



UHE CANA BRAVA
PROGRAMA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO

FASE OPERAÇÃO

IV RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL

ABRIL DE 2004

EQUIPE RESPONSÁVEL

Equipe de campo

Acad. Biol. Claudiano do Amaral Souza

Biol. Larice de Fátima Machado do Couto

Biol. M.Sc. Priscilla de Carvalho

Equipe de laboratório

Biol. Esp. Juliana Machado do Couto Silva

Biol. Larice de Fátima Machado do Couto

Biol. M.Sc. Priscilla de Carvalho

APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico apresenta o andamento do Programa de Monitoramento Limnológico da Usina Hidrelétrica Cana Brava, referente à quarta campanha da Fase Operação (Abril/2004). Esta campanha foi realizada entre os dias 4 e 5 de abril de 2004, correspondendo ao final do 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 quarta 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

Foram coletadas amostras de água em 13 pontos de coletas (Tabela 1). As coletas de água foram realizadas com barco. 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_5), 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.

Extensão da zona fótica

A porção iluminada da coluna da água é denominada 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 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 conforme relacionado na Tabela 3.

Tabela 1. Pontos amostrais selecionados para o monitoramento limnológico.

PONTO	LOCALIZAÇÃO	LONG.(W)	LONG.(UTM)	LAT.(S)	LAT.(UTM)	REFERENCIAL
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.

PARÂMETROS	ACONDICIONAMENTO	PRESERVAÇÃO	PRAZO
Alcalinidade total	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	14 dias
Cloretos	Frasco de PVC	Temperatura 4°C	28 dias
CO ₂	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 ₂ SO ₄ /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.

Parâmetro	Metodologia	Faixa	Referências	
			USEPA *	Standard Methods
Temperatura	termômetro	0 – 100°C		-
Transparência	disco de secchi	0 – Desaparecimento		-
pH	potenciométrico	0 - 14		4500 - H ⁺ - B
Condutividade elétrica	potenciométrico	0 – 199,9µS/cm		2510 - B
Sólidos totais dissolvidos	potenciométrico	0 – 750 mg/l		-
Oxigênio dissolvido	potenciométrico	0 – 30 mg/L O ₂		4500 - O - G
Oxigênio dissolvido (Winkler)	iodométrico	0 – 30 mg/L O ₂		4500 - O - B
Turbidez	nefelométrico	0-1000 NTU		2130 - B
Alcalinidade	titulação com ácido sulfúrico	10 – 4000 mg/l CaCO ₃	X	2320B
Acidez	titulação com hidróxido de sódio	0 - 400 mg/L CaCO ₃	X	23/10B
CO ₂	titulação com hidróxido de sódio	0 - 125 mg/l CO ₂	X	4500 - CO ₂ - C
Cloreto	titulação com nitrato de mercúrio	0 – 40 mg/l Cl ⁻	X	4500 - Cl ⁻ - C
Dureza total	titulação usando método EDTA	10 – 4000 mg/l CaCO ₃	X	2340C
Ferro total	Espectrofotometria pelo método Ferro Ver	0 – 3,00 mg/L	X	3500B
Nitrato	Espectrofotometria pelo método Redução de Cádmio	0 – 4,5 mg/l NO ₃ ⁻		4500 - NO ₃ ⁻ - E
Nitrito	Espectrofotometria pelo método Diazotação	0 – 0,300 mg/l NO ₂ ⁻	X	4500 - NO ₂ ⁻ - B
Nitrogênio amoniacal	Espectrofotometria pelo método do Salicilato	0 – 2,50 mg/L NH ₃		4500 - NH ₃
Orto-fosfato	Espectrofotometria pelo método do Ácido Ascórbico	0 – 2,50 mg/L PO ₄ ³⁻	X	4500 - P - E
Sulfato	Espectrofotometria pelo método do Sulfa Ver 4	0 – 70 mg/L SO ₄ ²⁻	X	4500 - SO ₄ ²⁻ - F
Sulfeto	Espectrofotometria pelo método do Azul de Metileno	0 – 0,600 mg/l S ⁻	X	4500 - S ²⁻ - D
Óleos e graxas	extração de hexano	15 – 3000mg/L HEM		5520 - B
DBO	diferença entre oxigênio final e inicial	-		5210 - B
Coliformes fecais	tubos múltiplos	-		9222 - D / 9221 - E
Coliformes totais	tubos múltiplos	-		9222 - B / 9221 - B

Metodologias adaptadas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

* Metodologia aprovada pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (USEPA – United States Environmental Protection Agency).

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 05/04/2004, 9:10. A coleta foi feita em barco, na superfície, meio e fundo.

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 05/04/2004 às 10:30h.

Ponto Amostral 5 - Este ponto está localizado no Rio São Felix, na margem direita do reservatório, no município de Cavalcante. Foi amostrado em 05/04/2004, às 11:50h. 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 05/04/2004, às 12:30h. 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 05/04/2004, às 16:30h. 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 05/04/2004, às 16:50h. 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 04/04/2004, às 17:40h. 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 04/04/2004, às 16:10h. 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 05/04/2004, às 16:55h. 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 05/04/2004, às 16:25h. A coleta foi feita em barco e na superfície.

Ponto Amostral 20 - Situado no corpo central do reservatório. Foi amostrado em 05/04/2004, às 15:10h. 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 05/04/2004, às 15:50. A coleta foi feita em barco na superfície meio e fundo.

Durante o período da tarde, o tempo estava nublado, com chuvas em algumas regiões do reservatório.

RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros físico-químicos desta quarta 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 28°C às 9:00 horas e 36°C.

A temperatura da água no reservatório apresentou valores médios de 29,7°C; 28,7°C e 27,6°C, na superfície, meio e fundo, respectivamente (Figura 1). A maior temperatura (33,8°C) foi registrada às 16:50 horas no ponto 8 de coleta. As oscilações dos valores de temperatura (tanto do ar como da água) refletem a influência da intensidade de radiação solar que é, por sua vez, variável ao longo do dia.

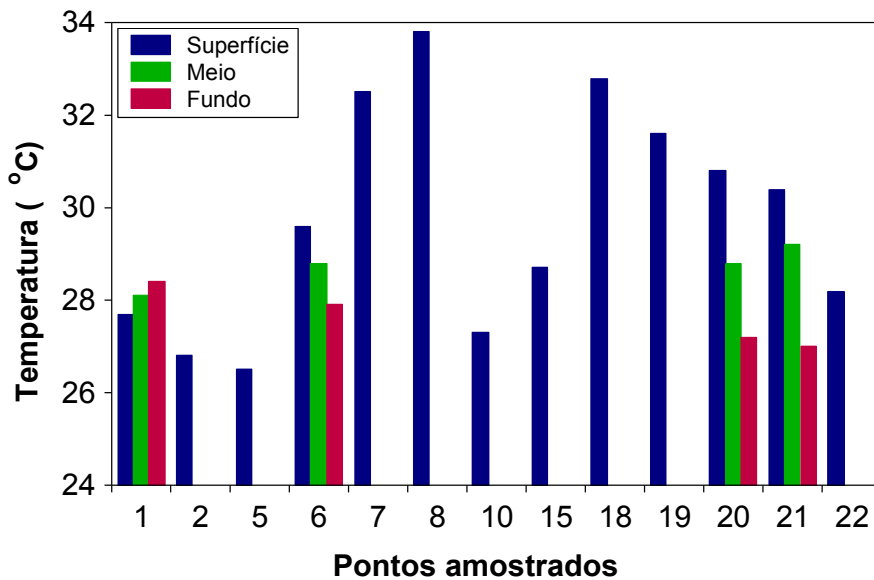


Figura 1. Valores da temperatura.

A transparência da água, medida pela profundidade de desaparecimento do disco de Secchi, apresentou um valor médio de 1,4 metros no reservatório, o maior valor registrado foi 3,4 metros no ponto 21 e o menor valor (0,15 metros) foi registrado no ponto 2 (Figura 2). O ponto 10 e 22 são tributários rasos (em média 50 cm), onde a transparência foi total.

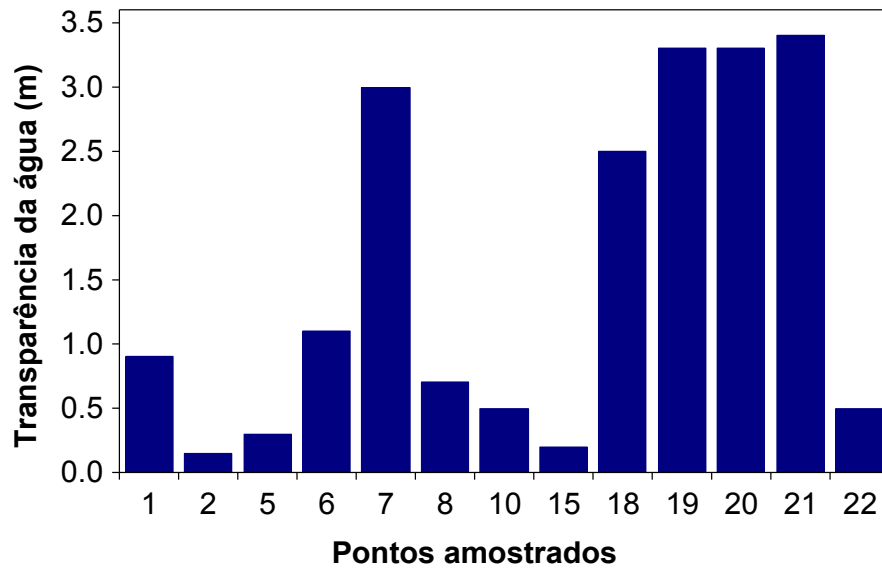


Figura 2. Valores da transparência.

De maneira geral, o reservatório apresenta águas pouco turvas (claras). Os valores médios de turbidez da água foram de 27,4 NTU; 8,04 NTU e 14,4 NTU na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor de turbidez foi de 160 NTU no ponto 2, enquanto que o menor valor foi de 1,8 NTU no meio (final da zona eufótica) do ponto 21. Observou-se altos valores de turbidez em alguns tributários do reservatório como no Rio Preto (ponto 2), Rio São Félix (ponto 5), Rio Bonito (ponto 22) e Rio do Carmo (ponto 10). Provavelmente, isto se deve aos altos índices de precipitação pluviométrica na região, durante o período de março e abril, com a conseqüente entrada de material alóctone para os corpos hídricos.

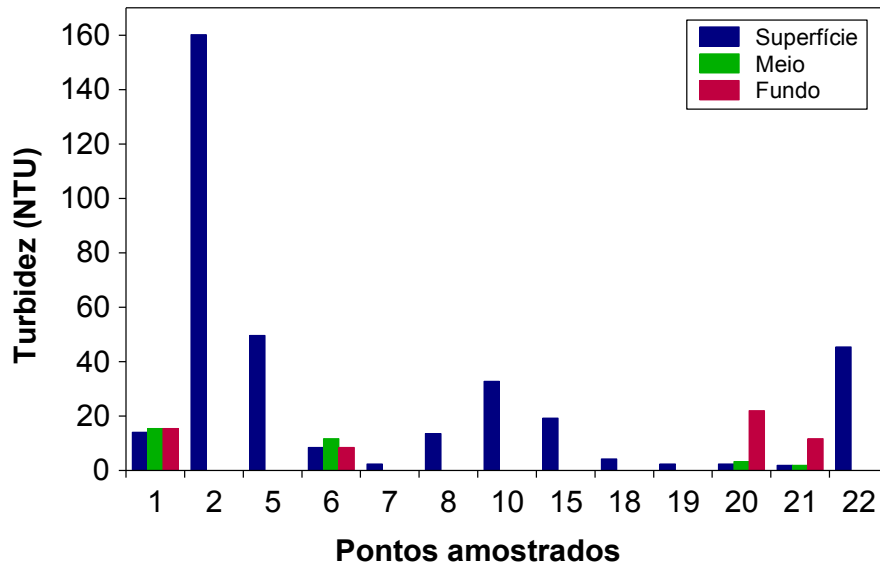


Figura 3. Valores de turbidez.

De maneira geral, as águas do reservatório, não apresentaram odor.

Os valores médios de oxigênio dissolvido para as águas do reservatório foram 6,6; 4,1 e 2,3 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração de oxigênio dissolvido (7,96 mg/l) foi obtida na superfície do ponto 21, enquanto que a menor concentração (1,28 mg/l) foi obtida no fundo do ponto 21 (38 metros) (Figura 4). Foi observado um declínio acentuado na concentração desta variável com o aumento da profundidade.

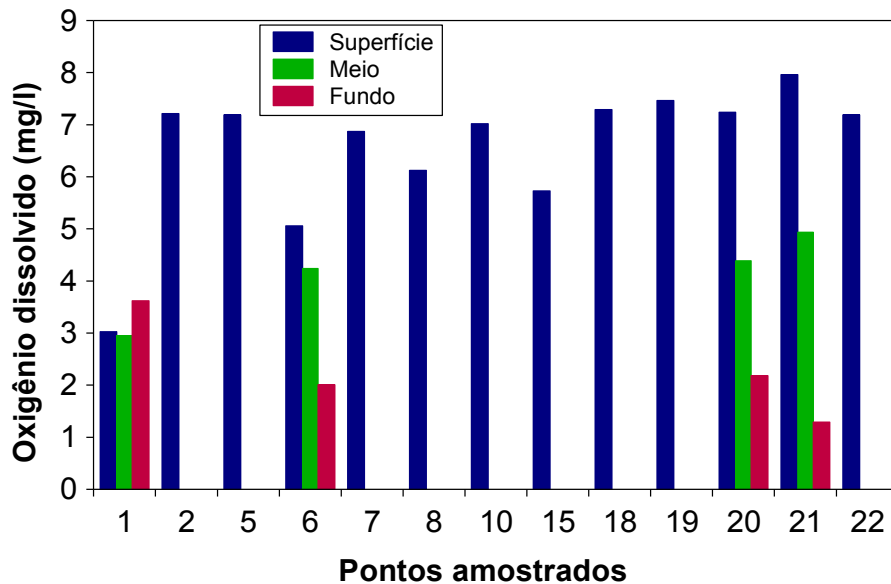


Figura 4. Concentração de oxigênio dissolvido.

A média dos valores da concentração de CO₂ encontrada nas águas do reservatório foram de 5,5; 6,7 e 7,7 mg/l na superfície meio e fundo respectivamente. O maior valor (9,2 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 8 e o menor valor (2,8 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 5 (Figura 5).

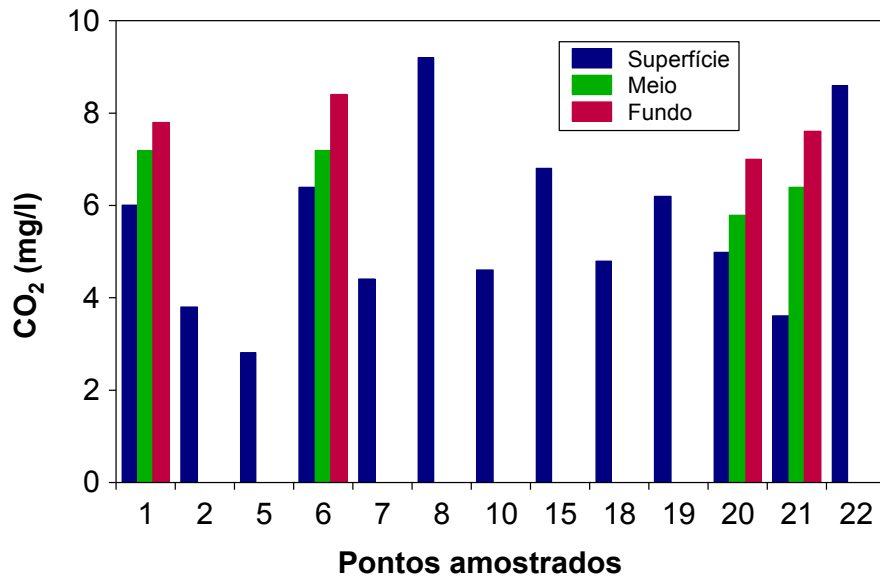


Figura 5. Concentração de dióxido de carbono.

Os valores do pH caracterizam a neutralidade das águas do reservatório. Os valores médios foram 7,62; 6,87 e 6,55, na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor foi 8,01 medido na superfície do ponto 5, e o menor valor foi medido no ponto 10 (5,83). De modo geral as águas do reservatório são neutras (Figura 6).

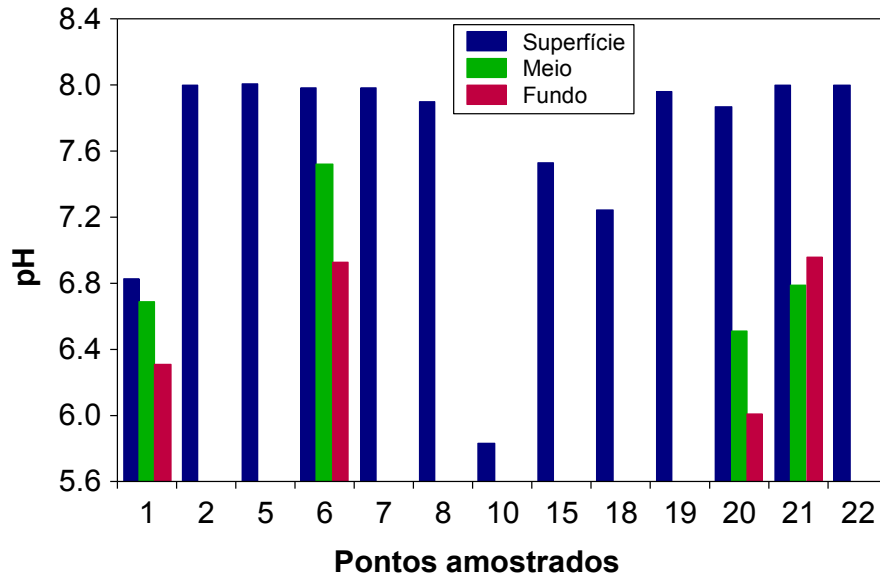


Figura 6. Valores de pH.

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 83,3; 84 e 67,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (176 $\mu\text{S}/\text{cm}$) foi encontrado na superfície do ponto 8, enquanto que o menor valor (17 $\mu\text{S}/\text{cm}$) foi encontrado na superfície do ponto 5, localizado no Rio São Félix (Figura 7).

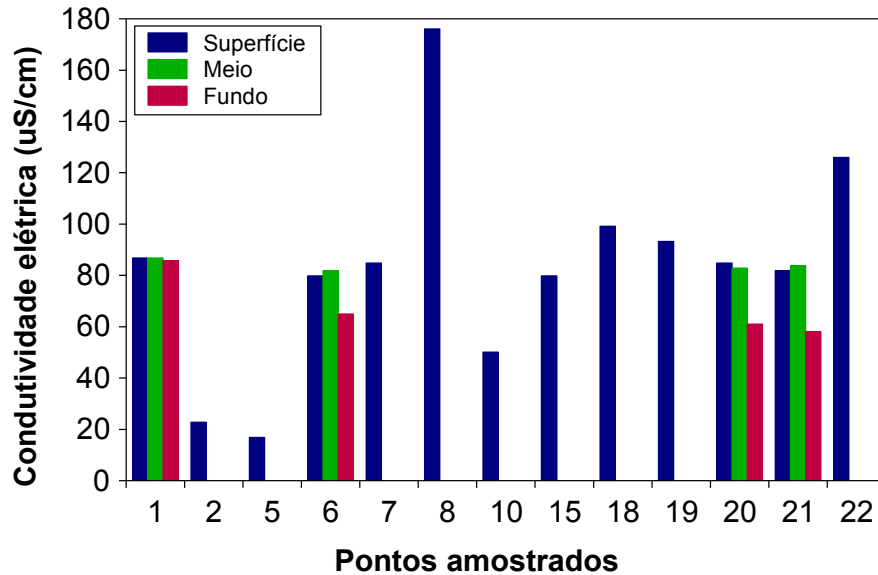


Figura 7. Valores de condutividade elétrica.

A alcalinidade reflete a capacidade que um ecossistema aquático apresenta em neutralizar (tamponar) ácidos a ele adicionados, dependendo de alguns compostos como bicarbonatos e carbonatos.

A média dos valores de alcalinidade total das águas do reservatório foi de 24,7; 26,5 e 21,9 mg/l CaCO₃ na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (50,8 mg/l) foi encontrado no ponto 22, e o menor (2,0 mg/l) foi encontrado no ponto 5 (Figura 8).

A média dos valores da dureza da água no reservatório foi de 36,4; 32,2 e 25,7 mg/l CaCO₃, na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (58 mg/l) foi encontrado no ponto 8, localizado no Córrego Varjão, enquanto que o menor valor (10,8 mg/l) foi encontrado no ponto 5 (Figura 9).

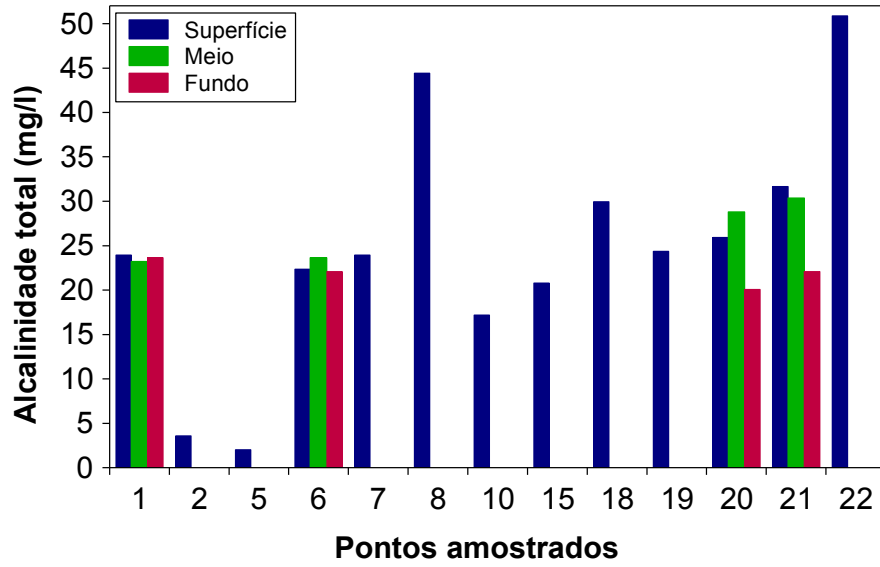


Figura 8. Valores de alcalinidade total.

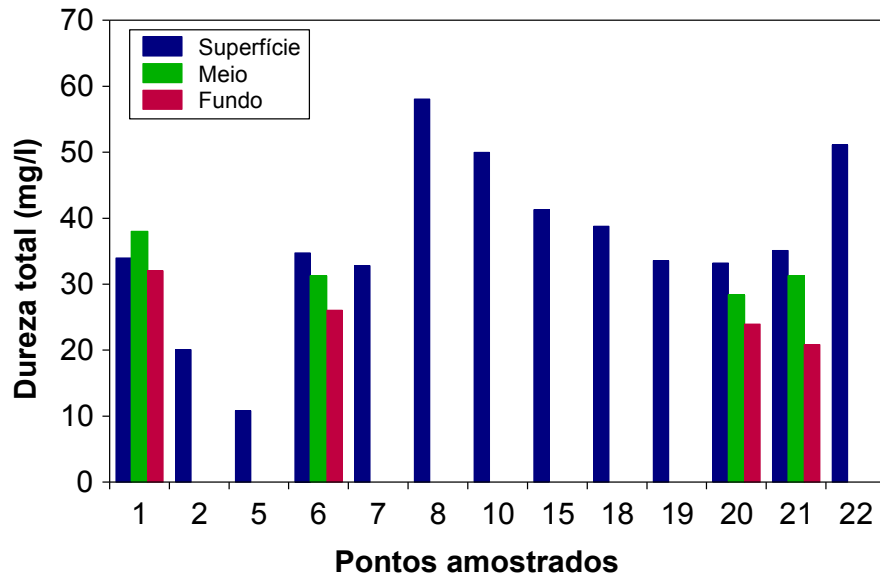


Figura 9. Valores de dureza total.

A variável STD pode estar fortemente relacionada com as concentrações de íons (Ca, Mg, Na, K e os ânions: HCO₃, CO₃, SO₄ e Cl) e, deste como, com a condutividade elétrica da água. A concentração média dos sólidos totais dissolvidos nas águas do reservatório foi de 40,5; 42 e 33,5 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração foi de 84 mg/l no ponto 8, enquanto que a menor concentração (7 mg/l) foi obtida no ponto 5 (Figura 10).

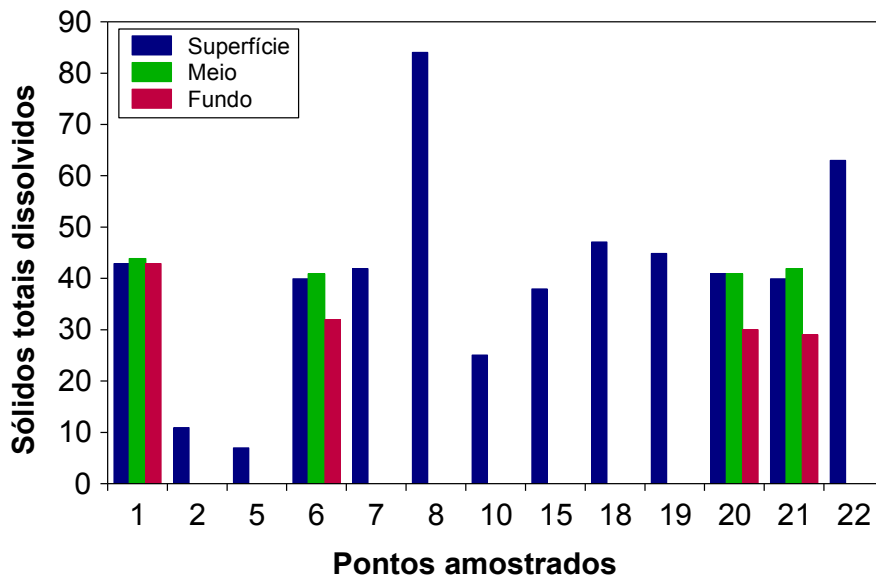


Figura 10. Valores de sólidos totais dissolvidos.

Em média os valores de acidez total nas águas do reservatório foram 3,3; 2,4 e 2,3 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (7,6 mg/l) foi obtido no ponto 22, e o menor valor (0,8 mg/l) foi obtido na superfície do Rio Preto (ponto 2) (Figura 11).

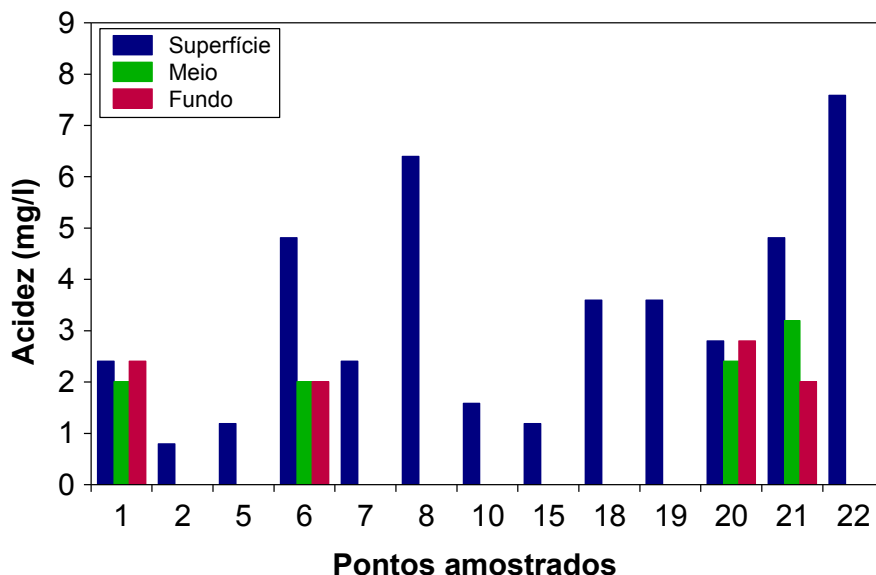


Figura 11. Valores de acidez total.

Os valores médios de cloretos para as águas do reservatório foram de 2,15; 2,1 e 1,9 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (5,2 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 8, e o menor valor (0,8 mg/l) no ponto 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 0,011; 0,003 e 0,0095 na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor encontrado foi de 0,069 mg/l na superfície do ponto 2 e o menor valor (0,00 mg/l) foi obtido nos pontos 7 e 19 (Figura 13).

A concentração média de sulfato nas águas do reservatório foi de 1,3; 0,0 e 0,25 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor obtido (7 mg/l) foi obtido no ponto 8, e o menor valor (<1 mg/l) foi obtido na superfície dos pontos 6, 7, 15, 18, 19 e 21 (Figura 14).

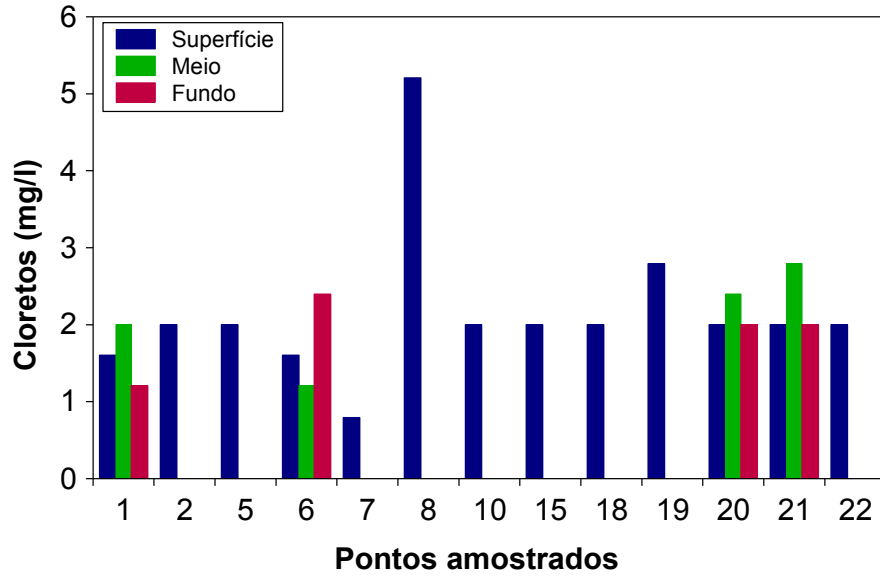


Figura 12. Valores de cloretos.

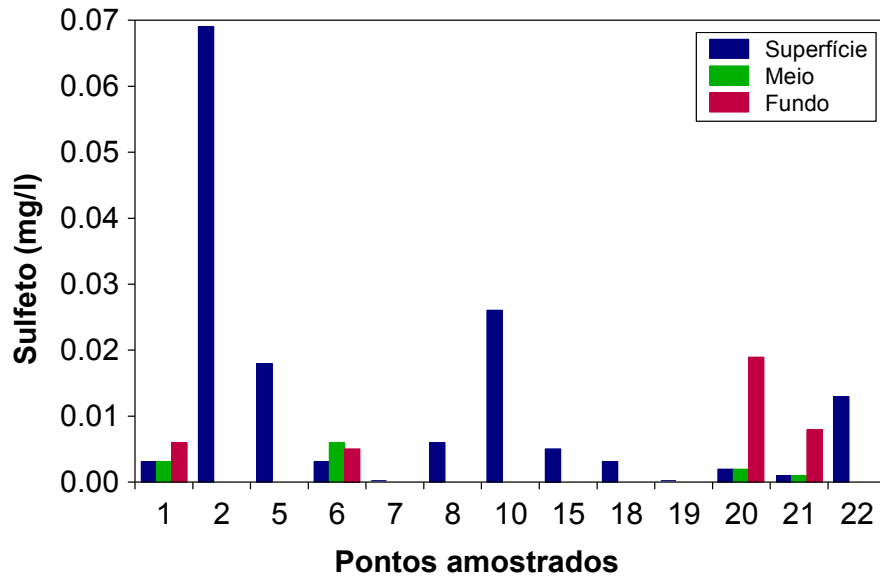


Figura 13. Valores de sulfeto.

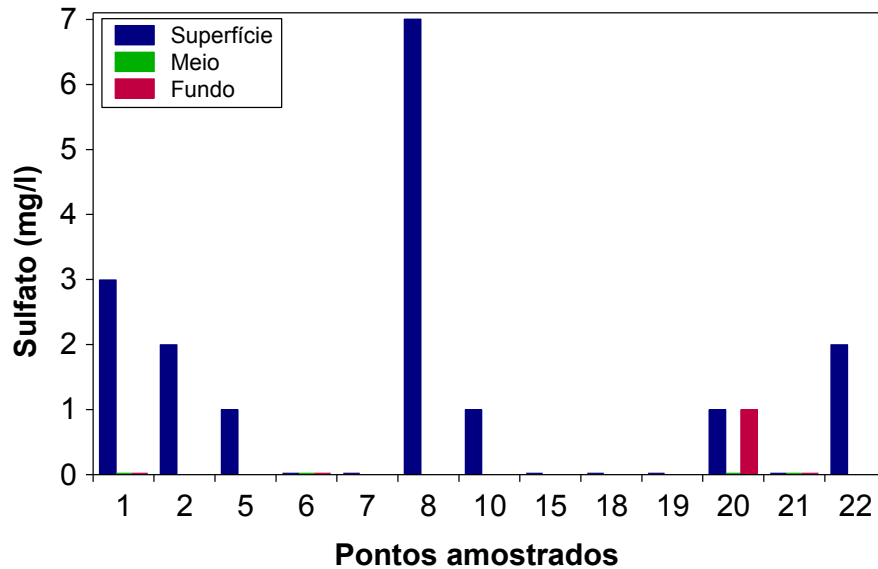


Figura 14. Valores de sulfato.

A concentração média de ferro total nas águas do reservatório foi de 0,55; 0,28 e 0,54 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (2,07 mg/l) foi obtido no ponto 2, e o menor valor (0,05 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 21 (Figura 15).

Juntamente com o nitrogênio, o fósforo é o principal nutriente responsável pelo processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos (Kalff, 2002). A concentração média de orto-fosfato nas águas do reservatório foi de 0,09; 0,045 e 0,062 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (0,35 mg/l) foi encontrado no ponto 2 (Rio Preto). O menor valor (0,01 mg/l) foi obtido na superfície do ponto 7 e no fundo do ponto 6 (25 metros) (Figura 16).

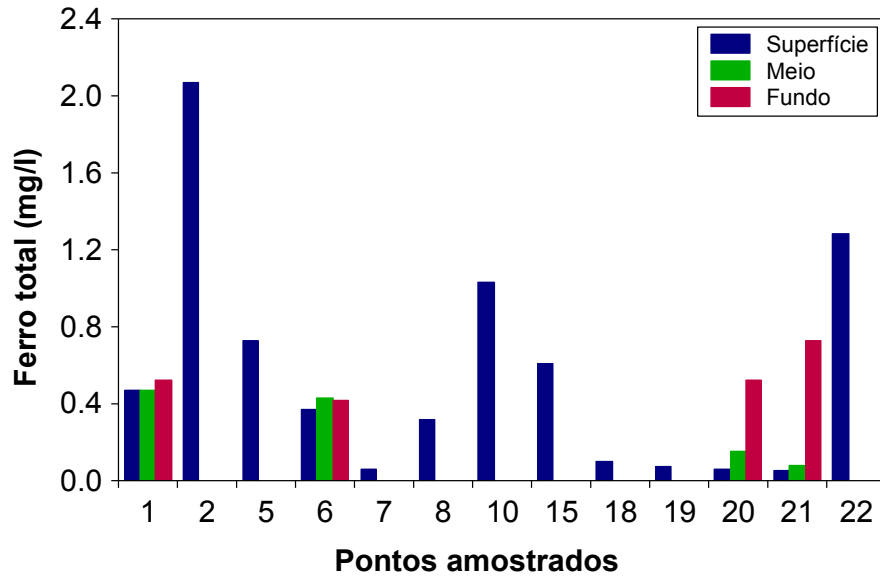


Figura 15. Valores de ferro total.

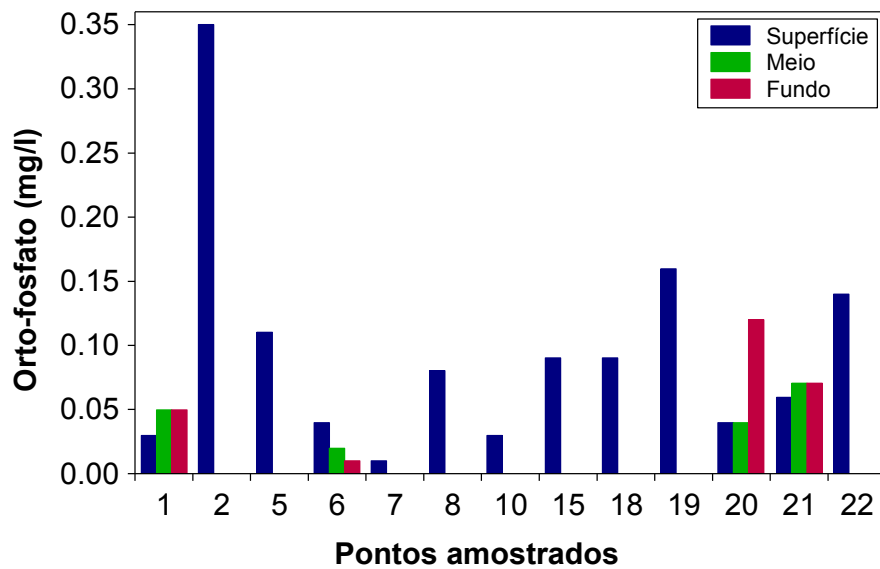


Figura 16. Concentração de orto-fosfato.

A concentração média de nitrito nas águas do reservatório foi de 0,014; 0,0075 e 0,01 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. O maior valor (0,061 mg/l) foi obtido no ponto 2, e o menor valor (0,004 mg/l) foi encontrado no meio do ponto 21 (10 metros) (Figura 17).

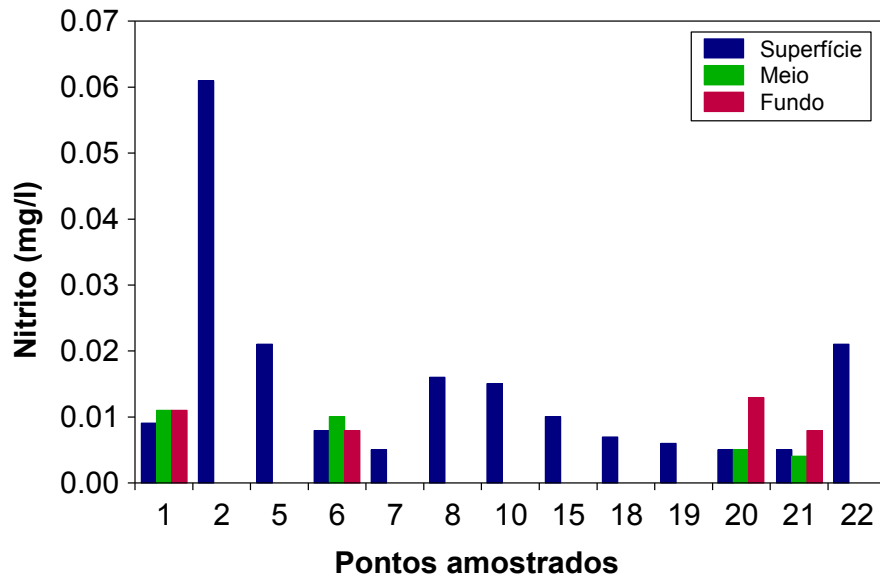


Figura 17. Concentração de nitrito.

A concentração média de nitrogênio amoniacal foi de 0,09; 0,11 e 0,12 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração (0,17 mg/l) foi obtida no fundo do ponto 6 (25 metros). A menor concentração (0,03 mg/l) foi obtida na superfície e meio (10 metros) do ponto 21 (Figura 18).

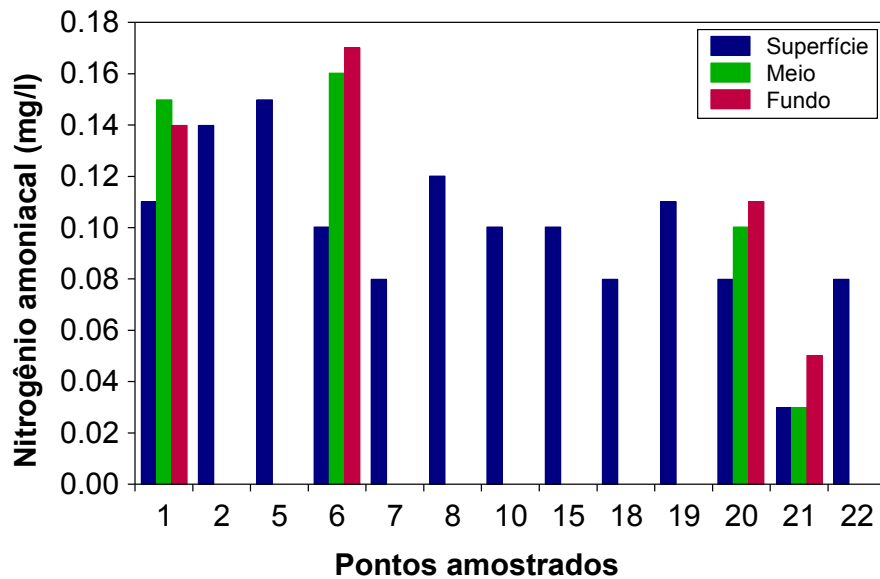


Figura 18. Concentração de nitrogênio amoniacal.

A concentração média de nitrato nas águas do reservatório de Cana Brava foi de 0,29; 0,17 e 0,32 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. A maior concentração de nitrato foi de 0,8 mg/l no ponto 2, e a menor concentração (<0,1 mg/l) foi obtida na superfície do ponto 21 (Figura 19).

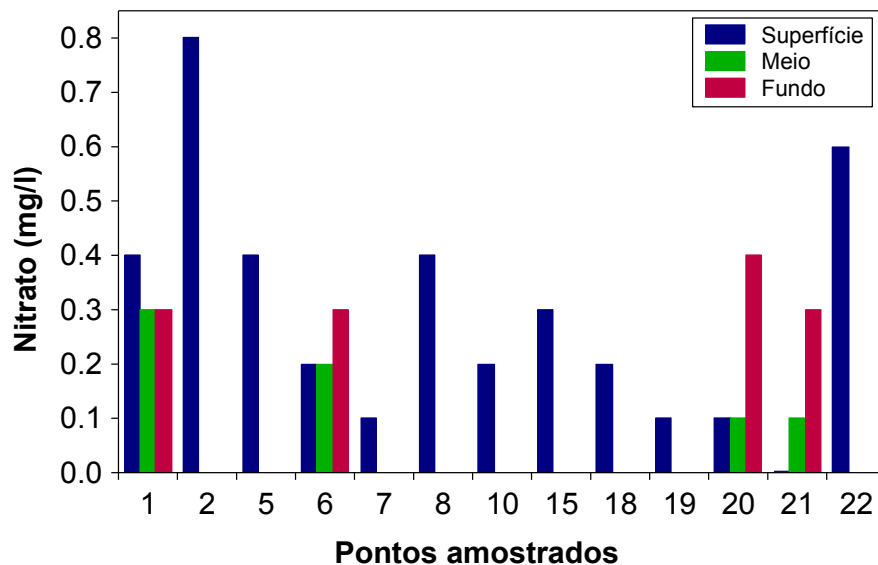


Figura 19. Concentração de nitrato.

A DBO₅ 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 (DBO₅).

Nas águas do reservatório foi obtido um valor médio de 1,5 mg/l de DBO₅. O maior valor obtido foi de 3,9 mg/l no ponto 8 (Córrego Varjão), e menor valor (0,2 mg/l) foi encontrado na superfície do ponto 5 (Figura 20).

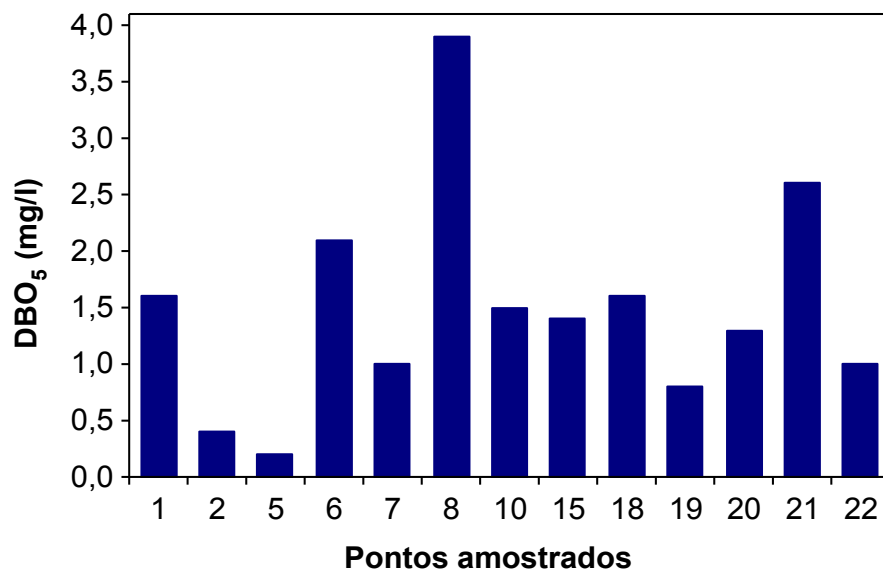


Figura 20. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅).

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

Zonação longitudinal do Reservatório de Cana Brava

Com o objetivo de avaliar os padrões de zonação longitudinal do reservatório de Cana Brava, de acordo com uma abordagem multivariada, uma Análise de Componentes Principais foi empregada, utilizando somente os dados de superfície (Manly, 1995).

A Figura 21 indica que a maior parte da variabilidade espacial do reservatório de Cana Brava pode ser resumida, sem grandes perdas de informação, utilizando combinações lineares das variáveis. Através dos escores das estações de coleta ao longo dos componentes principais 1 e 2, observou-se um gradiente longitudinal. E outras palavras, o componente principal 1 dividiu o reservatório de Cana Brava em duas regiões distintas: a) a região lacustre ou lântica, formada pelos pontos 6, 7, 18, 19, 20, 21 e b) a região fluvial ou lótica, formada pelos pontos 2, 5, 10, 15. As exceções a esta divisão são os pontos 8, 22 e 1.

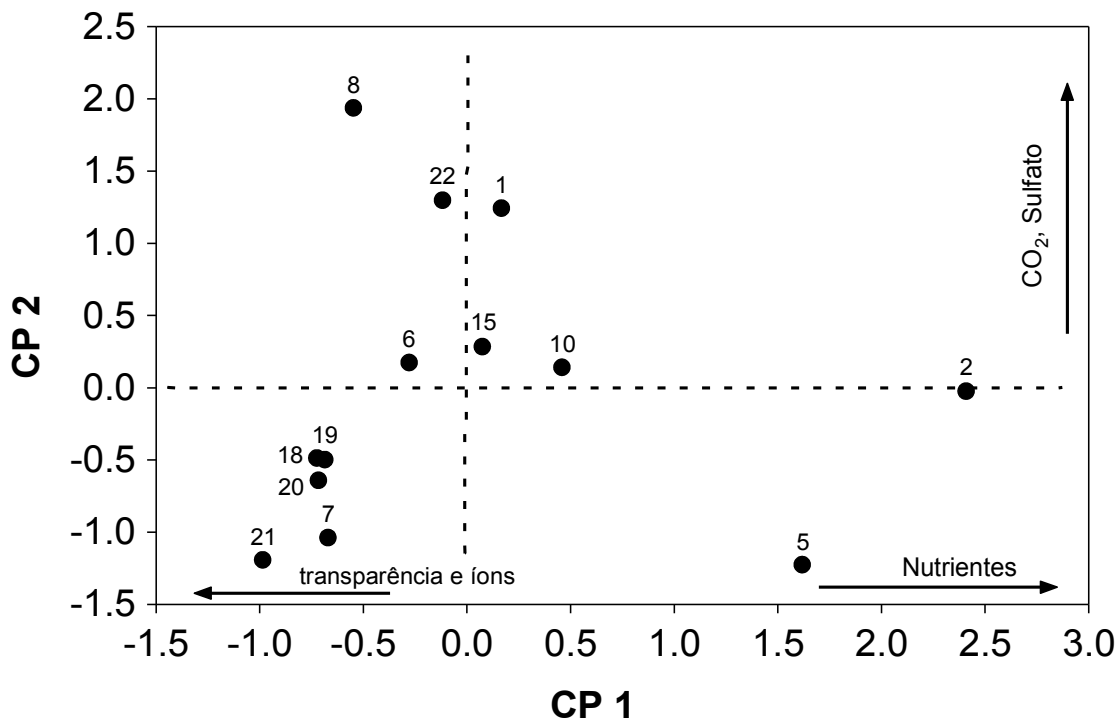


Figura 21. Escores derivados da Análise de Componentes Principais. CP = Componente Principal.

De acordo com os coeficientes de estrutura (correlação de Pearson entre os escores e as variáveis originais), os valores dos nutrientes (nitrato, nitrito, N-amoniaco, orto-fosfato), ferro, sulfeto e turbidez aumentam em direção à região lítica. Ao contrário, a transparência da água, condutividade elétrica, alcalinidade, acidez e dureza aumentam em direção à região lântica, ou seja, regiões próximas à barragem.

Um importante processo a ser considerado na explanação do padrão longitudinal é a alta concentração de alguns nutrientes nos tributários do reservatório e a redução destes nas imediações da barragem. Por exemplo, a água proveniente do rio Preto, que penetra no reservatório, possui concentração média de orto-fosfato de 0,35 mg/l, que é reduzida para 0,01 e 0,04 no ponto 7 e 20, respectivamente. Segundo Wetzel (1993), as reduções das concentrações do fósforo e ferro no sentido rio-barragem podem ser atribuídas basicamente à i) adsorção pelo fitoplâncton e sua posterior sedimentação e ii) precipitação do fósforo com compostos férricos. Como resultado, ocorre considerável perda desses elementos da coluna de água na medida em que o ambiente se torna mais lântico. Esta capacidade que os reservatórios têm de acumular fósforo tem sido considerada responsável pela redução do fosfato inorgânico registrada ao longo das cadeias de reservatórios da região Sudeste do Brasil (Tundisi *et al.*, 1988; Agostinho *et al.*, 1995; Thomaz *et al.*, 1997).

O íon sulfato também é um importante determinante da solubilidade do ferro, e outros elementos traços, na coluna da água. Quando o sulfato é reduzido a sulfeto (S^{2-}) durante a oxidação da matéria orgânica, este combina-se com o ferro formando um precipitado insolúvel sob condições anóxicas (Kalff, 2002). Desta maneira, as reduções das concentrações de sulfeto no sentido rio-barragem podem ser atribuídas à precipitação deste elemento com o ferro, assim como ocorre a precipitação do fósforo com compostos férricos. Além disso, a precipitação do material particulado no sentido rio-barragem pode ainda ser evidenciada pela redução dos valores de turbidez ou aumento da transparência da água.

A transparência da água, condutividade elétrica, alcalinidade, acidez e dureza aumentam em direção à região lântica, ou seja, regiões próximas à barragem. Considerando a forte estrutura de correlação entre condutividade elétrica e alcalinidade ($r=0,92$), acidez ($r=0,81$) e dureza total ($r=0,80$), deve-se ressaltar que o aumento de íons no componente principal 1 (em direção a barragem) tenha sido observado devido, principalmente, a presença dos pontos 8 e 22, sendo que este foram os pontos que apresentaram maiores valores de condutividade elétrica, alcalinidade, dureza e acidez (variáveis altamente correlacionadas). Thomaz et al. (1997) observaram redução de íons e nutrientes no sentido rio-barragem, atribuindo este resultado às perdas por precipitação, juntamente com a absorção dos elementos essenciais pela comunidade fitoplanctônica.

Provavelmente, as precipitações pluviométricas sejam responsáveis por esta entrada de nutrientes do ambiente terrestre para o aquático. No entanto, isto não vem comprometendo o estado trófico das águas do reservatório de Cana Brava.

Considerando somente as variáveis que foram responsáveis pela ordenação dos pontos de amostragem na análise multivariada, foi realizado um teste t para amostras pareadas, com o objetivo de comparar os meses de abril de 2004 e dezembro de 2003. Observou-se diferença significativa entre abril/2004 e dezembro/2003 considerando somente a alcalinidade da água, significativamente maior em dezembro/2003 ($t= -7,7$; $p < 0,001$), a concentração de orto-fosfato, significativamente maior em abril/2004 ($t= 3,16$; $p= 0,008$), e nitrato, significativamente maior em abril/2004 ($t= 3,11$; $p= 0,008$). Provavelmente, as precipitações pluviométricas estejam influenciando este resultado.

Perfil vertical do ponto 21 – próximo à barragem

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 hipolímnio (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 5°C, acompanhada por uma situação quase anóxica no hipolímnio (Figura 22).

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 epilímnio (correspondendo à zona eufótica) não atinge o hipolímnio (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 dezembro de 2003), o ponto 21, próximo à barragem, apresenta estratificação térmica bem evidenciada, apresentando baixas concentrações de oxigênio dissolvido (hipoxia) a partir de 10 metros de profundidade.

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).

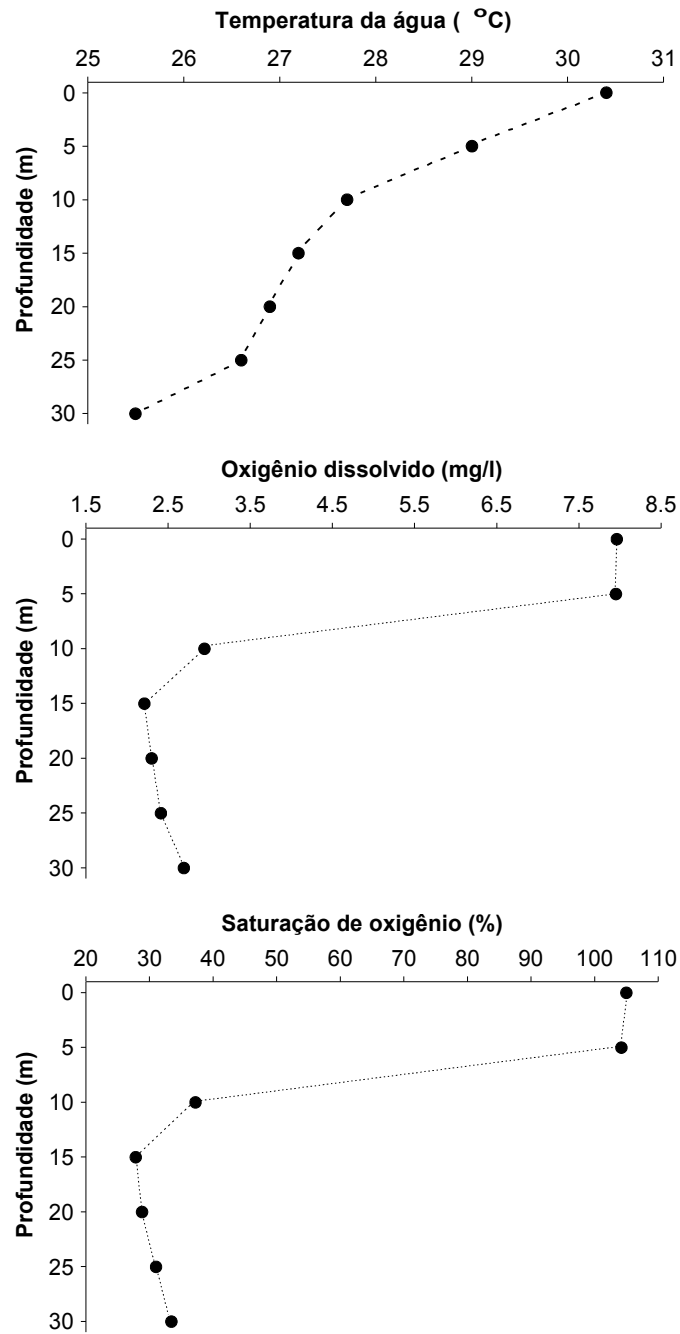


Figura 22. Gradientes de temperatura e oxigênio obtidos no ponto 21 em abril de 2004.

B. Parâmetros Bacteriológicos

A maior concentração de coliformes totais nas águas do reservatório (>24000 NMP/100ml) foi encontrada nos pontos 2, 8, 10 e 22, e a menor concentração (Valor Ausente) foi encontrada no ponto 7, seguido pelo ponto 6 (Tocantins / Foz São Félix) com 7 NMP/100ml (Tabela 4). Em relação à concentração de coliformes fecais, o maior valor também foi encontrado nos pontos 2, 8, 10 e 22 (>24000 NMP/100ml), enquanto que a menor concentração foi encontrada nos pontos 6, 7 e 21 (Valores Ausentes).

Tabela 4: Abundância de coliformes totais e fecais nos pontos amostrados no reservatório da UHE Cana Brava em abril de 2004.

Pontos de Coleta	Coliformes totais NMP/100ml	Coliformes fecais NMP/100ml
1	23	9
2	>24000	>24000
5	11000	1500
6	7	0
7	0	0
8	>24000	>24000
10	>24000	>24000
15	11000	430
18	83	83
19	150	150
20	9	7
21	9	0
22	>24000	>24000

CONCLUSÃO

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 do ponto 1.
- Todos os pontos amostrados apresentaram concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD) menores que o preconizado pela Resolução CONAMA. O mesmo para os valores de turbidez, com exceção do ponto 2 (rio Preto);
- Os valores de pH estiveram dentro dos limites preconizados pela resolução CONAMA, com exceção do ponto 10 (rio do Carmo). De maneira geral, o reservatório possui águas alcalinas;
- Com relação à concentração de ferro solúvel nas águas do reservatório, todos os pontos e profundidades apresentaram valores que não estão de acordo com a resolução CONAMA. As exceções são os pontos 7, 18, 19, 20 e 21 e o meio dos pontos 20 e 21. Como já discutido previamente através de uma análise multivariada, estes são os pontos localizados na região lântica, onde o ferro precipita-se, com o fósforo, no sedimento.
- A concentração de sulfeto nas águas do reservatório também apresentou valores acima do preconizado pela resolução CONAMA na superfície dos pontos 2, 5, 8, 10, 15 e 22, e no meio do ponto 6, e fundo de todos os pontos;

- Em geral, a concentração de Orto-fosfato apresentou teores inferiores ao limite do CONAMA nas águas do reservatório, com exceção apenas do ponto 2 (rio Preto). 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;
- A abundância de coliformes totais foi superior ao limite preconizado pelo CONAMA nos pontos 2, 5, 8, 10, 15 e 22. Com relação aos coliformes fecais a abundância foi superior ao limite da resolução nos pontos 2, 5, 8, 10 e 22. Assim, os pontos localizados nos tributários (região lótica) são os pontos mais afetados pela entrada de material alóctone no ambiente aquático, durante o período de chuvas. Além disso, o Córrego Varjão (ponto 8), o rio do Carmo (ponto 10) e o rio Bonito (ponto 22), são os locais mais afetados por residências no município de Minaçu.

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

Variável	CONAMA
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 ₂	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	5000 NMP/100ml
Coliformes fecais	1000 NMP/100ml
Óleos e graxas	NR

Em resumo, pode-se considerar que:

(i) Os locais que apresentam maiores concentrações de nutrientes e íons, são os pontos localizados nos tributários do reservatório de Cana Brava. Tais locais são bastante influenciados pelas precipitações pluviométricas, responsáveis pela entrada de material alóctone nos corpos hídricos.

(ii) Os pontos com maiores concentrações de nutrientes, tais como orto-fosfato, estão localizados, principalmente, nos rios Preto (ponto 2) e São Félix (ponto 5). Os pontos com maiores concentrações de íons, tais como bicarbonatos, carbonatos (representado pela condutividade elétrica, alcalinidade e dureza) e cloretos, são os pontos localizados no Córrego Varjão (ponto 8) e rio Bonito (ponto 22).

(iii) As regiões do hipolímnio de um reservatório muitas vezes apresentam 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.

(iv) Ressalta-se, novamente, 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 nitrato) e podem legitimar a degradação da qualidade da água nos ecossistemas lóticos.

(v) 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 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.

(iv) Pode-se considerar que os pontos de coleta localizados no corpo central do reservatório apresentam baixos níveis de poluição, no entanto, ressalta-se a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água, principalmente nos tributários do reservatório.

Tabela 6. Resultados da campanha abril /2004 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	2.4	0.8	1.2	4.8	2.4	6.4	1.6	1.2	3.6	3.6	2.8	4.8	7.6	3.32	2.09
	M	2			2							2.4	3.2		2.40	0.57
	F	2.4			2							2.8	2		2.30	0.38
Alcalinidade total (mg/l)	S	24	3.6	2	22.4	24	44.4	17.2	20.8	30	24.4	26	31.6	50.8	24.71	13.49
	M	23.2			23.6							28.8	30.4		26.50	3.64
	F	23.6			22							20	22		21.90	1.47
Cloretos (mg/l)	S	1.6	2	2	1.6	0.8	5.2	2	2	2	2.8	2	2	2	2.15	1.01
	M	2			1.2							2.4	2.8		2.10	0.68
	F	1.2			2.4							2	2		1.90	0.50
Condutividade elétrica (µS/cm)	S	87	23	17	80	85	176	50	80	99	93	85	82	126	83.31	40.76
	M	87			82							83	84		84.00	2.16
	F	86			65							61	58		67.50	12.66
CO ₂ (mg/l)	S	6	3.8	2.8	6.4	4.4	9.2	4.6	6.8	4.8	6.2	5	3.6	8.6	5.55	1.89
	M	7.2			7.2							5.8	6.4		6.65	0.68
	F	7.8			8.4							7	7.6		7.70	0.58
Dureza total (mg/l)	S	34	20	10.8	34.8	32.8	58	50	41.2	38.8	33.6	33.2	35.2	51.2	36.43	12.46
	M	38			31.2							28.4	31.2		32.20	4.09
	F	32			26							24	20.8		25.70	4.71
DBO (mg/l)	S															
Ferro (mg/l)	S	0.47	2.07	0.73	0.37	0.06	0.32	1.03	0.61	0.1	0.07	0.06	0.05	1.28	0.56	0.60
	M	0.47			0.43							0.15	0.08		0.28	0.20
	F	0.52			0.42							0.52	0.73		0.55	0.13
Nitrato (mg/l)	S	0.4	0.8	0.4	0.2	0.1	0.4	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0	0.6	0.29	0.23
	M	0.3			0.2							0.1	0.1		0.18	0.10
	F	0.3			0.3							0.4	0.3		0.33	0.05
Nitrito (mg/l)	S	0.009	0.061	0.021	0.008	0.005	0.016	0.015	0.01	0.007	0.006	0.005	0.005	0.021	0.015	0.015
	M	0.011			0.01							0.005	0.004		0.008	0.004
	F	0.011			0.008							0.013	0.008		0.010	0.002
	S	0.11	0.14	0.15	0.1	0.08	0.12	0.1	0.1	0.08	0.11	0.08	0.03	0.08	0.10	0.03

N-Amoniacal (mg/l)	M	0.15			0.16							0.1	0.03		0.11	0.06
	F	0.14			0.17							0.11	0.05		0.12	0.05
Orto-fosfato (mg/l)	S	0.03	0.35	0.11	0.04	0.01	0.08	0.03	0.09	0.09	0.16	0.04	0.06	0.14	0.09	0.09
	M	0.05			0.02							0.04	0.07		0.05	0.02
	F	0.05			0.01							0.12	0.07		0.06	0.05
Oxigênio dissolvido (mg/l)	S	3.03	7.22	7.2	5.06	6.86	6.12	7.02	5.73	7.28	7.47	7.23	7.96	7.2	6.57	1.32
	M	2.95			4.23							4.38	4.94		4.13	0.84
	F	3.62			2.02							2.18	1.28		2.28	0.98
% de oxigênio	S	38.5	94	89.8	64.2	95	87.4	85.7	74	100.8	101.4	97.1	105	92.6	86.58	18.30
	M	33.9			55.3							57.9	65		53.03	13.39
	F	46			29.5							27.3	16.5		29.83	12.19
pH	S	6.83	8	8.01	7.98	7.98	7.9	5.83	7.53	7.24	7.96	7.87	8	8	7.63	0.65
	M	6.69			7.52							6.51	6.79		6.88	0.44
	F	6.31			6.93							6.01	6.96		6.55	0.47
STD (mg/l)	S	43	11	7	40	42	84	25	38	47	45	41	40	63	40.46	19.81
	M	44			41							41	42		42.00	1.41
	F	43			32							30	29		33.50	6.45
Sulfato (mg/l)	S	3	2	1	0	0	7	1	0	0	0	1	0	2	1.31	1.97
	M	0			0							0	0		0.00	0.00
	F	0			0							1	0		0.25	0.50
Sulfeto (mg/l)	S	0.003	0.069	0.018	0.003	0	0.006	0.026	0.005	0.003	0	0.002	0.001	0.013	0.011	0.019
	M	0.003			0.006							0.002	0.001		0.003	0.002
	F	0.006			0.005							0.019	0.008		0.010	0.006
Temp do ar (°C)																
Temp da água (°C)	S	27.7	26.8	26.5	29.6	32.5	33.8	27.3	28.7	32.8	31.6	30.8	30.4	28.2	29.75	2.44
	M	28.1			28.8							28.8	29.2		28.73	0.46
	F	28.4			27.9							27.2	27		27.63	0.64
Transparência da água (m)		0.9	0.15	0.3	1.1	3	0.7	0.5	0.2	2.5	3.3	3.3	3.4	0.5	1.53	1.34
Turbidez (NTU)	S	14.3	160	49.7	8.24	2.38	13.6	32.6	19.1	4.29	2.21	2.47	1.82	45.6	27.41	43.11
	M	15.4			11.8							3.16	1.8		8.04	6.61
	F	15.5			8.47							22	11.7		14.42	5.81

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A., A. E. A. M. VAZZOLER, e S. M. THOMAZ. 1995. The High River Paraná basin: limnological and ichthyological aspects. In: TUNDISI, J.G., BICUDO, C.E.M., MATSUMURA-TUNDISI, T. (Eds.). *Limnology in Brazil*. ABC/SBL. Rio de Janeiro. p. 59-103.
- ESTEVES, F.A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. Interciência. Rio de Janeiro.
- KALFF, J. 2002. *Limnology*. Prentice Hall. New Jersey.
- MANLY, B.F.J. 1995. *Multivariate statistical methods: a primer*. Chapman & Hall. London. p. 76-92.
- THOMAZ, S. M., L. M. BINI, e S. M. ALBERTI. 1997. Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO, A. A. e L. C. GOMES (Eds.). *Reservatório de Segredo: Bases ecológicas para o manejo*. Eduem. Maringá. p. 19-37.
- TUNDISI, J.G., T. MATSUMURA-TUNDISI, R. HENRY, O. ROCHA e K. HINO. 1988. Comparação do estado trófico de 23 reservatórios do Estado de São Paulo: eutrofização e manejo. In: TUNDISI, J.G. (Ed.). *Limnologia e manejo de represas*. USP. EESC. Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada. São Paulo. p.165-204. Série Monografias em Limnologia.
- WETZEL, R.G. 1983. *Limnology*. W.B. Saunders. Philadelphia. 743p.