



**UHE CANA BRAVA**  
**PROGRAMA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO**

**FASE OPERAÇÃO**

**III RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL**



**DEZEMBRO DE 2003**

## **EQUIPE RESPONSÁVEL**

### Equipe de campo

Acad. Biol. Claudiano do Amaral Souza

Biol. Esp. Juliana Machado do Couto Silva

Biol. Priscilla de Carvalho

### Equipe de laboratório

Biol. Esp. Juliana Machado do Couto Silva

Biol. Larice de Fátima Machado do Couto

Biol. Priscilla de Carvalho

## APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico apresenta o andamento do Programa de Monitoramento Limnológico da Usina Hidrelétrica Cana Brava, referente à terceira campanha da Fase Operação (NATURAE, 2003).

Esta campanha foi realizada entre os dias 21 e 22 de dezembro de 2003, correspondendo ao período de chuvas na região.

Foram coletadas amostras de água, destinadas à determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em 13 pontos de coleta ao longo do reservatório.

O conteúdo deste Relatório Técnico inclui:

i) a metodologia adotada durante a coleta das amostras de água e análises laboratoriais;

ii) a descrição das principais características dos pontos de coleta e suas condições meteorológicas, na época da realização das mesmas;

(iii) os resultados obtidos em campo e das análises laboratoriais, com apresentação dos valores medidos em gráficos, bem como uma breve análise de cada parâmetro;

(iv) considerações sobre esta terceira campanha e os resultados obtidos em relação aos limites preconizados na Resolução n° 20 de 1986 do CONAMA, para águas da Classe II.

## **METODOLOGIA**

### Coleta das amostras

As amostras foram coletadas entre os dias 21 e 22 de dezembro de 2003.

Foram coletadas amostras de água em 13 pontos de coletas (Tabela 1). Nas estações localizadas no corpo central do reservatório (pontos 1, 6, 20 e 21) foram coletadas amostras de superfície, meio e fundo. Nos demais pontos, foram amostrados somente água na superfície. Os parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), coliformes totais, coliformes fecais e óleos e graxas foram determinados apenas para superfície em todos os pontos amostrados.

As amostras de água foram coletadas com uma garrafa de Van Dorn horizontal com capacidade para 3 litros, a qual foi submersa até a profundidade desejada, presa num cabo de poliamida graduado. Em campo foram obtidos os valores de pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, temperatura do ar, sólidos totais dissolvidos (STD) e transparência da água.

A porção iluminada da coluna da água (zona eufótica), e sua extensão depende, principalmente, da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática. O limite inferior da zona eufótica é geralmente assumido como sendo aquela profundidade onde a intensidade da radiação correspondente a 1% da que atinge a superfície. Esta profundidade da coluna da água é também chamada de “ponto de compensação”, uma vez que a produção primária líquida é aproximadamente igual à respiração das comunidades (Esteves, 1998; Kalff, 2002). A profundidade do disco de Secchi pode ser utilizada na avaliação da extensão da zona eufótica.

Desta maneira, assumiu-se como o meio da coluna da água (para as coletas nos pontos 1, 6, 20 e 21) o final da zona eufótica. A zona afótica (onde não ocorre penetração de luz), localizada nas maiores profundidades foi classificada como fundo nestes mesmos pontos.

### Análise das amostras

As amostras destinadas à análise laboratorial dos parâmetros físico-químicos foram preservadas de acordo com a variável a ser analisada (Tabela 2), e encaminhadas para o laboratório de limnologia da Naturae, em Goiânia para realização das análises. A determinação dos parâmetros físico-químicos foi analisada segundo os métodos relacionados na Tabela 3.

Tabela 1. Pontos amostrais selecionados para o monitoramento limnológico.

<b>PONTO</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>LONG.(W)</b>	<b>LONG.(UTM)</b>	<b>LAT.(S)</b>	<b>LAT.(UTM)</b>	<b>REFERENCIAL</b>
1	Tocantins/Córrego Florêncio	48°09'09"	807888	13° 46'23"	8475524	Montante
2	Rio Preto	48°03'36"	818003	13°42'10"	8483206	Montante
5	Rio São Félix	48°06'27"	813076	13°32'47"	8500582	Montante
6	Tocantins/ Foz São Félix	48°05'28"	814837	13°32'47"	8500546	Montante
7	Rio Bonito	48°10'36"	805672	13°29'09"	8507382	Montante
8	Córrego Varjão	48°12'05"	802978	13°29'03"	8507596	Montante
10	Rio do Carmo	48° 02'46"	819882	13°25'36"	8513750	Montante
15	Tocantins/Rio Cana Brava	48°09'56"	807239	13°11'49"	8539330	Jusante
18	Praia de Minaçu - parte interna	48°12'37"	801982	13°30'17"	8505302	Montante
19	Praia de Minaçu - parte externa	48°12'33"	802116	13°29'53"	8506056	Montante
20	No meio do reservatório	48°09'33"	807597	13°26'59"	8511336	Montante
21	Tocantins/Próximo à UHE Cana Brava	48°08'29"	809571	13°24'24"	8516092	Montante
22	Rio Bonito (acima do ponto 7)	48°14'04"	799305	13°33'03"	8500256	Montante

Tabela 2. Métodos de acondicionamento, preservação e prazo para análise das amostras de água coletadas.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>ACONDICIONAMENTO</b>	<b>PRESERVAÇÃO</b>	<b>PRAZO</b>
Alcalinidade total	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	14 dias
Cloretos	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	28 dias
CO <sub>2</sub>	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	48 horas
Coliformes totais	Frasco de vidro	Temperatura 4°C	48 horas
Condutividade elétrica	Medição <i>In situ</i>	-	imediate
DBO	Frasco de vidro	Temperatura 4°C	48 horas
Dureza	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	12 horas
Ferro solúvel	Frasco vidro	Temp. 4°C e 2ml de Ác. Nítrico/L de amostra	6 meses
Nitrato	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	48 horas
Nitrito	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	48 horas
N - amoniacal	Frasco de PVC	Temp. 4°C e 2 ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /L de amostra	28 dias
Odor	<i>In situ</i>	-	imediate
Óleos e Graxas	Frasco de vidro	Temp. 4°C e 6 ml de HCl/L de amostra	28 dias
Orto- fosfato	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	12 horas
Oxigênio dissolvido	Medição <i>In situ</i>	-	imediate
pH	Medição <i>In situ</i>	-	imediate
Sólidos totais dissolvidos (STD)	Medição <i>In situ</i>	-	imediate
Sulfato	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	28 dias
Sulfeto	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	
Temperatura	Medição <i>In situ</i>	-	imediate
Transparência	Medição <i>In situ</i>	-	imediate
Turbidez	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	48 horas

Tabela 3. Métodos de análise e faixa de detecção dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico.

PARÂMETROS	MÉTODO	EQUIPAMENTO	Faixa
Alcalinidade total	Titulação com Ácido Sulfúrico	Titulador Digital DR 2010 da HACH	10 – 4000 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Cloretos	Espectrofotometria pelo método DPD	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 2,0 mg/l Cl <sup>-</sup>
CO <sub>2</sub>	Titulação com Hidróxido de Sódio	Titulador Digital DR 2010 da HACH	0-125 mg/l CO <sub>2</sub>
Coliformes totais	Tubos múltiplos	Tubos múltiplos	-
Condutividade	Potenciométrico	Portable pH/EC/TDS/Temperature meter HI 991300 da HANNA	0 – 199,9µS/cm
DBO	Diferença entre OD inicial e final	Diferença entre OD inicial e final	
Dureza	Titulação com EDTA	Titulador Digital DR 2010 da HACH	10 – 4000 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Ferro Solúvel	Espectrofotometria pelo método Ferro Ver	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 3,00 mg/L
Nitrato	Espectrofotometria pelo método Redução de Cádmio	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 4,5 mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N
Nitrito	Espectrofotometria pelo método Diazotação	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 0,300 mg/l NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N
N - amoniacal	Espectrofotometria pelo método de Nessler	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 2,50 mg/L NH <sub>3</sub> - N
Odor	Olfato	Olfato	Ausência - Presença
Óleos e Graxas	Extração com hexano	Extração com hexano	15 – 3000mg/L HEM
Orto fosfato	Espectrofotometria pelo método do Ácido Ascórbico	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 2,50 mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Oxigênio dissolvido	Potenciométrico	Potable Waterproof Dissolved Oxigem Meter HI 9142 da HANNA	0 – 30 mg/L O <sub>2</sub>
pH	Potenciométrico	Portable pH/EC/TDS/Temperature meter HI 991300 da HANNA	0 -14
STD	Fotométrico	Portable pH/EC/TDS/Temperature meter HI 991300 da HANNA	0 – 750 mg/l
Sulfato	Espectrofotometria pelo método do Sulfa Ver 4 Sulfato	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 70 mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Sulfeto	Espectrofotometria pelo método do Azul de Metileno	Espectrofotômetro DR 2010 da HACH	0 – 0,600 mg/l S <sup>-</sup>
Temperatura	Termômetro	Portable pH/EC/TDS/Temperature meter HI 991300 da HANNA	0 – 100°C
Transparência	Disco de Secchi	Disco de Secchi da WILDSCO	0 – Desaparecimento
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro DM-C2 Digimed	0-1000 NTU



### Características dos locais amostrados

**Ponto Amostral 1** - Situado no local onde se encontrava a confluência do Córrego Florêncio com o Rio Tocantins, município de Colinas do Sul. Foi amostrado em 21/12/2003, 8:20. A coleta foi feita em barco, na superfície, meio e fundo. O tempo estava limpo e ensolarado.

**Ponto Amostral 2** - Localizado no Rio Preto, tributário da margem direita do reservatório, no município de Colinas do Sul. A amostra foi coletada com auxílio de barco, somente na superfície no dia 21/12/2003 às 10:40h.

**Ponto Amostral 5** - Este ponto está localizado no Rio São Felix, na margem direita do reservatório, no município de Cavalcante. Foi amostrado em 21/12/2003, às 11:20h. A coleta foi feita em barco apenas na superfície.

**Ponto Amostral 6** - Situado no local onde se encontrava a confluência do Rio São Felix com o Rio Tocantins pela margem direita do reservatório, município de Cavalcante. Foi amostrado em 21/12/2003, às 12:15h. A coleta foi feita em barco, na superfície, meio e fundo.

**Ponto Amostral 7** - Localizado no Rio Bonito, depois da estação de tratamento de esgoto (ETE), na margem esquerda do reservatório. A drenagem deste rio passa na zona urbana de Minaçu, município de Minaçu. Foi amostrado em 21/12/2003, às 14:45h. A coleta foi feita em barco apenas na superfície.

**Ponto Amostral 8** - Localizado no córrego Varjão na margem esquerda do reservatório. A drenagem deste córrego passa na zona urbana de Minaçu, município de Minaçu. Foi amostrado em 21/12/2003, às 15:10h. A coleta foi feita em barco apenas na superfície.

**Ponto Amostral 10** - Situado no local onde se encontrava a confluência do Rio do Carmo com o Rio Tocantins pela margem direita do reservatório, município de Cavalcante. Foi amostrado em 22/12/2003, às 9:50h. A coleta foi feita apenas na superfície.

**Ponto Amostral 15** - Situado na confluência do rio Cana Brava com o rio Tocantins pela margem esquerda e a jusante do reservatório, município de Minaçu. Foi amostrado em 22/12/2003, às 8:00h. A coleta foi feita na superfície.

**Ponto Amostral 18** - Situado na parte interna da praia de Minaçu a montante do reservatório, município de Minaçu. Foi amostrado em 21/12/2003, às 15:15h. A coleta foi feita em barco e na superfície.

**Ponto Amostral 19** - Situado na parte externa da praia de Minaçu a montante do reservatório, município de Minaçu. Foi amostrado em 21/12/2003, às 15:25h. A coleta foi feita em barco e na superfície.

**Ponto Amostral 20** - Situado no corpo central do reservatório. Foi amostrado em 21/12/2003, às 15:40h. A coleta foi feita em barco na superfície meio e fundo.

**Ponto Amostral 21** - Situado à montante do Rio Tocantins próximo à barragem da UHE Cana Brava. Foi amostrado em 21/12/2003, às 16:15. A coleta foi feita em barco na superfície meio e fundo.

Durante toda a coleta, o tempo limpo e bastante ensolarado.

## RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros físico-químicos desta terceira campanha estão apresentados em valores na Tabela 6 e na forma de gráficos, a fim de melhor visualização dos valores registrados ao longo dos treze pontos amostrados. Os parâmetros bacteriológicos serão apresentados na forma de tabela (Tabela 4).

### A. Parâmetros Físico-Químicos

Os valores de temperatura do ar variaram entre 26°C às 8:20 horas (ponto 1) e 39°C (ponto 7, 8, 18, 19 e 20) (Figura 3), com valores médios de 31,9°C; 29,9°C e 28,7°C, na superfície, meio e fundo, respectivamente (Figura 1). A maior temperatura (36,1°C), foi registrada às 15:10 horas no ponto 8 de coleta. As oscilações dos valores de temperatura (tanto do ar como da água) provavelmente refletem a influência da intensidade de radiação solar que é, por sua vez, variável ao longo do dia.

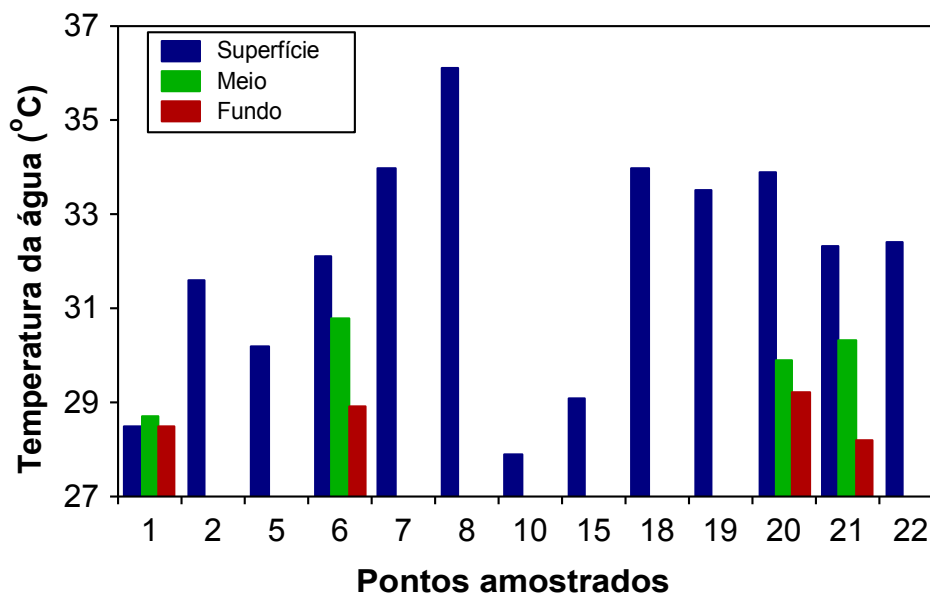


Figura 1. Valores da temperatura.

A transparência da água, medida pela profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, apresentou um valor médio de 1,8 metros no reservatório, o maior valor registrado foi 2,9 metros no ponto 7 e o menor valor (0,40 metros) foi registrado no ponto 15 (Figura 2). O ponto 10 e 22 são tributários rasos (em média 20 cm), onde a transparência foi total.

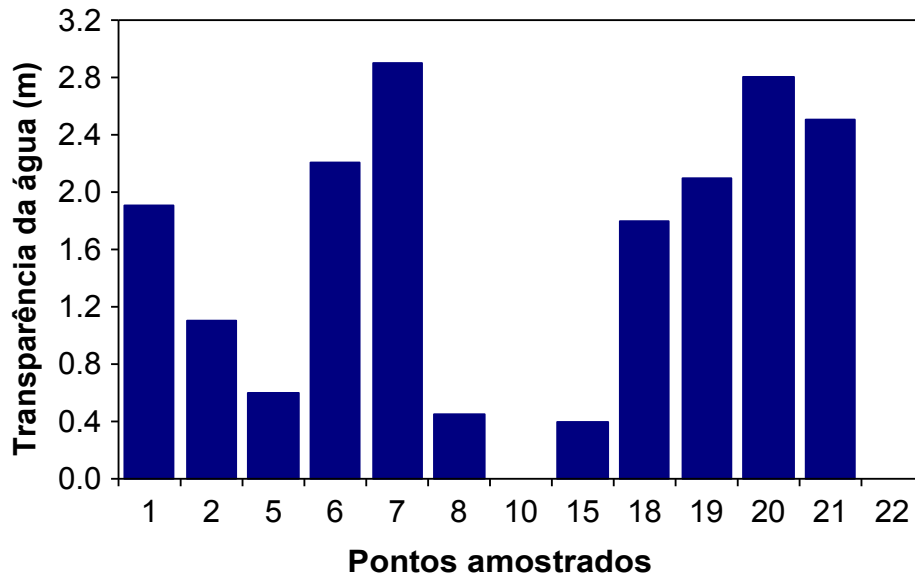


Figura 2. Valores da transparência.

De maneira geral, o reservatório apresenta águas pouco turvas (claras). Os valores médios de turbidez da água foram de 5,2 NTU; 2,3 NTU e 4,8 NTU na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor de turbidez foi de 19,4 NTU no ponto 15, enquanto que o menor valor foi de 0,8 NTU na superfície do ponto 21. Ao contrário do observado em outubro/2003 (relatório anterior), o ponto 5 e 10 de coleta apresentaram baixos valores de turbidez (19,4 NTU e 2,96 NTU, respectivamente). Provavelmente, o decréscimo geral dos valores de turbidez no trecho monitorado do reservatório de Cana Brava pode ser explicado pela redução dos índices de precipitação pluviométrica no mês de dezembro, com a conseqüente redução do escoamento superficial, derivados dos ambientes terrestres adjacentes para os corpos hídricos.

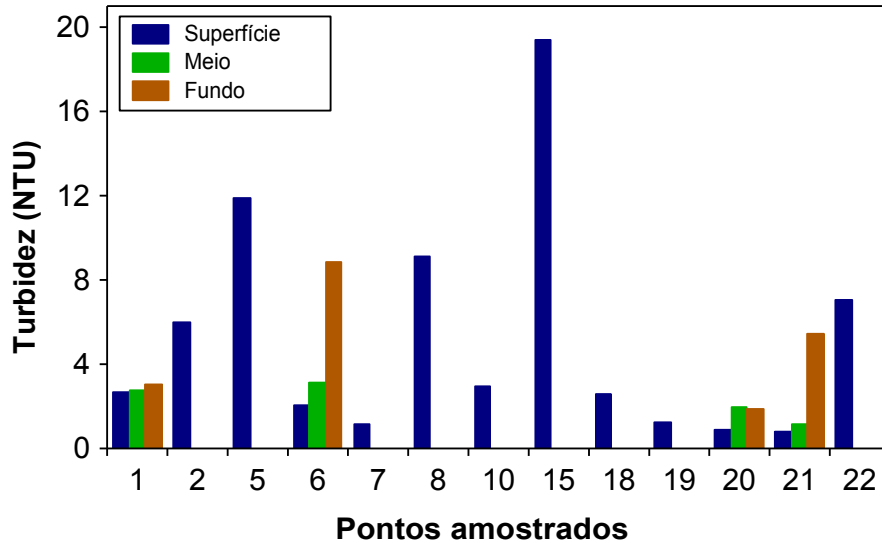


Figura 3. Valores de turbidez.

De maneira geral as águas do reservatório não apresentaram odor.

Os valores médios de oxigênio dissolvido para as águas do reservatório foram 6,3; 2,6 e 1,6 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. Foi observado um declínio na concentração desta variável com o aumento da profundidade. A maior concentração de oxigênio dissolvido (7,3 mg/l) foi obtida no ponto 22, enquanto que a menor concentração (0,9 mg/l) foi obtida no fundo do ponto 21(45 metros) (Figura 4).

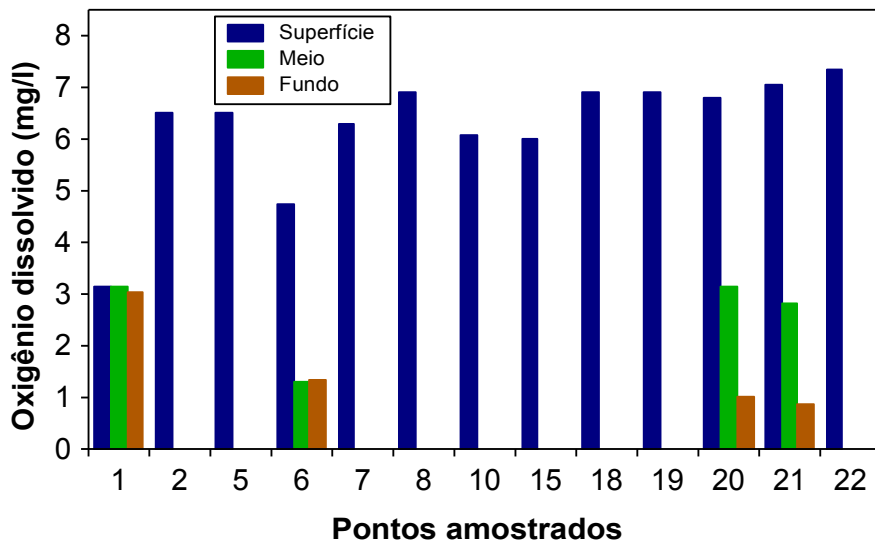


Figura 4. Concentração de oxigênio dissolvido.

A média dos valores da concentração de CO<sub>2</sub> encontrada nas águas do reservatório foram de 4,6; 2,4 e 2,5 mg/l na superfície meio e fundo respectivamente. O maior valor (9,9 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 8 e o menor valor encontrado (1,09 mg/l) foi no fundo do ponto 20 (Figura 5).

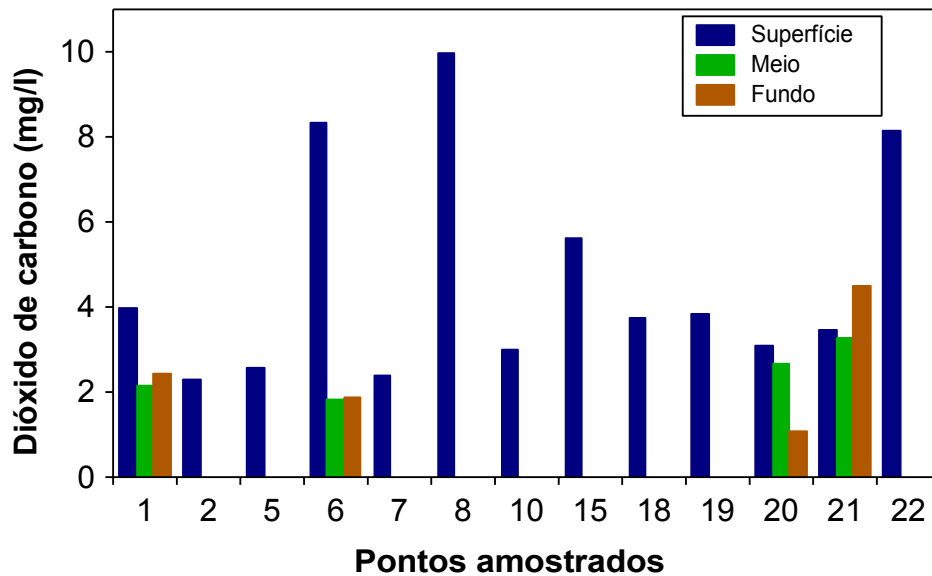


Figura 5. Concentração de dióxido de carbono.

Os valores do pH caracterizam a neutralidade das águas do reservatório. Os valores médios foram 7,48; 6,66 e 6,56, na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor foi 7,8 medido na superfície do ponto 2 e 5, e o menor valor foi medido no fundo do ponto 21 (5,4). De modo geral as águas do reservatório se apresentaram neutras (Figura 6).

A condutividade elétrica indica a capacidade de condução da corrente elétrica de uma solução que é dependente da concentração de íons na água. A média da condutividade elétrica nas águas do reservatório foi de 94,6; 94,2 e 98,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (192  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) foi encontrado na superfície do ponto 22, enquanto que o menor valor (28  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) foi encontrado na superfície do ponto 5, localizado no Rio São Félix (Figura 7).

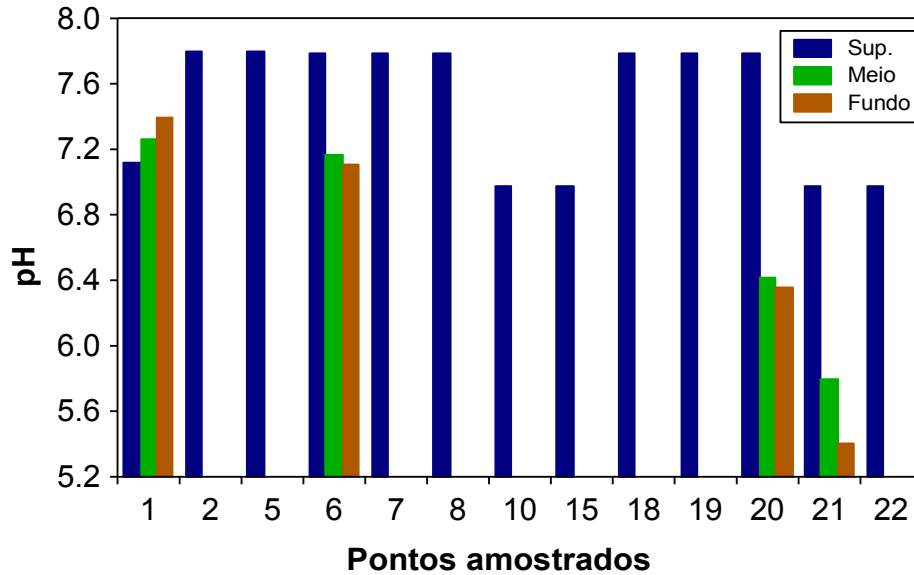


Figura 6. Valores de pH.

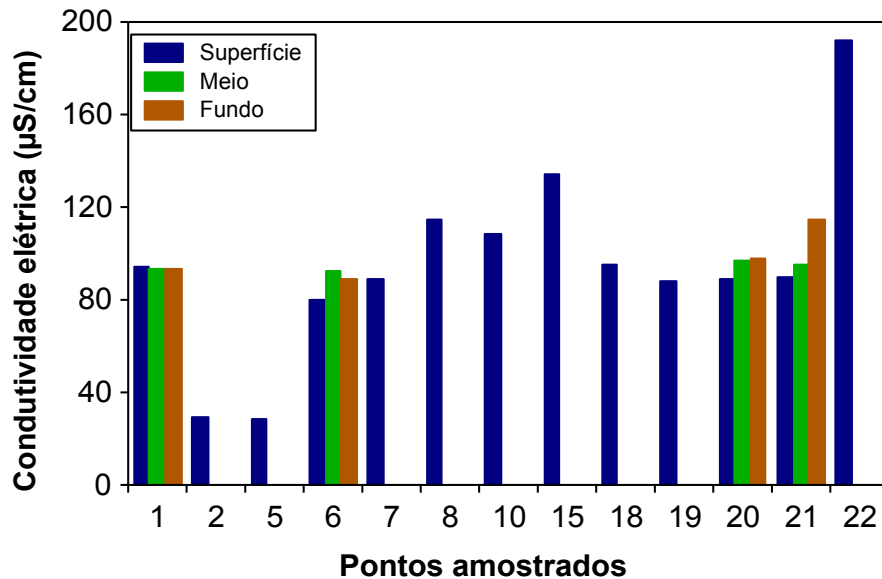


Figura 7. Valores de condutividade elétrica.

A alcalinidade reflete a capacidade que um ecossistema aquático apresenta em neutralizar (tamponar) ácidos a ele adicionados, dependendo de alguns compostos como carbonatos e bicarbonatos. A média dos valores de alcalinidade total das águas do reservatório foi de 50,1; 48,2 e 48,25 mg/l CaCO<sub>3</sub> na superfície,

meio e fundo, respectivamente. O maior valor foi encontrado (92 mg/l) no ponto 22, e o menor (18 mg/l) foi encontrado no ponto 5 (Figura 8).

A média dos valores da dureza da água no reservatório foi de 42,9; 40 e 40 mg/l CaCO<sub>3</sub>, na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (86 mg/l) foi encontrado no ponto 22, localizado no Rio Bonito, enquanto que o menor valor (16 mg/l) foi encontrado nos pontos 2 e 5. Com exceção do ponto 22, não foi observado grande diferença entre os valores de dureza total tanto entre os pontos amostrados quanto entre as diferentes profundidades no reservatório (Figura 9).

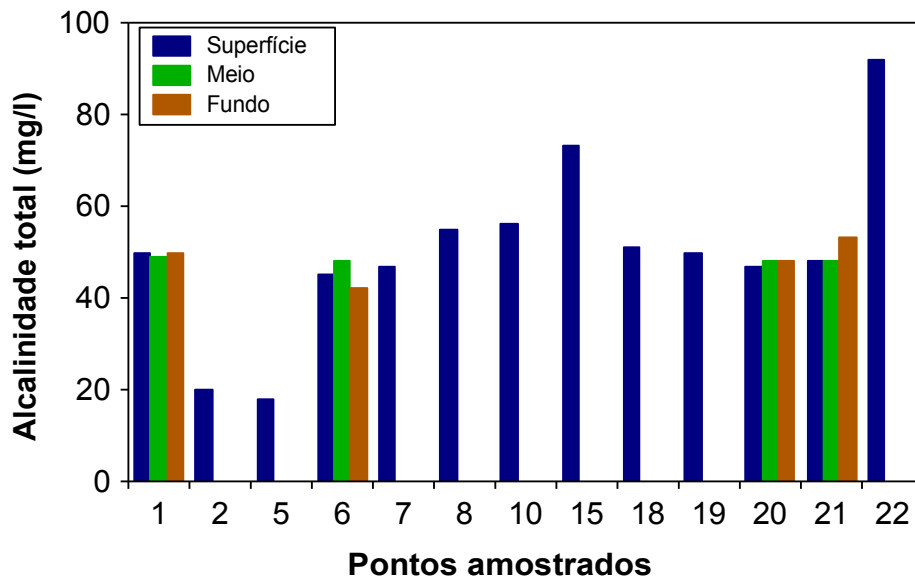


Figura 8. Valores de alcalinidade total.



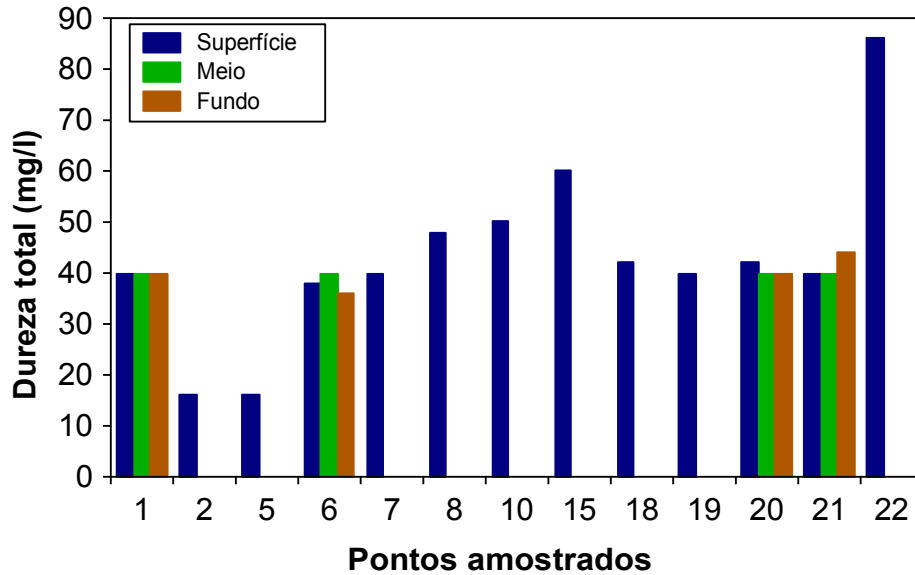


Figura 9. Valores de dureza total.

A variável STD pode estar fortemente relacionada com as concentrações de íons (Ca, Mg, Na, K e os ânions:  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{SO}_4$  e Cl) e, deste como, com a condutividade elétrica da água. Em geral, as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) foram menores do que o encontrado em outubro/2003 (relatório anterior), provavelmente devido ao baixo nível pluviométrico que vinha ocorrendo na região durante o mês de dezembro. A concentração média dos sólidos totais dissolvidos nas águas do reservatório foi de 50,3; 46,25 e 48,5 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração foi de 96 no ponto 22, enquanto que a menor concentração (13 mg/l) foi obtida no ponto 5 (Figura 10).

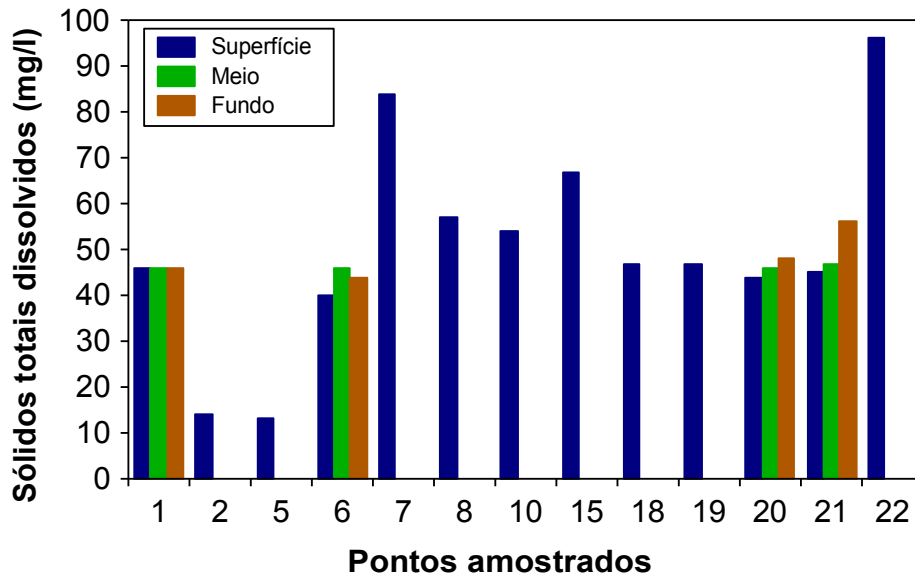


Figura 10. Valores de sólidos totais dissolvidos.

Tendo em vista a forte estrutura de correlação entre a condutividade elétrica e alcalinidade (correlação de Pearson:  $r = 0,99$ ); condutividade elétrica e dureza ( $r = 0,99$ ); condutividade elétrica e cloretos ( $r = 0,55$ ) e condutividade elétrica e STD ( $r = 0,88$ ), o mesmo padrão de variação espacial foi observado para estas variáveis (Figuras 7, 8, 9 e 10). A forte correlação entre condutividade elétrica e alcalinidade e dureza, sugere que o bicarbonato de cálcio encontra-se entre os principais íons que determinam a condutividade.

Em geral, a acidez total apresentou concentrações similares ao longo dos locais amostrados. Em média os valores de acidez total nas águas do reservatório foram 2,46; 2,5 e 2,5 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (4 mg/l) foi obtido no fundo do ponto 21 (45 metros), e o menor valor (2 mg/l) foi obtido em vários locais amostrados (superfície do ponto 1, 2, 15, 18, 19, 20 e 21, no meio do ponto 1 e 21 e no fundo do ponto 1, 6 e 20 (Figura 11).

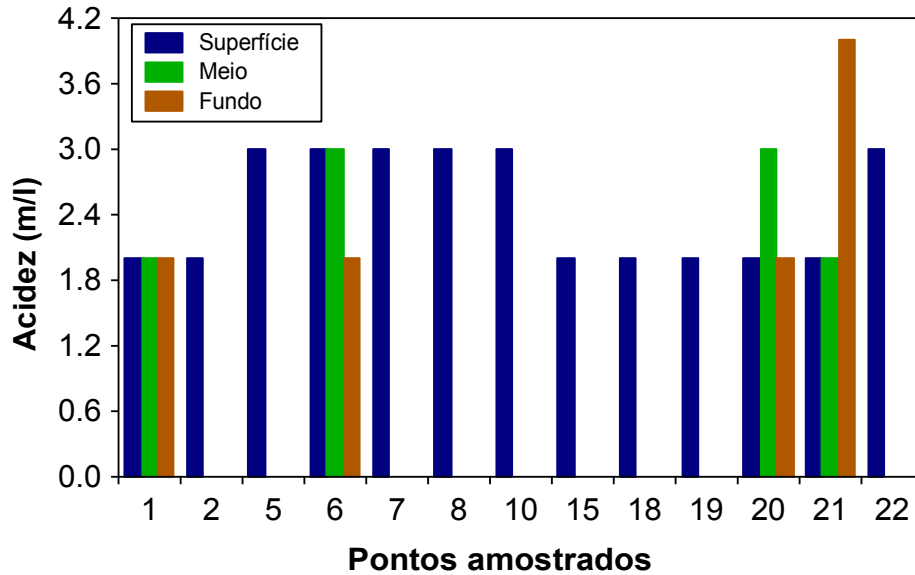


Figura 11. Valores de acidez total.

Os valores médios de cloretos para as águas do reservatório foram de 2,7; 2,9 e 3 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (5,5 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 22, e o menor valor (0,5 mg/l) no ponto 5 e 7 (Figura 12). A análise das concentrações de cloretos sugere que dificilmente o limite máximo de 250 mg/l, preconizado pela resolução CONAMA nº 20, será ultrapassado, mesmo nos pontos de coleta que apresentam evidentes problemas de qualidade da água (e.g. ponto 22 de coleta, situado no Rio Bonito).

Os valores médios de sulfeto encontrados nas águas do reservatório foram de 0,0054; 0,0035 e 0,004 na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor encontrado foi de 0,012 mg/l na superfície do ponto 15 e o menor valor (0,002 mg/l) foi obtido nas três profundidades do ponto 1 (Figura 13).

A concentração média de sulfato nas águas do reservatório foi de 2,15; 1,75 e 4 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor obtido (8 mg/l) foi obtido no ponto 22, e o menor valor (<1 mg/l) foi obtido na superfície dos pontos 7, 18, 19 e 21 (Figura 14).

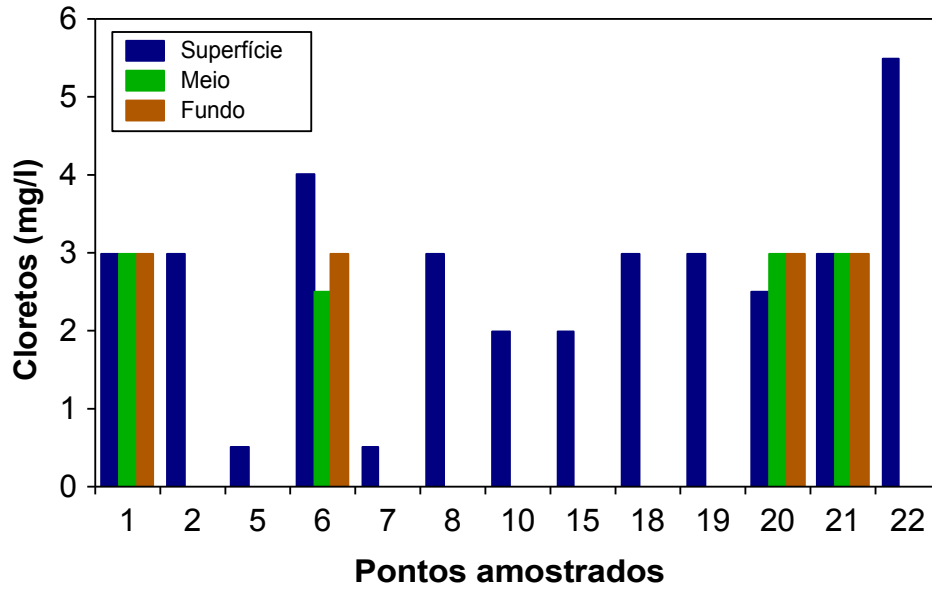


Figura 12. Valores de cloretos.

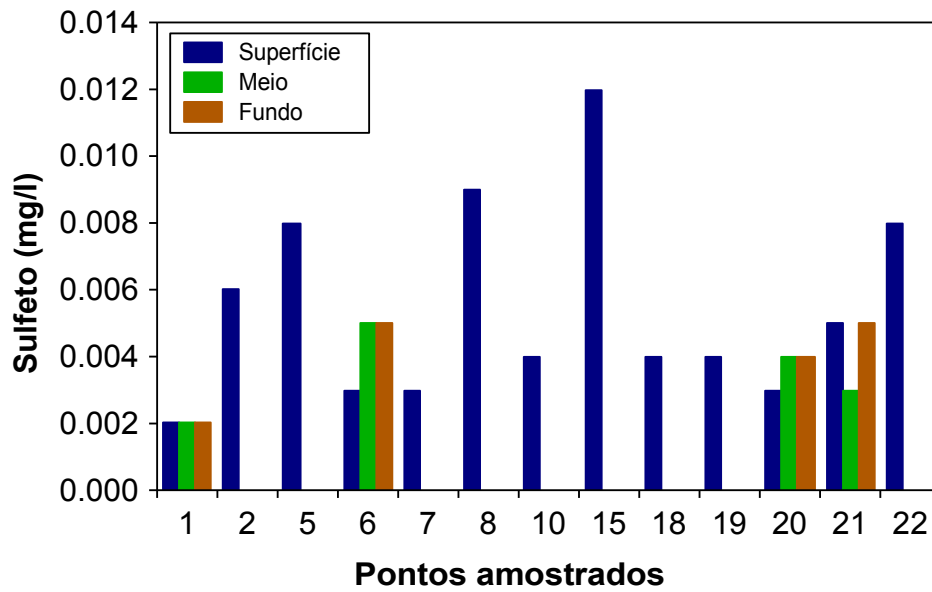


Figura 13. Valores de sulfeto.

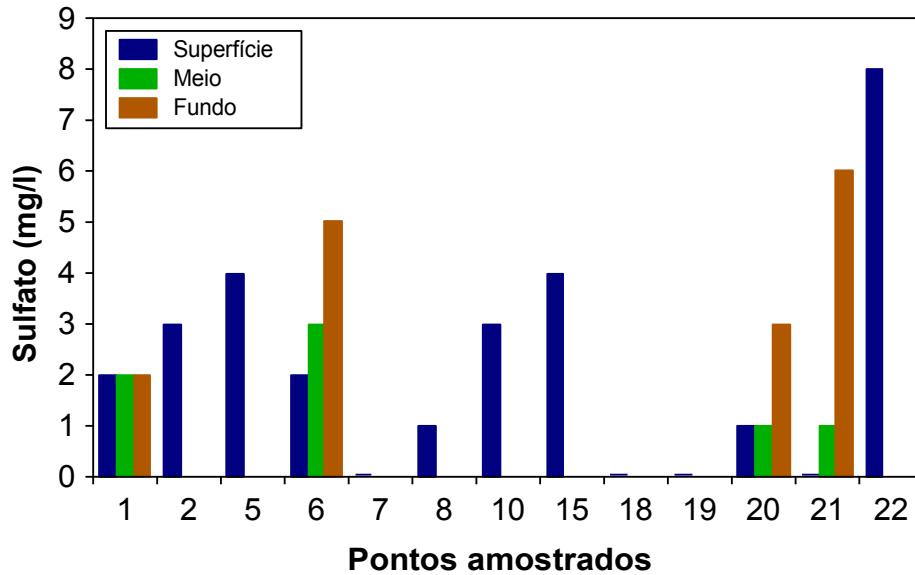


Figura 14. Valores de sulfato.

A concentração média de ferro solúvel nas águas do reservatório foi de 0,24; 0,36 e 1,25 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (1,99 mg/l) foi obtido no fundo do ponto 21 (45 metros), e o menor valor (0,04 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 19 (Figura 15).

Juntamente com o nitrogênio, o fósforo é o principal nutriente responsável pelo processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos (Kalf, 2002). A concentração média de orto-fosfato nas águas do reservatório foi de 0,02; 0,015 e 0,035 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (0,07 mg/l) foi encontrado no fundo do ponto 21, seguido pelo ponto 22 (0,06 mg/l). O menor valor (0,01 mg/l) foi obtido na superfície de oito pontos, dentre os treze amostrados ao longo do reservatório de Cana Brava (Figura 16).

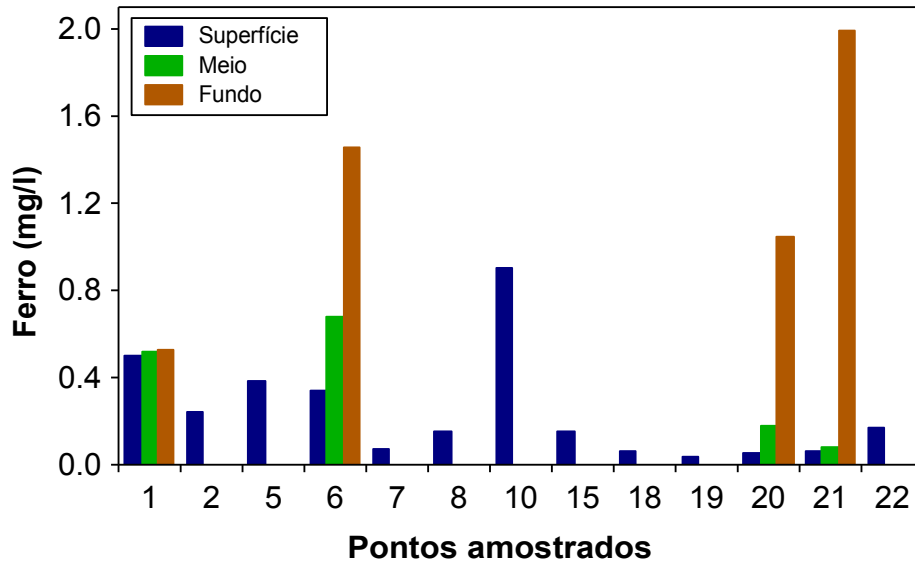


Figura 15. Valores de ferro total.

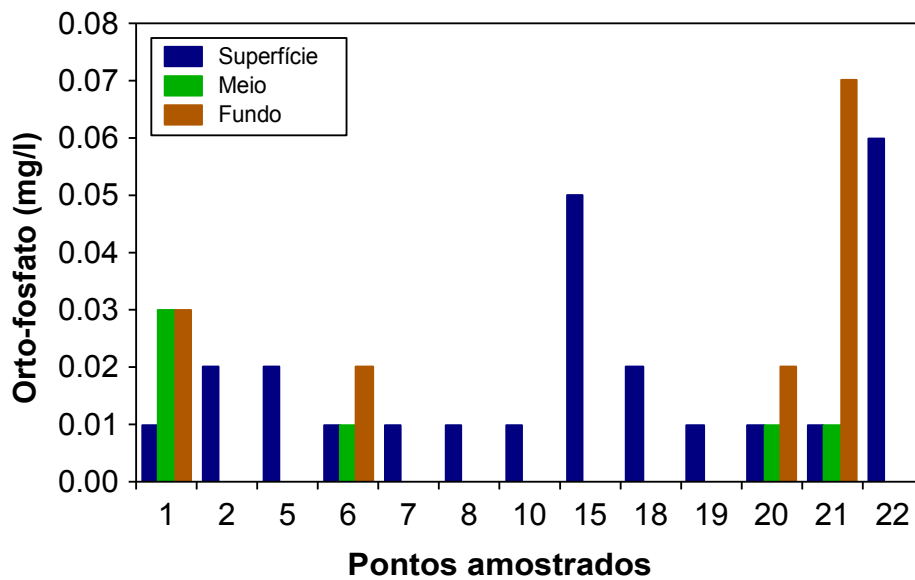


Figura 16. Concentração de orto-fosfato.

A concentração média de nitrito nas águas do reservatório foi de 0,006; 0,0042 e 0,005 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (0,019 mg/l) foi obtido no ponto 22, e o menor valor (0,001 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 6 (Figura 17).

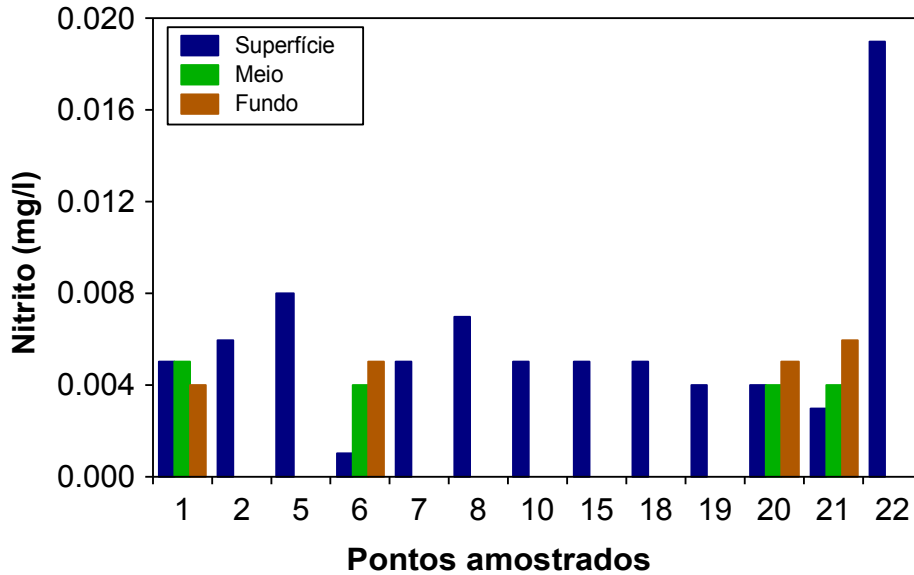


Figura 17. Concentração de nitrito.

A concentração média de nitrogênio amoniacal foi de 0,10; 0,16 e 0,34 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração (0,56 mg/l) foi obtida no fundo do ponto 21, seguido pelo ponto 22 (0,40 mg/l). A menor concentração (0,03 mg/l) foi obtida no ponto 19 e superfície do ponto 21 (Figura 18).

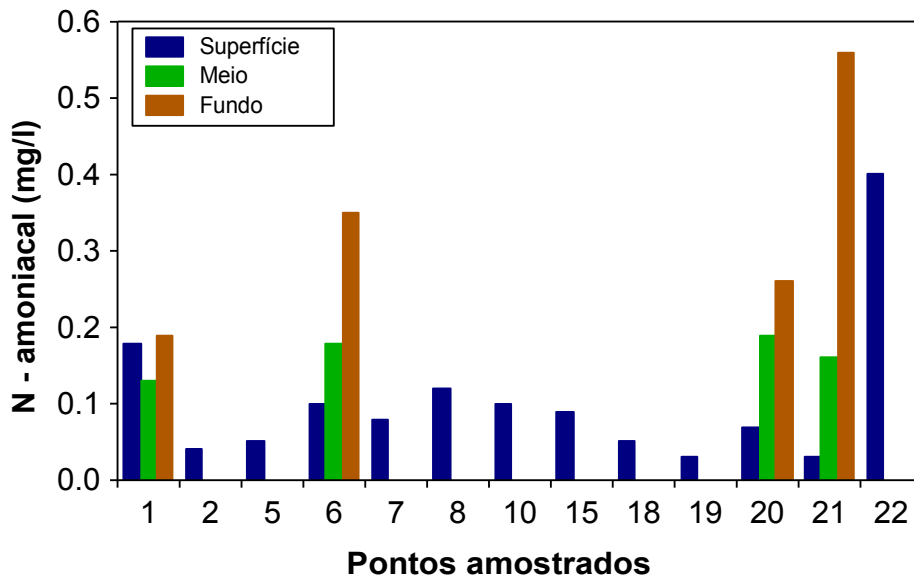


Figura 18. Concentração de nitrogênio amoniacal.

A concentração média de nitrato nas águas do reservatório de Cana Brava foi de 0,12; 0,07 e 0,22 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração de nitrato foi de 0,4 mg/l no fundo do ponto 21 e superfície do ponto 22, e a menor concentração (<0,1 mg/l) foi obtida na superfície do ponto 15, 18 e 19 e no meio e fundo do ponto 20 (Figura 19).

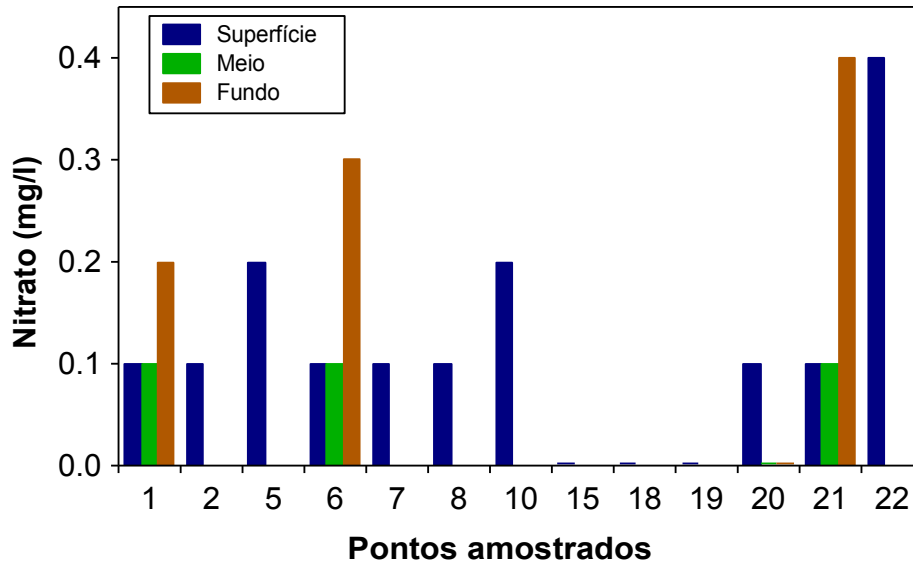


Figura 19. Concentração de nitrato.

A DBO<sub>5</sub> é definida como a quantidade de oxigênio que será utilizada, pelos microorganismos presentes em uma amostra, na oxidação da matéria orgânica para uma forma inorgânica estável (Kalf, 2002). Ecossistemas lóticos, especialmente aqueles com baixa velocidade da água, que recebem grandes quantidades de efluentes orgânicos, através de fontes pontuais, e/ou de matéria orgânica decorrente de fontes difusas, podem apresentar elevadas taxas de respiração que promovem a demanda biológica/bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>).

Nas águas do reservatório foi obtido um valor médio de 0,9 mg/l de DBO<sub>5</sub>. O maior valor obtido foi de 3,0 mg/l no ponto 19, e menor valor (<1,0 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 2, 6, 10, 18, 20, 21 e 22 (Figura 20).



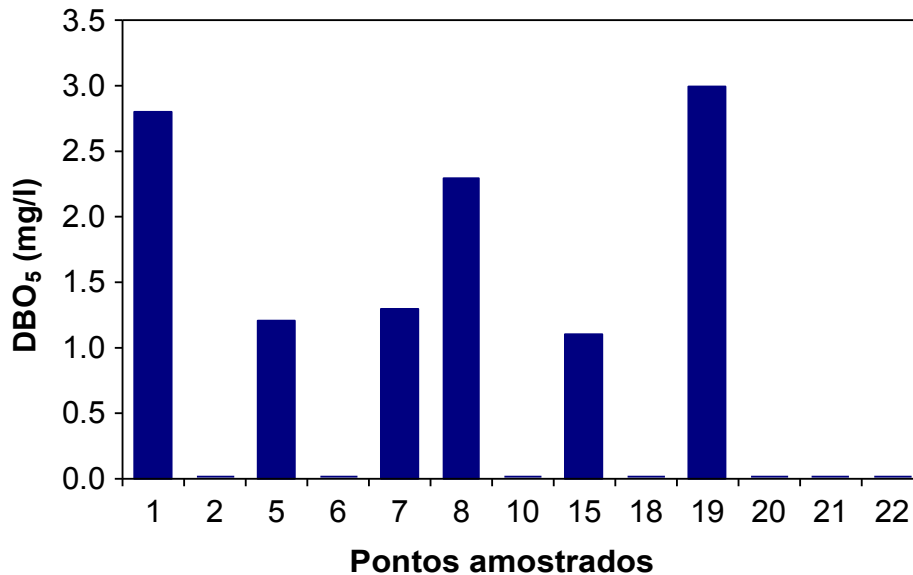


Figura 20. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>).

A concentração de óleos e graxas, nas águas do reservatório, nos pontos amostrados, foi considerada virtualmente ausente.

Foi avaliado, também, o perfil vertical do ponto 21 (próximo à barragem), em relação à concentração de oxigênio dissolvido e valores de temperatura. Este perfil foi feito a cada 5 metros de profundidade, da superfície ao hipolímno (30 metros), e tem como objetivo verificar a existência de estratificação térmica.

Os padrões de estratificação térmica influenciam sobremaneira a distribuição vertical dos demais parâmetros limnológicos, principalmente o oxigênio dissolvido. No ponto 21 do reservatório de Cana Brava, a camada superficial e de fundo apresentaram diferenças de temperatura de aproximadamente 4,3°C, acompanhada por uma situação quase anóxica no hipolímno (Figura 21).

Os lagos profundos (acima de 20 m) de regiões tropicais quando relativamente protegidos da ação do vento, permanecem estratificados na maior parte do ano, desestratificando-se somente no inverno, por curtos períodos. Nestes lagos, durante o período de estratificação térmica, o oxigênio produzido no epilímno (correspondendo à zona eufótica) não atinge o hipolímno (Esteves, 1998). O padrão de circulação da coluna de água durante o inverno e

estratificação durante os demais meses do ano é característicos de ecossistemas aquáticos monomíticos quentes. Ressalta-se ainda, que as condições de hipóxia (baixa concentração de oxigênio dissolvido) ou mesmo anoxia, muitas vezes prolongadas, em lagos tropicais, proporcionam um habitat com características adversas para a fauna aquática, principalmente peixes. Esta situação torna-se ainda mais limitante, com a formação de gases nocivos, tais como gás sulfídrico e metano, formados em condições anaeróbicas no ambiente (Esteves, 1998).

Assim, destaca-se a importância de um monitoramento contínuo do gradiente vertical de temperatura e oxigênio dissolvido do ponto 21, com o objetivo de verificar se o reservatório de Cana Brava apresenta uma tendência à monomixia.

Assim como observado na campanha anterior (relatório outubro de 2003), o ponto 21, próximo à barragem, apresenta estratificação térmica bem evidenciada, apresentando condições anóxicas a partir de 10 metros de profundidade. Provavelmente, este padrão é encontrado ao longo de todo o trecho do corpo central do reservatório, que apresentam grandes profundidades, sendo o principal responsável pela morte de peixes que vem sendo observada em alguns trechos do corpo central (ver relatório de peixes).

Na Figura 21, além da concentração de oxigênio dissolvido em mg/l, também foi obtido o perfil vertical da porcentagem de saturação de oxigênio. Para se obter a saturação de oxigênio, que é expressa em porcentagem, deve-se sempre relacionar os teores absolutos de oxigênio dissolvido com a temperatura e pressão atmosférica. Ou seja, é a quantidade máxima de oxigênio que pode ser dissolvida na água em determinada pressão e temperatura (Esteves, 1998).

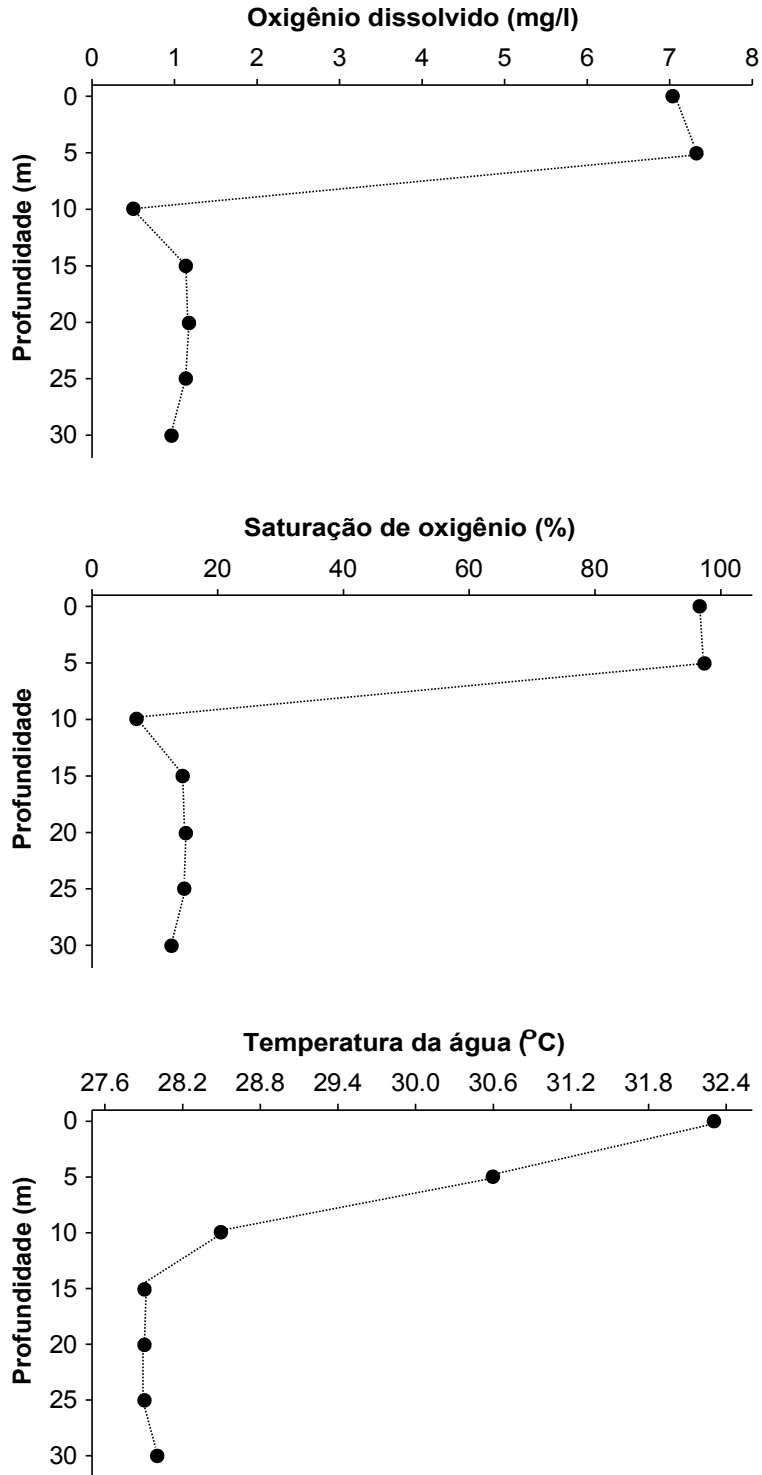


Figura 21. Gradientes de temperatura e oxigênio obtidos no ponto 21 em dezembro de 2003.

## B. Parâmetros Bacteriológicos

A análise das concentrações de coliformes total e fecal na última campanha (outubro de 2003), sugere que o limite máximo, preconizado pela resolução CONAMA nº 20, foi ultrapassado somente nos pontos 5 e 10. Além disso, na primeira campanha realizada em julho de 2003 (período de seca na região), nenhum ponto apresentou concentração de coliformes maior do que o estabelecido pelo CONAMA.

A maior concentração de coliformes totais nas águas do reservatório ( $1,1 \times 10^6$  NMP/100ml) foi encontrada no ponto 22, e a menor concentração (2100 NMP/100ml) foi encontrada no ponto 8 (Tabela 4). Em relação à concentração de coliformes fecais, o maior valor também foi encontrado no ponto 22 ( $1,1 \times 10^5$  NMP/100ml), enquanto que a menor concentração foi encontrada no ponto 5.

Tabela 4. Abundância de coliformes totais e fecais nos pontos amostrados no reservatório da UHE Cana Brava.

Pontos de Coleta	Coliformes totais NMP/100ml	Coliformes fecais NMP/100ml
1	18	11
2	460	120
5	$1,1 \times 10^5$	$2,3 \times 10^2$
6	15	7
7	0	0
8	$2,1 \times 10^3$	$7,5 \times 10^2$
10	$1,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$
15	460	23
18	9	0
19	7	0
20	3	3
21	0	0
22	$1,1 \times 10^6$	$1,1 \times 10^5$

Foi realizado um teste *t* para amostras pareadas, com o objetivo de testar estatisticamente se existe diferença significativa nas concentrações de coliformes totais e fecais, entre os meses de outubro de dezembro de 2003.

Não foi observado diferença significativa nas concentrações de coliformes totais e fecais entre os meses analisados (Tabela 5). Em outras palavras, a diferença encontrada entre os meses poderia ser observada simplesmente ao acaso.

A maior variância dos dados foi encontrada em dezembro de 2003, tanto para coliformes fecais quanto para coliformes totais (Figuras 22 e 23). Isto se deve, principalmente, ao ponto 22 (Rio Bonito), que apresentou altos valores em dezembro, em decorrência das chuvas intensas. No entanto, isto não afeta o conjunto total dos dados, tendo em vista que a diferença entre os meses não foi significativa.

Tabela 5. Teste *t* para amostras pareadas.

<b>Coliformes totais</b>							
	Média	DP	<i>N</i>	Diferença	<i>t</i>	df	<i>p</i>
Outubro	4056.3	8880.2					
Dezembro	101774.8	302703.0	13	-97718.5	-1.17	12	0.27

<b>Coliformes fecais</b>							
	Média	DP	<i>N</i>	Diferença	<i>t</i>	df	<i>p</i>
Outubro	3824.7	8959.5					
Dezembro	9395.7	30378.2	13	-5571	-0.63	12	0.54

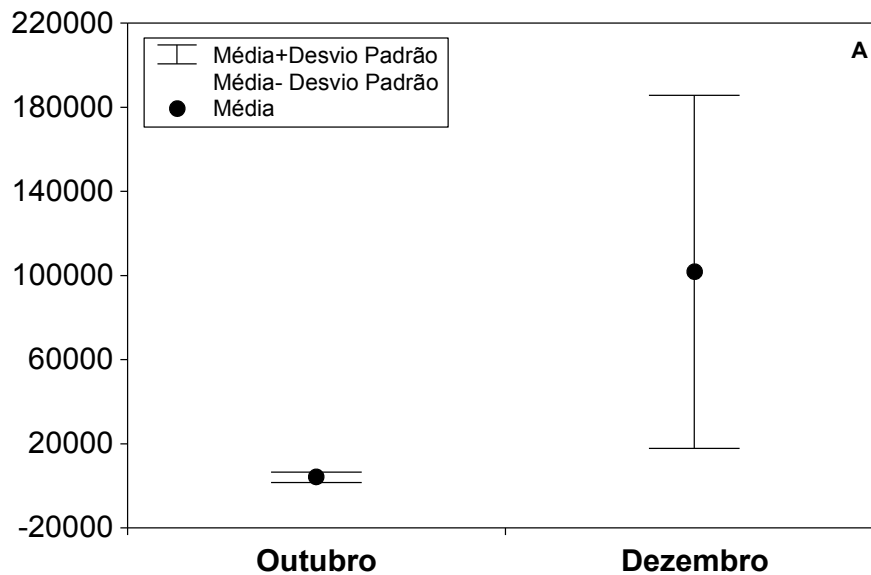


Figura 22. Diferença nas concentrações de coliformes totais entre os meses de outubro e dezembro de 2003.

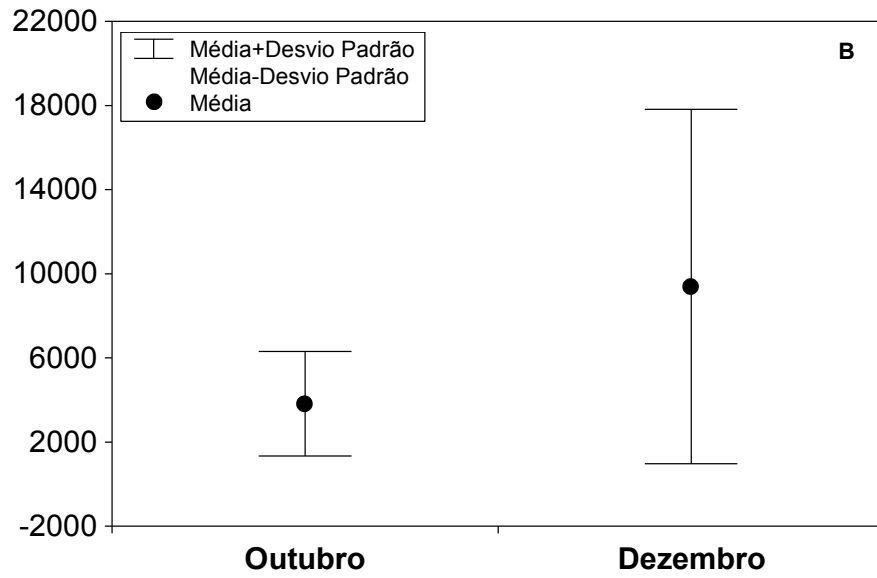


Figura 23. Diferença nas concentrações de coliformes fecais entre os meses de outubro e dezembro de 2003

## CONCLUSÕES

Considerando que as águas do sistema monitorado enquadram-se na Classe 2 da Resolução CONAMA nº 20/86, os resultados obtidos no programa de monitoramento da qualidade da água do reservatório da UHE de Cana Brava foram contrastados com as condições limnológicas preconizadas pela resolução (Tabela 5):

- A concentração de oxigênio dissolvido apresentou valores abaixo do limite preconizado pelo CONAMA apenas nas maiores profundidades, e na superfície dos pontos 1 e 6.
- Todos os pontos amostrados apresentaram valores de turbidez que estão de acordo com a Resolução CONAMA. O mesmo para a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), que apresentou valores menores que o preconizado pela resolução;
- Os valores de pH estiveram dentro dos limites preconizados pela resolução CONAMA, com exceção das maiores profundidades do ponto 21 (8 e 45 metros). De maneira geral, o reservatório possui águas alcalinas;
- Com relação à concentração de ferro solúvel nas águas do reservatório, a superfície dos pontos 1, 5, 6 e 10, não estão de acordo com a resolução CONAMA. O meio dos pontos 1 e 6 e o fundo dos pontos 1, 6, 20 e 21 também apresentaram valores superiores ao limite do CONAMA;
- A concentração de sulfeto nas águas do reservatório também apresentaram valores acima do preconizado pela resolução CONAMA, com exceção do ponto 1;

- Em geral, a concentração de orto-fosfato apresentou teores inferiores ao limite do CONAMA nas águas do reservatório, com exceção apenas dos pontos 15 e 22, meio do ponto 1 e fundo dos pontos 1 e 21. Todos os pontos amostrados apresentaram concentrações de Nitrogênio amoniacal superiores aos limites da Resolução CONAMA;
- Com relação às concentrações de nitrito e nitrato, todos os pontos amostrados apresentaram concentrações inferiores aos limites do CONAMA;
- A demanda bioquímica de oxigênio dissolvido apresentou valores inferiores aos limites preconizados pelo CONAMA em todos os pontos amostrados;
- O abundância de coliformes totais foi superior ao limite preconizado pelo CONAMA nos pontos 5, 10 e 22. Com relação aos coliformes fecais a abundância foi superior ao limite da resolução nos pontos 10 e 22.

Em resumo, pode-se considerar que:

(i) O local de coleta que apresentou os maiores problemas de qualidade da água está localizado no ponto 22, do Rio Bonito. Tendo em vista que este local apresentou as maiores concentrações de nutrientes (orto-fosfato, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal), íons (tais como cloretos e sulfato), maiores valores de condutividade elétrica, alcalinidade, dureza e sólidos totais dissolvidos, sendo estas variáveis altamente correlacionadas (como demonstrado anteriormente através de uma correlação de Pearson). Além disso, as maiores concentrações de coliformes totais e fecais foram encontradas neste ponto;

(ii) A região mais profunda do ponto 21 apresentou muitas vezes valores que ultrapassaram os limites preconizados pela resolução CONAMA. No entanto, em regiões profundas de um reservatório é comum encontrarmos maiores concentrações de íons e nutrientes, devido ao processo de decomposição e



liberação de nutrientes do sedimento para a coluna da água. Assim, pode-se considerar que os pontos de coleta localizados no corpo central do reservatório, apresentam baixos níveis de poluição;

(iii) Os pontos 2, 5 e 19 apresentaram os menores níveis de poluição. Ao contrário do observado em outubro de 2003 (ver relatório anterior), o ponto 5 apresentou concentrações menores de nutrientes e íons. Isto provavelmente reflete a grande influência da chuva (que foi maior em outubro de 2003) sobre este tributário;

(iv) Ressalta-se a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água, principalmente dos pontos 22, 15 e 10. Os pontos 22 e 15 se destacam pela alta concentração de nutrientes que recebem do ambiente terrestre durante o período de chuvas, e os pontos 22 e 10 destacam-se pela alta concentração de coliformes fecais, provavelmente devido à influência de residências próximas a estes tributários;

(v) Destaca-se que novos limites, mais restritivos, seriam mais congruentes com a variabilidade limnológica dos ecossistemas que estão sendo monitorados. Assim, os atuais limites estabelecidos pela resolução são demasiadamente liberais (e.g. concentração de cloretos, STD, nitrito) e podem legitimar a degradação da qualidade da água nos ecossistemas lóticos;

(vi) Em geral, o corpo central do reservatório apresenta-se quase anóxico a partir de 10 metros de profundidade (como demonstrado através do perfil térmico do ponto 21). A morte de algumas espécies de peixes ao longo do reservatório (ver relatório de peixes), pode estar associado com a estratificação térmica, e conseqüente anoxia da coluna da água, que vem ocorrendo neste período (verão).

A permanência de estratificação térmica no reservatório de Cana Brava pode resultar em prejuízos para a qualidade da água e a manutenção da fauna,

portanto, tendências de longo prazo somente serão evidenciadas com a continuidade do monitoramento do reservatório.

Tabela 5. Limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86, para águas de Classe 2.

<b>Variável</b>	<b>CONAMA</b>
Temperatura	NR
Transparência	NR
Turbidez	100 NTU
pH	6,0-9,0
Condutividade elétrica	NR
Cloretos	250 mg/l
Oxigênio dissolvido	> 5,0 mg/l
CO <sub>2</sub>	NR
Odor	VA
STD	500 mg/l
Alcalinidade total	NR
Dureza total	NR
Ferro solúvel	0,3 mg/l
Sulfeto	0,002 mg/l
Orto-fosfato	0,025 mg/l
Nitrito	1,0 mg/l
N-amoniaco	0,02 mg/l
Nitrato	10 mg/l
DBO	5,0 mg/l
Coliformes totais	5,0x10 <sup>3</sup> NMP/100ml
Coliformes fecais	1000 NMP/100ml
Óleos e graxas	NR

Tabela 6. Resultados da terceira campanha (Dezembro /2003) na UHE de Cana Brava. DP = desvio padrão.

Variáveis / Pontos		1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22	Média	DP
Acidez total (mg/l)	S	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2,5	0,5
	M	2			3							3	2		2,5	0,6
	F	2			2							2	4		2,5	1,0
Alcalinidade total (mg/l)	S	50	20	18	45	47	55	56	73	51	50	47	48	92	50,2	19,0
	M	49			48							48	48		48,3	0,5
	F	50			42							48	53		48,3	4,6
Cloretos (mg/l)	S	3	3	0,5	4	0,5	3	2	2	3	3	2,5	3	5,5	2,7	1,3
	M	3			2,5							3	3		2,9	0,3
	F	3			3							3	3		3,0	0,0
Condutividade elétrica (µS/cm)	S	94	29	28	80	89	115	108	134	95	88	89	90	192	94,7	41,5
	M	93			92							97	95		94,3	2,2
	F	93			89							98	115		98,8	11,4
CO <sub>2</sub> (mg/l)	S	4	2,28	2,58	8,33	2,39	9,95	2,99	5,63	3,75	3,85	3,08	3,45	8,15	4,65	2,56
	M	2,17			1,81							2,68	3,3		2,49	0,65
	F	2,43			1,86							1,09	4,48		2,47	1,45
Dureza total (mg/l)	S	40	16	16	38	40	48	50	60	42	40	42	40	86	42,9	17,6
	M	40			40							40	40		40,0	0,0
	F	40			36							40	44		40,0	3,3
DBO (mg/l)	S	2,8	<1	1,2	<1	1,3	2,3	<1	1,1	<1	3	<1	<1	<1		
Ferro (mg/l)	S	0,5	0,24	0,38	0,34	0,07	0,15	0,9	0,15	0,06	0,04	0,05	0,06	0,17	0,24	0,25
	M	0,52			0,68							0,18	0,08		0,37	0,28
	F	0,53			1,46							1,05	1,99		1,26	0,62
Nitrato (mg/l)	S	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0	0	0	0,1	0,1	0,4	0,12	0,11
	M	0,1			0,1							0	0,1		0,08	0,05
	F	0,2			0,3							0	0,4		0,23	0,17
Nitrito (mg/l)	S	0,005	0,006	0,008	0,001	0,005	0,007	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,019	0,006	0,004
	M	0,005			0,004							0,004	0,004		0,004	0,000
	F	0,004			0,005							0,005	0,006		0,005	0,001
	S	0,18	0,04	0,05	0,1	0,08	0,12	0,1	0,09	0,05	0,03	0,07	0,03	0,4	0,103	0,099

N-Amoniacal (mg/l)	M	0,13			0,18							0,19	0,16		0,17	0,03
	F	0,19			0,35							0,26	0,56		0,34	0,16
Orto-fosfato (mg/l)	S	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,06	0,019	0,017
	M	0,03			0,01							0,01	0,01		0,015	0,010
	F	0,03			0,02							0,02	0,07		0,035	0,024
Oxigênio dissolvido (mg/l)	S	3,15	6,5	6,5	4,74	6,31	6,9	6,08	6,02	6,9	6,9	6,8	7,04	7,33	6,24	1,14
	M	3,15			1,3							3,15	2,81		2,60	0,88
	F	3,03			1,35							1,01	0,87		1,57	1,00
% de oxigênio	S	40,8	88,7	86	65	89	101	76,4	79,1	97	97	95,3	96,7	100,8	85,60	17,14
	M	40,3			19,3							40,9	37,3		34,45	10,22
	F	39,8			19							13,1	11,8		20,93	12,97
pH	S	7,12	7,8	7,8	7,79	7,79	7,78	6,98	6,97	7,79	7,79	7,79	6,97	6,97	7,49	0,40
	M	7,26			7,17							6,42	5,79		6,66	0,69
	F	7,39			7,11							6,35	5,4		6,56	0,89
STD (mg/l)	S	46	14	13	40	84	57	54	67	47	47	44	45	96	50,3	23,2
	M	46			46							46	47		46,3	0,5
	F	46			44							48	56		48,5	5,3
Sulfato (mg/l)	S	2	3	4	2	0	1	3	4	0	0	1	0	8	2,2	2,3
	M	2			3							1	1		1,8	1,0
	F	2			5							3	6		4,0	1,8
Sulfeto (mg/l)	S	0,002	0,006	0,008	0,003	0,003	0,009	0,004	0,012	0,004	0,004	0,003	0,005	0,008	0,005	0,003
	M	0,002			0,005							0,004	0,003		0,004	0,001
	F	0,002			0,005							0,004	0,005		0,004	0,001
Temp do ar (°C)		26	35	38	38	39	39	31	30	39	39	39	34	31	35,23	4,44
Temp da água (°C)	S	28,5	31,6	30,2	32,1	34	36,1	27,9	29,1	34	33,5	33,9	32,3	32,4	31,97	2,45
	M	28,7			30,8							29,9	30,3		29,93	0,90
	F	28,5			28,9							29,2	28,2		28,70	0,44
Transparência da água (m)		1,9	1,1	0,6	2,2	2,9	0,45				1,8	2,1	2,8	2,5	1,84	0,86
Turbidez (NTU)	S	2,65	6,03	11,9	2,05	1,2	9,14	2,96	19,4	2,62	1,21	0,91	0,8	7,08	5,23	5,51
	M	2,79			3,12							1,96	1,12		2,25	0,90
	F	3,03			8,84							1,92	5,43		4,81	3,06

## **REFERÊNCIAS**

ESTEVES, F.A. 1998. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência.

KALFF, J. 2002. Limnology. New Jersey: Prentice Hall.