94	8,87	-	-	-	-	1,84	6,67	-	-
	F	0,80	12,29	-	-	1,42	5,04	-	-	1,50*	4,54*
Sílica Dissolvida (mg/L)	S	8,40	19,20	6,50	15,20	9,80	26,20	8,20	18,00	11,30*	13,20*
	P1	3,50	17,80	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	5,50	16,80	-	-	10,50	40,50	17,20	17,20	10,80*	13,50*
	P2	4,20	16,20	-	-	-	-	5,00	43,50	-	-
	Extra I	7,70	11,10	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	7,30	10,50	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	7,30	9,50	-	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	S	71,00	71,00	65,00	65,00	-	-	-	-	-	-
	P1	71,00	71,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	67,00	67,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	P2	64,00	64,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra I	49,00	87,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	54,00	92,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	51,00	84,00	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	93,00	93,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro Total (mg/L)	S	<0,25	0,29	<0,25	0,88	<0,25	0,67	<0,25	0,66	0,31*	0,31*
	P1	<0,25	3,03	-	-	-	-	-	-	-	-
	M	<0,25	5,69	-	-	<0,25	1,57	0,87	0,87	1,05*	1,05*
	P2	<0,25	5,11	-	-	-	-	<0,25	1,41	-	-
	Extra I	2,61	4,08	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra II	2,38	3,06	-	-	-	-	-	-	-	-
	Extra III	2,34	2,63	-	-	-	-	-	-	-	-
	F	<0,25	3,07	-	-	<0,25	3,32	-	-	4,5*	4,50*

Obs: (*) Parâmetros analisados a partir de janeiro/2006.



MULTIGEO

PARÂMETROS	PROF.	MRN-03 (n=16)		BGG-05 (n=8)		PST-05 (n=16)		ALM-30 (n=16)		TCZ-10 (n=7)	
		mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Profundidade de Coleta (m)	S	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Temperatura do Ar (°C)		23,30	33,50	24,00	33,00	20,00	33,00	22,30	33,00	25,30	31,00
Temperatura da Água (°C)	S	22,23	32,50	20,90	28,00	21,38	30,00	22,00	30,40	22,00	26,82
Profundidade de Secchi (m)		0,20	1,60	0,10	2,70	0,02	1,00	0,30	1,00	0,20	4,00
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	S	5,17	9,80	7,00	8,60	7,50	10,00	5,86	9,30	8,10	9,30
pH	S	7,26	8,95	7,00	8,04	6,20	8,80	7,30	9,20	4,14	8,28
Turbidez (UNT)	S	<0,1	160,0	0,8	400,0	<0,1	117,0	<0,1	353,6	2,0	110,0
Condutividade (µS/cm)	S	102,00	360,00	39,00	113,00	42,00	147,00	45,40	118,00	22,00	76,00
Alcalinidade (mg/L)	S	44,00	113,45	14,49	39,20	19,50	122,80	19,80	53,63	8,84	30,04
DQO (mg/L)	S	3,52	47,64	1,12	44,21	3,33	25,67	2,89	81,06	1,17	21,70
Clorofila-a (µg/L)	S	<0,0001	3,6300	0,1600	9,3500	<0,0001	1,6700	<0,0001	8,9990	<0,0001	1,4700
Cloreto (mg/L)	S	0,25	0,96	0,35	1,57	0,26	1,03	0,52	1,89	0,35	0,70
Nitrato (mg/L)	S	<0,04	0,210	<0,04	0,140	<0,04	0,190	0,050	0,230	<0,04	0,120
Nitrito (mg/L)	S	<0,001	0,004	<0,001	0,003	<0,001	0,003	0,001	0,020	<0,001	0,003
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	S	<0,007	0,020	<0,007	0,260	<0,007	0,030	0,010	0,030	0,010	0,020
Nitrogênio Total (mg/L)	S	0,008	0,730	0,010	0,203	0,010	0,820	0,011	0,860	0,010	0,220
Fósforo Total (mg/L)	S	0,010	0,282	<0,001	0,279	0,002	0,223	0,001	0,402	<0,001	0,141
Fósforo Dissolvido (mg/L)	S	<0,001	0,022	<0,001	0,218	<0,001	0,069	<0,001	0,038	<0,001	0,005
Ortofosfato Dissolvido (mg/L)	S	<0,001	0,006	<0,001	0,002	<0,001	0,010	<0,001	0,014	<0,001	0,001
Sulfato (mg/L)	S	2,20	5,70	2,00	5,60	2,20	7,10	2,00	7,30	1,80	5,40
Carbono Orgânico Dissolvido (mg/L)	S	0,84	2,79	0,70	2,56	0,93	2,66	1,07	2,68	0,94	5,56
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	S	3,60	187,60	<0,10	523,50	2,10	134,67	1,75	540,00	<0,10	73,27
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	S	0,85	19,67	0,50	39,00	0,71	27,00	1,30	90,00	0,38	7,45
Cálcio (mg/L)	S	4,31	32,94	2,92	12,65	3,89	27,13	3,20	11,05	1,91	9,09
Ferro Dissolvido (mg/L)	S	<0,25	1,00	0,27	0,46	0,26	1,00	<0,25	1,94	<0,25	0,30
Magnésio (mg/L)	S	2,91	12,21	0,89	4,68	0,37	12,73	0,31	4,67	0,57	3,42
Sódio (mg/L)	S	0,99	9,72	0,51	3,89	1,99	8,64	2,03	8,12	0,53	3,36
Sílica Dissolvida (mg/L)	S	8,00	40,00	9,30	23,00	10,40	27,50	10,20	24,20	2,80	12,80
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	S	-	-	-	-	-	-	67,00	67,00	-	-
Ferro Total (mg/L)	S	<0,25	3,42	<0,25	1,49	<0,25	2,36	<0,25	5,71	<0,25	0,62