



**UHE CANA BRAVA
PROGRAMA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO**

FASE OPERAÇÃO

**XVII RELATÓRIO TÉCNICO PARCIAL REFERENTE À
CAMPANHA DE MAIO DE 2007**

JUNHO DE 2007

EQUIPE RESPONSÁVEL

Biol. M.Sc. Juliana Machado do Couto

Biol. M.Sc. Larice de Fátima Machado do Couto

Biol. M.Sc. Carolina Bussadori Piva

Biol. Kátia Bittar Haddad

SUMÁRIO

1. Apresentação	01
2. Metodologia	02
3. Resultados	05
3.1. Parâmetros físicos e químicos	05
3.1.1. Perfil vertical do ponto 21	19
3.2. Parâmetros bacteriológicos	22
4. considerações gerais sobre os parâmetros físicos e químicos	23
5. bibliografia	25
ANEXO I	26

1. APRESENTAÇÃO

Este Relatório Técnico apresenta o andamento do Programa de Monitoramento Limnológico da Usina Hidrelétrica Cana Brava, referente à coleta realizada em maio de 2007.

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

O conteúdo deste Relatório Técnico inclui:

- (i) descrever os métodos analíticos que foram utilizados para determinação das variáveis físicas e químicas;
- (ii) apresentar os resultados obtidos em maio de 2007, em 13 pontos de monitoramento localizados no reservatório da UHE Cana Brava e, assim, contribuir com a caracterização limnológica deste trecho;
- (iii) comparar os resultados obtidos com os limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para águas da Classe 2;

2. 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. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) foi determinada apenas na 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, (potenciômetro digital), oxigênio dissolvido, porcentagem de saturação de oxigênio, temperatura da água (YSI 550A), temperatura do ar (termômetro de mercúrio) e transparência da água (disco de Secchi).

A profundidade do disco de Secchi também foi utilizada para estimar a extensão da zona eufótica. 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). 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, e encaminhadas para o laboratório de limnologia em Goiânia para realização das análises. A determinação dos parâmetros físicos e químicos foi analisada segundo os métodos do manual de operação do laboratório portátil DR 2010 da HACH, conforme relacionados na Tabela 2.

Tabela 1. Pontos de coleta selecionados para o monitoramento limnológico.

PONTO	LOCALIZAÇÃO	LONG.(W)	LAT.(S)	REFERENCIAL
1	Tocantins/Córrego Florêncio	48°09'09"	13° 46'23"	Montante
2	Rio Preto	48°03'36"	13°42'10"	Montante
5	Rio São Félix	48°06'27"	13°32'47"	Montante
6	Tocantins/ Foz São Félix	48°05'28"	13°32'47"	Montante
7	Rio Bonito	48°10'36"	13°29'09"	Montante
8	Córrego Varjão	48°12'05"	13°29'03"	Montante
10	Rio do Carmo	48° 02'46"	13°25'36"	Montante
15	Tocantins/Rio Cana Brava	48°09'56"	13°11'49"	Jusante
18	Praia de Minaçu - parte interna	48°12'37"	13°30'17"	Montante
19	Praia de Minaçu - parte externa	48°12'33"	13°29'53"	Montante
20	No meio do reservatório	48°09'33"	13°26'59"	Montante
21	Tocantins/Próximo à UHE Cana Brava	48°08'29"	13°24'24"	Montante
22	Rio Bonito (acima do ponto 7)	48°14'04"	13°33'03"	Montante

Tabela 2. 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
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
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
Fósforo total	Espectrofotometria pelo método do Ácido Ascórbico	0 – 2,50 mg/L PO ₄ ³⁻		4500 - P
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 ²⁻	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).

3. RESULTADOS

Os resultados das análises dos parâmetros físicos e químicos se encontram no Anexo I.

3.1. Parâmetros Físicos e Químicos

Em maio de 2007, os valores da temperatura ambiente foram, em média, iguais a 30,2°C. Os valores da temperatura da água variaram entre 23,6°C (08:11h) e 31,7°C (16:00h), na superfície da coluna da água (Figura 1). Em média, os valores de temperatura da água foram similares na superfície e meio da coluna da água, no entanto, o fundo apresentou os menores valores (média = 28,14°C na superfície, 28,45°C no meio e 27,7°C no fundo) (Figura 1).

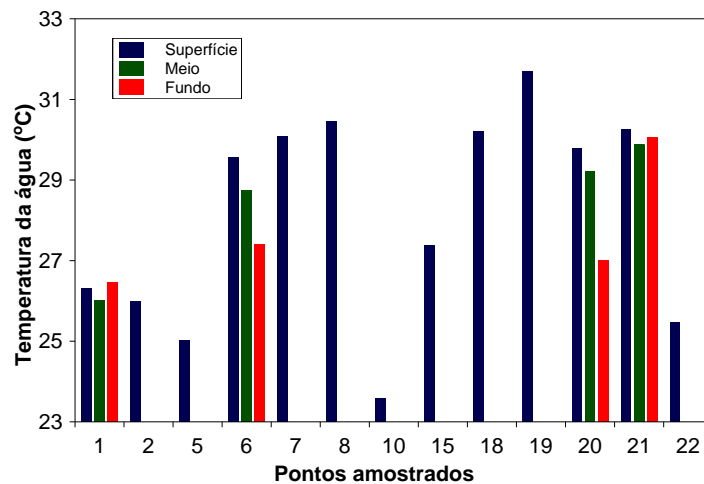


Figura 1. Valores da temperatura da água.

De maneira geral, as águas do reservatório da UHE Cana Brava apresenta elevada transparência. Em maio, o ponto 20 (meio do reservatório) apresentou o maior valor (6,5 metros), seguido pelos pontos 21 (próximo à barragem) e 7 (foz do rio Bonito) (5,6 metros) (Figura 2). Tal resultado foi similar ao obtido em março de 2007. Os pontos 2, 5, 10 e 22 apresentaram valor de transparência total, tendo em vista que são tributários com menor profundidade.

Em média, os valores de turbidez também foram indicaram a elevada transparência da água no reservatório (média = 3,22 NTU na superfície, 9,75 NTU no meio e 6,27 NTU no fundo) (Figura 3). Na superfície da coluna da água, o maior valor de turbidez (7,6 NTU) foi mensurado no ponto 1 (rio

Tocantins/ foz do córrego Florêncio), enquanto que o menor valor (1,3 NTU) foi obtido nos pontos 7 (foz do rio Bonito) e 20 (meio do reservatório), corroborando os dados obtidos através do disco de secchi, discutido anteriormente. Nas maiores profundidades, os valores de turbidez variaram entre 1,5 NTU (meio do ponto 21) e 32,9 NTU (meio do ponto 1) (Figura 3). De maneira geral, todos os locais apresentaram valores de turbidez inferiores ao limite preconizado pela resolução CONAMA n° 357/2005 (100 NTU).

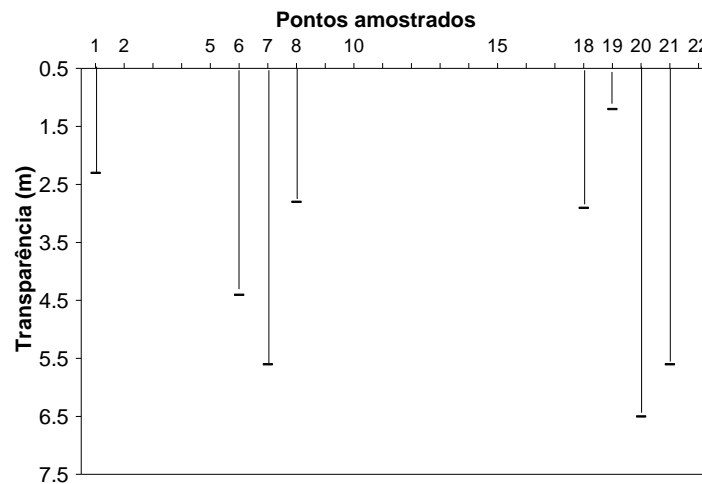


Figura 2. Valores de transparência da água.

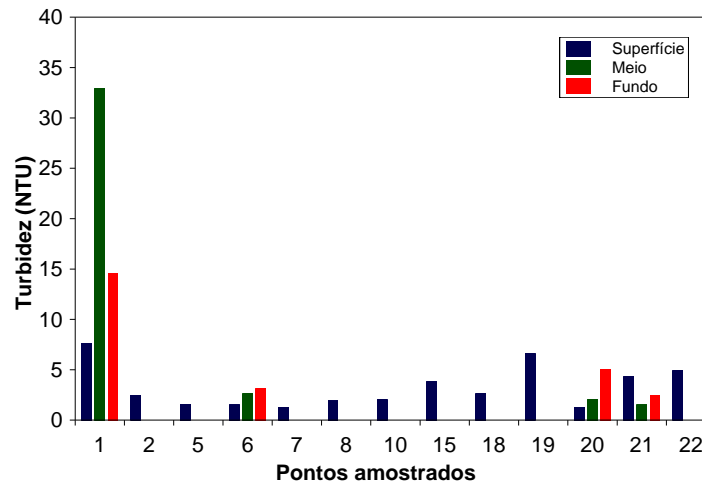


Figura 3. Valores de turbidez.

De maneira geral, a superfície da coluna da água do reservatório da UHE Cana Brava é bem oxigenada, ocorrendo um decréscimo nas maiores profundidades. Em média, as concentrações de oxigênio dissolvido foram

iguais a 6,5 mg/l; 5,2 mg/l e 2,4 mg/l, na superfície, meio e fundo, respectivamente. Na superfície da coluna da água, as concentrações variaram entre 2,13 mg/l (ponto 15 – jusante da barragem) e 8,32 mg/l (ponto 18 – parte interna da praia de Minaçu) (Figura 4). Nas maiores profundidades (meio e fundo) as concentrações desse gás variaram entre 1,0 mg/L (fundo do ponto 20) e 7,66 mg/L (meio do ponto 20).

Grande parte dos locais monitorados apresentou concentração de oxigênio dissolvido superior ao limite preconizado pela resolução CONAMA n° 357/2005 (5,0 mg/l). As seguintes transgressões foram observadas:

- superfície dos pontos 1 e 15;
- meio do ponto 1;
- fundo dos pontos 1, 6 e 20.

Assim como destacado em relatórios anteriores, o ponto 1 apresentou baixas concentrações deste gás, variando entre 1,55 mg/L no meio e 3,1 mg/L na superfície da coluna da água. Tal resultado é preocupante, tendo em vista que essas baixas concentrações podem afetar a ictiofauna local. Além disso, as baixas concentrações de oxigênio mensuradas à jusante da barragem também são preocupantes. Segundo Esteves (1998), as condições de hipoxia (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.

O mesmo padrão foi verificado considerando a porcentagem de saturação de oxigênio. Em média, a porcentagem de saturação de oxigênio foi igual a 79,4% na superfície, 62,1% no meio e 28,8% no fundo dos pontos amostrados. A menor porcentagem (0,93%) foi mensurada no fundo do ponto 20, enquanto que a maior porcentagem de oxigênio (102,1%) foi obtida na superfície do ponto 19 (parte externa da praia de Minaçu) (Figura 5).

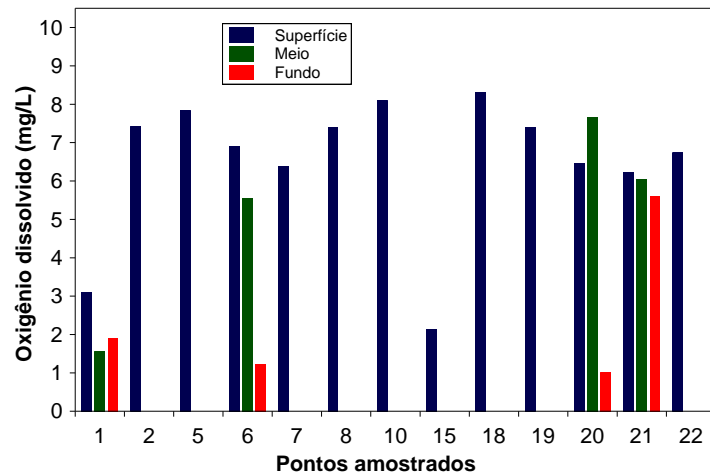


Figura 4. Concentração de oxigênio dissolvido.

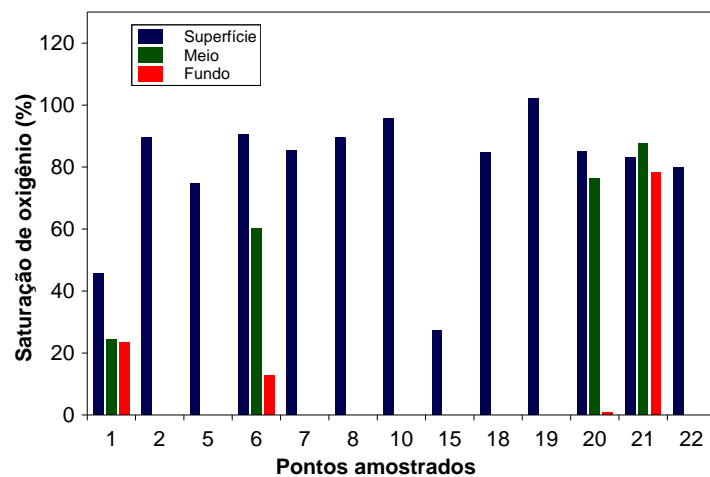


Figura 5. Porcentagem de saturação de oxigênio.

Os valores médios de pH foram iguais a 7,73; 7,04 e 7,06, na superfície, meio e fundo, respectivamente. De maneira geral, as águas do reservatório são neutras (Figura 6). Todos os locais monitorados apresentaram valores de pH dentro dos limites preconizados pela resolução CONAMA para águas de classe 2 (pH entre 6,0 e 9,0), com exceção somente do meio do ponto 1.

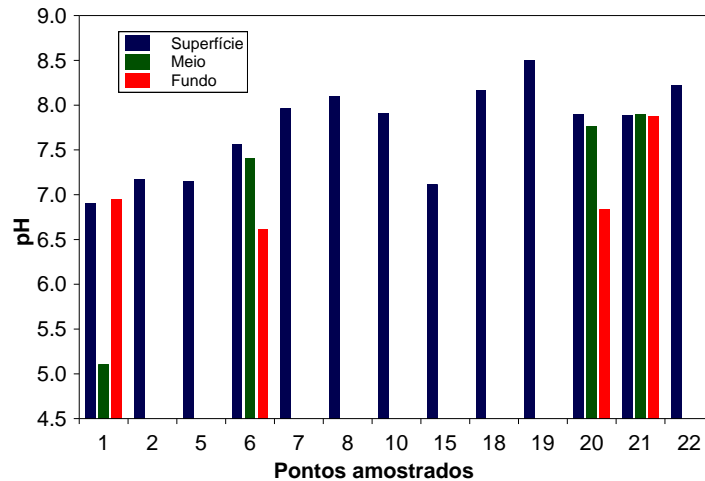


Figura 6. Valores de pH.

Em maio de 2007, os valores de condutividade elétrica foram, em média, iguais a 89,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na superfície, 83,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no meio e 81 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no fundo (Figura 7). Na superfície da coluna da água, os valores de condutividade variaram entre 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ponto 5 – rio São Félix) e 165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ponto 22 – rio Bonito). De maneira geral, não houve diferença significativa entre as profundidades de amostragem.

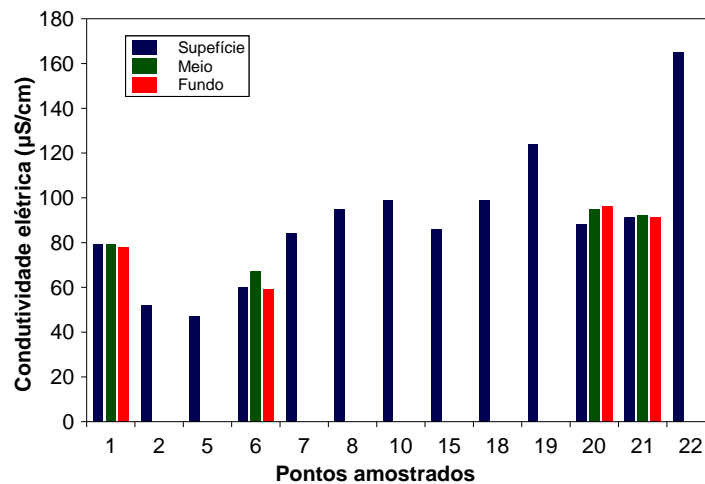


Figura 7. Valores de condutividade elétrica.

A variável sólidos totais dissolvidos (SDT) também está relacionada com a concentração iônica de um corpo aquático, indicando ainda a influência do escoamento superficial sobre as características da água (Kalf, 2002). De fato, considerando os dados obtidos em maio de 2007, foi observado uma forte estrutura de correlação entre os valores de condutividade elétrica e sólidos

totais dissolvidos ($r = 0,98$; $P < 0,001$), demonstrando que ambas as variáveis apresentam o mesmo padrão de variação espacial. As concentrações de sólidos totais dissolvidos foram, em média, iguais a 54,38 mg/L na superfície, 36,76 mg/L no meio e 35,26 mg/L no fundo (Figura 8). A maior concentração foi obtida no ponto 22 (rio Bonito – 106 mg/L). Todos os valores mensurados foram significativamente menores que o limite preconizado pela resolução CONAMA 357/2005 (500 mg/L).

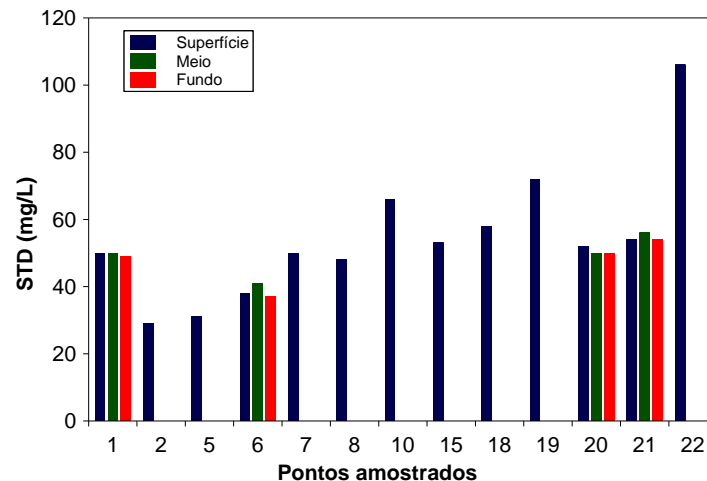


Figura 8. Concentração de sólidos totais dissolvidos (STD).

Os valores de alcalinidade foram, em média, iguais a 39,5 mg/L na superfície, 39,0 mg/L no meio e 36,7 mg/L no fundo (Figura 9). A superfície da coluna da água apresentou concentrações que variaram entre 24 mg/L (ponto 2 – rio Preto) e 55 mg/l (ponto 10 – rio do Carmo), enquanto que as concentrações nas maiores profundidades variaram entre 27 mg/L (fundo do ponto 6) e 43 mg/l (meio do ponto 20 e fundo do ponto 21). Os valores de acidez variaram entre 3,0 mg/l (ponto 7 – foz do rio Bonito) e 7,8 mg/l (ponto 22), similar aos valores freqüentemente obtidos no reservatório da UHE Cana Brava (Figura 10).

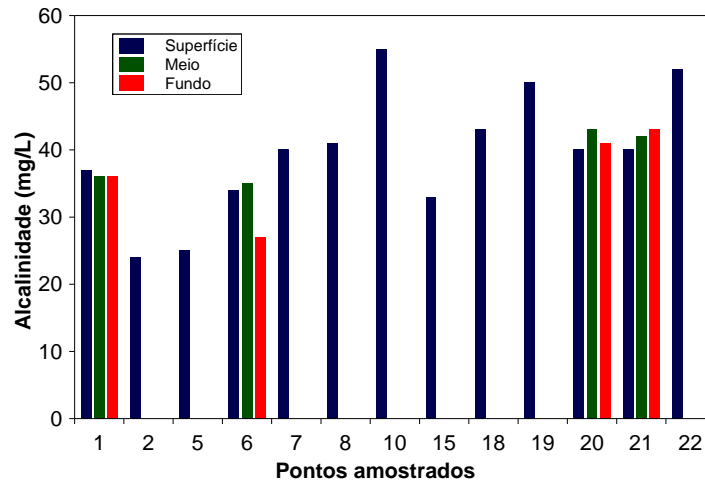


Figura 9. Valores de alcalinidade.

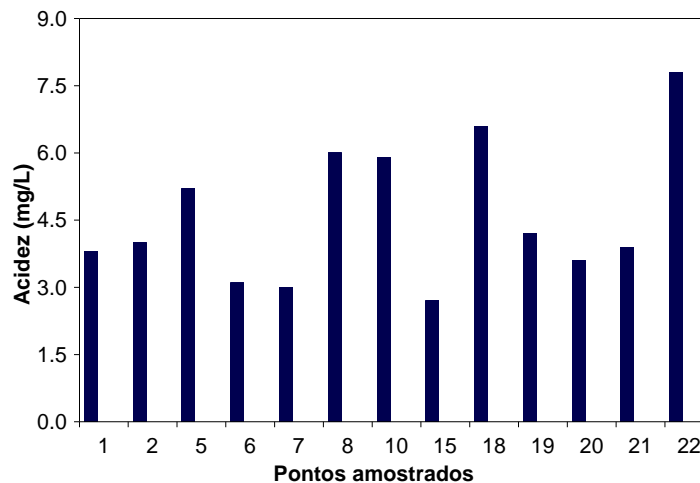


Figura 10. Valores de acidez.

A dureza da água depende basicamente da concentração de sais de cálcio e magnésio dissolvidos. Estes íons normalmente ocorrem sob a forma de carbonatos e bicarbonatos e são importantes também para a condutividade, pH e alcalinidade. Em maio de 2007, os valores de dureza foram, em média, iguais a 59,4 mg/L na superfície; 55,2 mg/L no meio e 49,0 mg/L no fundo (Figura 11). A maior concentração (140 mg/L) foi mensurada no ponto 22, enquanto que a menor concentração (38 mg/L) foi obtida na superfície do ponto 5 (rio São Félix). Segundo Baumgarten e Pozza (2001), águas com valores de dureza inferiores a 125 mg/L são classificadas como moles. Desta maneira somente o ponto 22 (rio Bonito) apresentou águas com características “moderadamente dura” (altas concentrações de íons carbonatos e bicarbonatos).

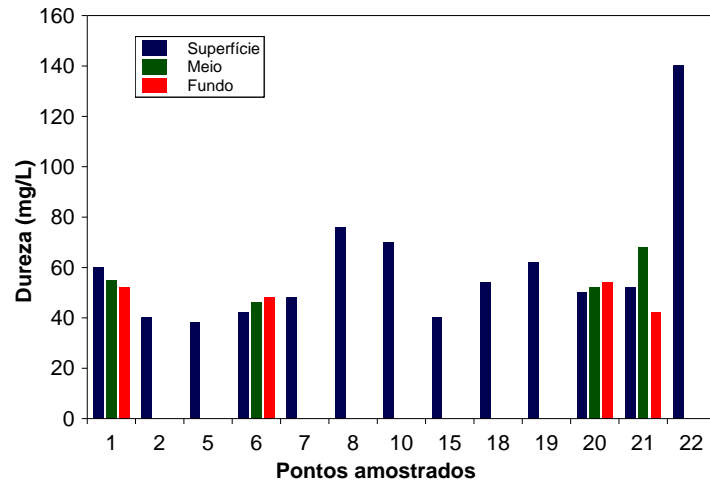


Figura 11. Valores de dureza.

Todas as águas naturais, em maior ou menor escala contêm íons cloretos resultantes da dissolução de minerais ou de sais e da intrusão de águas salinas no continente. Altas concentrações de cloretos impedem o uso da água para a agricultura e exigem tratamento adequado para usos industriais (dessalinização), bem como causam danos a estruturas metálicas (corrosão) (Baumgarten & Pozza, 2001). As concentrações de cloreto foram, também, similares entre as profundidades amostradas (média = 1,4 mg/L na superfície; 1,3 mg/L no meio e 1,5 mg/L no fundo) (Figura 12). Tais concentrações variaram entre 0,8 mg/L (superfície do ponto 15) e 2,0 mg/L (superfície do ponto 6). Todos os locais amostrados apresentaram concentrações de cloreto inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005 (250 mg/L), assim como observado nos demais meses de monitoramento.

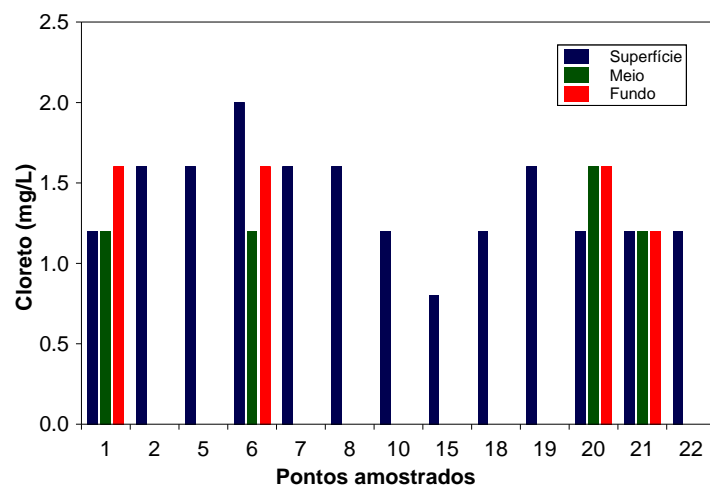


Figura 12. Concentração de cloreto.

O enxofre em ecossistemas aquáticos pode apresentar-se sob várias formas: como íon sulfato (SO_4^{2-}), íon sulfito (SO_3^{2-}), íon sulfeto (S^{2-}), gás sulfídrico (H_2S), entre outros. Dentre as várias formas de enxofre presentes na água, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais freqüentes, sendo que o íon sulfato assume maior importância na produtividade do ecossistema, visto que constitui a principal fonte de enxofre para os produtores primários (Esteves, 1998). Em média, as concentrações de sulfato, no trecho monitorado em maio de 2007, foram iguais a 0,46 mg/l na superfície; 0,5 mg/l no meio e 0,75 mg/l no fundo. A maior concentração (2,0 mg/l) foi mensurada na superfície, meio e fundo do ponto 1 (Figura 13). A maior parte dos pontos monitorados apresentaram concentrações de sulfato inferiores ao limite de detecção do método. Além disso, todas as concentrações de sulfato foram inferiores ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (250 mg/l), assim como observado nos demais meses de monitoramento limnológico na região.

As concentrações de sulfeto variaram entre valores abaixo do limite de detecção do método e 0,006 mg/L (ponto 19 – parte externa da praia de Minaçu) (Figura 14). Grande parte dos locais e profundidades amostradas apresentaram concentrações de sulfeto inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA (0,002 mg/L) com algumas exceções:

- superfície do ponto 1 (foz do córrego Florêncio), 8 (córrego Varjão), 10 (rio do Carmo) e 19 (parte externa da praia de Minaçu), 21 (próximo à barragem – montante) e 22 (rio Bonito);
- meio do ponto 20;
- fundo dos pontos 20 e 21.

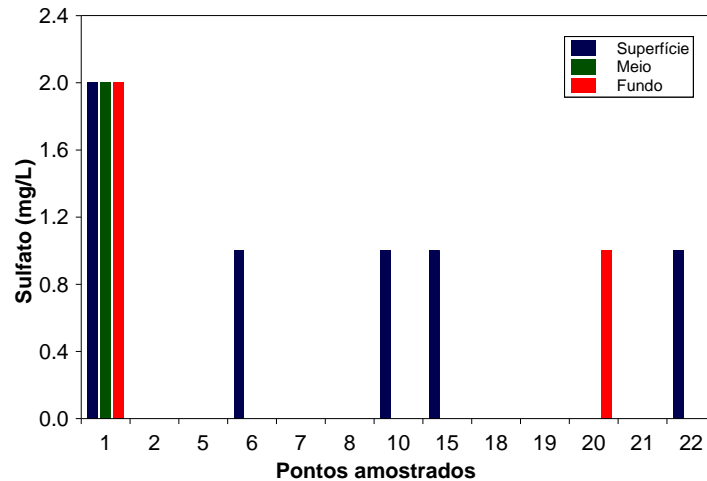


Figura 13. Concentração de sulfato.

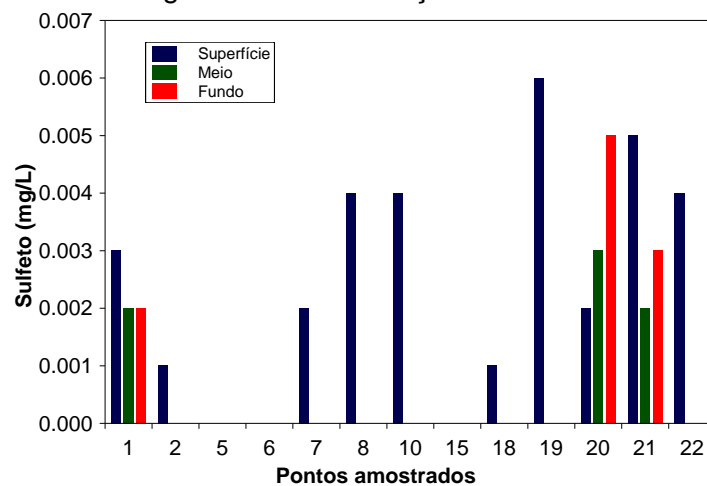


Figura 14. Concentração de sulfeto.

O ferro pertence ao grupo de elementos indispensáveis ao metabolismo dos seres vivos, é um micronutriente. Entre todos os íons que interferem na precipitação do fosfato, os de ferro tem o papel mais importante. Em maio de 2007, a concentração média de ferro total nas águas do reservatório foi de 0,24; 0,79 e 0,58 mg/l na superfície, meio e fundo, respectivamente. Tais concentrações variaram entre 0,03 mg/L (fundo do ponto 21) e 2,9 mg/L (meio do ponto 1) (Figura 15). O meio e fundo do ponto 1 foram os locais que apresentaram as maiores concentrações desse íon. De fato, em condições anóxicas ou hipóxicas, o íon ferro encontra-se na forma reduzida (Fe^{2+}), o que o torna solúvel no ambiente aquático, juntamente com o fósforo.

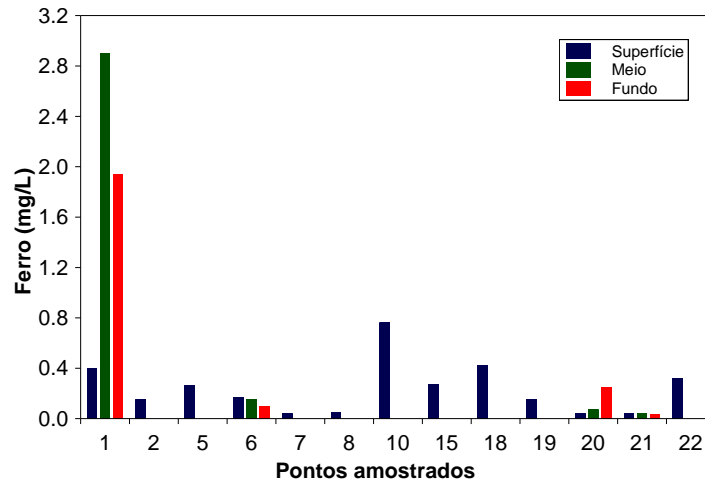


Figura 15. Concentração de ferro total.

O fósforo é um elemento químico essencial à vida aquática e ao crescimento de microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, e, na forma de fosfatos dissolvidos, é um importante nutriente para os produtores primários. Juntamente com o nitrogênio, o fósforo é o principal nutriente responsável pelo processo de eutrofização dos ecossistemas aquáticos (Kalff, 2002). Além disso, o lançamento de despejos ricos em fosfatos num curso d' água pode estimular o crescimento de micro e macroorganismos fotossintetizadores, chegando até o desencadeamento de florações indesejáveis (Baumgarten e Pozza, 2001).

As concentrações de orto-fosfato foram similares entre as diferentes profundidades amostradas (média = 0,0055 mg/L na superfície, 0,0048 mg/L no meio e 0,0055 mg/L no fundo) (Figura 16A). A maior concentração desse nutriente (0,0153 mg/L) foi mensurada no ponto 22 (rio Bonito), seguido pelo ponto 15 e meio e fundo do ponto 21 (0,0096 mg/L).

As concentrações de fósforo total foram, em média, iguais a 0,035 mg/L na superfície, 0,046 mg/L no meio e 0,046 no fundo (Figura 16B). Assim, as maiores profundidades apresentaram as maiores concentrações de fósforo total. A maior concentração (0,059 mg/L) foi mensurada no ponto 7 (foz do rio Bonito) e meio do ponto 20. Considerando o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para as concentrações de fósforo total (0,050 mg/L), as seguintes transgressões foram observadas:

- superfície dos pontos 7, 18 e 19;

- meio dos pontos 6 e 20;
- fundo do ponto 6.

Assim como discutido anteriormente, as baixas concentrações de oxigênio dissolvido no fundo do reservatório da UHE Cana Brava (condições de hipoxia) resultam nas maiores concentrações de ferro e fósforo total na água.

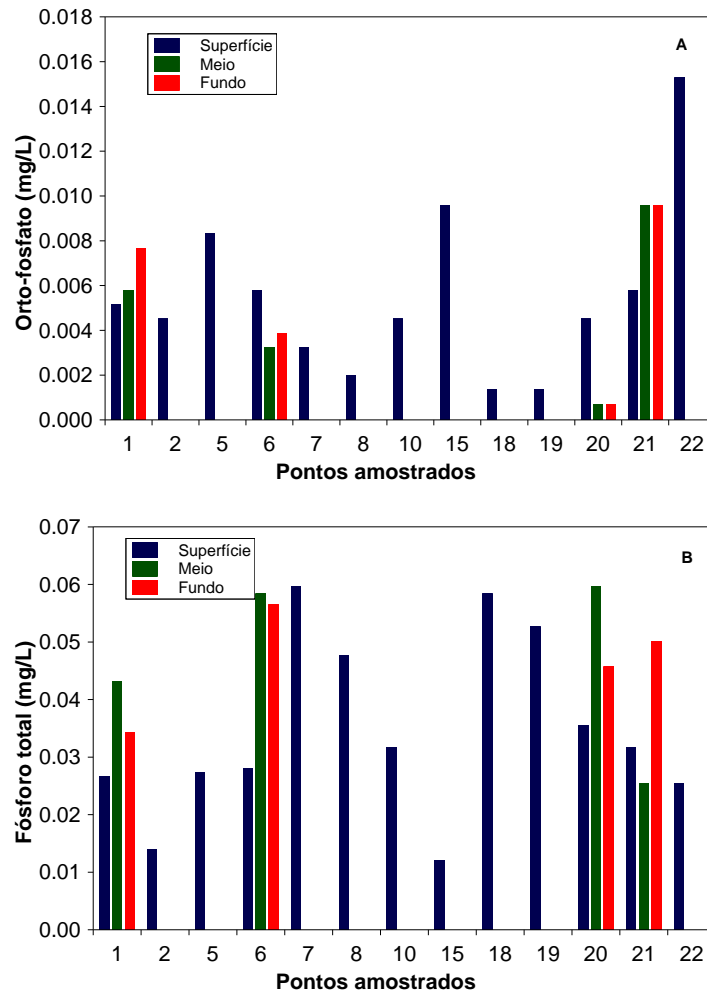


Figura 16. Concentração de orto-fosfato (A) e fósforo total (B).

Juntamente com o fosfato, o nitrogênio é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, pode atuar como fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos. Dentre as diferentes formas, o nitrato, juntamente com

o íon amônio, assumem grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtos primários. O nitrito é encontrado em baixas concentrações notadamente em ambientes oxigenados.

Em média, as concentrações de nitrato foram iguais a 0,084 mg/L na superfície; 0,05 mg/L no meio e 0,05 mg/L no fundo (Figura 17). Na superfície da coluna da água, a maior concentração (0,4 mg/L) foi mensurada no rio Bonito (ponto 22), assim como observado em março de 2007. Todos os locais amostrados apresentaram concentrações de nitrato inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA para águas de classe 2 (10 mg/L).

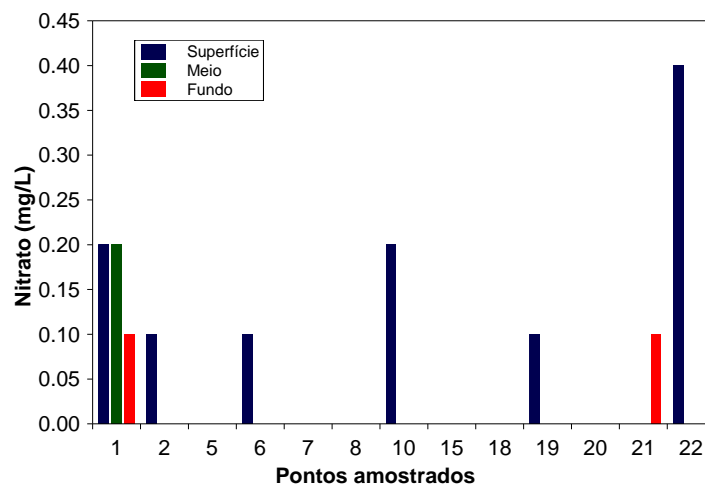


Figura 17. Concentração de nitrato.

Todos os locais e profundidades amostradas também apresentaram concentrações de nitrito inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA (1,0 mg/l). Tais valores foram, em média, iguais a 0,0035 mg/l na superfície; 0,003 mg/l no meio e 0,0032 mg/l no fundo dos locais amostrados (Figura 18). A maior concentração (0,01 mg/l) foi mensurada no ponto 22 (rio Bonito). Além disso, não houve diferença significativa nas concentrações mensuradas nas diferentes profundidades.

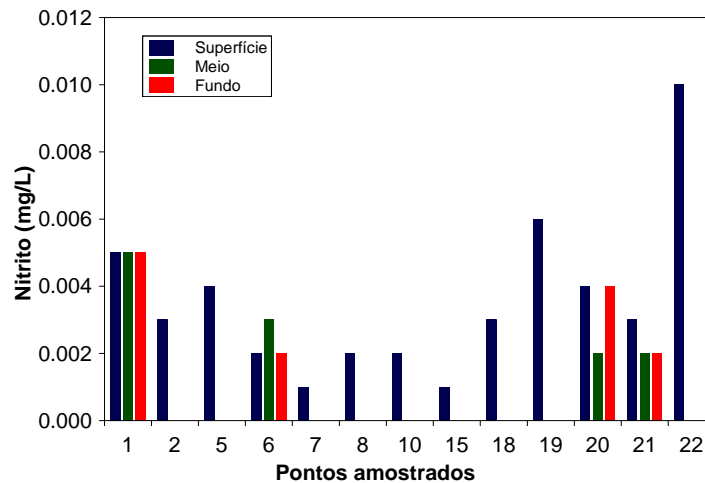


Figura 18. Concentração de nitrito.

As concentrações de nitrogênio amoniacal foram, em média, iguais a 0,096 mg/L na superfície; 0,47 mg/L no meio e 0,16 mg/L no fundo (Figura 19). Altas concentrações de nitrogênio amoniacal nas maiores profundidades são esperadas, tendo em vista as baixas condições de oxidação do nitrogênio em ambientes hipóxicos. A maior concentração deste nutriente (1,68 mg/L) foi mensurada no meio do ponto 1, que também apresentou baixas concentrações de oxigênio dissolvido e altas concentrações de ferro e fósforo.

De acordo com os valores de pH nas águas monitoradas, pode-se afirmar que as concentrações de nitrogênio amoniacal foram inferiores ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA (3,7 mg/l para $\text{pH} \leq 7,5$; 2,0 mg/l para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; e 1,0 mg/L para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$). A alta concentração mensurada no meio do ponto 1 está de acordo com a Resolução CONAMA, tendo em vista os baixos valores de pH nesse ambiente. De maneira geral, ao longo de todo o período de monitoramento limnológico, as concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal jamais ultrapassaram o limite preconizado pela referida resolução.

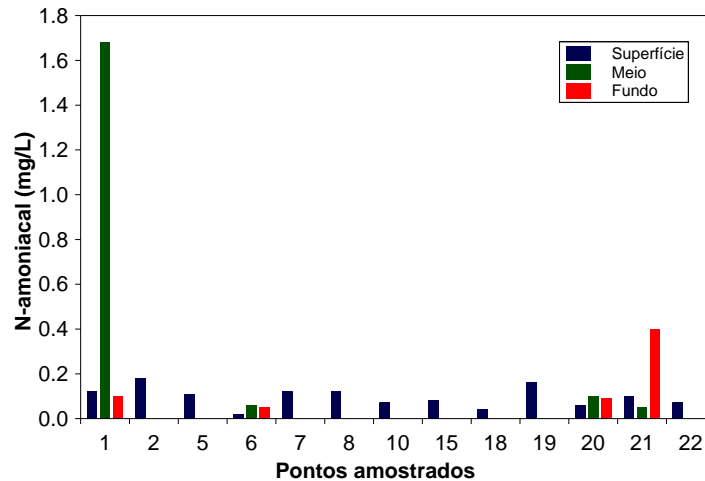


Figura 19. Concentração de nitrogênio amoniaco.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) avalia a quantidade de oxigênio dissolvido que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica biodegradável. Em maio de 2007, os valores de DBO_5 variaram entre 0,1 mg/L (pontos 5-rio São Félix, 8-córrego Varjão e 21-próximo à barragem) e 2,6 mg/L (ponto 7 – foz do rio Bonito) (média = 0,63 mg/L) (Figura 20). Todos os valores foram inferiores ao limite preconizado pela Resolução nº 357 de março de 2005 (5,0 mg/L).

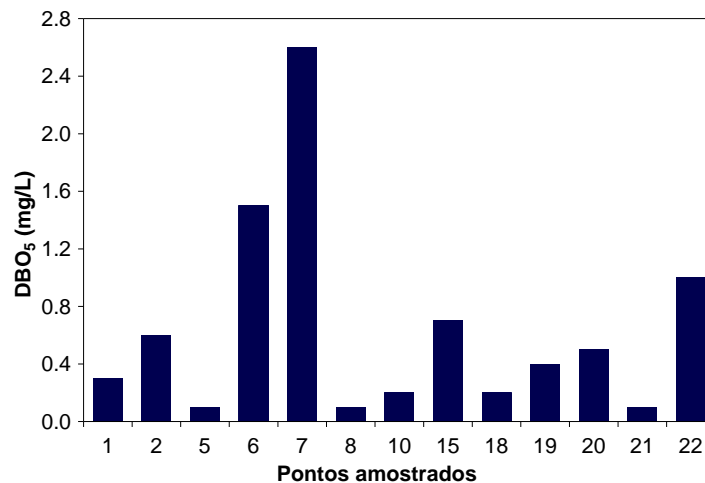


Figura 20. Valores de DBO_5 .

3.1.1. Perfil vertical do ponto 21 (próximo à barragem)

O perfil vertical do ponto 21 tem como objetivo verificar a existência de estratificação térmica. Foi obtida a temperatura da água, concentração de oxigênio dissolvido e saturação de oxigênio (quantidade máxima de oxigênio

que pode ser dissolvida na água em determinada pressão e temperatura) (Figura 21). De maneira geral, ao longo dos meses monitorados, observou-se a existência de estratificação térmica durante o verão, resultando em um hipolímnio anóxico (baixas concentrações de oxigênio).

Em maio de 2007, a camada superficial e de fundo apresentaram diferenças de temperatura de aproximadamente $1,7^{\circ}\text{C}$, ou seja, inferior ao freqüentemente obtido nos meses de dezembro (aproximadamente $4,5^{\circ}\text{C}$).

A concentração de oxigênio dissolvido apresentou uma diferença de $1,23\text{ mg/l}$ (ou $13,9\%$ de saturação), entre a maior e menor concentração. Tal diferença foi menor que aquela obtida em março de 2007. Além disso, não foi observada concentração abaixo de 5 mg/L nas maiores profundidades do ponto 21, ao contrário do obtido em março de 2007, onde condições hipóxicas foram encontradas a partir de 10 metros de profundidade.

Assim como destacado em relatórios anteriores, pode-se concluir que o reservatório de Cana Brava apresente um padrão de circulação da coluna de água durante o inverno (período de estiagem), o que é característico de ecossistemas monomíticos quentes (circulação da coluna de água durante o inverno e estratificação durante os demais meses do ano). Durante o período de estratificação térmica, o oxigênio produzido no epilímnio (correspondendo à zona eufótica) não atinge o hipolímnio (Esteves, 1998). Tais condições podem ser desfavoráveis para os organismos aquáticos, tendo em vista a formação de gás sulfídrico, e a possibilidade de morte de peixes na região. A situação pode também se tornar crítica à jusante, caso a água proveniente das turbinas corresponda em grande parte àquela que se encontrava acumulada no hipolímnio e não seja diluída pela água do vertedouro (Esteves, 1998).

Em maio de 2007, observou-se o início do período de desestratificação térmica no reservatório da UHE Cana Brava, tendo em vista as menores diferenças nos valores de temperatura entre as profundidades amostradas, ao contrário do observado em março (verão). Além disso, o ponto 21 apresentou concentração de oxigênio dissolvido bem distribuída ao longo de toda a coluna da água.

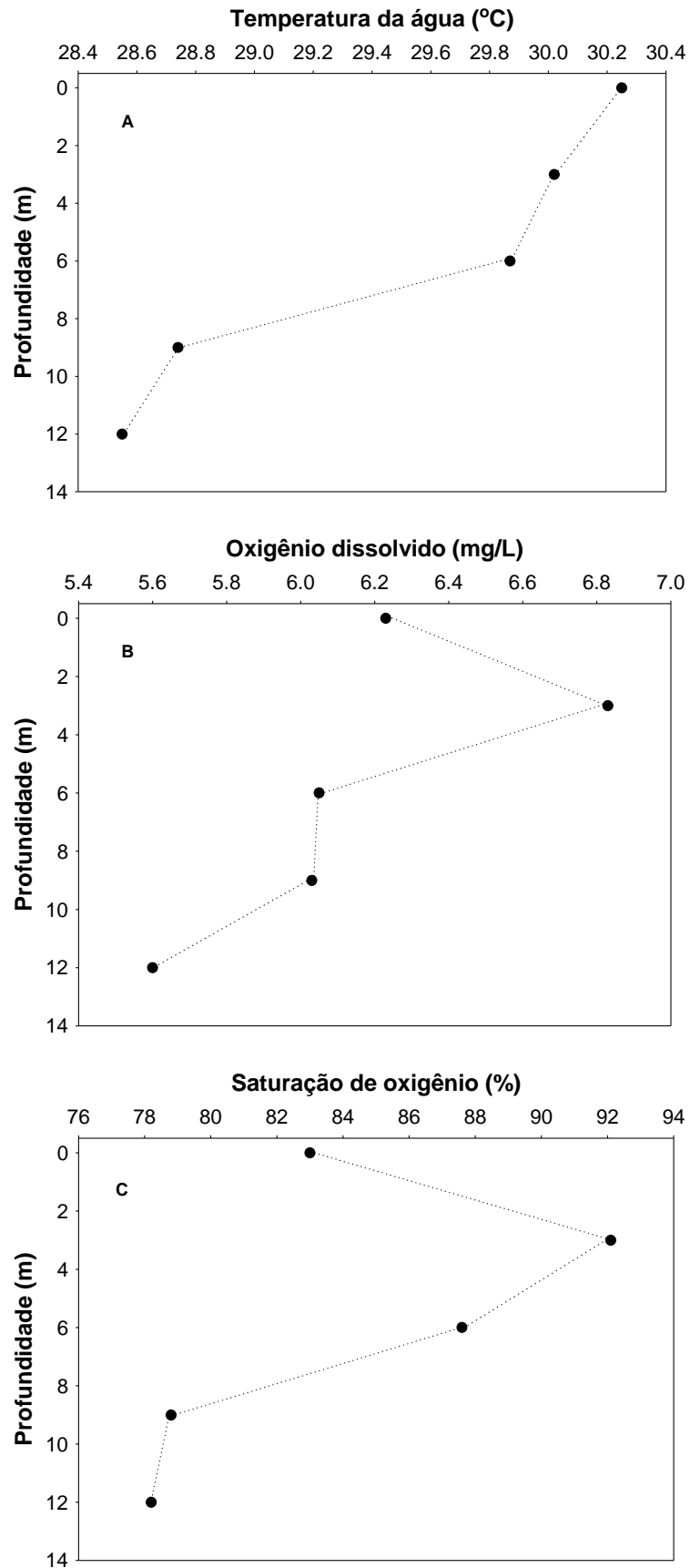


Figura 21. Gradiente vertical de temperatura (A), oxigênio dissolvido (B) e porcentagem de saturação de oxigênio (C), no ponto 21, em maio de 2007.

3.2. Parâmetros Bacteriológicos

Em maio de 2007, a densidade de coliformes totais no reservatório da UHE Cana Brava variou entre 4,0 NMP/100ml (pontos 20 e 21) e >1600 NMP/100ml (pontos 10 e 22) (Tabela 3). A densidade de coliformes fecais (termotolerantes) variou entre valores ausentes e 110 NMP/100ml (ponto 19 – parte externa da praia de Minaçu). Monitoramentos anteriores também demonstraram que as maiores densidades de bactérias do grupo coliformes têm sido detectadas nos pontos 10 (rio do Carmo) e 22 (rio Bonito). De acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005, no mês de maio, todos os locais monitorados apresentaram densidade de coliformes fecais (termotolerantes) abaixo do limite permitido (1000 NMP/100ml).

Tabela 3. Abundância de coliformes totais e fecais nos pontos amostrados no reservatório da UHE Cana Brava em maio de 2007.

Pontos	Coliformes totais (NMP/100ml)	Coliformes fecais (NMP/100ml)
1	6	Ausente
2	9	4
5	50	7
6	6	Ausente
7	7	Ausente
8	8	Ausente
10	>1600	34
15	11	2
18	17	2
19	110	110
20	4	Ausente
21	4	Ausente
22	>1600	34

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS

Considerando que as águas do sistema monitorado enquadram-se na Classe 2 da Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, 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 referida resolução:

- Considerando grande parte das variáveis analisadas, os locais amostrados apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA.

- As concentrações de oxigênio dissolvido foram inferiores a 5,0 mg/l na superfície dos pontos 1 (Tocantins / córrego Florêncio) e 15 (jusante da barragem); meio do ponto 1; e fundo dos pontos 1, 6 (foz do rio São Félix) e 20 (meio do reservatório);

- pH menor que 6,0 no meio do ponto 1;

- As concentrações de sulfeto foram superiores a 0,002 mg/l na superfície dos pontos 1, 8 (córrego Varjão), 10 (rio do Carmo), 19 (parte externa da praia de Minaçu), 21 (próximo à barragem) e 22 (rio Bonito); meio do ponto 20; e fundo dos pontos 20 e 21;

- As concentrações de fósforo total foram superiores a 0,050 mg/L na superfície dos pontos 7 (foz do rio Bonito), 18 (parte interna da praia de Minaçu) e 19; meio dos pontos 6 e 20; e fundo do ponto 6.

De maneira geral, os pontos monitorados em maio de 2007 foram similares entre si. Os maiores valores de condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, orto-fosfato, nitrato e nitrito foram mensurados no rio Bonito (ponto 22). Tal local também apresentou alta densidade de coliformes totais. Além disso, destaca-se o ponto 1 (rio Tocantins/foz do córrego Florêncio) como apresentando as menores concentrações de oxigênio dissolvido (mesmo na superfície da coluna da água), maiores concentrações de ferro e nitrogênio amoniacal. De fato, as altas concentrações de ferro, fósforo total e nitrogênio amoniacal refletem as baixas concentrações de oxigênio dissolvido, tendo em

vista que em condições anóxicas ou hipóxicas, o íon ferro encontra-se na forma reduzida (Fe^{2+}), o que o torna solúvel no ambiente aquático, juntamente com o fósforo. A influência dessas condições anóxicas sob os organismos aquáticos, em especial os peixes, merece especial atenção no monitoramento limnológico da UHE Cana Brava, tendo em vista a morte de peixes na região no ano de 2004. Desta maneira, as baixas concentrações de oxigênio mensuradas em toda a coluna da água do ponto 1, inclusive superfície, merecem especial atenção, assim como enfatizado em relatórios anteriores.

Por outro lado, o perfil vertical do ponto 21 demonstrou altas concentrações de oxigênio ao longo de toda a coluna da água, o que provavelmente reflete o período de desestratificação térmica no reservatório. Além disso, assim como destacado em relatórios anteriores, as maiores transgressões da resolução CONAMA são observadas nos tributários ou nas maiores profundidades do lago. Sugere-se que sejam realizados perfis verticais da coluna da água em mais pontos ao longo do corpo central do reservatório, com o objetivo de fazer a caracterização da coluna da água do lago de maneira mais robusta.

5. BIBLIOGRAFIA

American Public Health Association (APHA) (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th edn. American Public Health Association Publications, Washington DC.

Baumgarten, M. G. Z., Pozza, S. A. 2001. Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental. Rio Grande: Editora FURG, 166p.

Esteves, F.A. (1998) *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência.

Kalff, J. (2002). *Limnology*. Prentice & Hall, New Jersey.

Wetzel, R. G., Linkens, G.E. (2001) *Limnological analyses*. New York: Springer-Verlag.

ANEXO I

RESULTADOS DA CAMPANHA DE MAIO DE 2007

Resultados referentes à campanha de maio de 2007, na UHE Cana Brava.

Variáveis / Pontos	Prof	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Temperatura ambiente (°C)		29	29	29	29	29	31	31	31	31	31	31	31	31
	S	26,3	25,98	25,02	29,57	30,09	30,46	23,59	27,37	30,21	31,7	29,79	30,25	25,47
Temperatura da água (°C)	M	26			28,74							29,2	29,87	
	F	26,45			27,4							27	30,06	
Transparência da água (m)		2,3	total	total	4,4	5,6	2,8	total	-	2,9	1,2	6,5	5,6	total
	S	7,6	2,5	1,6	1,5	1,3	1,9	2	3,8	2,6	6,6	1,3	4,3	4,9
Turbidez (NTU)	M	32,9			2,6							2	1,5	
	F	14,6			3,1							5	2,4	
	S	6,9	7,17	7,15	7,56	7,96	8,1	7,91	7,11	8,16	8,5	7,9	7,89	8,22
pH	M	5,1			7,4							7,76	7,9	
	F	6,95			6,61							6,83	7,87	
	S	79	52	47	60	84	95	99	86	99	124	88	91	165
Condutividade elétrica (µS/cm)	M	79			67							95	92	
	F	78			59							96	91	
	S	3,1	7,42	7,83	6,9	6,39	7,4	8,09	2,13	8,32	7,4	6,47	6,23	6,73
Oxigênio dissolvido (mg/l)	M	1,55			5,55							7,66	6,05	
	F	1,9			1,23							1	5,6	
	S	45,6	89,4	74,7	90,4	85,5	89,4	95,5	27,3	84,7	102,1	84,9	83	79,8
Saturação de oxigênio (%)	M	24,5			60,05							76,3	87,6	
	F	23,5			12,7							0,93	78,2	
	S	50	29	31	38	50	48	66	53	58	72	52	54	106
STD (mg/l)	M	50			41							50	56	
	F	49			37							50	54	
	S	37	24	25	34	40	41	55	33	43	50	40	40	52
Alcalinidade (mg/l)	M	36			35							43	42	
	F	36			27							41	43	
	S	3,8	4,0	5,2	3,1	3,0	6,0	5,9	2,7	6,6	4,2	3,6	3,9	7,8
Acidez (mg/l)	S	60	40	38	42	48	76	70	40	54	62	50	52	140
Dureza total (mg/l)	M	55			46							52	68	
	F	52			48							54	42	

Cloreto (mg/l)	S	1,2	1,6	1,6	2	1,6	1,6	1,2	0,8	1,2	1,6	1,2	1,2	1,2
	M	1,2			1,2							1,6	1,2	
	F	1,6			1,6							1,6	1,2	
Ferro (mg/l)	S	0,4	0,15	0,26	0,17	0,04	0,05	0,76	0,27	0,42	0,15	0,04	0,04	0,32
	M	2,9			0,15							0,07	0,04	
	F	1,94			0,1							0,25	0,03	
Sulfato (mg/l)	S	2	ALD	ALD	1	ALD	ALD	1	1	ALD	ALD	ALD	ALD	1
	M	2			ALD							ALD	ALD	
	F	2			ALD							1	ALD	
Sulfeto (mg/l)	S	0,003	0,001	ALD	ALD	0,002	0,004	0,004	ALD	0,001	0,006	0,002	0,005	0,004
	M	0,002			ALD							0,003	0,002	
	F	0,002			ALD							0,005	0,003	
Orto-fosfato (mg/l)	S	0,0051	0,0045	0,0083	0,0058	0,0032	0,0020	0,0045	0,0096	0,0013	0,0013	0,0045	0,0058	0,0153
	M	0,0058			0,0032							0,0007	0,0096	
	F	0,0077			0,0039							0,0007	0,0096	
Fósforo total (mg/l)	S	0,0267	0,0140	0,0273	0,0279	0,0596	0,0476	0,0318	0,0121	0,0584	0,0527	0,0356	0,0318	0,0254
	M	0,0432			0,0584							0,0596	0,0254	
	F	0,0343			0,0565							0,0457	0,0501	
Nitrato (mg/l)	S	0,2	0,1	ALD	0,1	ALD	ALD	0,2	ALD	ALD	0,1	ALD	ALD	0,4
	M	0,2			ALD							ALD	ALD	
	F	0,1			ALD							ALD	0,1	
Nitrito (mg/l)	S	0,005	0,003	0,004	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,006	0,004	0,003	0,01
	M	0,005			0,003							0,002	0,002	
	F	0,005			0,002							0,004	0,002	
N-amoniaco (mg/l)	S	0,12	0,18	0,11	0,02	0,12	0,12	0,07	0,08	0,04	0,16	0,06	0,1	0,07
	M	1,68			0,06							0,1	0,05	
	F	0,1			0,05							0,09	0,4	
DBO ₅ (mg/l)	S	0,3	0,6	0,1	1,5	2,6	0,1	0,2	0,7	0,2	0,4	0,5	0,1	1,0
Coliformes totais (NMP/100ml)	S	6	9	50	6	7	8	> 1600	11	17	110	4	4	> 1600
Coliformes fecais (NMP/100ml)	S	Ausente	4	7	Ausente	Ausente	Ausente	34	2	2	110	Ausente	Ausente	34

ALD=abaixo do limite de detecção do método.