

PROGRAMA DE MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO – UHE CANA BRAVA



Tractebel Energia
GDF SVEZ

**Relatório Técnico Referente à
Campanha de Monitoramento
– Março de 2014**

EQUIPE TÉCNICA

Coordenadora do projeto

Bióloga M.Sc. Juliana Machado do Couto Curti - CRBio nº 30921/D

Trabalhos de campo e laboratório

Bióloga M.Sc. Kátia Bittar Haddad
Biólogo M.Sc. Leonardo de Assis Ítalo
Biólogo M.Sc. Carlos Eduardo Aguiar Soares
Biólogo Wagner Batista Xavier
Biólogo Paulício Maconi Filho
Biólogo Rafael Martins Figueiredo
Bióloga Lívia Ferreira e Silva
Téc. Aline Caetano Luz

Sumário

1. Introdução	1
2. Resumo Executivo	1
3. Área do monitoramento	2
4. Coleta e análise dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos	3
5. Mensurar Índice de qualidade de água (IQA)	5
6. Resultados e Discussão	6
6.1. Variáveis Abióticas	6
8. Considerações Finais	38
10. Referências	39

1. Introdução

A transformação de um trecho de rio em reservatório desencadeia uma série de processos biogeoquímicos, que resultam em interferências nas características do ambiente aquático, destacando-se a instabilidade física e química, além da alteração das comunidades biológicas.

Tais modificações constituem um forte impacto sobre os corpos aquáticos e, dependendo dos usos da bacia de drenagem, essas alterações podem levar a um alto grau de degradação destes reservatórios (BRANCO & SENNA, 1994). Assim, os programas de monitoramento limnológico são primordiais para a identificação e avaliação dos impactos ambientais causados por empreendimentos hidrelétricos.

O objetivo desse relatório é apresentar os resultados do monitoramento de 13 pontos de amostragem coletados em março de 2014 na UHE Cana Brava.

Objetivos do relatório Técnico

O conteúdo deste Relatório Técnico inclui:

- (i) descrever os métodos analíticos que foram utilizados para determinação das variáveis físicas, químicas e bacteriológicas;
- (ii) apresentar os resultados obtidos em março de 2014, 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 as coletas realizadas em março, junho, setembro e dezembro de 2013, e com os limites preconizados pela resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, para águas da Classe 2;
- (iv) observar tendências nos valores das variáveis limnológicas ao longo do perfil vertical da coluna d'água.

2. Resumo Executivo

Características limnológicas

Considerando que as águas do sistema monitorado são enquadradas na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, todo o trecho monitorado no reservatório da UHE Cana Brava, em março de 2014, apresentou resultados

compatíveis com os limites preconizados pela referida resolução. A seguinte não conformidade com a legislação foi observada:

❖ Concentração de oxigênio dissolvido nos ponto 1 e 15, inferior ao que é determinado pela Resolução CONAMA 357/2005.

De maneira geral, em março de 2014 o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com considerável transparência da água, baixos valores de compostos nitrogenados e fosfatados, baixa concentração de clorofila-a (análise feita somente no ponto 21) e DBO₅, além de baixos valores de densidade de coliformes termotolerantes.

Perfil vertical

No mês de março de 2014, a análise do perfil vertical (coleta na superfície, meio e fundo) em locais localizados no interior do reservatório demonstrou tendência de decréscimo de oxigênio dissolvido no meio e no fundo da coluna d'água.

3. Área do monitoramento

Foram coletadas amostras de água, destinadas à determinação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em 13 pontos de coleta ao longo do reservatório (**Tabela 1 e Figura 1**).

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

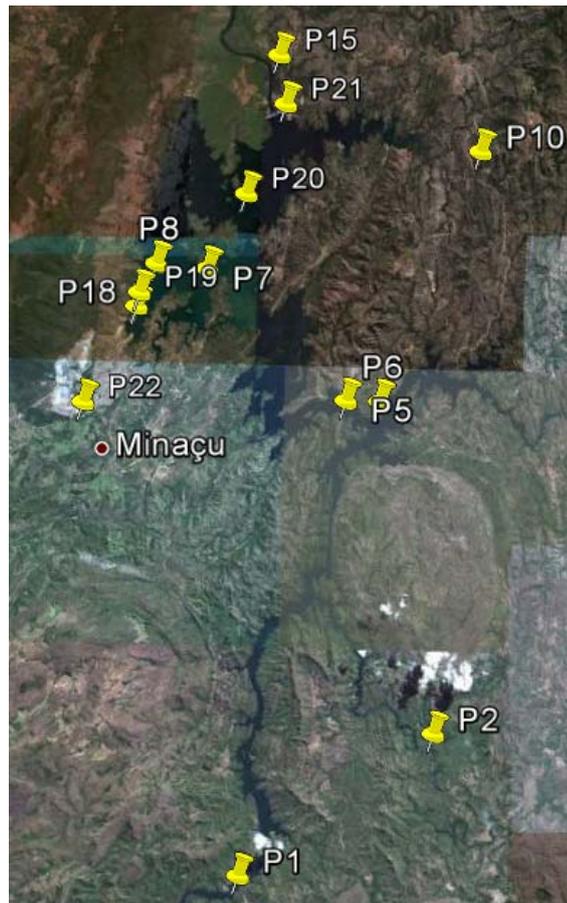


Figura 1. Pontos de coleta localizados na área de influência da UHE Cana Brava.

4. Coleta e análise dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos

A campanha de campo foi realizada entre os dias 19 e 20 de março de 2014 (**Figura 2**).

Em campo, foram obtidos os valores de temperatura do ar (termômetro), pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (STD), oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura da água (utilizando uma sonda YSI 556). A turbidez foi obtida através de um turbidímetro digital Hach. A transparência da coluna da água foi mensurada através do disco de Secchi.

Amostras de água foram coletadas abaixo da superfície (aproximadamente 20 cm) com frascos de polietileno e acondicionadas em caixas de isopor com gelo. Parte das amostras foi filtrada em membranas Whatman GF/C. As amostras de água filtrada e não filtrada foram preservadas para posterior determinação das formas dissolvidas e totais de nitrogênio e fósforo. As amostras destinadas à análise

laboratorial foram preservadas e encaminhadas para o laboratório de limnologia situado na “Life – Projetos Limnológicos”, em Goiânia para realização das análises.



Figura 2. Coleta realizada em março de 2014 na UHE Cana Brava.

As variáveis limnológicas foram determinadas utilizando os seguintes métodos e equipamentos:

- Alcalinidade: titulação com ácido sulfúrico;
- Cloreto: determinado através do método de cromato de potássio e espectrofotômetro (Método 4500-Cl⁻ B, Standard Methods, 2005);
- Coliformes totais, termotolerantes e *E. coli*: método dos tubos múltiplos;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅): consumo de oxigênio nas amostras durante uma incubação de 05 (cinco) dias, a uma temperatura constante de 20°C (Método 5210, Standard Methods, 2005);
- Ferro total: método da ortofenotrolina (Método 3500, Standard Methods, 2005);
- Fósforo total: determinado diretamente nas amostras não filtradas, sendo quantificado após a adição de reagente misto (molibdato de amônia, tartarato de antimônio e potássio e ácido ascórbico) e leitura em espectrofotômetro (882 nm);
- Orto-fosfato (fosfato solúvel reativo): determinado diretamente nas amostras filtradas, sendo quantificado após a adição de reagente misto (molibdato de amônia, tartarato de antimônio e potássio e ácido ascórbico) e leitura em espectrofotômetro (882 nm);
- Nitrato: método de redução do cádmion e leitura em espectrofotômetro a 400 nm (Método 4500-NO₃-E, Standard Methods, 2005);
- Nitrito: método colorimétrico onde o nitrito reage com o ácido sulfanílico, formando um composto que é determinado em espectrofotômetro a 507 nm (Método 4500-NO₂-B, Standard Methods, 2005);
- Nitrogênio amoniacal: método fenol, e posterior leitura em espectrofotômetro a 655 nm (Método 4500-NH₃ F, Standard Methods, 2005);
- Óleos e graxas: obtenção através de extração com um solvente (Hexano – 5520B, Standard Methods, 2005);
- Sulfato e Sulfeto: determinados através de espectrofotometria (Método 4500, Standard Methods, 2005).

5. Mensurar Índice de qualidade de água (IQA)

O IQA pode ser determinado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), coliformes fecais, temperatura, pH, nitrogênio total, fósforo total,

turbidez e resíduo total (www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp). A seguinte fórmula foi utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

onde:

IQA = Índice de qualidade da água. Um número entre 0 e 100; **q_i** = qualidade do parâmetro *i*. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise); **w_i** = peso correspondente ao parâmetro *i* fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

sendo *n* o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

A qualidade das águas interiores, indicada pelo IQA em uma escala de 0 a 100, pode ser classificada em categorias narrativas da seguinte forma:

IQA	QUALIDADE
80 – 100	Qualidade ótima
52 – 79	Qualidade boa
37 – 51	Qualidade aceitável
20 – 36	Qualidade ruim
0 – 19	Qualidade péssima

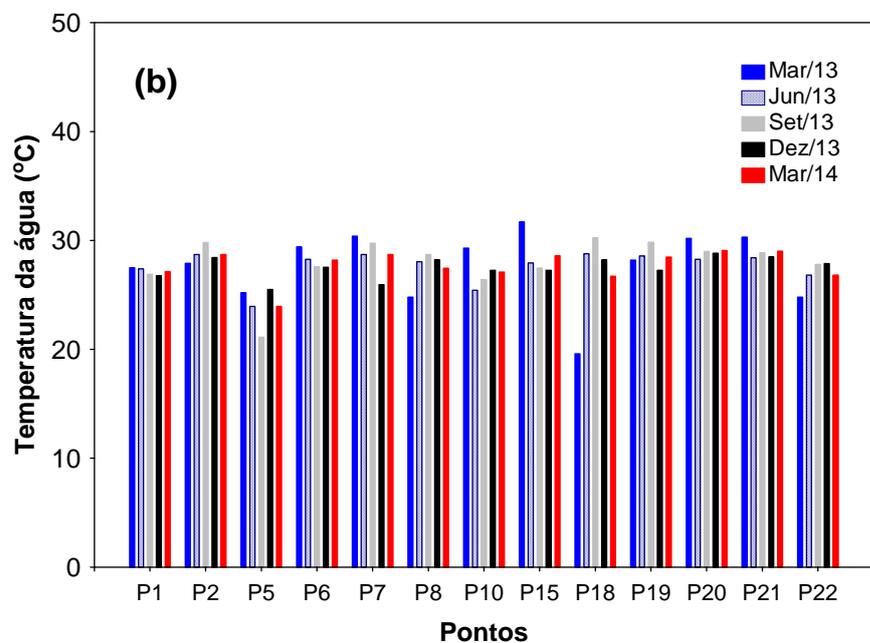
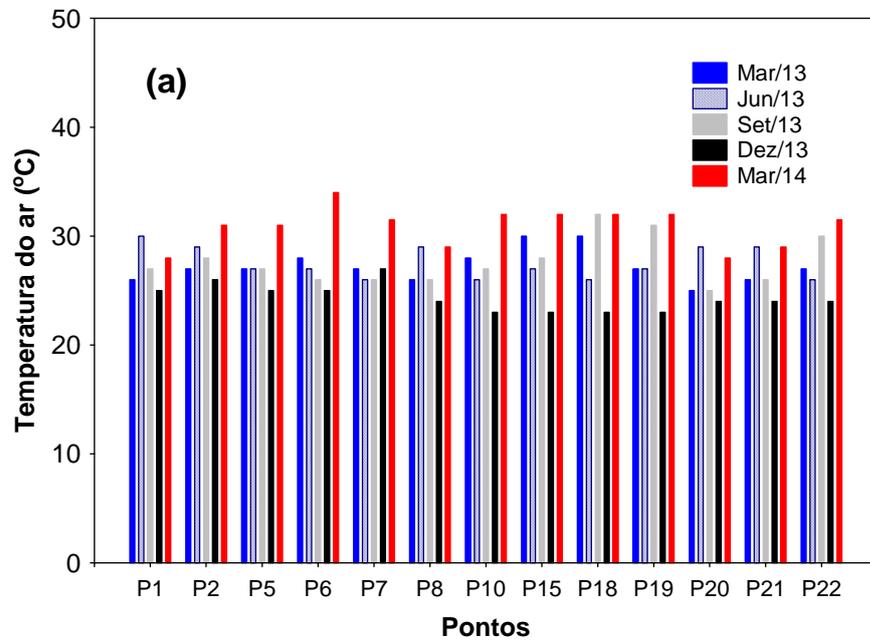
6. Resultados e Discussão

6.1. Variáveis Abióticas

Em março de 2014, os valores de temperatura do ar foram, em média, iguais a 30,8°C (**Figura 3a**). Os valores da temperatura da água variaram entre 23,94°C e 29,07°C (média igual a 27,68°C), sendo similar aos valores registrados nos meses anteriores de 2013 (**Figura 3b**).

Considerando o perfil térmico dos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava (pontos 1, 6, 20 e 21), foi possível verificar que a maior diferença nos valores de temperatura da água entre a superfície e o fundo foi obtida no ponto

21 (1,19°C) (localizado no meio do reservatório) (**Figura 3c**). Tal amplitude entre essas o epilímnio e hipolímno foi inferior àquela registrada em setembro de 2013 (1,97°C no ponto 21), o que demonstram a ausência de estabilidade térmica (estratificação térmica) em ambos os meses.



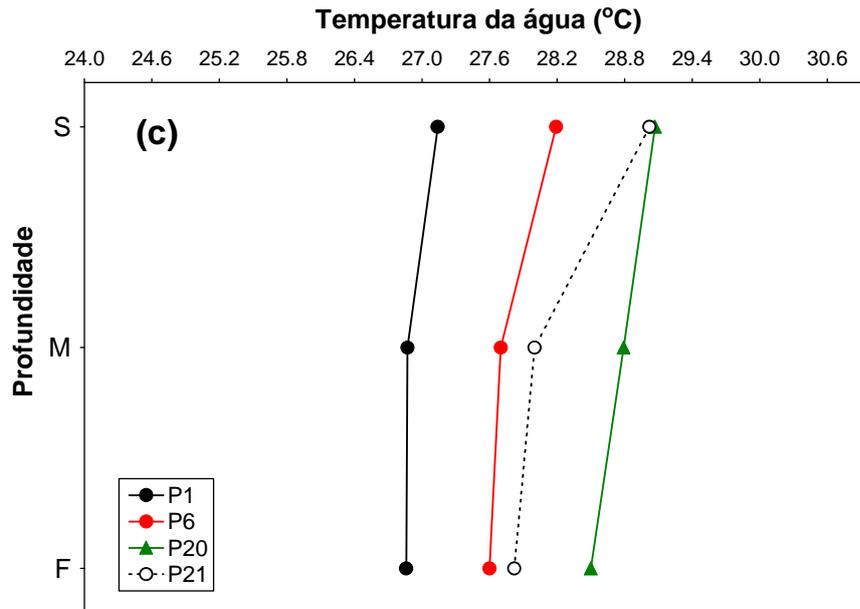


Figura 3. Valores de temperatura do ar (a) e água (b) mensurados entre março de 2013 e março de 2014 na UHE Cana Brava. E perfil vertical da temperatura da água (c) em quatro pontos localizados no interior do reservatório em março de 2014.

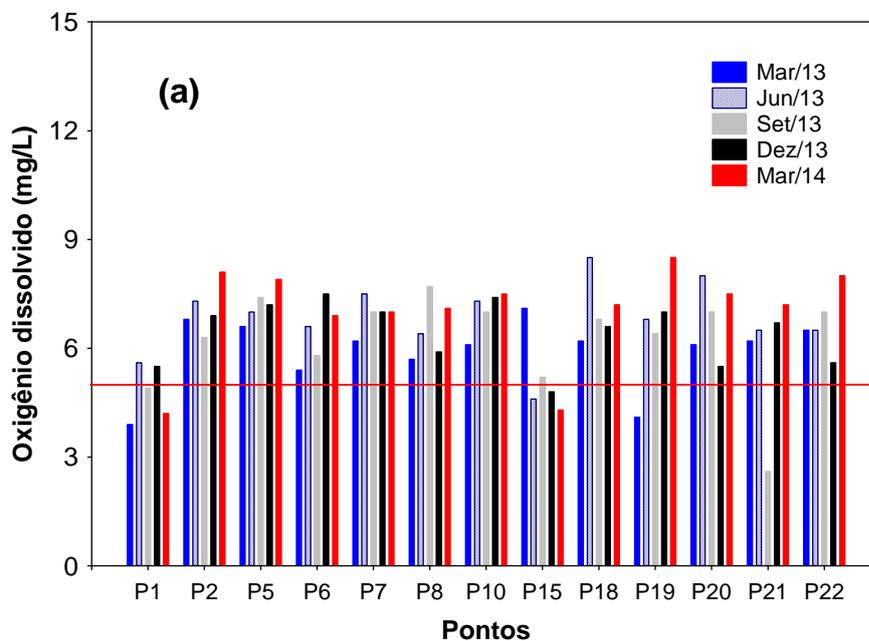
O oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos aeróbicos. Sua disponibilidade no ambiente aquático depende de trocas com a atmosfera e da produção pelos organismos fotossintéticos, como fontes, e das demandas bioquímica (oxidação de matéria orgânica) e química (oxidação de íons como o ferro e o manganês), perdas para atmosfera (favorecidas pelo aquecimento da coluna d'água) e respiração de organismos aquáticos, como fenômeno de redução (Esteves, 1998).

Em março de 2014, as concentrações deste gás na superfície da coluna da água variaram entre 4,2 mg/L (ponto 1 – foz do córrego Florêncio) e 8,5 mg/L (ponto 19 - Praia de Minaçu, parte externa) (Figura 4a). Nesse mês, os pontos 1 (4,2 mg/L) e 15 (4,3 mg/L) (rio Florêncio e rio Cana Brava, respectivamente) apresentaram concentrações de oxigênio inferiores ao limite mínimo determinado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas da classe 2 (5,0 mg/L). A porcentagem de saturação de oxigênio na superfície foi consideravelmente (sempre >45% de O₂) elevada na maior parte dos pontos de coleta (Figura 4b).

Em média, as menores concentrações desse gás foram registradas nas maiores profundidades de coleta (média igual a 5,86 mg/L na superfície; 4,73 mg/L no meio e 4,12 mg/L no fundo dos pontos de coleta) (Figura 4c). A análise do perfil vertical dos pontos 1, 6, 20 e 21 demonstrou um decréscimo nas concentrações de

oxigênio ao longo das maiores profundidades de coleta, principalmente nos pontos 6, 20, 21 (**Figura 4c**). Concentrações de oxigênio abaixo de 5,0 mg/L foram registradas no meio da coluna da água e no fundo de todos os locais analisados (pontos 1, 6, 21) (**Figura 4c**).

Baixas concentrações de oxigênio são esperadas em locais com elevada profundidade, tendo em vista as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica nesses ambientes e, conseqüentemente, maior consumo desse gás pelos microorganismos decompositores. Esse padrão esperado para os pontos 20 e 21 (e.g. locais com maior profundidade), não foi observado em março de 2014 no ponto 20.



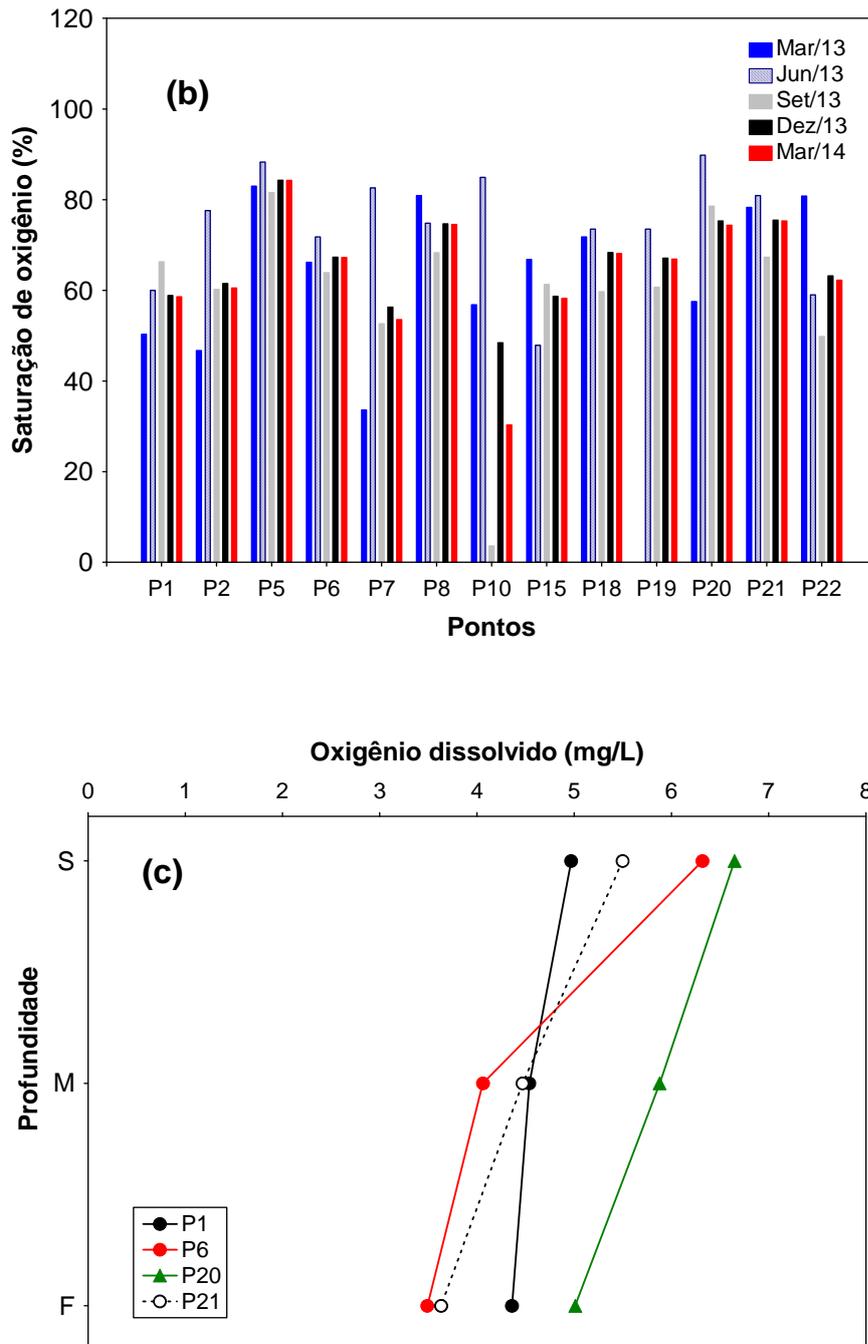


Figura 4. Concentrações de oxigênio dissolvido **(a)** e porcentagem de saturação de oxigênio **(b)** mensurados entre março de 2013 e março de 2014 na UHE Cana Brava. E perfil vertical da concentração de oxigênio dissolvido em março de 2014 **(c)**, em quatro pontos localizados no interior do reservatório em março de 2014. A linha vermelha indica o limite mínimo determinado pela Resolução CONAMA 357/2005.

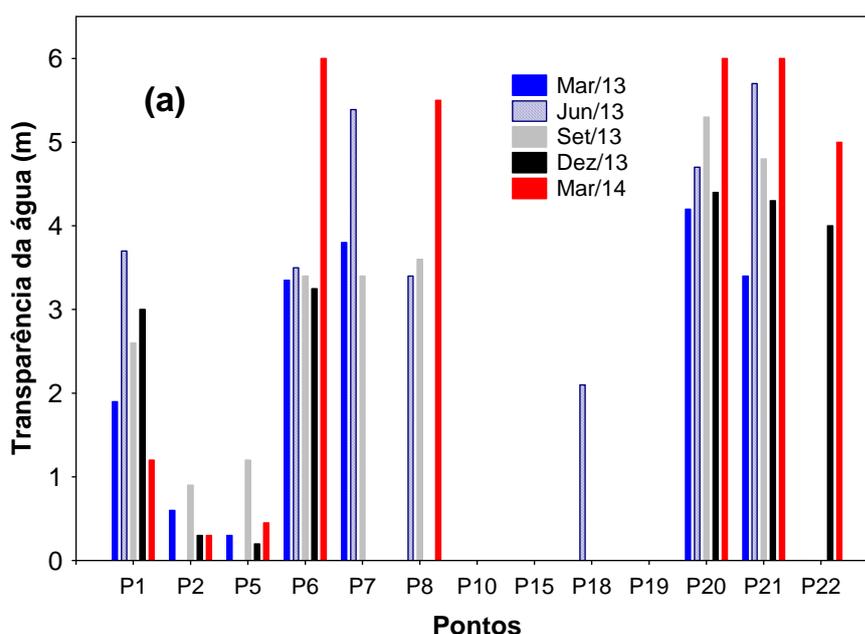
Variáveis indicadoras de luminosidade subaquática

Em março de 2014, alguns pontos monitorados na área de influência do reservatório da UHE Cana Brava apresentaram águas com elevada transparência.

Nesse mês, a maior profundidade do disco de Secchi (maior transparência da água; 6,0 metros) foi registrada nos pontos 6, 20 e 21, locais sob influência de baixa velocidade de corrente, e a média para o período foi de 3,8 m (**Figura 6a**). Temporalmente, em média, os menores valores de transparência da água foram registrados em março de 2013 e dezembro de 2013 (média igual a 1,95 m e 2,77 metros, respectivamente).

De maneira similar aos demais meses, em março de 2014 foram registrados no trecho estudado baixos valores de turbidez, variando entre 0,59 NTU (ponto 20, meio do reservatório) e 32,2 NTU (ponto 2, rio Preto), se que a média para o mês foi de 5,01 NTU (**Figura 6b**). Tais valores foram inferiores aqueles registrados nos meses de março e dezembro, monitorados em 2013 (média igual a 55,37 NTU em março de 2013; 0,29 NTU em junho; 4,4 NTU em setembro; 18,44 NTU em dezembro e 5,01 NTU em março de 2014). No entanto, ressalta-se a elevada transparência da água na maior parte dos pontos de coleta ao longo de todo o período de monitoramento. No mês de referência (março de 2014), todos os locais apresentaram valores significativamente inferiores ao limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (100 NTU).

Considerando a análise do perfil vertical, não houve diferença significativa entre as profundidades de coleta (**Figura 7**), ou seja, baixos valores de turbidez foram registrados ao longo da coluna d'água dos pontos que monitorados.



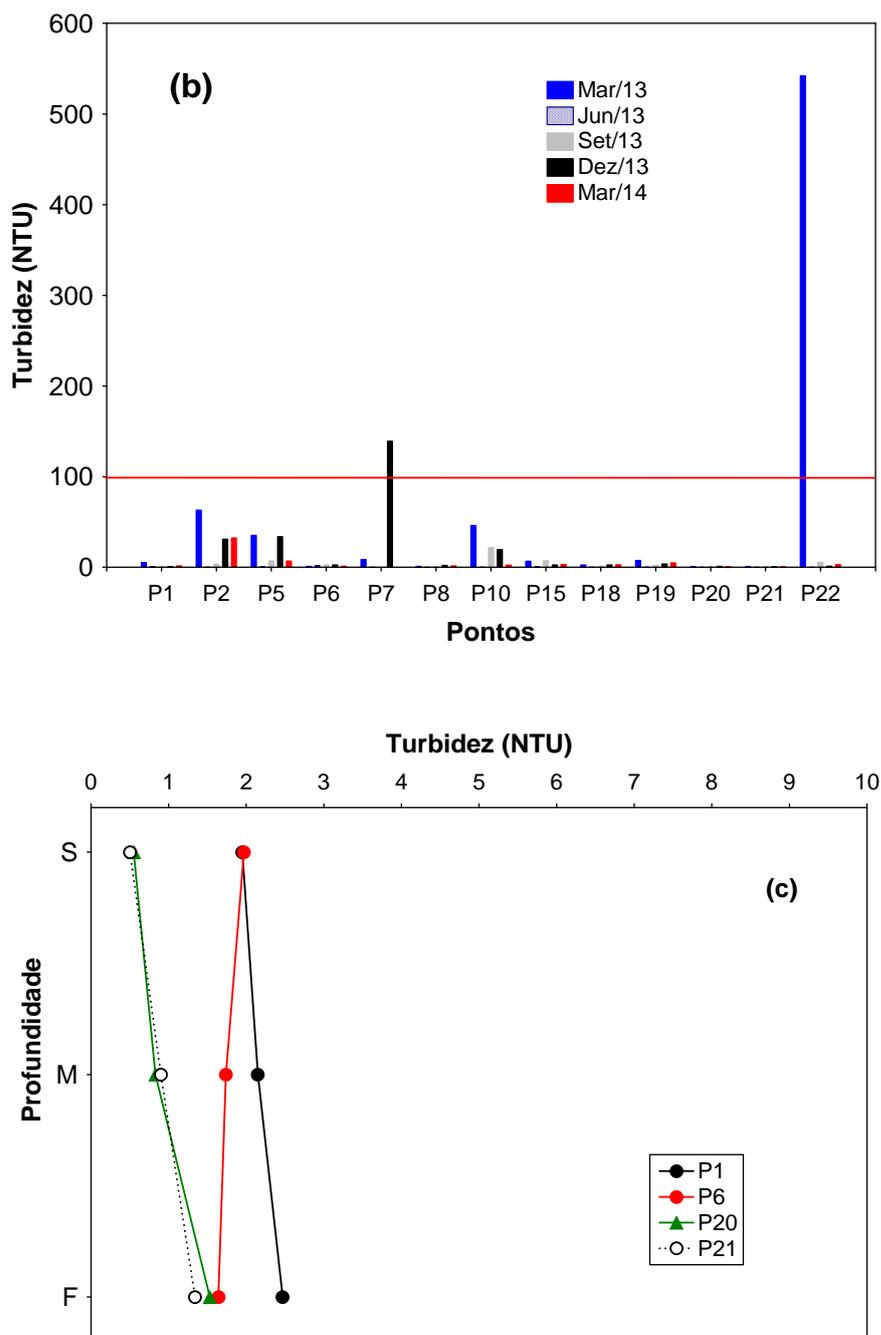


Figura 6. Valores de transparência da água **(a)** e turbidez **(b)** mensurados entre março de 2013 e março de 2014 na UHE Cana Brava. E perfil vertical dos valores de turbidez em março de 2014 **(c)**, em quatro pontos do corpo central do reservatório. A Linha vermelha indica o limite máximo indicado pela Resolução CONAMA 357/2005.

pH, condutividade elétrica, STD, alcalinidade e carbono inorgânico

Os valores do pH registrados em março de 2014 variaram entre 7,2 e 7,8 (pontos 1 e 5, 8 10, 19 e 20, respectivamente) estando assim, dentro dos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (6,0-9,0) **(Figura 8a)**. Os valores

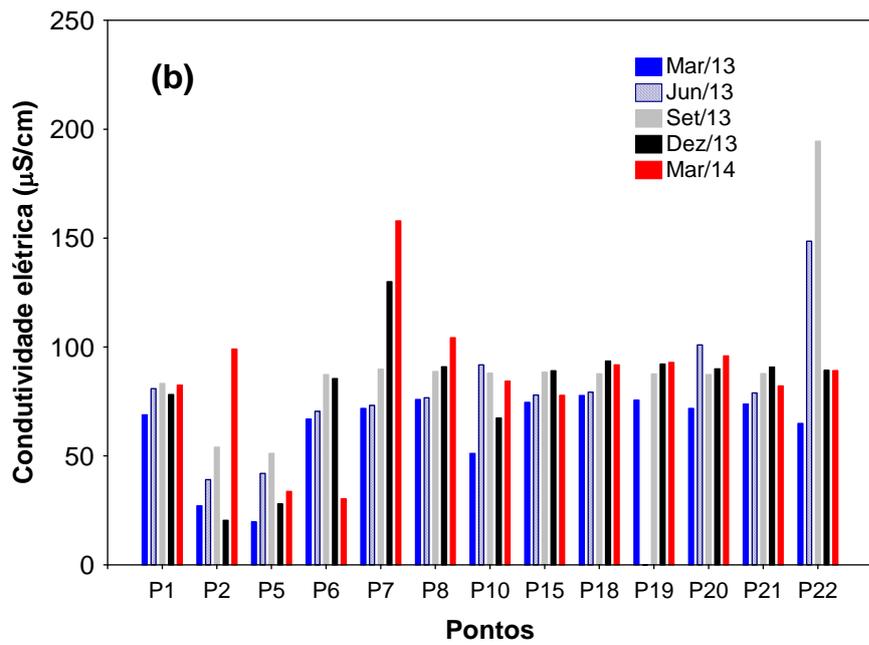
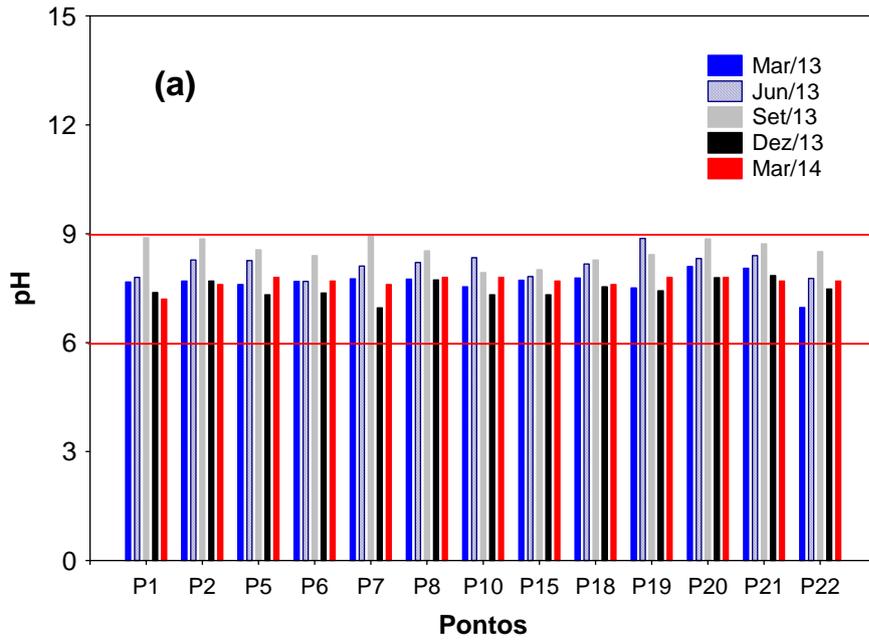
de pH mensurados no trecho monitorado estão em consonância com a referida resolução. Inclusive, em profundidades maiores, como verificado nos locais em que foram feitos amostragens de perfis verticais (superfície, meio e fundo) (**Figura 9a**).

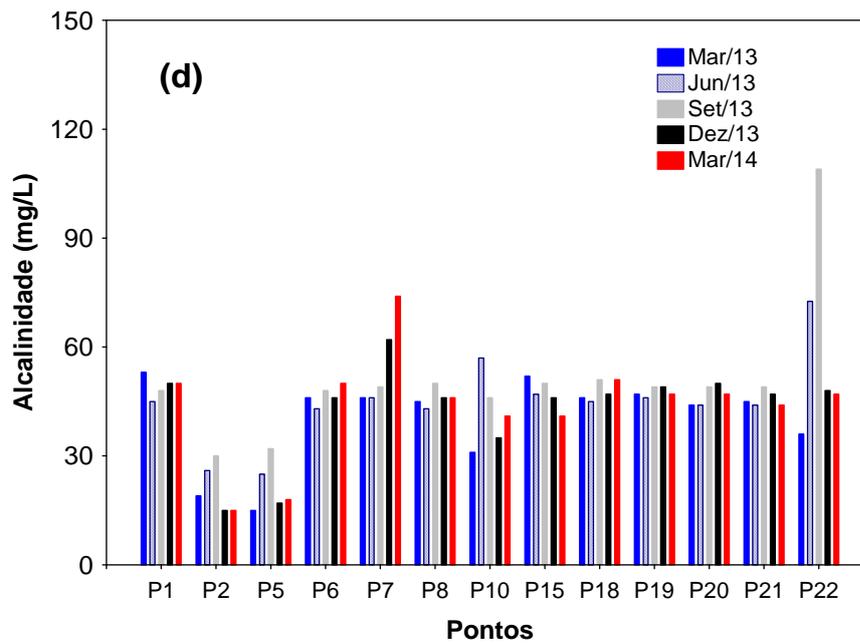
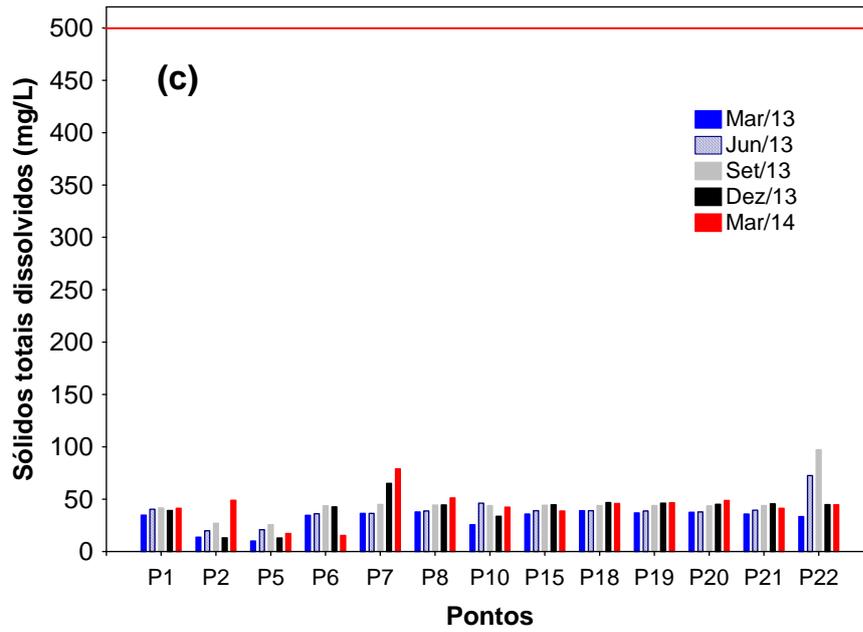
Em março de 2014, os valores de condutividade elétrica variaram entre 30,3 $\mu\text{S/cm}$ (ponto 6) e 157,9 $\mu\text{S/cm}$ (ponto 7), sendo que a média para o mês foi de 86,29 $\mu\text{S/cm}$. Em comparação com os meses anteriores não houve grande desvio do padrão já registrado nas amostragens 2013 (**Figura 8b**). Entre os valores de condutividade elétrica nas profundidades analisadas ao longo do perfil vertical em março de 2014, a média para superfície foi de 85,2 $\mu\text{S/cm}$ na superfície; 86,72 $\mu\text{S/cm}$ no meio e 82,75 $\mu\text{S/cm}$ no fundo da coluna da água (**Figura 9b**). Resultados similares foram obtidos considerando as concentrações de sólidos totais dissolvidos (STD), que variou entre 15,4 mg/L e 78,9 mg/L (pontos 6 e 7, respectivamente), sendo inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (500 mg/L) (**Figura 8c** e **Figura 9c**).

A alcalinidade representa a capacidade de neutralização de ácidos apresentada por um ambiente aquático, e está associada à disponibilidade de carbonatos no meio (Esteves, 1998). No mês de março de 2014, tais valores variaram entre 15 mg/L e 74 mg/L (pontos 2 e 7, respectivamente), valores similares foram observados nas campanhas realizadas em 2013 (**Figura 8d**). Nos locais que foram feitos perfis verticais, a maior diferença entre a superfície e fundo foi observada no ponto 20 (diferença de 9 mg/L) (**Figura 9d**).

Para concentração de CO_2 total (medida indireta da concentração de carbono inorgânico total) a menor concentração foi observada no ponto 2 (13,95 mg/L) e a maior no ponto 7 (68,84 mg/L) (**Figura 8e**). Tais resultados demonstram que não houve desvios perceptíveis em comparação aos resultados obtidos em 2013, ou seja, as concentrações de íons, principalmente carbono inorgânico, se mantiveram em menor quantidade nos pontos 2 e 5, e nos demais pontos mais elevados (**Figura 8e**).

Já as concentrações de CO_2 livre variaram entre 0,57 mg/L e 6,31 mg/L (pontos 5 e 1, respectivamente) (**Figura 8f**), com concentração média para o mês igual a 2,07 mg/L. Além disso, a análise do perfil vertical demonstrou um aumento nas concentrações de CO_2 livre ao longo das maiores profundidades, somente nos pontos 6 e 20 (**Figura 9f**).





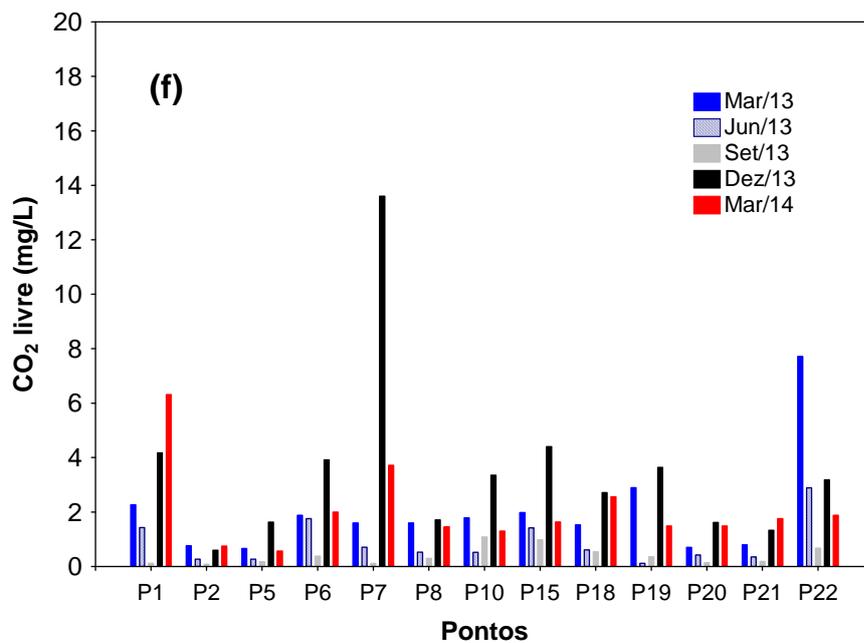
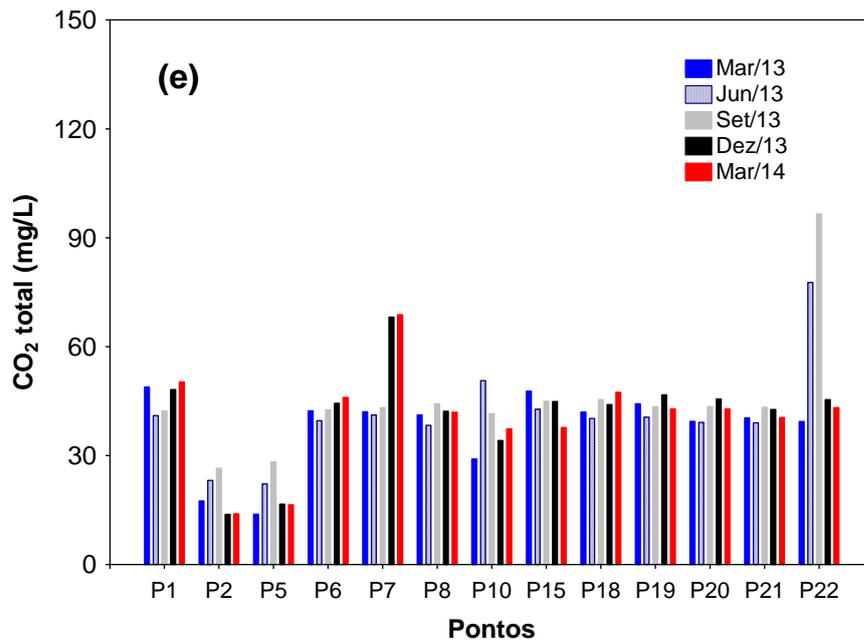
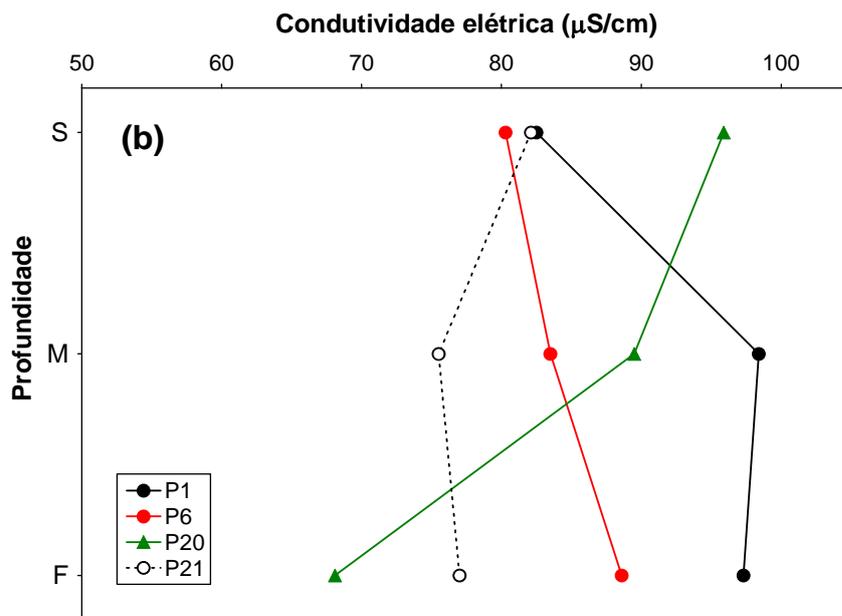
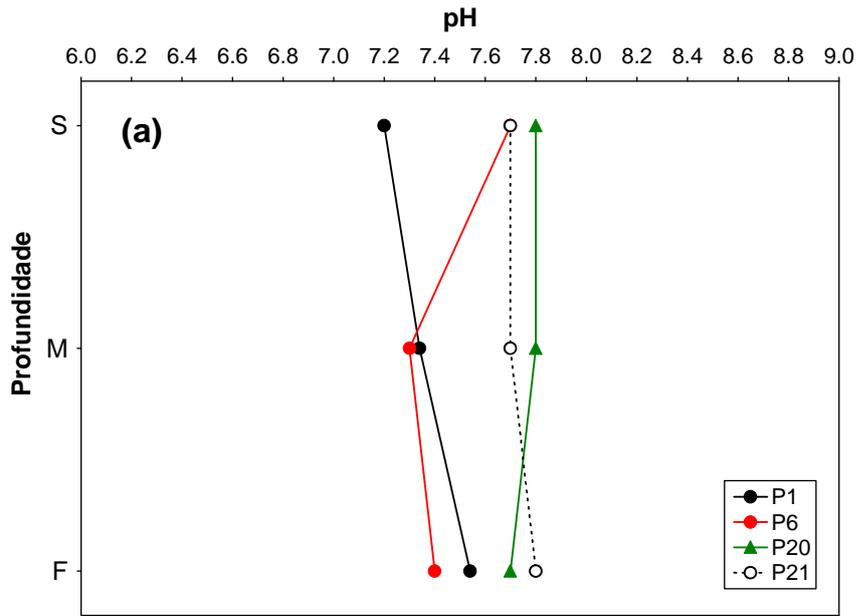
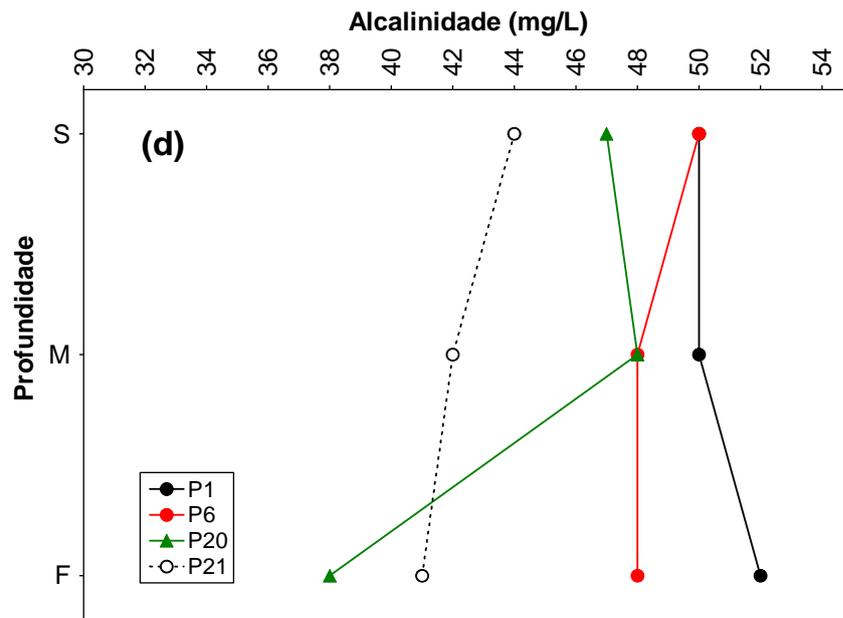
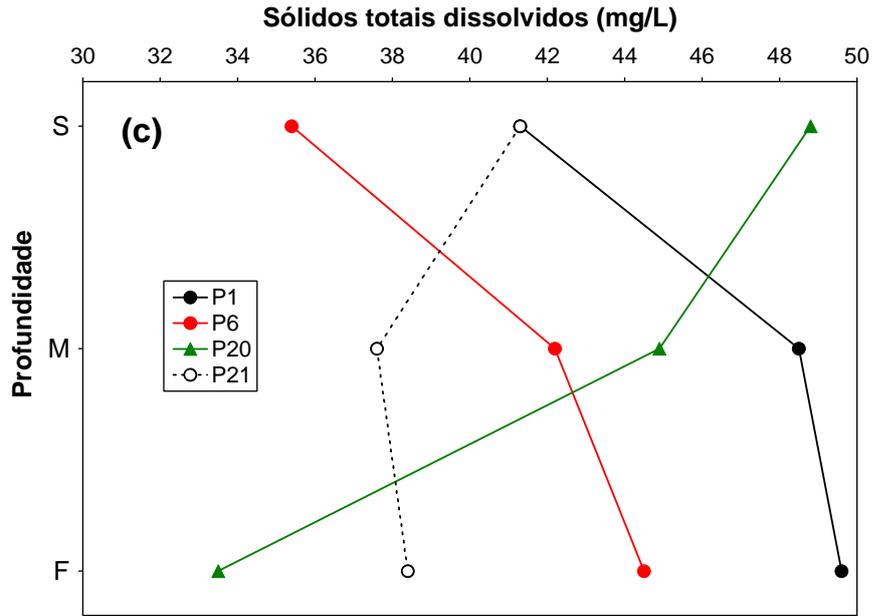


Figura 8. Valores de pH (a), condutividade elétrica (b), sólidos totais dissolvidos (STD) (c), alcalinidade (d), CO₂ total (e) e CO₂ livre (f) mensurados nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, entre março de 2013 e março de 2014.





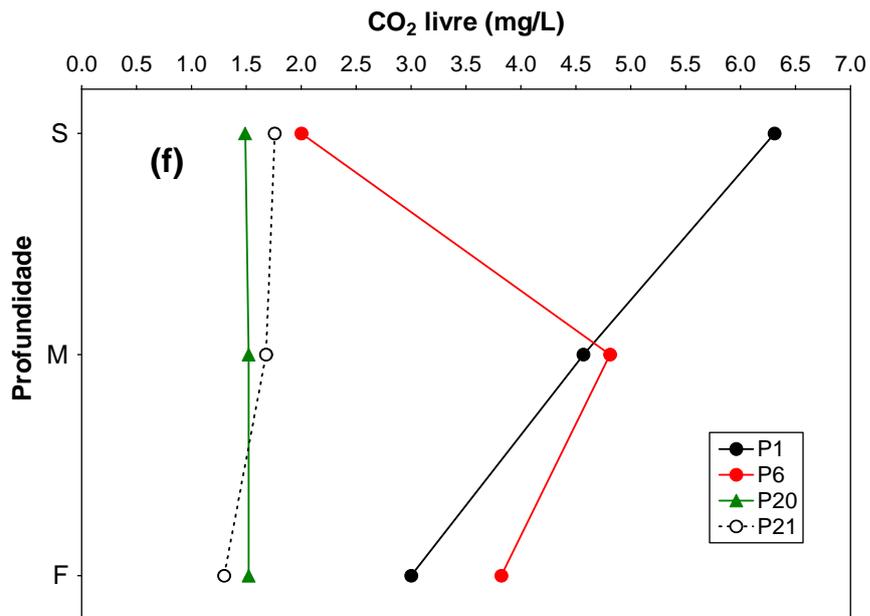
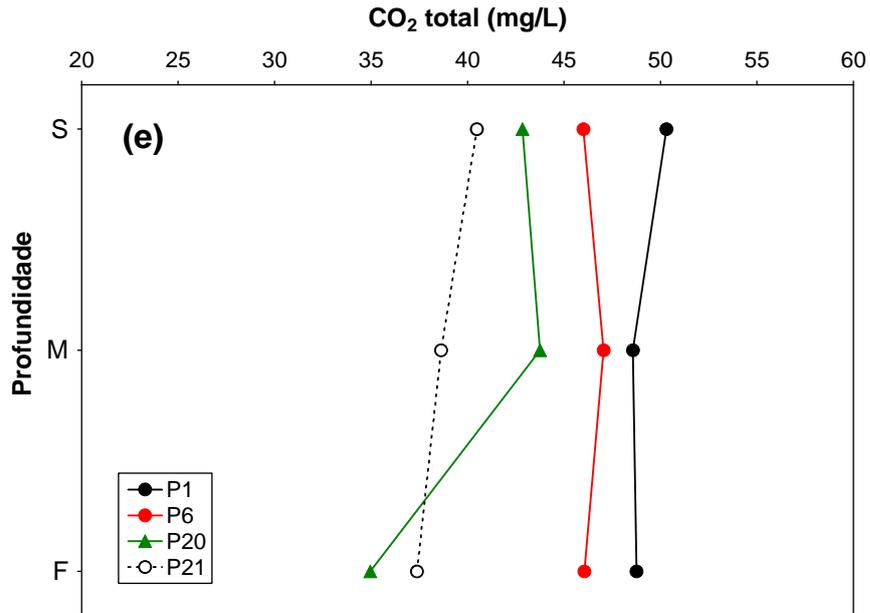


Figura 9. Perfil vertical dos valores de pH (a), condutividade elétrica (b), sólidos totais dissolvidos (STD) (c), alcalinidade (d), CO_2 total (e) e CO_2 livre (f) mensurado no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava em março de 2014.

Cloreto, sulfato, sulfeto e ferro total

Todas as águas naturais contêm íons cloretos resultantes da dissolução de minerais ou de sais ou, em regiões próximas do mar, 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 e Pozza, 2001). No trecho monitorado em março de 2014, as concentrações de cloreto foram inferiores ao limite de detecção do método (<0,5 mg/L) em todos os pontos de coleta, assim como observado nas campanhas realizadas em 2013, exceto setembro de 2013 (**Figura 10a**). Assim, todos os locais apresentaram concentrações significativamente inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (250 mg/L). Além disso, tais concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método (<0,5 mg/L) nas maiores profundidades de coleta (meio e fundo dos pontos 1, 6, 20 e 21).

Em ecossistemas aquáticos, o enxofre pode ocorrer em diferentes formas, tais como, como íon sulfato (SO_4^{2-}), íon sulfito (SO_3^{2-}), íon sulfeto (S^{2-}), gás sulfídrico (H_2S), entre outras. Dentre as várias formas de enxofre presentes na água, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais freqüentes. No entanto, o íon sulfato apresenta maior importância para a produtividade do ecossistema, uma vez que é a principal fonte de enxofre usada pelos produtores primários (Esteves, 1998). Em março de 2014, as concentrações de sulfato foram inferiores ao limite de detecção do método (<1 mg/L) na maior parte dos pontos de coleta, com exceção somente do pontos 5, 7 e 18 (1,0 mg/L, 5 mg/L e 1,0 mg/L) (**Figura 10b**). Tais concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método (<1,0 mg/L) nas maiores profundidades de coleta (meio e fundo dos pontos 1, 6, 20 e 21). Assim, todos os locais e profundidades monitoradas em março de 2014 apresentaram concentrações do íon sulfato que coadunam com o limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2 (250 mg/L).

As concentrações de sulfeto também foram inferiores ao limite preconizado pela Resolução CONAMA (0,002 mg/L) na maior parte dos pontos de coleta. A maior concentração (0,002 mg/L) foi registrada no ponto 18 (**Figura 10c**). Assim, nenhum ponto apresentou concentração de sulfeto superior ao limite preconizado pela Resolução CONAMA (0,002 mg/L). Tais concentrações também foram inferiores ao limite de detecção do método (<0,001 mg/L) nas amostras coletadas no meio e fundo da coluna d'água dos pontos 1, 6, 20 e 21.

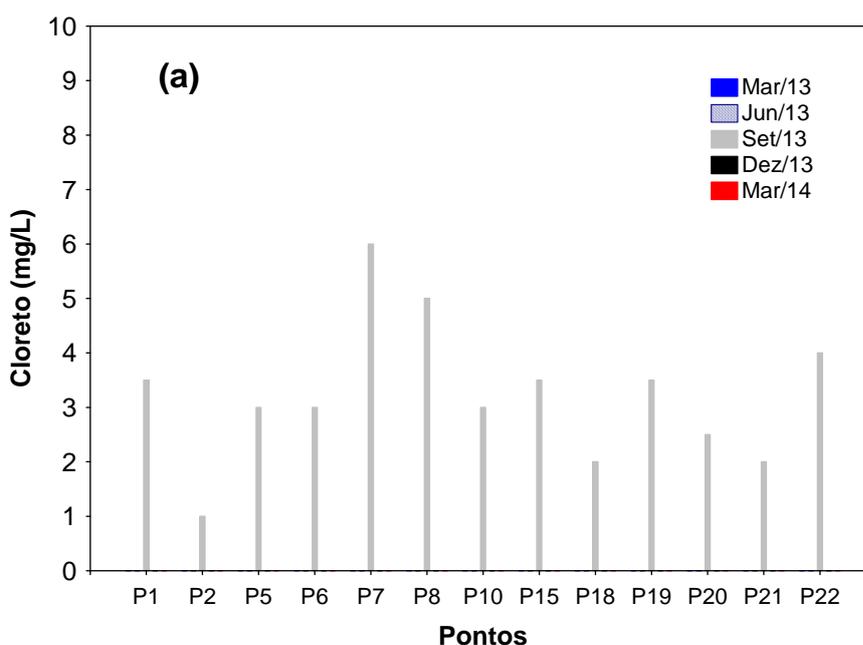
Considerando que as concentrações de cloreto, sulfato e sulfeto foram inferiores ao limite de detecção dos respectivos métodos em todos os pontos e

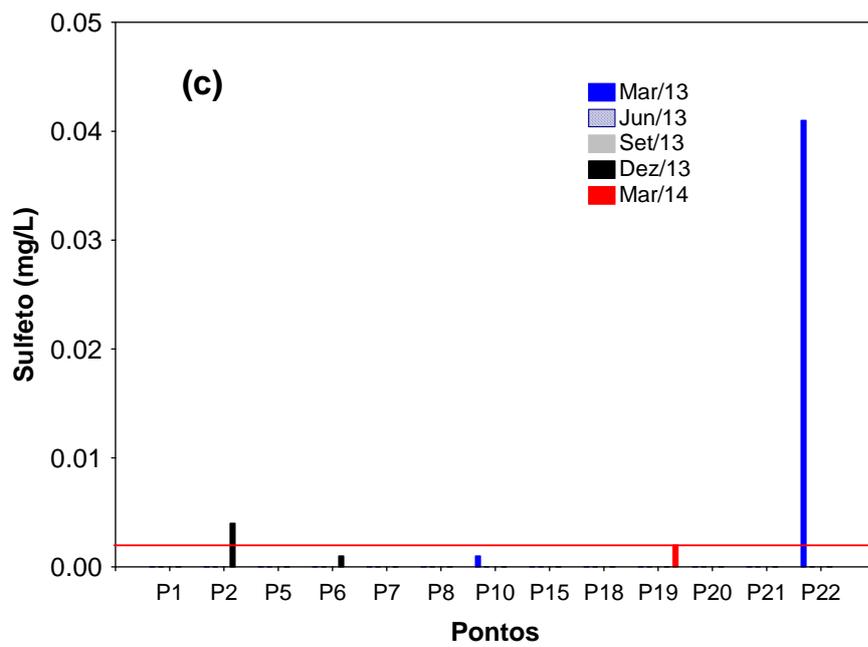
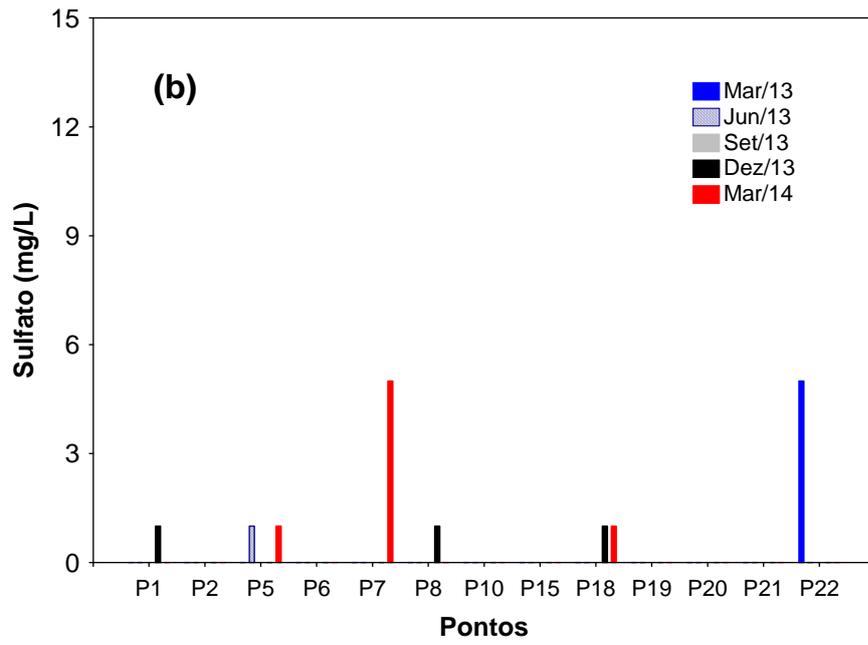
profundidades de coleta (pontos 1, 6, 20 e 21), não serão apresentados aqui os gráficos dos perfis verticais desses parâmetros.

O ferro é de grande importância para o metabolismo dos seres vivos e apresenta clara influência sobre a precipitação do fósforo. Assim, em ambientes onde predominam altas concentrações de oxigênio e pH próximo ao neutro, grande parte dos íons de ferro encontra-se na forma oxidada (Fe^{3+} - íon férrico), podendo assim adsorver-se ao íon fosfato e acarretar a precipitação do fósforo no sedimento (Esteves, 1998). Em ambientes que não estão submetidos a impactos, o ferro e o manganês são registrados em baixas concentrações, pois as suas formas predominantes são as oxidadas que são mais insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}).

Em média, a concentrações de ferro total em março de 2014 foi de 0,18 mg/L, o que demonstram ser uma baixo valor comparado ao que observado em março de 2013 (0,84 mg/L) (**Figura 10d**). Era esperado um valor mais elevado, pois maiores concentrações de ferro total tem sido registradas durante o período de chuvas na região, quando ocorre influência do sistema terrestre adjacente sobre o ambiente aquático.

Considerando a análise do perfil vertical, foi possível observar maiores concentrações de ferro total nas maiores profundidades de coleta, somente no ponto 1 (**Figura 11**).





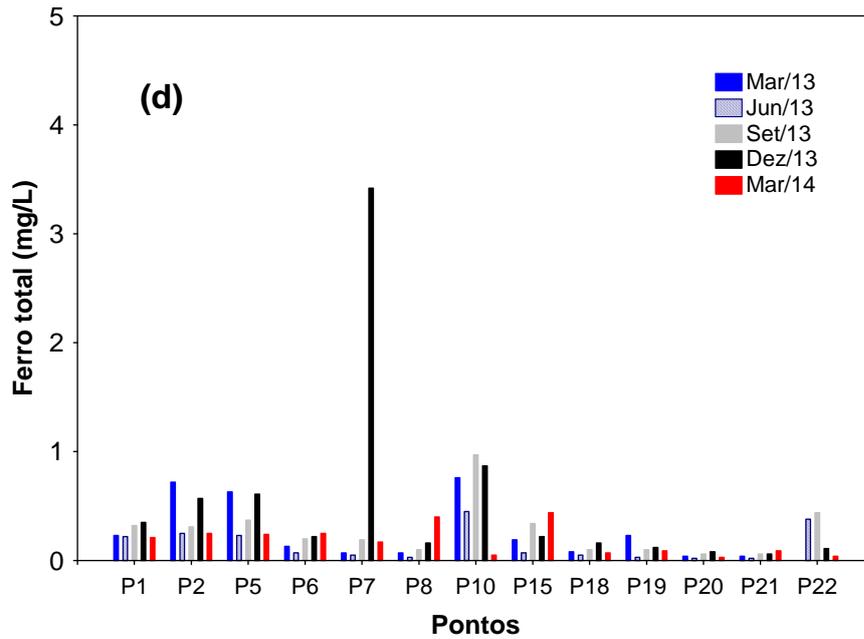


Figura 10. Concentrações de cloreto (a), sulfato (b), sulfeto (c) e ferro total (d) mensuradas nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, entre março de 2013 e março de 2014.

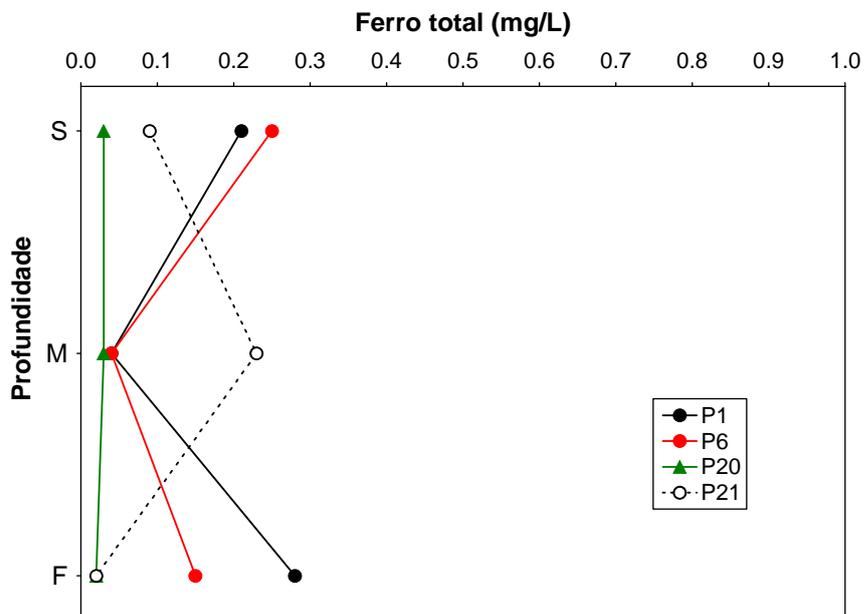


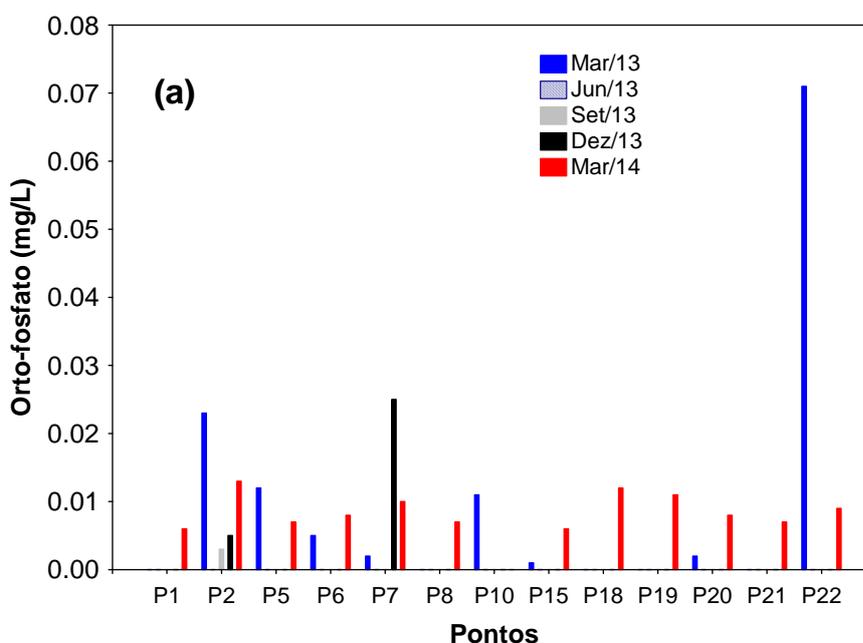
Figura 11. Perfil vertical das concentrações de ferro total no corpo central do reservatório, em março de 2013.

Nutrientes fosfatados e nitrogenados

Em conjunto com o nitrogênio (N), o fósforo (P) é o principal elemento que pode limitar a produção primária. Deste modo, elevadas concentrações indicam um

elevado potencial de eutrofização (aumento da disponibilidade e da taxa de utilização de nutrientes que acarreta um aumento do estado trófico do ambiente). Mesmo com o avanço tecnológico dos sistemas de controle de fontes pontuais de nutrientes, a eutrofização (causada pelo incremento de N e P) ainda pode ser considerada o principal problema de qualidade de água em diferentes partes do mundo. Quando prevalecem baixas concentrações de oxigênio, o fósforo pode ser disponibilizado para a coluna d'água e, assim, mesmo sem fontes externas, o processo de eutrofização pode ocorrer (Kalff, 2002; Baumgarten & Pozza, 2001).

Em março de 2014, as concentrações de orto-fosfato variaram entre valores inferiores ao limite de detecção do método (<0,001 mg/L) e 0,013 mg/L (pontos 10 e 2, respectivamente) (**Figura 12a**). Já as concentrações de fósforo total variaram entre 0,005 mg/L (ponto 10) e 0,029 mg/L (ponto 2) (**Figura 12b**). Assim, nesse mês de monitoramento, nenhum ponto de amostragem apresentou concentração de fósforo total superior ao limite máximo indicado na Resolução CONAMA nº 357/2005 (0,05 mg/L) (**Figura 12b**). Além disso, não houve diferenças expressivas nas concentrações de orto-fosfato ou fósforo total entre as diferentes profundidades de coleta (**Figuras 13a e 13b**). Resultados similares ao obtidos em campanhas anteriores.



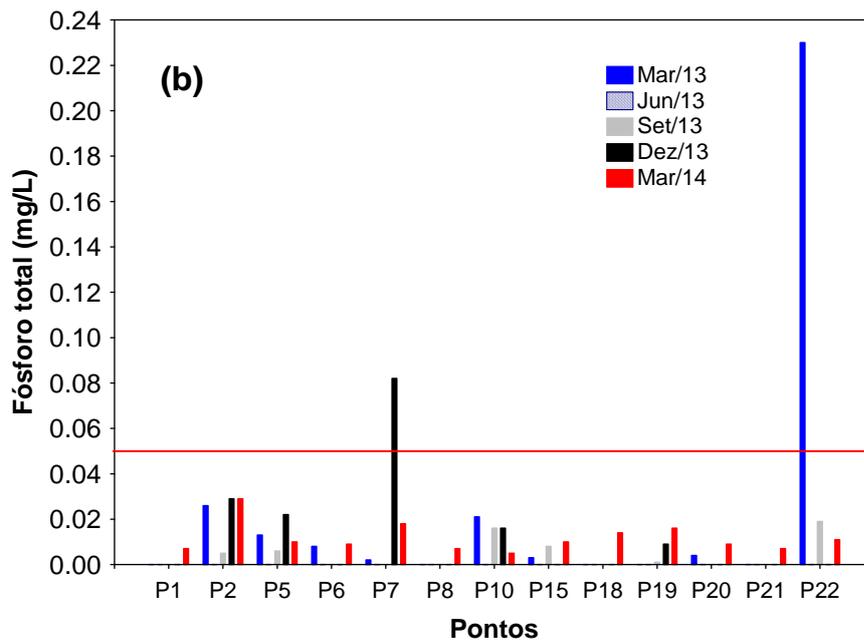
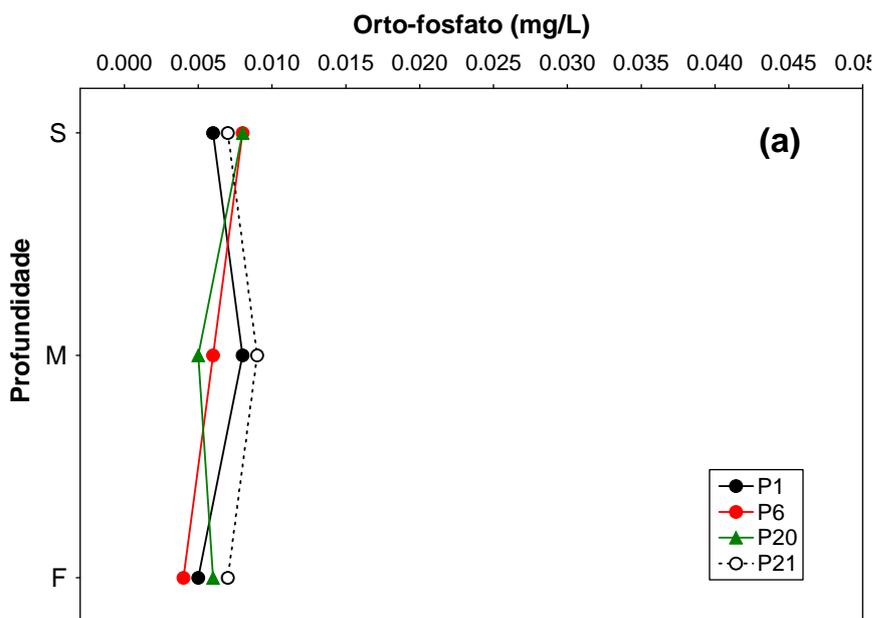


Figura 12. Concentrações de orto-fosfato **(a)** e fósforo total **(b)** mensuradas em 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, entre março de 2013 e março de 2014.



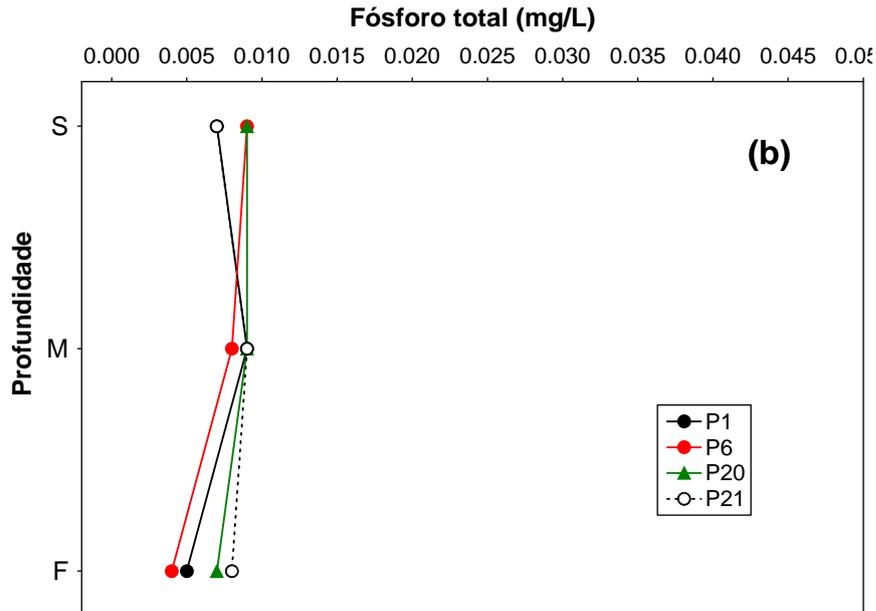


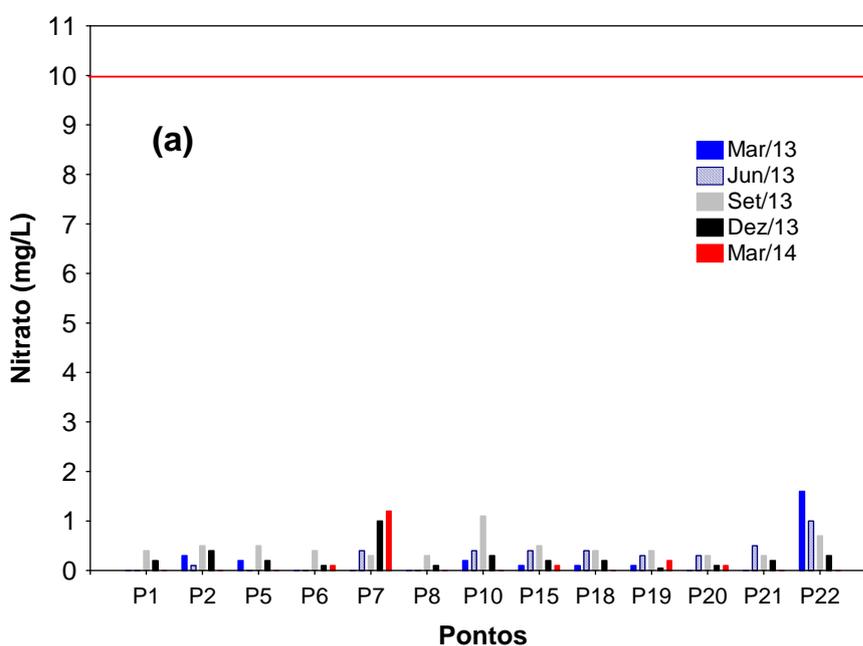
Figura 13. Perfil vertical das concentrações de orto-fosfato (a) e fósforo total (b) em quatro pontos de coleta da UHE Cana Brava, em março de 2014.

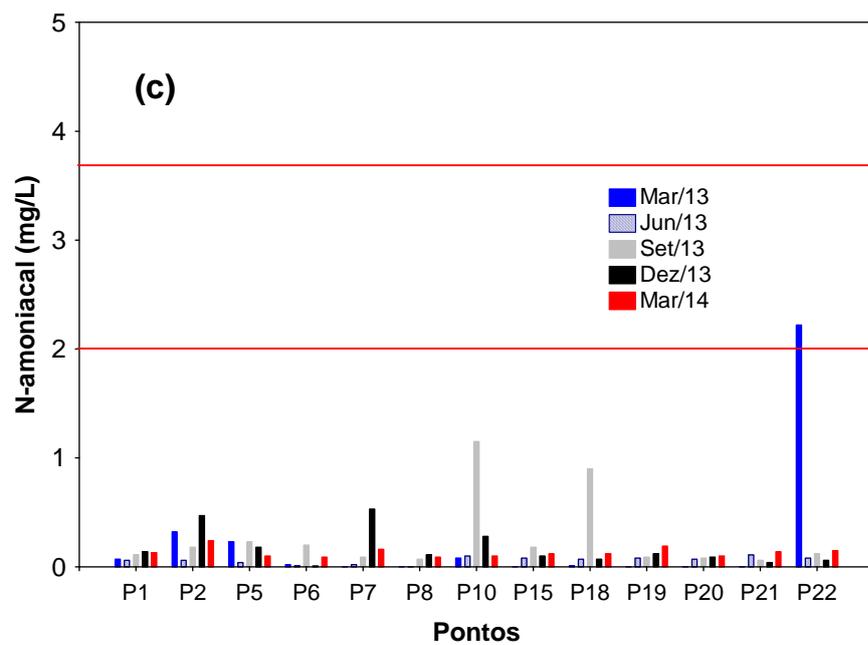
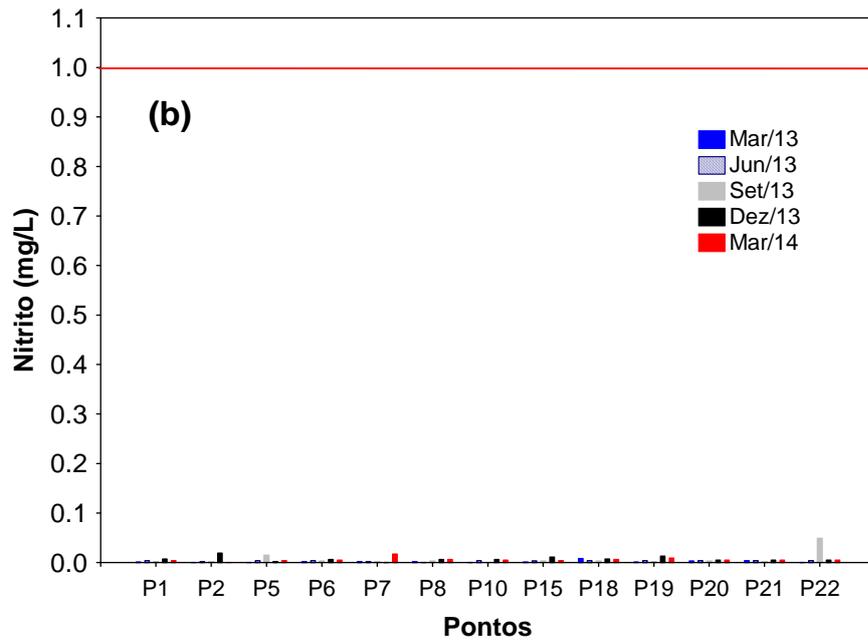
A importância do nitrogênio para o funcionamento dos ecossistemas pode ser atribuída à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Quando presente em baixas concentrações, este nutriente pode atuar como fator limitante da produção primária. Dentre as diferentes formas, os teores de nitrato e do íon amônio assumem grande importância nos ecossistemas aquáticos, uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários. O nitrito é encontrado em baixas concentrações, principalmente em ambientes oxigenados (Esteves, 1998).

Considerando as formas inorgânicas de nitrogênio, as concentrações de nitrato (NO_3^-) variaram entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($<0,1$ mg/L) (pontos 1, 2, 5, 8, 10, 18, 21 e 22) e 1,2 mg/L (ponto 7) (**Figura 14a**). As concentrações de nitrito (NO_2^-) também variaram entre valores inferiores ao limite de detecção do método ($<0,001$ mg/L) (ponto 2) e 0,017 mg/L (ponto 7) (**Figura 14b**), enquanto que as concentrações de nitrogênio amoniacal variaram entre 0,09 mg/L (pontos 6 e 8) e 0,24 mg/L (ponto 2) (**Figura 14c**). A maior concentração de nitrogênio total (1,57 mg/L) foi registrada no ponto 7 (**Figura 14d**). Em média, concentração de nitrogênio total mensurada em março de 2014 foi menor do que o observado nas campanhas de 2013 (**Figura 14d**).

De maneira geral, todos os pontos monitorados apresentaram concentrações de nitrato e nitrito que respeitam os limites indicados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (10 mg/L para nitrato e 1,0 mg/L para nitrito). O trecho monitorado também apresentou concentrações de nitrogênio amoniacal inferiores ao que apresentado na legislação citada. Esse documento oficial apresenta que o limite para a concentração de nitrogênio amoniacal é dependente do valor de pH, ou seja, em ambientes com valores de pH inferiores a 7,5, o valor máximo estabelecido para nitrogênio amoniacal é igual a 3,7 mg/L; em ambientes com valores de pH entre 7,5 e 8,0 o valor máximo permitido é 2,0 mg/L; e em ambientes com valores de pH entre 8,0 e 8,5 o valor máximo permitido é 1,0 mg/L.

Considerando o perfil vertical dos pontos localizados no interior do reservatório da UHE Cana Brava, em março de 2014, foi possível verificar semelhança nas concentrações mensuradas nas diferentes profundidades de coleta (**Figuras 15a, 15b, 15c e 15d**). Destaca-se apenas a pequena tendência de aumento nas concentrações de nitrato e nitrogênio total em direção ao fundo do ponto 21.





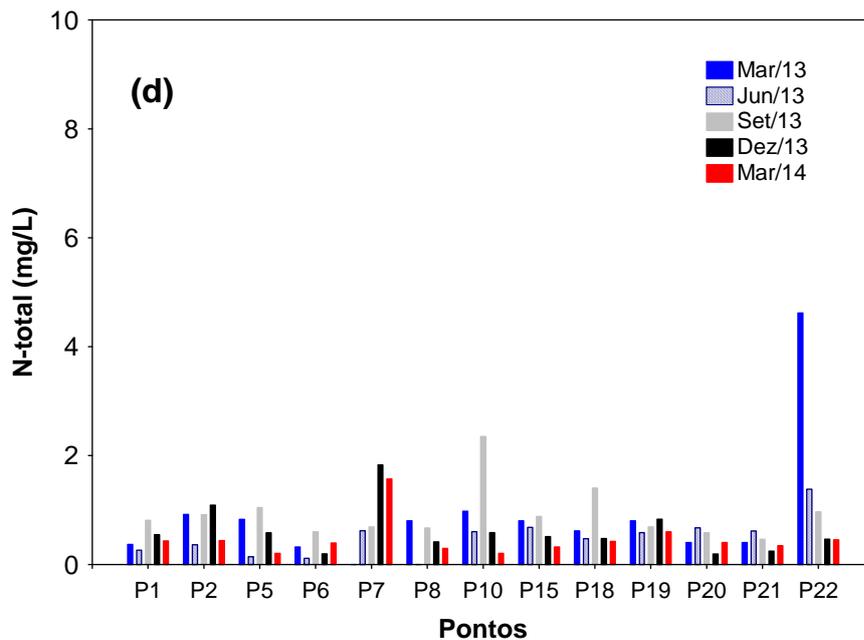
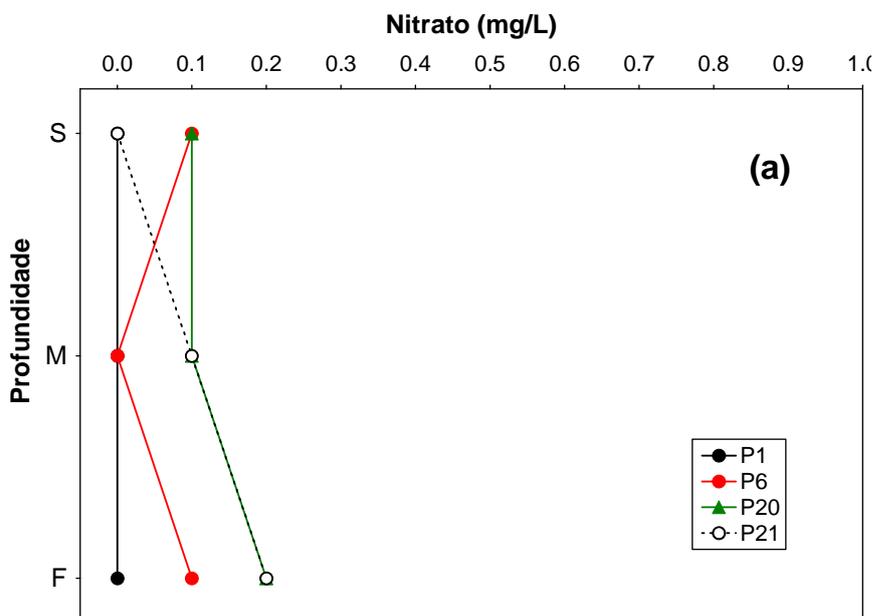
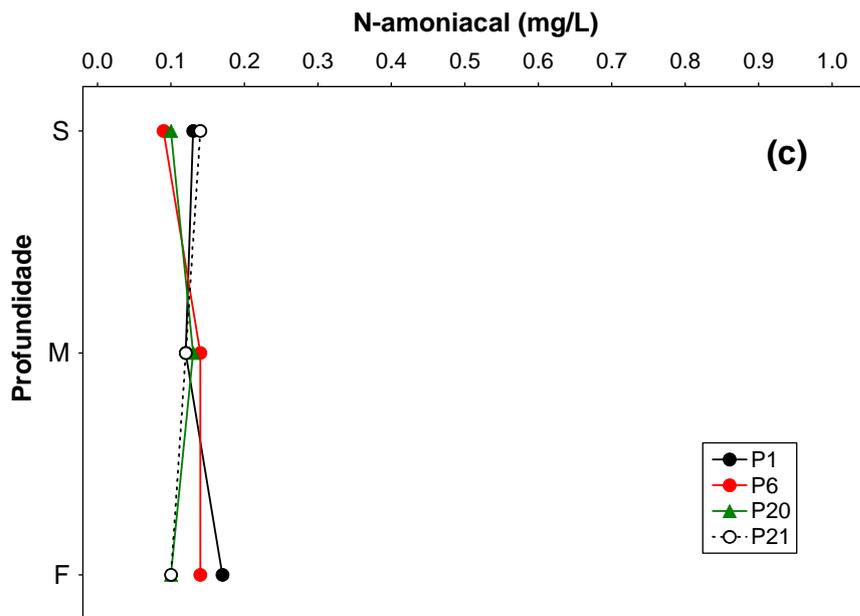
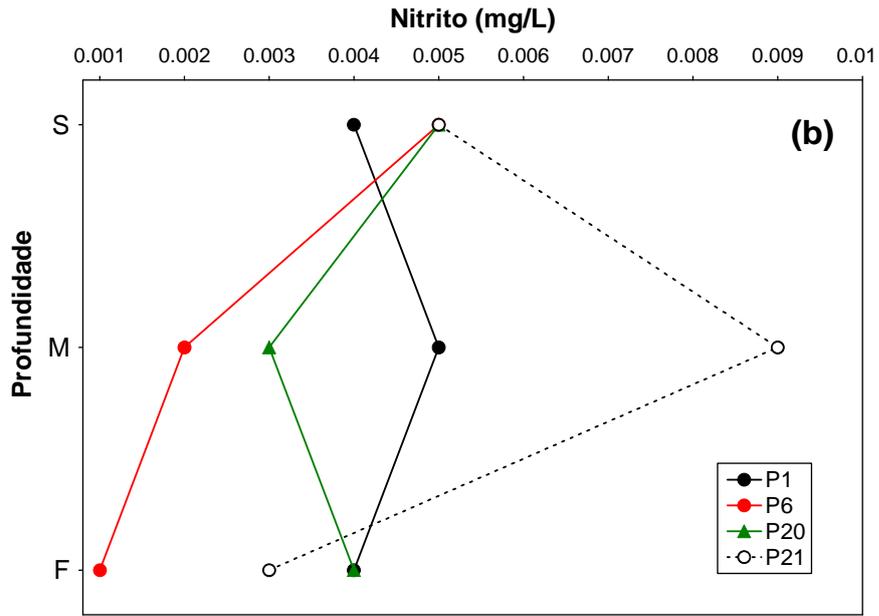


Figura 14. Concentrações de nitrato (a), nitrito (b), nitrogênio amoniacal (c) e nitrogênio total (d) mensuradas nos 13 pontos de coleta na área de influência da UHE Cana Brava, entre março de 2013 e março de 2014.





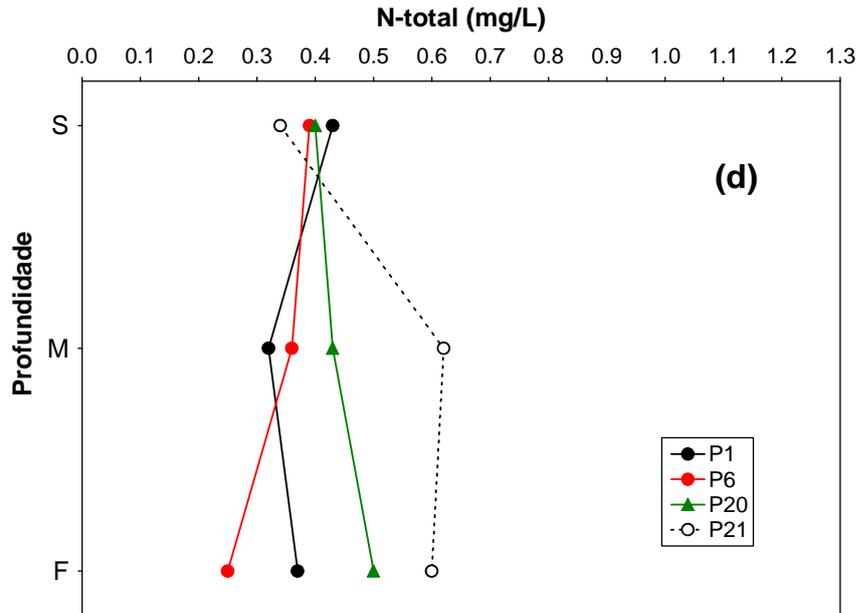


Figura 15. Perfil vertical das concentrações de nitrato (a), nitrito (b), nitrogênio amoniacal (c) e nitrogênio total (d) mensurado no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava, em março de 2014.

Clorofila-a

A partir de setembro de 2012, a análise de clorofila-a passou a ser realizada no ponto 21, localizado próximo à barragem. Esse local foi escolhido tendo em vista que representa a região com características que tendem a favorecer o desenvolvimento da comunidade planctônica, sendo a região com menor velocidade da água (característica lântica) e maiores valores de transparência da coluna da água.

Em março de 2014, a concentração de clorofila-a no ponto 21 foi sensivelmente inferior ao limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (30 µg/L), assim como observado nas campanhas de 2013 (**Figura 16**).

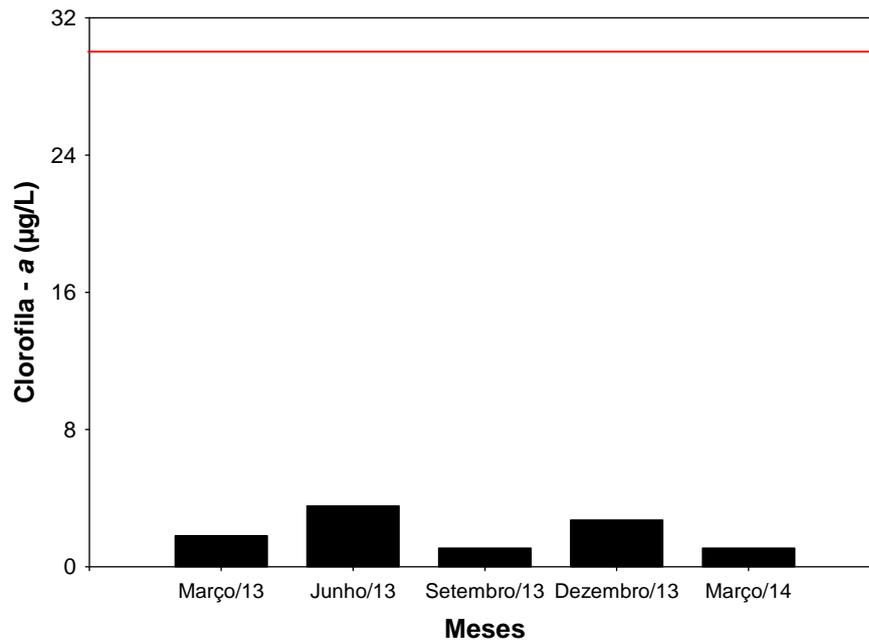


Figura 16. Concentrações de clorofila-a no ponto 21 mensuradas entre março de 2013 e março de 2014. A linha vermelha indica o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005.

DBO₅

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (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 (Kalff, 2002). No trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava em março de 2014, as concentrações de DBO₅ variaram entre 0,1 mg/L (ponto 6, 8 e 21) e 4,7 mg/L (ponto 2) (**Figura 16**). Portanto, nesse mês, todos os pontos monitorados em março de 2014 apresentaram valor de DBO₅ inferior ao limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (5,0 mg/L).

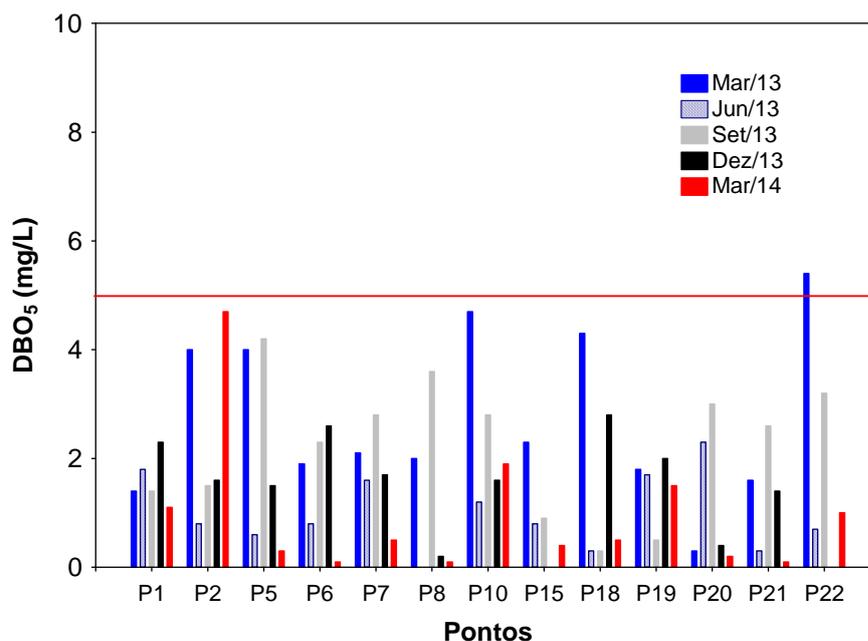


Figura 17. Valores de DBO₅ obtidos entre março de 2013 e março de 2014. A linha vermelha indica o limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005.

Óleos e Graxas

“Óleos e graxas” incluem, além dos hidrocarbonetos, ácidos graxos, sabões, gorduras, óleos, ceras e também outros materiais cuja extração química pelo solvente seja possível. A maior dificuldade encontrada no estabelecimento do limite oficial tolerável para óleos e graxas está no fato deste parâmetro não possuir categorias químicas definidas, mas incluir vários compostos orgânicos com variáveis físicas, químicas e propriedades toxicológicas diferentes (Baumgarten e Pozza, 2001). Quando presentes em quantidade excessiva, esses compostos podem interferir nos processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos.

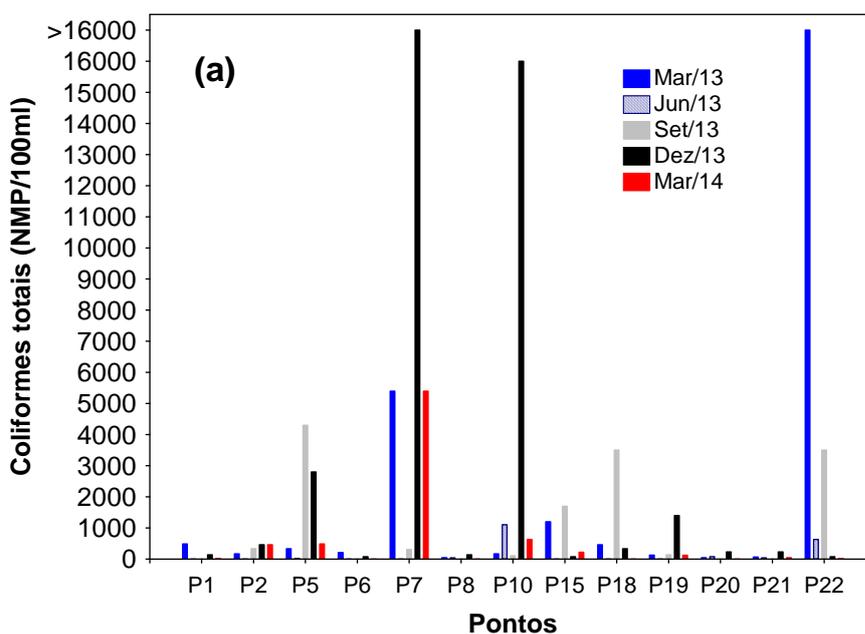
Em março de 2014, as concentrações de óleos e graxas no trecho monitorado estavam de acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (e.g. para águas de classe 2 as concentrações de óleos e graxas devem ser virtualmente ausentes - V.A.). Resultado igual foi observado em março, junho, setembro e dezembro de 2013.

5.1.2. Variáveis bacteriológicas

A presença de coliformes na água indica o potencial da presença de microrganismos patogênicos. O grupo dos coliformes totais inclui gêneros que não

são de origem exclusivamente fecal, o que limita sua aplicação como indicador geral de contaminação fecal. O reconhecimento deste fato levou ao desenvolvimento de métodos de enumeração de um subgrupo de coliformes denominados coliformes fecais (termotolerantes) os quais são diferenciados dos coliformes totais pela sua capacidade de fermentar a lactose em temperatura elevada ($44,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$).

No trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava, em março de 2014, a densidade de coliformes totais variou entre valores inferiores ao limite de detecção do método <18 NMP/100ml (pontos 6, 8, 18 e 20) e 5.400 NMP/100ml (ponto 7) (**Figura 18a**). Já a densidade de coliformes termotolerantes (fecais) variou entre valores inferiores ao limite de detecção do método (< 18 NMP/100ml, nos pontos 1, 6, 8, 18, 20 e 21) e 940 NMP/100ml (ponto 7) (**Figura 18b**). Dessa maneira, todos os locais monitorados em março de 2014 apresentaram densidade de coliformes termotolerantes inferior ao limite máximo permitido pela Resolução CONAMA n^o 357/2005 (1.000 NMP/100 ml).



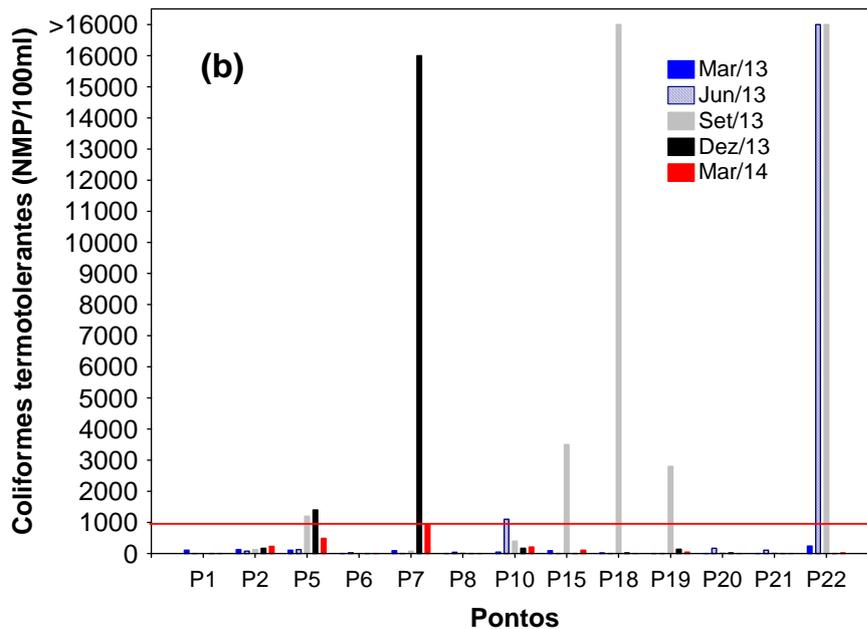


Figura 18. Densidade de coliformes totais (a) e coliformes termotolerantes (b) no trecho monitorado da UHE Cana Brava, entre março de 2013 e março de 2014.

5.1.3. Perfil vertical dos pontos 20 e 21

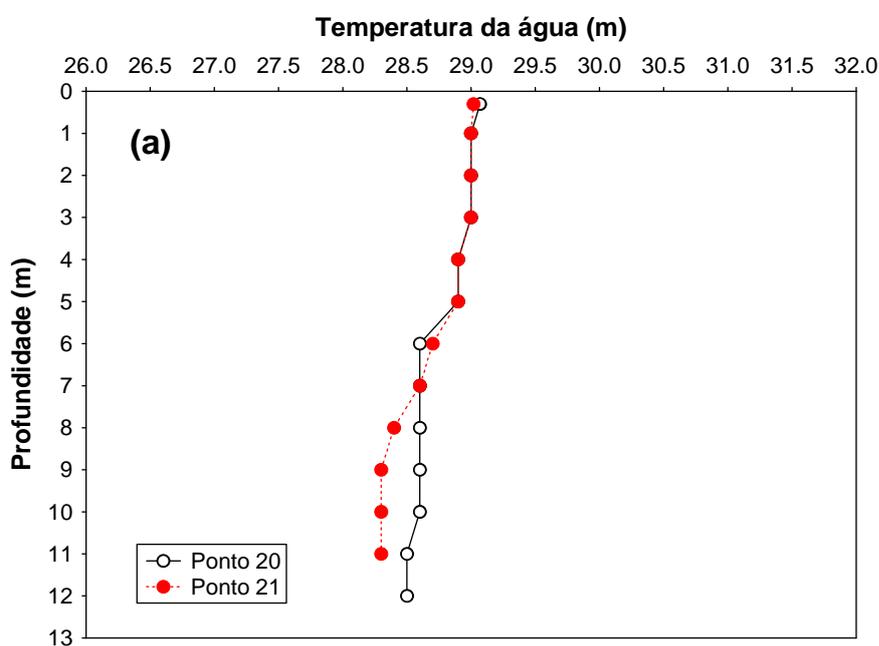
Os padrões de estratificação térmica influenciam sobremaneira a distribuição vertical dos parâmetros limnológicos, principalmente o oxigênio dissolvido. Os lagos profundos (acima de 20 m) de regiões tropicais quando relativamente protegidos da ação do vento, permanecem estratificados na maior parte do 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, em março de 2014 foi realizada a análise do perfil vertical nos pontos 20 e 21, no interior do reservatório da UHE Cana Brava, com o objetivo principal de

verificar a existência de estratificação térmica. Foi obtida a temperatura da água e concentração de oxigênio dissolvido, até a profundidade de 12 metros (**Figura 19**).

Nesse mês, a camada superficial e de fundo apresentaram diferenças de temperatura iguais a $0,57^{\circ}\text{C}$ no ponto 20 e $0,72^{\circ}\text{C}$ no ponto 21 (**Figura 19a**). Tais diferenças foram inferiores àquelas registrada em março de 2013 ($1,2^{\circ}\text{C}$ no ponto 20 e $1,0^{\circ}\text{C}$ no ponto 21), indicando a ausência de estratificação térmica nesse mês. Na última coleta, dezembro de 2013, também foi registrado pequena diferença nos valores de temperatura mensurados no ponto 20 ($0,22^{\circ}\text{C}$) e mais evidente no ponto 21 ($1,69^{\circ}\text{C}$).

A análise das concentrações de oxigênio dissolvido demonstrou valores inferiores a $5,0\text{ mg/L}$, somente, a partir de 9 metros de profundidade no ponto 21 (**Figura 19b**). De fato, baixas concentrações de oxigênio são esperadas em locais com elevada profundidade, tendo em vista as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica nesses ambientes e, conseqüentemente, maior consumo desse gás pelos microorganismos decompositores.



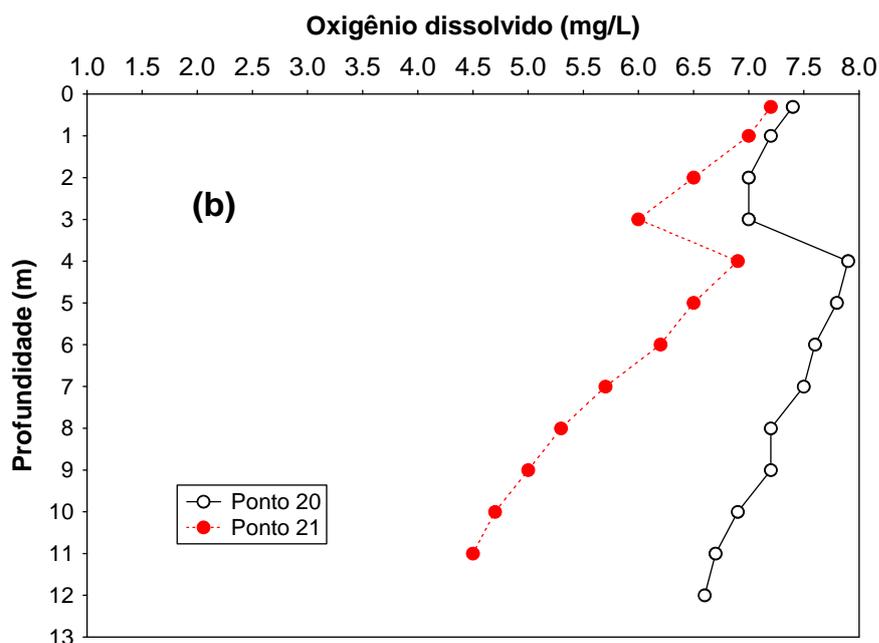


Figura 19. Perfil vertical dos valores de temperatura da água **(a)** e oxigênio dissolvido **(b)** em dois pontos localizados no corpo central do reservatório da UHE Cana Brava, em março de 2014.

6. Índice de Qualidade da Água (IQA)

Índices de qualidade da água (IQA) são bastante úteis para facilitar a comunicação entre público geral e corpo técnico, para avaliar tendências temporais da qualidade da água e permitir uma comparação entre diferentes cursos d'água. Normalmente, um índice de qualidade de água varia entre 0 (zero) e 100 (cem), sendo que quanto maior o seu valor, melhor é a qualidade da água.

Em março de 2014, o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou valores de IQA que variaram entre 64,94 e 85,23 (pontos 15 e 21, respectivamente) (**Tabela 2**). Os pontos de coleta foram classificados como apresentando águas com “Boa” e “Ótima Qualidade” (**Tabela 2**).

Tabela 2. Índice de Qualidade da água (IQA) por ponto de coleta, obtidos entre março de 2013 e março de 2014.

Pontos	Mar/2013		Jun/2013		Set/2013		Dez/2013		Mar/2014	
	IQA	Qualidade								
P1	60.01	Boa	80.88	Boa	60.62	Boa	66.52	Boa	74.42	Boa
P2	64.70	Boa	84.06	Ótima	69.98	Boa	66.54	Boa	66.96	Boa
P5	64.78	Boa	75.93	Boa	59.23	Boa	59.32	Boa	69.37	Boa
P6	81.45	Boa	83.24	Ótima	78.27	Boa	73.33	Boa	83.24	Ótima
P7	72.39	Boa	83.60	Ótima	69.48	Boa	43.31	Boa	68.53	Boa
P8	75.74	Boa	76.35	Boa	64.29	Boa	70.71	Boa	83.54	Ótima
P10	68.72	Boa	69.15	Boa	67.75	Boa	57.43	Boa	70.67	Boa
P15	73.92	Boa	78.37	Boa	61.05	Boa	69.53	Boa	64.94	Boa
P18	74.50	Boa	85.41	Ótima	63.43	Boa	68.34	Boa	82.45	Ótima
P19	73.95	Boa	83.02	Ótima	72.38	Boa	63.93	Boa	78.61	Boa
P20	83.42	Ótima	74.45	Boa	64.35	Boa	68.52	Boa	84.78	Ótima
P21	83.31	Ótima	76.46	Boa	59.71	Boa	70.24	Boa	85.23	Ótima
P22	47.50	Boa	65.96	Boa	61.23	Boa	72.35	Boa	77.18	Boa
Média	71.11		78.22		65.52		65.38		76.12	

8. Considerações Finais

De maneira geral, em março de 2014 o trecho monitorado do reservatório da UHE Cana Brava apresentou águas com considerável transparência da água, baixos valores de compostos nitrogenados e fosfatados, baixa concentração de clorofila-a (análise feita somente no ponto 21) e DBO₅, além de baixos valores de densidade de coliformes termotolerantes. Considerando que as águas do sistema monitorado são enquadradas na classe 2 da Resolução CONAMA nº 357/2005, os únicos locais que não apresentaram valores compatíveis com a legislação foram os pontos 1 e 15 que apresentaram concentração de oxigênio dissolvido inferior ao limite mínimo determinado pela legislação. Essa desconformidade pode ser atribuída a variações naturais de oxigênio dissolvido e não configura um problema sistemático para a qualidade da água dos locais. Uma vez que, a variação temporal da concentração de oxigênio dissolvido, nos pontos amostrais citados, não apresentaram em 2013 valores inferiores ao limite estabelecido pela legislação federal.

Comparando os resultados obtidos em março de 2014 com as campanhas realizadas no ano anterior, foi possível verificar condições mais próximas ao que foi observado em março e dezembro de 2013, provavelmente devido a maior influência de chuvas que ocorrem na região nesses dois meses.

10. Referências

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19th edn. American Public Health Association Publications, Washington DC, 1995.

BRASIL, 2005. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357. Classificação dos corpos de água e diretrizes para o enquadramento dos corpos de água superficiais e estabelecimento das condições e padrões de lançamentos de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 58-63.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência – FINEP, Rio de Janeiro, 1998. 575p.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAD, M.A.M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific, 1978. (IBP Handbook, no. 8) 214 p.

KALFF, J. **Limnology**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 592 p.

LIND, O. T.; TERRELL, T. T.; KIMMEL, B. L. Problems in reservoir trophic-state classification and implications for reservoir management. In STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (ed.), **Comparative reservoir limnology and water quality management**. Kluwer Academic Press, Netherlands, 1993. p. 57-67.

MACKERETH, F.Y.H.; HERON, J.G.; TALLING, J.J. **Water analysis some revised methods for limnologist**. Ambleside: Freshwater Biological Association, 1978. (Freshwater Biological Association. Scientific Publication, v. 36) 120 p.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. **Limnological analysis**. 2 ed. New York: Springer-Verlag, 2000. 429 p.

ANEXO I. Resultados obtidos no monitoramento realizado em março de 2014, na área de influência da UHE Cana Brava.

		Pontos												
	Prof.	1	2	5	6	7	8	10	15	18	19	20	21	22
Temperatura ambiente (°C)		28.0	31.0	31.0	34.0	31.5	29.0	32.0	32.0	32.0	32.0	28.0	29.0	31.5
Temperatura da água (°C)	S	27.14	28.71	23.94	28.19	28.71	27.44	27.09	28.59	26.71	28.47	29.07	29.02	26.82
	M	26.87			27.7							28.79	28.0	
	F	26.86			27.6							28.5	27.82	
Secchi		1.2	0.3	0.5	6.0	-	6	-	-	-	-	6.0	6.0	5.0
Turbidez (NTU)	S	1.51	32.2	6.63	1.09	8,39	1.59	2.38	3.07	2.72	4.7	0.59	0.77	2.88
	M	1.56			2.88							0.7	0.8	
	F	2.21			3.59							2.79	2.02	
pH	S	7.2	7.6	7.8	7.7	7.6	7.8	7.8	7.7	7.6	7.8	7.8	7.7	7.7
	M	7.34			7.3							7.8	7.7	
	F	7.54			7.4							7.7	7.8	
Condutividade elétrica (µcm/S)	S	82.5	99.1	33.7	30.3	157.9	104.3	84.3	77.8	91.8	92.9	95.9	82.1	89.2
	M	98.4			83.5							89.5	75.5	
	F	97.3			88.6							68.1	77	
CO ₂ total (mg/L)	S	50.31	13.95	16.41	46	68.84	41.94	37.38	37.72	47.44	42.85	42.85	40.48	43.24
	M	48.57			47.05							41.76	38.64	
	F	48.76			46.06							34.96	37.38	
CO ₂ livre (mg/L)	S	6.31	0.75	0.57	2	3.72	1.46	1.3	1.64	2.56	1.49	1.49	1.76	1.88
	M	4.57			4.81							1.52	1.68	
	F	3.00			3.82							1.52	1.30	
Oxigênio dissolvido (mg/L)	S	4.2	8.1	7.9	6.9	7	7.1	7.5	4.3	7.2	8.5	7.5	7.2	8
	M	3.20			4.30							3.30	4,47	
	F	3.10			3.80							3.20	3,63	
STD (mg/L)	S	41.3	48.9	17.2	15.4	78.9	51.2	42.3	38.7	45.9	46.7	48.8	41.3	44.6

	M	48.5			42.2							44.9	37.6	
	F	49.6			44.5							33.5	38.4	
	S	50	15	18	50	74	46	41	41	51	47	47	44	47
Alcalinidade (mg/L)	M	50.0			48.0							48.0	42.0	
	F	52.0			45.0							38.0	41.0	
	S	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Cloretos (mg/L)	M	<0.5			<0.5							<0.5	<0.5	
	F	<0.5			<0.5							<0.5	<0.5	
	S	0.21	0.25	0.24	0.25	0.17	0.4	0.05	0.44	0.07	0.09	0.03	0.09	0.04
Ferro total (mg/L)	M	0.04			0.04							0.03	0.23	
	F	0.28			0.15							0.02	0.02	
	S	<1.0	<1.0	1	<1.0	5	<1.0	<1.0	<1.0	1	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Sulfato (mg/L)	M	-			-							-	-	
	F	-			-							-	-	
	S	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sulfeto (mg/L)	M	-			-							-	-	
	F	-			-							-	-	
	S	0.007	0.029	0.01	0.009	0.018	0.007	0.005	0.01	0.014	0.016	0.009	0.007	0.011
Fósforo total (mg/L)	M	0.009			0.008							0.009	0.009	
	F	0.005			0.004							0.007	0.008	
	S	0.006	0.013	0.007	0.008	0.01	0.007	<0.001	0.006	0.012	0.011	0.008	0.007	0.009
Orto-Fosfato (mg/L)	M	0.008			0.006							0.005	0.009	
	F	0.005			0.004							0.006	0.007	
	S	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	1.2	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	0.1	<0.1	<0.1
Nitrato (mg/L)	M	<0.1			<0.1							0.1	0.1	
	F	<0.1			0.1							0.2	0.2	
	S	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Nitrito (mg/L)	M	0.005			0.028							0.003	0.009	
	F	0.004			0.013							0.004	0.003	

Nitrogênio amoniacal (mg/L)	S	0.13	0.24	0.1	0.09	0.16	0.09	0.1	0.12	0.12	0.19	0.1	0.14	0.15
	M	0.12			0.14							0.13	0.12	
	F	0.17			0.14							0.1	0.1	
NTK (mg/L)	S	0.43	0.44	0.2	0.29	0.36	0.29	0.2	0.22	0.42	0.39	0.3	0.34	0.45
	M	0.32			0.34							0.33	0.52	
	F	0.37			0.14							0.3	0.4	
Nitrogênio orgânico (mg/L)	S	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
	M	0.2			0.2							0.2	0.4	
	F	0.2			<1.0							0.2	0.3	
Nitrogênio total (mg/L)	S	0.434	0.440	0.204	0.395	1.570	0.296	0.205	0.324	0.426	0.599	0.405	0.345	0.455
	M	0.325			0.368							0.433	0.629	
	F	0.374			0.253							0.504	0.603	
DBO ₅		2.30	1.60	1.50	2.60	1.70	0.20	1.60	0,4	2.80	2.00	0.40	1.40	1,0
OG		V.A.												
Coliforme Fecal (NMP/100 ml)		<18	230	490	<18	940	<18	210	110	<18	45	<18	<18	20
Coliforme total (NMP/100 ml)		20	460	490	<18	5400	<18	630	220	<18	120	<18	45	20

Juliana Machado do Couto Curti

Biól. MSc. Juliana Machado do Couto Curti
Diretora Técnica
CRBio n° 30921/D

Life Projetos Limnológicos
www.lifelimnologia.com.br

Fone/Fax: (62) 3223 1530

Rua 14A nº 99
CEP 74070-110 Setor Aeroporto
Goiânia - Goiás - Brasil

