



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

SILVANA DO SOCORRO VELOSO SODRÉ

**HIDROQUÍMICA DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA,
MANANCIAS DE BELÉM – PARÁ.**

**BELÉM - PA
2007**

SILVANA DO SOCORRO VELOSO SODRÉ

**HIDROQUÍMICA DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA,
MANANCIAIS DE BELÉM – PARÁ**

Dissertação apresentada ao programa de Pós graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais,. Área de Concentração: Ecossistemas e uso da Terra.

Orientador: Dr. Edson José Paulino da Rocha

Co-Orientadora: Dra. Maria de Lourdes Souza Santos

**BELÉM
2007**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Sodré, Silvana do Socorro Veloso

S679h Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta mananciais
de Belém-Pará / Silvana do Socorro Veloso Sodré. – 2007
114 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) –
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará,
Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2007.

Orientador, Edson José Paulino da Rocha; Co-orientador,
Maria de Lourdes Souza Santos.

1. Hidroquímica. 2. Batimetria. 3. Lago Água Preta. 4.
Lago Bolonha. 5. Belém-Pa. I. Universidade Federal do Pará.
II. Rocha, Edson José Paulino da, Orient. III. Santos, Maria de
Lourdes Souza, Co-orient. IV. Título.

CDD 20º ed.:551.482098115

SILVANA DO SOCORRO VELOSO SODRÉ

**HIDROQUÍMICA DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA,
MANANCIAIS DE BELÉM – PARÁ**

Dissertação apresentada ao programa de Pós graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais,. Área de Concentração: Ecossistemas e uso da Terra.

Orientador: Dr. Edson José Paulino da Rocha

Co-Orientadora: Dra. Maria de Lourdes Souza Santos

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito :

Banca Examinadora:

Prof. Edson José Paulino da Rocha - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal de Pará

Prof. José Almir Rodrigues Pereira - Membro
Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento
Universidade Federal do Pará

Prof. Maâmar El-Robrini - Membro
Doutor em Geologia Marinha
Universidade Federal do Pará

Prof. Ricardo de Oliveira Figueiredo - Membro
PhD Biogeoquímica
EMBRAPA Amazônia Oriental

***À minha família, pelo amor e paciência
em todos os momentos de ausência.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus que iluminou meus caminhos para que hoje eu pudesse estar aqui vencendo mais um desafio na minha vida;

Ao professor e orientador Dr. Edson José Paulino da Rocha, pela orientação neste trabalho e, principalmente, pela oportunidade a mim ofertada de me tornar uma profissional com qualificação;

A minha Co-orientadora Dra. Maria de Lourdes Souza Santos, pela sua fundamental importância na realização deste trabalho e principalmente pela amizade e paciência nos momentos difíceis;

Aos meus pais pelo grande apoio e encorajamento durante todos os anos de minha vida, em especial ao meu pai Wilson Veloso dos Santos, amigo, incentivador e grande amor;

Aos meus queridos irmãos, Júnior, Alessandro, Samuel e Luciano por me incentivarem sempre a alcançar meus objetivos;

Aos meus amados filhos; Rafael, Gabriel e Raquel, fontes de felicidade, amor e conforto;

À minha equipe do Laboratório de Controle de Resíduos (LCR), Igor Charles, Aldenor Queiroz, Marcus Miranda, André Saraiva, Rosiane do Rosário pela amizade e colaboração nas atividades de campo e de laboratório;

Aos meus amigos do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS) ao qual faço parte, sempre me ajudando a melhorar;

Ao Laboratório de Controle de Resíduos do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (LCR/GPHS), pelo suporte para realização das atividades da dissertação;

Ao Sistema de Proteção da Amazônia / Centro Técnico de Operações (SIPAM/CTO – Belém), por ter me acolhido, ajudado e disponibilizado infra-estrutura para o desenvolvimento desse trabalho

A equipe da Hidrologia do SIPAM-CTO Belém, Pedro Rolim, Tarcisio Schnaider, Juliana de Paula e Daniel Meninea, que deram suporte às discussões do capítulo da hidrologia;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPCA) da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA Amazônia Oriental, que iniciaram todo esse processo;

Ao Batalhão Ambiental de Belém (BPA), que sempre apoiou e viabilizou as coletas e campo do meu trabalho;

Aos dirigentes e funcionários da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), pelo subsídio com informações importantes;

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram com o meu trabalho, muito obrigada.

“...Água que o sol evapora, pro céu vai embora virar nuvens de algodão, gotas de água da chuva alegre arco-íris sobre a plantação, gotas de água da chuva tão tristes são lágrimas na inundação. Águas que movem moinhos são as mesmas águas que encharcam o chão e sempre voltam humildes pro fundo da terra, pro fundo da terra...”.

Guilherme Arantes (Planeta Água)

RESUMO

A Região Metropolitana de Belém é abastecida com água potável pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), que utiliza os mananciais do Utinga, lagos Bolonha e Água Preta, considerados os mais importantes da região, responsáveis pelo abastecimento de 75% dessa população. Os mananciais recebem diuturnamente contribuição das águas do rio Guamá, para manter seus níveis de água. A amostragem das águas (superficiais e fundo) foi feita em 12 pontos, 11 no lago Água Preta e 1 no lago Bolonha. Todas as coletas foram realizadas com o auxílio de uma garrafa hidrológica (Niskin). O trabalho teve como objetivo estudar os parâmetros abióticos como temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, N-amoniaco, fosfato, sólidos suspensos e transparência da água, para avaliar seu comportamento frente a sazonalidade e hidrologia nos lagos. As variáveis hidrológicas estudadas foram vazões de entrada e saída dos lagos, precipitação pluviométrica, variação dos níveis de água e variação dos volumes de água. A batimetria no lago Água Preta foi realizada para obter dados atuais de profundidades médias. Aos resultados foi aplicado um tratamento estatístico a fim de avaliar as relações entre os parâmetros estudados. Os parâmetros turbidez, cor aparente e sólidos suspensos tiveram concentrações mais elevadas no período de menor precipitação pluviométrica e apresentaram valores variando entre 4 e 59 UNT; 15 a 550 mg L⁻¹ Pt Co e 1 a 57 mg L⁻¹, respectivamente. A condutividade elétrica mostrou distribuição semelhante à dos parâmetros físicos analisados, com maiores concentrações no período de menor precipitação pluviométrica, e variou de 35,40 µS/cm⁻¹ a 149,70 µS/cm⁻¹. Os nutrientes estudados (nitrato, N-amoniaco e fosfato) apresentaram valores máximos de 1,4 mg L⁻¹, 1,34 mg L⁻¹ e 1,6 mg L⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: Hidroquímica. Batimetria. Lago Água Preta. Lago Bolonha.

ABSTRACT

Water for Belem's Metropolitan Area is supplied by COSANPA (Companhia de Saneamento do Pará), which uses the water source of the lakes Utinga, Bolonha and Água Preta. These lakes are considered the most important in the region, and are responsible for the provision of water to 75% of that population. These water sources receive continuously a contribution of waters from Guamá River in order to maintain their water level. The period of study was 12 months (feb/2006 to jan/2007), using 12 sampling points (surface and bottom), being 11 points in Água Preta Lake (point 1 to 11) and 1 point in Bolonha Lake (point 12). All samples were obtained using a hydrologic bottle (Niskin). The objective of this research is to study abiological parameters such as temperature, turbidity, apparent color, electric conductivity, pH, dissolved oxygen, nitrate, N-amoniacal, phosphate, solids in suspension and the water's transparency, in order to evaluate it's behavior related to the lake's seasonality and hydrology. The hydrological variables studied were input and output water flow, precipitation, water level variation and variation in the volume of waters. The batimetry in Água Preta Lake was accomplished to obtain current mean depth data.. A statistical treatment was applied to the results in order to evaluate the relationship between the studied parameters. Turbidity, apparent color and solids in suspension parameters reached higher concentrations in the period of minor precipitation and they presented values varying between 4 and 59 UNT; 15 to 550 mg L⁻¹ Pt Co and 1 to 57 mg L⁻¹, respectively. The electric conductivity presented a similar distribution when compared to the analyzed physical parameters, with higher concentrations in the period of minor precipitation, and it varied from 35,40 μ S / cm⁻¹ to 149,70 μ S / cm⁻¹. The studied nutrients (nitrate, N-amoniacal and phosphate) presented the maximum values of 1,4 mg L⁻¹, 1,34 mg L⁻¹ and 1,6 mg L⁻¹, respectively.

Keywords: Hydrochemistry. Batimetry. Água Preta lake. Bolonha lake.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|--------------|--|----|
| Figura 1 | Região Metropolitana de Belém..... | 38 |
| Figura 2 | Localização dos lagos Bolonha e Água Preta..... | 39 |
| Figura 3 | Bacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta..... | 41 |
| Figura 4 | Sistema de adução e captação de água dos lagos..... | 42 |
| Fotografia 1 | Sistema de adução e captação de água dos lagos..... | 43 |
| Fotografia 2 | Canal de ligação dos lagos Bolonha e Água Preta..... | 43 |
| Figura 5 | Geologia da Região de Belém e Ananindeua..... | 46 |
| Figura 6 | Localização dos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 49 |
| Fotografia 3 | Disco de SECCHI..... | 51 |
| Figura 7 | Transectos da batimetria do lago Água Preta..... | 54 |
| Fotografia 4 | Conjuntos Motor Bomba da EAB rio Guamá..... | 55 |
| Figura 8 | Precipitação pluviométrica média do período de fevereiro de 2006 a janeiro de 2007 e Normal climatológica do período de 1961 a 1990..... | 58 |
| Figura 9 | Variação dos níveis de água nos lagos Bolonha e Água Preta com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 60 |
| Figura 10 | Variação mensal dos parâmetros do Balanço de Água..... | 61 |
| Figura 11 | Variação da temperatura (°C) com a precipitação pluviométrica (mm) nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 65 |
| Figura 12 | Distribuição superficial da turbidez (UNT) com base na média obtida em cada ponto..... | 68 |
| Figura 13 | Distribuição vertical da média de turbidez (UNT) nos pontos de amostragem..... | 68 |
| Fotografia 5 | Aspecto da água do rio Guamá na entrada do lago Água Preta..... | 69 |
| Fotografia 6 | Aspecto da água na saída do sistema (entrada da ETA)..... | 69 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 14 | Variação da turbidez (UNT) com a precipitação pluviométrica (mm) nos lagos..... | 70 |
| Figura 15 | Distribuição superficial da cor aparente (mg L^{-1} Pt Co) com base na média obtida em cada ponto..... | 73 |
| Figura 16 | Distribuição vertical da média de cor aparente (mg L^{-1} Pt Co) nos pontos de..... | 73 |
| Figura 17 | Distribuição vertical da média de cor aparente (mg L^{-1} Pt Co) nos pontos..... | 74 |
| Figura 18 | Distribuição superficial da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) com base na média obtida em cada ponto..... | 76 |
| Figura 19 | Distribuição vertical da média de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos de amostragem..... | 77 |
| Figura 20 | Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) com a precipitação pluviométrica (mm) nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 77 |
| Figura 21 | Distribuição superficial do pH com base na média obtida em cada ponto..... | 79 |
| Figura 22 | Distribuição vertical da média de pH nos pontos de amostragem..... | 80 |
| Figura 23 | Variação do pH com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 80 |
| Figura 24 | Distribuição superficial do oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto..... | 83 |
| Figura 25 | Distribuição vertical da média de oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem..... | 84 |
| Figura 26 | Figura 26 - Variação do oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 84 |
| Figura 27 | Distribuição superficial do nitrato (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto..... | 87 |
| Figura 28 | Distribuição vertical da média de nitrato (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem..... | 87 |
| Figura 29 | Variação do nitrato (mg L^{-1}) com a precipitação | |

| | | |
|-----------|--|-----|
| | pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 88 |
| Figura 30 | Distribuição superficial do N-amoniacoal (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto..... | 91 |
| Figura 31 | Distribuição vertical da média de N-amoniacoal (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem..... | 91 |
| Figura 32 | Variação do N-amoniacoal (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 92 |
| Figura 33 | Distribuição superficial do fosfato (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto..... | 95 |
| Figura 34 | Distribuição vertical da média de fosfato (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem..... | 96 |
| Figura 35 | Variação do fosfato (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 96 |
| Figura 36 | Distribuição superficial de sólidos suspensos (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto..... | 99 |
| Figura 37 | Distribuição vertical da média de sólidos suspensos (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem..... | 99 |
| Figura 38 | Variação dos sólidos suspensos (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)..... | 100 |
| Figura 39 | Distribuição dos valores médios mensais de transparência nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2007 a janeiro de 2007)..... | 101 |
| Figura 40 | Distribuição superficial de transparência da água (m) com base na média obtida em cada ponto..... | 102 |
| Figura 41 | Carta Batimétrica do lago Água Preta..... | 103 |
| Figura 42 | Curva chave cota volume 1983 e 2006..... | 104 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabela 1 | Parâmetros determinados, princípios do método, equipamento e referências..... | 58 |
| Tabela 2 | Precipitação pluviométrica (Prp), vazões de entrada (I) e saída (Q) e variações de vazão e volume dos lagos Bolonha e Água Preta (dv/dt)..... | 69 |
| Tabela 3 | Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) de temperatura (°C) nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 70 |
| Tabela 4 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) da turbidez (UNT) nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 73 |
| Tabela 5 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão da cor aparente (mg L-1P t Co) nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 78 |
| Tabela 6 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 81 |
| Tabela 7 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de pH nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 84 |
| Tabela 8 | Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) de oxigênio dissolvido nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 88 |
| Tabela 9 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de nitrato nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 92 |
| Tabela 10 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de N-amoniaco nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 96 |
| Tabela 11 | Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão de fosfato nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 100 |
| Tabela 12 | Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 104 |
| Tabela 13 | Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) da transparência nos lagos Bolonha e Água Preta..... | 106 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------------------|---|
| $\mu\text{S cm}^{-1}$ | Micro Siems por centímetro |
| ACP | Análise de Componentes Principais |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| BPA | Batalhão de Policia Ambiental |
| CETESB | Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental |
| CODEM | Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém |
| COSANPA | Companhia de Saneamento do Pará |
| CTO | Centro Técnico de Operações |
| E | Evaporação |
| EAB | Estação de Água Bruta |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| GPHS | Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento |
| I | Vazão de entrada |
| LCR | Laboratório de Controle de Resíduos |
| LI | Linha de Instabilidade |
| $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ | Metro cúbico por segundo |
| Mg L^{-1} | miligrama por litro |
| P | Precipitação |
| PAB | Parque Ambiental de Belém |
| PtCo | Platina Cobalto |
| Q | Vazão |
| RMB | Região Metropolitana de Belém |
| SIPAM | Sistema de Proteção da Amazônia |
| TSM | Temperatura da Superfície do Mar |
| Ts | Tempo de Sobrevida |
| UFPA | Universidade Federal do Pará |
| UNT | Unidade Nefelométrica de Turbidez |
| ZCIT | Zona de Convergência Intertropical |
| ΔQ | Varição entre a vazão de entrada e de saída |
| Dv/dt | Varição do volume em um determinado tempo |

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 | OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 | GERAL..... | 20 |
| 2.3 | ESPECÍFICOS..... | 20 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 3.1 | DEFINIÇÃO DE LAGOS..... | 21 |
| 3.2 | CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DE CORPOS D'ÁGUA..... | 23 |
| 3.2.1 | Temperatura da água medida em graus Celsius ($Mg L^{-1}$) | 24 |
| 3.2.2 | Turbidez medida em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT) .. | 25 |
| 3.2.3 | Cor Aparente medida em miligramas por litro de Platina Cobalto ($Mg L^{-1}$) | 25 |
| 3.2.4 | pH | 26 |
| 4.2.5 | Condutividade Elétrica em Micro Siems por centímetro ($\mu S cm^{-1}$) | 26 |
| 3.2.6 | Nitrato medido em Miligrama por Litro ($Mg L^{-1}$) | 27 |
| 3.2.7 | Nitrogênio Amoniacal medido em Miligrama por Litro ($Mg L^{-1}$) | 28 |
| 3.2.8 | Fosfato medido em Miligrama por Litro ($Mg L^{-1}$) | 28 |
| 3.2.9 | Oxigênio Dissolvido medido em Miligrama por Litro ($Mg L^{-1}$) | 29 |
| 3.2.10 | Sólidos Suspensos Totais em Miligrama por Litro ($Mg L^{-1}$) | 30 |
| 3.3 | VARIÁVEIS DO CICLO HIDROLÓGICO..... | 30 |
| 3.3.1 | Precipitação | 31 |
| 3.3.2 | Escoamento | 32 |
| 3.3.3 | Evaporação | 33 |
| 4 | ÁREA DE ESTUDO | 35 |
| 4.1 | HISTÓRICO DOS MANANCIASIS DO UTINGA..... | 35 |
| 4.2 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 37 |
| 4.2.1 | Rio Guamá | 39 |
| 4.2.2 | Lago Água Preta | 40 |
| 4.2.3 | Lago Bolonha | 40 |
| 4.2.4 | Clima | 44 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 4.2.5. | Cobertura Vegetal | 45 |
| 4.2.6 | Aspectos Geológicos | 45 |
| 4.2.7 | Aspectos Geomorfológicos | 47 |
| 4.2.8 | Recursos Hídricos | 48 |
| 5 | MATERIAL E MÉTODOS | 49 |
| 5.1 | ATIVIDADES DE CAMPO..... | 49 |
| 5.3 | LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS..... | 53 |
| 5.4 | VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS | 55 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 58 |
| 6.1 | VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS DOS LAGOS..... | 58 |
| 6.2 | TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)..... | 64 |
| 6.3 | TURBIDEZ (UNT)..... | 67 |
| 6.4 | COR APARENTE (Mg L ⁻¹ Pt Co)..... | 72 |
| 6.5 | CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (μS cm ⁻¹)..... | 75 |
| 6.6 | pH..... | 78 |
| 6.7 | OXIGÊNIO DISSOLVIDO (Mg L ⁻¹)..... | 82 |
| 6.8 | NITRATO (Mg L ⁻¹)..... | 86 |
| 6.9 | NITROGÊNIO AMONÍACAL (Mg L ⁻¹) | 90 |
| 6.10 | FOSFATO (Mg L ⁻¹) | 94 |
| 6.11 | SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (Mg L ⁻¹)..... | 98 |
| 6.12 | TRANSPARÊNCIA DO DISCO DE SECCHI (M)..... | 100 |
| 6.13 | BATIMETRIA..... | 102 |
| 7 | CONCLUSÕES | 105 |
| | REFERÊNCIAS | 108 |

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural insubstituível, pois constitui elemento imprescindível para o desenvolvimento de todas as formas de vida do planeta. Para a sociedade humana a água está diretamente associada ainda à saúde e ao conforto das populações.

No entanto, Rebouças (2004) comenta que parece paradoxal que apesar de a água ser tão familiar e reconhecidamente um componente essencial da estrutura e do metabolismo de todos os seres vivos, ela não seja o elemento melhor conhecido no planeta. As propriedades deste líquido permitem usos e funções múltiplas, essenciais para o modelo de desenvolvimento das sociedades humanas, destacando-se: abastecimento (consumo), irrigação, regulação térmica, produção de energia, navegação, diluição, meio para reações, pesca, aquicultura, transporte e tratamento de rejeitos (ANDREOLI; CARNEIRO, 2005).

O homem tem utilizado em suas atividades aproximadamente 2,5 vezes mais água que o volume disponível nos rios do planeta, esse fato tem obrigado a uma crescente necessidade de exploração de novas fontes hídricas em quase todas as regiões do planeta, como lençóis subterrâneos e criação de lagos para conservação e regularização da disponibilidade (PEGORINI; CARNEIRO; ANDREOLI, 2005).

Numerosos são os casos de ações voltadas para corrigir ou prevenir os impactos negativos resultantes da visão equivocada de que a água é um bem abundante e inesgotável, além da ausência de medidas conservacionistas e o uso inadequado dos recursos hídricos que trazem como consequência, a contaminação dos mananciais e escassez de água para abastecimento de cidades (CUNHA, 2003).

No Brasil, muitos ecossistemas lacustres e lagunas foram afetados com a dinâmica da urbanização em suas bacias de drenagem. As lagoas Rodrigo de Freitas, Araruama e Saquarema, no Rio de Janeiro, a lagoa da Conceição, em

Florianópolis, as lagoas de Mundáu e Manguaba, em Maceió, as lagoas de Vargem das Flores e Pampulha, em Belo Horizonte e o lago Paranoá em Brasília são alguns exemplos, dentre muitos outros de ecossistemas aquáticos continentais, que sofrem a pressão da ocupação urbana (RIBEIRO, 1992).

Em Belém, os lagos Água Preta e Bolonha constituem os principais mananciais de água superficial para o abastecimento público da Região Metropolitana, composta ainda pelos municípios de Ananindeua, Santa Barbara Benevides e Marituba, atendendo a aproximadamente 75% da população. Ambos os lagos, foram formados por meio de construções de barragens na década de 30, sendo alimentados por pequenas drenagens e por água bombeada do rio Guamá. Esses mananciais correm riscos de eutrofização, em decorrência de estarem situados num ambiente vulnerável à pressão da ocupação urbana e ao lançamento de efluentes domésticos e industriais (CENSA/COSANPA, 1983; RIBEIRO, 1992; MORALES et al. 2002).

Embora apresentem volumes de água apreciáveis, esses lagos não são capazes de abastecer toda a cidade, tornando-se necessária a execução de adução das águas do rio Guamá, o que provoca algumas mudanças no ecossistema (RIBEIRO, 1992). Muitos trabalhos de pesquisa voltados para estudos ambientais vêm sendo desenvolvidos há algum tempo nesses lagos da Região Metropolitana de Belém, tanto pelas universidades como também por órgãos governamentais (CODEM, 1987; DIAS, 1991; MAZZEO, 1991).

Para melhor compreensão dos processos de modificação ou degradação ambiental desses mananciais, pesquisadores estudaram variáveis limnológicas como cor, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, cloreto, nitrato e N-amoniaco das águas desses ambientes lacustres (CARNEIRO; GERALDO, 2000). Estas variáveis limnológicas em um ambiente aquático podem fornecer um diagnóstico de suas condições ecológicas, assim como, auxiliar no entendimento da dinâmica das comunidades e levantar questões relevantes quanto aos mecanismos de respostas do sistema aos estímulos internos e externos, naturais ou antrópicos.

Ribeiro (op. cit.) desenvolveu um trabalho correlacionando dados físicos, físico-químicos, químicos, bioquímicos, hidrobiológicos e geoquímicos na tentativa de descrever a situação da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a hidrologia dos mananciais (lagos Água Preta e Bolonha), a morfologia de fundo do lago Água Preta, e distribuição dos parâmetros abióticos (transparência, cor aparente, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, pH, sólidos suspensos, nitrato, N-amoniaco e fosfato) a fim de apresentar respostas atuais sobre as características desse ecossistema.

As informações científicas obtidas nesse trabalho podem representar uma ferramenta de suporte às ações que visem o melhoramento das condições da vida útil dos mananciais estudados e que fomentem a integração de ações governamentais e do poder público para prevenir ou corrigir processos degradantes na área, com vistas à correta gestão desses ecossistemas, pela sua grande importância social e ambiental e econômica.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o comportamento hidroquímico da água dos lagos Bolonha e Água Preta durante o ciclo hidrológico. Correlacionar as distribuições dos parâmetros abióticos; temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, N-amoniaco, fosfato, transparência e sólidos suspensos às variáveis hidrológicas do lago avaliando seu comportamento.

2.2 ESPECÍFICOS

- ✘ Estudar a distribuição espacial e temporal dos parâmetros abióticos; temperatura, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido, nitrato, N-amoniaco, fosfato, transparência e sólidos suspensos a fim de avaliar as características dos lagos em estudo;
- ✘ Avaliar os parâmetros abióticos frente às variações dos níveis de água nos lagos;
- ✘ Elaborar carta batimétrica do lago Água Preta;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEFINIÇÃO DE LAGO

Um lago é definido como corpo d'água sem ligação direta com o mar e suas águas têm em geral baixo teor de íons dissolvidos quando comparadas às águas oceânicas. Não são elementos permanentes da paisagem por serem fenômenos de curta durabilidade na escala geológica, portanto surgem e desaparecem no decorrer do tempo. O seu desaparecimento está ligado a vários fenômenos dentre os quais os mais importantes são: o seu próprio metabolismo como, por exemplo, o acúmulo de matéria orgânica no sedimento e a deposição de sedimentos transportados por afluentes. Somente 3% da superfície total da Terra é ocupado por lagos (ESTEVES, 1998).

O mesmo autor comenta que não raramente limnólogos encontram muita dificuldade para diferenciar um lago de uma lagoa, como ponto de partida para esta diferenciação pode-se tomar a profundidade da bacia lacustre e a profundidade que alcança a região iluminada na coluna d'água. Como lagoa pode-se considerar os corpos d'água rasos, de água doce, salobra ou salgada, em que a radiação solar pode alcançar o sedimento, possibilitando, conseqüentemente, o crescimento de macrófitas aquáticas em toda a sua extensão.

Os lagos como qualquer outro corpo hídrico, são de fundamental importância para os homens e animais, uma vez que, suas águas estão presentes nas mais variadas atividades humanas, como por exemplo, na captação de água para irrigação, atividades industriais, lazer e recreação, além de representar uma importante fonte de água potável (BERNER ; BERNER, 1996). Os lagos brasileiros, em maioria, são influenciados pela hidrodinâmica dos rios de médio e grande porte (Amazonas e seus tributários, Paraguai, Doce, São Francisco) uma vez que grande parte destes estão localizados nas planícies ao longo de suas bacias.

Na maioria dos casos a origem destes lagos está ligada aos próprios processos fluviais (VON SPERLING, 1999). Segundo o autor os lagos de origem fluvial são classificados em três tipos: lagos de barragem, lagos de meandro e lagos de inundação. No Brasil, em especial na Amazônia, pode-se encontrar em grande número, os três tipos mencionados. Lagos de barragem se formam quando o rio principal transporta grande carga de sedimentos que é depositada ao longo de seu leito; esta deposição provoca uma elevação do nível do seu leito causando o represamento de seus tributários então transformados em lagos. Entre os lagos mais conhecidos estão: os lagos Duas Bocas, Comprido, Mutuco, Cajubim e Novo.

É característica peculiar aos lagos, grande produção fitoplanctônica e macrofítica que é impulsionada principalmente pela entrada de elementos nutritivos transportados pelos rios em suas bacias durante as altas águas (ESTEVES, 1998).

No Brasil as represas e açudes são formados principalmente pelo represamento de rios para atender objetivos de abastecimento de água, regularização de cursos, geração de energia elétrica, irrigação, navegação e recreação entre outros. Os lagos artificiais brasileiros recebem várias denominações como açudes, represas, reservatórios, que são sinônimos, uma vez que estes ecossistemas tem a mesma origem e finalidade (ESTEVES, op.cit). Dependendo de suas características hidráulicas, especialmente o tipo e tomada de água da barragem, as represas (reservatórios, açudes ou lagos artificiais) apresentam grande instabilidade limnológica, a variação do nível da água é muito mais intensa que em lagos naturais devido aos aspectos operacionais inerentes ao funcionamento das represas.

As diferenças se estendem também à estratificação térmica (natural em lagos e irregular em represas) e conseqüentemente à dinâmica de nutrientes e de outros compostos químicos. Em lagos naturais predominam gradientes verticais, ao passo que em represas ocorrem mais freqüentemente gradientes horizontais (VON SPERLING, op.cit.).

3.2 CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DE CORPOS D' ÁGUA

O propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública. Os critérios adotados para assegurar essa qualidade têm por objetivo fornecer base para o desenvolvimento de ações que, se propriamente implementadas junto à população, garantirão a segurança do fornecimento de água através da eliminação ou redução à concentração mínima de constituintes na água conhecidos por serem perigosos à saúde. A qualidade da água de um corpo d'água pode ser influenciada por diversos fatores e, dentre eles, estão o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o tipo, o uso e o manejo do solo da bacia hidrográfica (VAZHEMIN, 1972)

Segundo Arcova et al. (1998), os vários processos que controlam a qualidade da água de determinado manancial fazem parte de um frágil equilíbrio, motivo pelo qual alterações de ordem física, química, biológica ou climática, na bacia hidrográfica, podem modificar a sua qualidade. Nas bacias com cobertura de floresta natural, a vegetação promove a proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes, sendo essas áreas muito importantes para manter o abastecimento de água de boa qualidade. Por outro lado, as práticas que se seguem após a retirada das árvores tendem a produzir intensas e prolongadas alterações da qualidade da água (SOPPER, 1975). Para Margalef (1983), os sistemas aquáticos são receptores das descargas resultantes das várias atividades humanas nas bacias hidrográficas.

Como as áreas florestadas não perturbadas são a melhor condição desejada, do ponto de vista da proteção dos recursos hídricos. O monitoramento hidrológico das microbacias com vegetação natural remanescente serve como referência para a comparação com outras microbacias impactadas e diversos estudos já foram realizados nesse sentido (PINEDA ; SCHAFER, 1987; ARCOVA; CICCIO, 1999; SOUZA; TUNDISI, 2000; PRIMAVESI et al., 2002, MORAES et al, 2006).

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é de aceitação internacional, não apenas porque ela representa uma unidade física bem caracterizada, tanto do ponto de vista de integração como da funcionalidade de seus elementos, mas também porque toda área terrestre, por menor que seja, se integra a uma bacia (PISSARRA, 1998).

Nesse contexto, o uso de indicadores físico-químicos de qualidade (parâmetros abióticos) da água consiste no emprego de variáveis que se respondem às alterações ocorridas na microbacia, sejam de origem antrópica ou natural.

3.2.1 Temperatura da água medida em Graus Celsius (°C)

A temperatura influencia diretamente na respiração dos organismos como em outros processos oxidativos (por exemplo, decomposição da matéria orgânica por outros microorganismos) (ESTEVES, 1998).

A temperatura de águas superficiais resulta principalmente das condições climáticas, da profundidade e da hora do dia, e afetam diretamente muitas das características físicas, químicas e biológicas da água, influenciando no retardamento ou aceleração da atividade biológica, na absorção de oxigênio, na precipitação de compostos, na formação de depósitos, nos processos de mistura (WAICHMAN, 2002).

Segundo Menezes (1999), temperaturas acima de 33°C provocam alterações nas reações químicas e biológicas, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos e intensificando sabores e odores.

3.2.2 Turbidez medida em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT)

A turbidez é a redução da transparência de uma amostra devido à presença de material em suspensão (CETESB, 2005), ou seja, a turbidez é o inverso da transparência. Estes materiais em suspensão podem ser argilas, sílica, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida ou ainda microorganismos microscópicos. Geralmente localidades, cujos mananciais para abastecimento são rios ou outras fontes de águas superficiais, requerem floculação química pela elevada turbidez, como é o caso de Belém (MENEZES, 1999).

Segundo Waichman (2002), a turbidez pode ser causada pela erosão do solo, entrada de efluentes, ou crescimento de algas entre outros. A turbidez elevada pode obstruir a entrada dos raios solares em um determinado ecossistema aquático, reduzindo a fotossíntese do fitoplâncton, vegetação submersa enraizada, e algas, provocando um menor desenvolvimento destas (CETESB, op cit.).

3.2.3 Cor medida em Miligrama por litro de Platina Cobalto ($\text{mg L}^{-1} \text{Pt Co}$)

Em ambientes aquáticos existem dois tipos de cores; a cor aparente e a cor real. A primeira é conferida à amostra por substâncias dissolvidas e em suspensão. (CETESB, op.cit). A cor real é aquela em que já foram removidas da amostra tudo que conferem pigmentação à água, e se incluem nesse grupo materiais minerais ou orgânicos em solução coloidal. A cor pode ser causada por compostos metálicos como o ferro ou manganês ou ainda materiais húmicos, taninos, algas, plantas aquáticas e resíduos orgânicos ou inorgânicos industriais, como por exemplo, as indústrias de papel e celulose, refinarias e outras (WAICHMAN, 2002).

3.2.4 pH

Este parâmetro representa a concentração de íons hidrogênio H^+ , dando uma condição de acidez, neutralização ou alcalinidade da água. Sua condição natural reflete a dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese. Despejos domésticos e industriais podem alterar os valores de pH (VON SPERLING, 1996). Geralmente o pH fica entre 4 e 9, em águas naturais. Na maioria das vezes o pH é alcalino (devido a presença de carbonatos e bicarbonatos).

Quando surgem valores acima da faixa citada pode ser atribuída a presença de rejeitos industriais ácidos, embora valores elevados, como por exemplo, 11,7 tenham sido observados em certas fontes, mesmos sendo registrados em áreas desérticas (RIBEIRO, 1992). O pH é um dos parâmetros decisivos na mobilidade dos elementos em solução, e explica a pouca mobilidade de alguns elementos em ambientes alcalinos em comparação com ambientes ácidos. Segundo Fenzl (1986) a maioria dos íons metálicos formam cátions em águas ácidas e precipitam na forma de hidróxidos ou sais básicos.

As águas passam por solos, subsolo e rochas, provocando a dissolução das mais variadas substâncias químicas, as quais irão determinar o valor do pH destas águas, por esta razão, Ribeiro (op.cit) afirma que o pH das águas naturais reflete, até certo grau, a natureza geológica e a composição geoquímica do solo e subsolo. Portanto, águas muito ácidas podem provocar a intensificação do processo de intemperismo químico das rochas.

3.2.5 Condutividade Elétrica em Micro Siemes por centímetro ($\mu S\text{ cm}^{-1}$)

Segundo Esteves (1988), a condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir a corrente elétrica. Considerando-se que essa capacidade é função da concentração dos íons presentes, é de se esperar que em

soluções de maior concentração iônica seja maior a condutividade elétrica. O fator que determina a condutividade é a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions.

Esse parâmetro fornece uma boa indicação da composição das águas, especialmente na sua concentração mineral, porém não indica as quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade elétrica aumenta. Altos valores de condutividade elétrica podem indicar características corrosivas da água, o que pode ser decorrente de lançamentos de despejos industriais e esgotos domésticos (NASCIMENTO, 1995).

3.2.6 Nitrato medido em Miligrama por Litro (mg L^{-1})

Representa o produto final da mineralização da matéria orgânica nitrogenada. Praticamente toda a água na natureza encerra traços de nitrato, por via aeróbia, cujo teor pode aumentar com o incremento da poluição por matéria orgânica, ou devido à aplicação excessiva de fertilizantes que são parcialmente carregados pelas águas de infiltração do solo.

Nas águas superficiais, a menos que haja poluição excessiva, raramente sua taxa vai acima de 5 mg L^{-1} , teores acima desse valor demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte do nitrato são os dejetos humanos, os nitratos estimulam o desenvolvimento das plantas e organismos aquáticos (OGERA, 1995).

O nitrato está associado à meta hemoglobinemia, uma doença que atinge principalmente crianças e se caracteriza pela falta de ar devido à substituição do oxigênio transportado pela hemoglobina, pelo nitrito originário do nitrato presente em águas de abastecimento (SAWYER; Mc CARTY; PARKIN, 1994).

3.2.7 Nitrogênio Amoniacal medido em Miligrama por Litro (mg L^{-1})

É a forma mais reduzida do nitrogênio e é o primeiro composto produzido na degradação da matéria orgânica. O termo nitrogênio amoniacal abrange as concentrações das formas do nitrogênio como amônia (NH_3), forma não ionizada e como amônio (NH_4^+), forma ionizada. No solo a matéria orgânica é decomposta por numerosos grupos de bactérias e fungos, inicialmente ocorre o processo de amonificação com a digestão enzimática das proteínas e liberação de aminas e aminoácidos; a seguir ocorre o processo de amonificação onde essas formas são hidrolisadas e liberam compostos amoniacais (APHA et al., 1995).

O processo de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática (DIAS; ÁLVAREZ, 1996). A amônia é um tóxico bastante restritivo à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg. L^{-1} . Além disso, como visto anteriormente, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é importante parâmetro de classificação das águas naturais e normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade de água.

3.2.8 Fosfato medido em Miligrama por Litro (mg L^{-1})

Pode ser proveniente de adubos, a base de fósforo, ou da decomposição de materiais orgânicos e esgoto. O fósforo assim como o nitrogênio é essencial ao crescimento de todos os seres vivos. Em corpos d'água são elementos fundamentais para o controle das taxas de crescimento de algas e cianobactérias (SAWYER; Mc CARTY; PARKIN, 1994). Os compostos de fósforo podem estar nas águas sob as formas de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico.

Os ortofosfatos têm como origem os fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura, os polifosfatos são provenientes de despejos de esgotos domésticos e de alguns despejos industriais que utilizam detergentes sintéticos à base de polifosfatos. Segundo Esteves (1988), na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas. Podem originar-se de numerosas descargas industriais.

3.2.9 Oxigênio Dissolvido medido em Miligrama por Litro (mg L^{-1})

O oxigênio dissolvido (OD) tem sido utilizado tradicionalmente para a determinação do grau de poluição e de autodepuração em cursos de água. Em virtude de sua pouca solubilidade as águas, de maneira geral, possuem baixas quantidades de oxigênio dissolvido, enquanto que no ar atmosférico sua concentração é da ordem de 270 mg L^{-1} . Na água nas condições normais de temperatura e pressão, sua concentração se reduz à aproximadamente 9 mg L^{-1} . Desta forma qualquer consumo em maior quantidade traz sensíveis repercussões quando ao teor de OD na massa líquida (VON SPERLING, 1996).

Segundo Esteves (op cit), dentre os gases dissolvidos na água o oxigênio (O_2) é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos.

As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese, por outro lado as perdas são o consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, como o ferro e o manganês. O déficit de oxigênio dissolvido em lagos amazônicos são muito freqüentes, principalmente à noite (JUNK, 1983).

3.2.10 Sólidos Suspensos Totais medidos em Miligrama por Litro (mg L^{-1})

Sólidos suspensos totais são todos os sólidos presentes nas águas residuárias, exceto os solúveis e em estado coloidal. Nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação e secagem da amostra a uma temperatura entre 103° e 105°C durante um tempo fixado (SILVA; SAVI, 2002). Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Águas com teor elevado de sólidos não são convenientes para usos domésticos.

3.3 VARIÁVEIS DO CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o movimento global de circulação da água entre os oceanos, a atmosfera e a superfície terrestre. Embora alguns de seus processos sejam influenciados pela gravidade e pela erosão terrestre, a energia que dá origem a esse ciclo provém da radiação solar, que é transformada em temperatura, vapor de água, ventos, correntes marítimas e escoamento na superfície terrestre.

Como a quantidade de energia solar que atinge o planeta varia com a latitude e época do ano, o ciclo hidrológico é marcado pela variabilidade temporal de um ciclo anual, caracterizada pelas estações quente, fria, seca e chuvosa. Além disso, o ciclo hidrológico também está sujeito a outras variações temporais aleatórias de origem natural (ROLAND; CESAR; MARINHO, 2005).

Recentemente também se observa no clima os resultados das mudanças produzidas pelo homem, como desmatamento, a urbanização, o reflorestamento e o lançamento de gases na atmosfera (MARENGO; SOARES, 2003).

As principais variáveis que fazem parte do ciclo hidrológico são a precipitação, a infiltração de água no solo, o escoamento superficial, o escoamento subterrâneo, a evaporação direta de superfícies líquidas e a transpiração das plantas. O ciclo pode ser definido segundo a equação 1.

$$P = Q + E + \Delta V$$

(1)

Onde;

P = Precipitação;

Q = Escoamento;

E = Evaporação;

ΔV = Variação de armazenamento;

A variação de armazenamento expressa as diferenças entre a água armazenada em aquíferos no início e no final de um determinado intervalo de tempo. O regime hidrológico da bacia é determinado pela variabilidade climática, que modula a precipitação, principal variável do ciclo hidrológico.

3.3.1 Precipitação

A precipitação pode assumir diversas formas para a hidrologia, apenas chuva e neve são os elementos mais considerados nos estudos ambientais (ROQUE E SANSIGOLO, 2001). A chuva é o principal elemento da maioria dos projetos hidrológicos. Os problemas de engenharia relacionados com a hidrologia são, em sua grande maioria, consequência de chuvas de grande intensidade ou volume e da ausência de chuva em longos períodos de estiagem. Chuvas de grande intensidade podem causar danos à agricultura e a estrutura de barragens.

Segundo estes autores, a ausência de chuvas por longos períodos reduz a vazão dos rios, causando a diminuição do nível dos reservatórios. Vazões reduzidas devido à falta de chuva trazem danos ao ambiente do curso d'água, além de reduzir a água disponível para diluição de poluentes. A diminuição do nível dos lagos e lagoas reduzem a disponibilidade da água para usos como: abastecimento, irrigação e geração de energia.

A disponibilidade de precipitação em uma bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A determinação da intensidade da precipitação é importante para o controle de inundação e a erosão do solo. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (ROQUE; SANSIGOLO, op. cit)

As características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial. O total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração. Por exemplo, 100 mm pode ser pouco em um mês, mas é muito em um dia ou, ainda mais, em uma hora. A ocorrência da precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência.

O tratamento dos dados de precipitação para grande maioria dos problemas hidrológicos é estatístico. Os vapores de água contidos na atmosfera constituíram um reservatório potencial de água que, ao condensar-se, possibilita a ocorrência das precipitações. A origem das precipitações está ligada ao crescimento das gotículas nas nuvens, o que ocorre quando forem reunidas certas condições. Efetivamente, muitas vezes existem nuvens que não produzem chuvas, o que evidencia a necessidade de processos que desencadeiem a precipitação (DIAS; KELMAN, 1987).

3.3.2 Escoamento

Das fases do ciclo hidrológico o escoamento superficial é a que trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Como já foi visto a existência de água nos continentes é devida à precipitação. Assim, da precipitação que atinge o solo, parte fica retida quer seja em depressões, quer seja como película em torno de partículas sólidas (ROQUE; SANSIGOLO, 2001).

Segundo o autor, quando a precipitação já preencheu as pequenas depressões do solo, a capacidade de retenção da vegetação foi ultrapassada e foi excedida a taxa de infiltração assim, começa a ocorrer o escoamento superficial. Inicialmente, formam-se pequenos filetes que escoam sobre a superfície do solo até se juntarem em corredeiras, canais e rios. O processo do escoamento inclui uma série de fases intermediárias entre a precipitação e o escoamento em rios. Fatores como tipo de vegetação, tipo de solo, condições topográficas, ocupação e uso do solo, são fatores que determinam a relação entre vazão e precipitação (ROQUE; SANSIGOLO, op. cit).

3.3.3 Evaporação

A evaporação em lagos é considerada como “perda” pelos planejadores de recursos hídricos, sendo necessário fazer sua estimativa tanto na época do projeto quanto ao longo do período de operação de um lago (DIAS; KELMAN, 1987).

O desenvolvimento de métodos confiáveis para estimativa da evaporação em lagos, baseados em informações climatológicas de fácil obtenção, ainda é um desafio.

A maioria dos métodos atualmente disponíveis estima a evaporação a partir de observações de temperatura, umidade, velocidade do vento e radiação solar, ou usa as medidas de evaporação feitas em tanques instalados em estações meteorológicas situadas no ambiente terrestre (ROQUE; SANSIGOLO, 2001).

Os modelos disponíveis para estimar a evaporação em lagos normalmente são divididos, em termos práticos, em duas classes: os que utilizam equações baseadas em informações climatológicas para a predição da evaporação, como os modelos propostos por Morton (1983a), Linacre (1993) e Kohler, Nordessem; Fox (1955), entre outros, e os que empregam medidas de tanques de evaporação.

As variações que ocorrem durante os processos de estimativas da evaporação indicam que os lagos criam condições ambientais próprias, que diferem daquelas do ambiente terrestre, sobretudo em diferentes tipos de clima.

A obtenção da evaporação sobre um lago pelo método do balanço de energia, conceitualmente, é de simples aplicação, ou seja, para um dado sistema durante um determinado tempo o ganho de energia menos a perda deve ser igual ao armazenamento. Um dos principais problemas na utilização de modelos climatológicos na estimativa da evaporação é a escassez de dados climatológicos sobre a superfície do lago, fazendo-se uso das informações climatológicas de estações situadas no ambiente terrestre e, portanto, não representativas do ambiente sobre o lago (DIAS, KELMAN, op.cit).

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 HISTÓRICO DOS MANANCIAIS DO UTINGA

A problemática do abastecimento de água de Belém vem desde o início da colonização através dos poços e bacias públicas ou particulares, como cita Cruz (1944). Escreve Baena (1839), em seu "Ensaio Corográfico sobre o Pará" que, acima do sítio Tapanã, não longe do igarapé denominado Domingús, cujo nome provinha de um antigo morador daquelas paragens, o índio Domingos, existiu uma fonte de água cristalina, da qual bebiam os capitães gerais. O precioso líquido era transportado diurnamente para Belém, em barris acondicionados nas canoas que faziam o tráfego entre Fortaleza da Barra e Miramar.

Segundo o mesmo autor, as crônicas dessa época mencionam a existência de dez poços públicos, sendo, seis de pedra e quatro forrados de madeira, fora estes, haviam os poços particulares que eram por seus proprietários, muitas vezes, franqueados ao público. Os manuscritos da antiga Câmara Municipal falam de um trecho da cidade, denominado "travessa do poço do Bispo" (atual Travessa Dr. Moraes entre as Avenidas Conselheiro Furtado e Gentil Bittencourt), assim, teria existido um poço de serventia dos religiosos, antes de ser adaptado o terreno que lhe ficava à frente, para o cemitério municipal, hoje Soledade (CRUZ, op.cit).

Em julho de 1865, o serviço passou à responsabilidade do Tesouro Provincial. Quatro anos mais tarde, em 1869, foi firmado o primeiro contrato para o fornecimento de água canalizada para a cidade de Belém, entre o Presidente Conselheiro José Bento da Cunha Figueiredo e o Coronel João Augusto Corrêa. Todavia, esse contrato foi rescindido antes que as obras tivessem sido iniciadas. A essa altura, dois mananciais, de Ananindeua e Marituba, já haviam sido objeto de estudos e concluída a aprovação dos mesmos para o abastecimento de Belém. (IDESP, 1991).

A inevitável poluição desses mananciais, devido aos efluentes urbanos, determinou a transferência das fontes de abastecimento d' água para as novas estradas paralelas à de São Braz (CODEM, 1987). Foi a partir de 1881 com a criação da Companhia das Águas do Grão-Pará, que foram demarcadas as áreas de desapropriação visando à conservação dos mananciais do Utinga. Após estudos realizados pela comissão de engenheiros nomeada pelo presidente Dr. Gama Malcher, ficou reconhecido que esta fonte (Utinga) poderia suprir a necessidade atual de água, por isso foi aceito como principal manancial da empresa (CRUZ, 1944).

A Companhia deu logo início aos trabalhos de canalização e enquanto prosseguia nos trabalhos de assentamento dos canos e construção dos tanques, o público continuava a servir-se não só dos poços do Paul d'água, como também daqueles espalhados pela cidade para serventia geral. Inaugurava-se o serviço permanente de abastecimento d'água potável, por meio de canalização. Já no início do século atual, o Utinga já apresentava insuficiência para atender à demanda, por isso, em 1931, iniciou-se as obras de construção do canal Yuna, objetivando liga-lo as nascentes do igarapé Água Preta.

A construção da estação de tratamento de águas no local, foi concluída a 11 de maio de 1936 e com a captação das águas por meio de galerias subterrâneas e a construção de uma represa na bacia e de muros ao longo da vala que conduz as águas das três nascentes (Utinga, Bossuiguara e Catú) evitando contato com as águas do igapó; instalação da bomba recalque para captar água do rio Guamá e completar o abastecimento que o sistema de lagos do Utinga já não atendia na fase de estiagem; em 1968, ampliação da capacidade de bombeamento, agregando outro sistema de bombas e aumento do diâmetro da adutora entre o Guamá e o Utinga.

A partir de 1980 iniciaram-se as obras de grande porte no sistema de captação do Utinga, para garantir o abastecimento até o ano 2000, hoje o sistema conta com mais um projeto de ampliação para garantir água para os próximos 12 anos tendo em vista o crescimento populacional na região metropolitana de Belém (AGUIAR, 2004).

4.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Belém está situada a 1°30' de latitude sul e 48°30' de longitude oeste GWR, no vértice do estuário guajarino no ponto de encontro das influências marítimas da Baía de Guajará e fluviais do rio Guamá (RIBEIRO, 1992). O estuário guajarino é um ambiente fluvial com influências marinhas, forma-se na confluência dos rios Pará, Acará e Guamá, este limitando a área sul, dando origem à Baía de Guajará que a norte confunde-se com a Baía de Marajó. A Região Metropolitana de Belém (RMB)(Figura 1) com uma área total de 1.819 km² é formada pelos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Santa Bárbara e Benevides, e se encontra a uma altitude média de 15 metros em relação ao nível do mar (FARIAS; NASCIMENTO; FERREIRA, 1992). A área fisiográfica do Utinga (incluída a área metropolitana de Belém está localizada no quadrante 48°11'00" GWR e 1°21'32" e 1°24'54" latitude sul (DIAS, 1991).

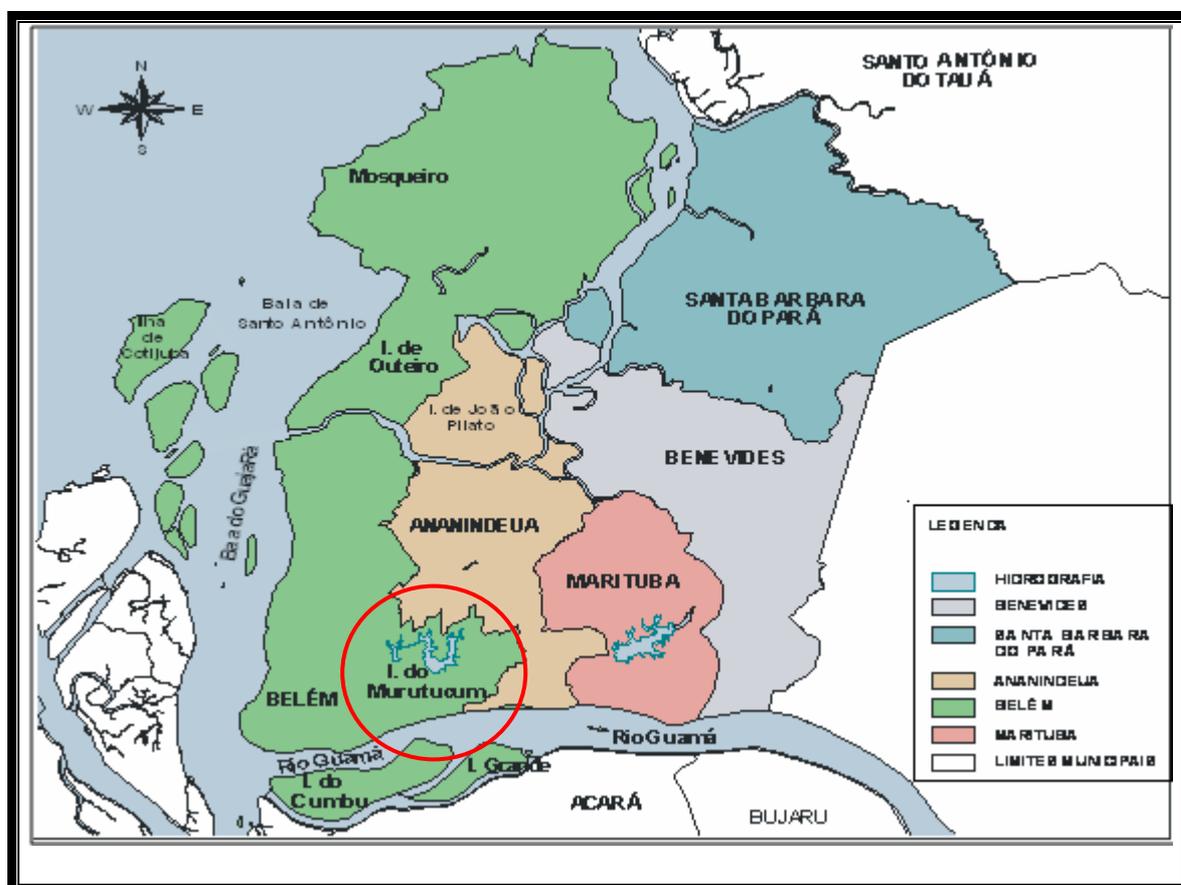


Figura 1 - Região Metropolitana de Belém
Fonte: Pereira (2004)

Fazem parte da RMB os lagos Bolonha e Água Preta que são mananciais que a cidade dispõe para armazenamento de água, e estão localizadas na área do Utinga, foram formados pela barragem de algumas nascentes e igarapés dessa região. Os lagos Água Preta e Bolonha podem ser alcançados pela Rua Utinga e seu prolongamento através das estradas Moça Bonita e Águas Lindas, que são seus principais acessos. A Rua Utinga se inicia na Avenida Almirante Barroso, em frente ao colégio Lauro Sodré; seu prolongamento passa próximo à Estação de Tratamento de Água (ETA), segue para leste até o lago Água Preta.

A estrada Águas Lindas, inicia-se no Km 05 de Rodovia BR 316, direciona-se para sul até as proximidades do Aterro Sanitário do Aurá, de onde segue para sudoeste até alcançar o represamento do lago Água Preta. Outro acesso é a estrada Moça Bonita, que, a partir do Km 02 da Rodovia BR 316, direciona-se para sul pelo divisor entre os lagos até o prolongamento da Rua Utinga (CONCEIÇÃO, 1995). Pode se observar a localização dos lagos Bolonha e Água Preta na Figura 2.



Figura 2 - Localização dos lagos Bolonha e Água Preta.
Fonte : Lago... (2007)

4.2.1 Rio Guamá

O rio Guamá, afluente do rio Pará, tem 700 km de extensão. Nasce na Serra dos Coroados, correndo em direção Sul – Norte até a cidade de Ourém, situada em sua margem direita. Seguindo para Oeste, encontra-se com o rio Capim. É navegável por pequenas embarcações até sua primeira cachoeira, a 225 km de Belém. Na foz, na Baía do Guajará, atinge 900 m de largura, e é de fundamental importância, não somente no abastecimento de água para esta cidade como também no seu aspecto hidrológico (RIBEIRO, 1992).

Esse rio traz das regiões de suas cabeceiras pouca quantidade de sedimentos em suspensão, pois se trata de rio de água clara. No seu curso baixo, porém, as marés empurram a água turva e barrenta do estuário Guajará (do rio Pará) para dentro do rio Guamá. Muitos desses sedimentos suspensos são providos de regiões geológicas diferentes, dos cursos superiores do Amazonas com certos afluentes e do sistema fluvial do rio Tocantins e com as águas desses rios, são transportados até o Pará (SIOLI, 1951).

4.2.2 Lago Água Preta

O lago Água Preta é formado pelas bacias hidrográficas dos igarapés Catu e Água Preta, do qual recebe o nome, sua área total é de 7.199.500 m², encontra-se em grande parte (6.331.850 m²) nas terras do Utinga, as quais pertencem a COSANPA, e em terras da EMBRAPA, o restante (867.650 m²) em áreas pertencentes a terceiros (CENSA/COSANPA, 1983). Considerado como principal lago que serve como fonte de abastecimento da cidade de Belém, teve sua ampliação em 1973 para reservar uma quantidade de 10.550.000 m³ apresentando uma lâmina de água de 3.116.868 m² de lâmina de água e 8,5m aproximadamente de profundidade máxima.

Existe no lago um sistema de comportas com função de controlar a saída de suas águas por gravidade até o lago Bolonha; o lago Água Preta é margeado em grande parte de seu trajeto por uma vegetação exuberante, característica da região amazônica, que colaboram para a sua proteção (RIBEIRO,1992). Possuem três nascentes localizadas nos fundos de um conjunto habitacional (Conjunto Tropical), área onde estão instaladas indústrias, clubes recreativos e imóveis de ocupação residencial. A área é de terceiros, com cerca de 1.800 metros além dos limites das terras do Utinga. Existem mais duas nascentes, uma localiza-se fora dos limites do Utinga dentro da propriedade da COSANPA (CENSA/COSANPA, 1983).

A bacia hidrográfica do lago Água Preta, também se encontra na região metropolitana de Belém, estendendo-se pela BR-316, “Águas Lindas” e EMBRAPA. Limita-se ao norte com a BR-316, ao sul com a barragem do lago e terras da área estudada (CENSA/COSANPA, op.cit.). Na Figura 3 pode ser observada a bacia hidrográfica na qual os lagos estão inseridos.

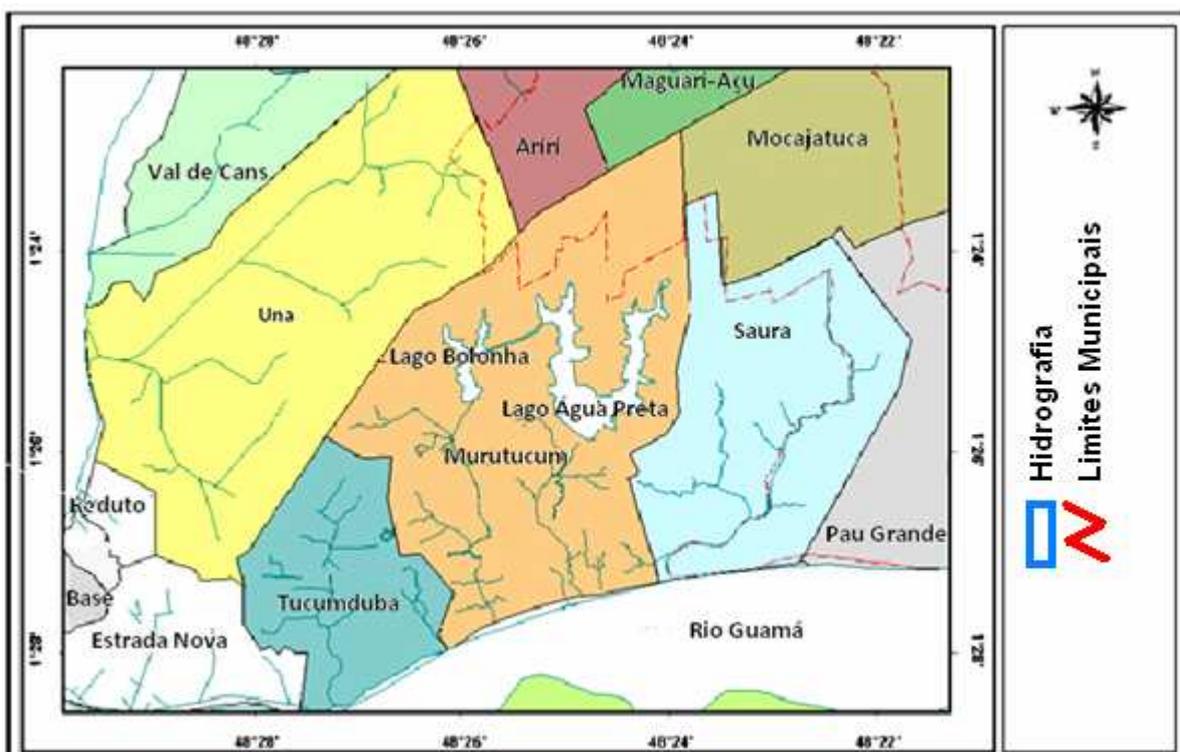


Figura 3 - Bacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta

Fonte: (SECTAM, 2006)

4.2.3 Lago Bolonha

Apresentando uma forma alongada, o lago Bolonha, com 2.100.000 m³ de água acumulada, 512.540 m² de lâmina d'água e profundidade máxima em torno de 7,64 m, é um dos mananciais que vem contribuindo ao longo do tempo, como fonte de água para o abastecimento da cidade de Belém (COSANPA, 1983). Com uma área total de 1.790.000m², o lago Bolonha, encontra-se em grande parte (1.664.130m²), nas terras do Utinga, as quais pertencem à Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) e o restante (133.870m²) em águas que pertencem a terceiros.

O lago Bolonha é margeado em grande parte de seu trajeto por uma vegetação com árvores de grande e médio porte característica da região amazônica, que colaboram para a preservação natural de suas águas(CENSA/COSANPA, 1983). A bacia hidrográfica do lago Bolonha encontra-se localizada na região metropolitana de Belém, entre a BR 316 e o limite da bacia hidrográfica do lago Água Preta, limitando-se ao Norte e a Leste: com terras do Hospital da Aeronáutica, da Assembléia Paraense, da fundação Pestalozzi, da Tuna Luso Brasileira, do Conjunto BASA, do DNER e cerca de 300 outros lotes pertencentes a terceiros (CENSA/COSANPA, op.cit).

Os lagos mantêm seus níveis de água devido a adução por meio de 04 bombas instaladas às margens do rio Guamá, o sistema de abastecimento tem inicio com captação de água do rio Guamá, onde existe uma estação elevatória de eixo vertical, cuja finalidade é captar água por meio de três adutoras, com diâmetros de 800mm, 1.500 mm e 1.750 mm. Essa água é transportada ao lago Água Preta e este por sua vez é ligado com o lago Bolonha por meio de um canal de 1Km de distância. Na Figura 4 é mostrado o sistema de captação e armazenamento de água superficial.



Figura 4 - Sistema de adução e captação de água dos lagos (Adaptado de Pereira, 2004).

São mostrados os pontos de lançamento das duas adutoras paralelas que captam a água proveniente do rio Guamá, até o lago Água Preta (Fotografia 1) e o canal de ligação dos lagos (Fotografia 2).



Fotografia 1 - Sistema de adução e captação de água dos lagos
Fonte: Pereira (2004).



Fotografia 2 - Canal de ligação dos lagos Bolonha e Água Preta
Fonte: Pereira (op.cit.)

4.2.4 Clima

Na área metropolitana de Belém o clima é quente e úmido, apresentando um elevado índice pluviométrico, com chuvas freqüentes a tarde e início da noite, principalmente nos quatro primeiros meses do ano, que são os mais chuvosos. Os meses de outubro e novembro são os de menor pluviosidade. A região não apresenta meses secos bem definidos, além de não existir uma distribuição homogênea das chuvas durante o ano (FARIAS; NASCIMENTO, FERREIRA, 1992).

O clima da área fisiográfica do Utinga corresponde ao tipo equatorial úmido, classificado de acordo com Koppen na categoria Af. Caracteriza-se sobretudo por apresentar precipitações freqüentes, oscilando entre 1500 a 3000 mm/ano, temperaturas acima de 18 ° C com pequenas amplitudes entre máximas e mínimas anuais (DIAS, 1991).

A umidade ar, no transcorrer do ano, acompanha de perto o regime pluviométrico, ocorrendo os maiores valores no período de dezembro a junho, atingindo marcas de até 90%, e valores médios anuais de 70% (IDESP, 1991). A precipitação na região equatorial é o elemento meteorológico que mais define o clima, já que a temperatura e a pressão atmosférica, não possuem variações marcantes para mostrar mudanças sazonais.

De acordo com os dados de SECTAM (2006) para o ano de 2006 o mês de maior precipitação foi o mês de março com 668,2 mm e o de menor precipitação foi julho com 94,7 mm, seguido de junho com 95,7 mm.

Outro aspecto importante na determinação das condições climáticas locais é a velocidade e direção do vento, apresentando as seguintes frequências anuais: nordeste (29%), norte (10%) e leste (9%). As frequências das demais direções são insignificantes. A velocidade média fica entre 2,6 e 2,9 m/s e a calmaria é de 45% nos 12 meses (IMBIRIBA JÚNIOR; COSTA, 2003).

4.2.5 Cobertura Vegetal

A tipologia vegetal predominante na área dos lagos do Utinga foi originalmente a Floresta Tropical Úmida Perenefolia, apresentando alta heteroneigidade na composição de espécies dicotiledôneas de porte médio alto e grandes variações na densidade. A variação do porte e da frequência de determinadas espécies em ocorrência decorre da inundação de áreas florestais provocadas pelos barramentos dos cursos de água do Bolonha e Água Preta e pelos desmatamentos para ocupação agrícola e urbana. Estas condições são determinantes da principal divisão fito-tipológica da área do Utinga: floresta densa de terra firme, floresta de áreas inundadas ou sujeitas à inundação, floresta secundária, cultivos agrícolas, campos gramíneos e área urbana (DIAS, 1991). Segundo este autor, em consequência dos processos modificadores do solo, como inundação e desmatamento, a floresta primitiva foi sendo alterada na sua cobertura original.

Atualmente as áreas desmatadas ou alteradas diretamente pela ação antrópica existem em maior proporção, comparadas às áreas contendo florestas primitivas. Onde houve interferência humana (ação antrópica) ou qualquer derrubada causada por agente natural, a floresta reaparece, com uma composição parcialmente diferente da floresta primitiva, recebendo a denominação de floresta secundária ou capoeira (DIAS, 1991).

4.2.6 Aspectos Geológicos

A Bacia do Murutucum, onde se encontram os lagos Bolonha e Água Preta, tem seu contexto geológico representado principalmente por unidades cenozóicas, estudadas em afloramentos naturais e por perfis litoestratigráficos de poços tubulares perfurados na região.

Faz parte desse contexto, a Formação Pirabas, de idade Oligo-Miocênica, situada em Belém a partir de uma profundidade média de 100 metros; o Grupo Barreiras, de idade Mioceno-Pliocênica, que ocorre principalmente na forma de falésias nas ilhas de Caratateua e Mosqueiro; os Sedimentos Pós-Barreiras e os Sedimentos Holocênicos (IMBIRIBA JR; COSTA, 2003).

O sedimento do grupo Barreiras (Figura 5), depositado em ambiente continental durante o Plioceno e parte do Pleistoceno, está assentado sobre os calcários e arenitos da Formação Pirabas, cujo topo encontra-se a cerca de 80 m de profundidade. Está representado pela interdigitação de sedimentos arenosos e areno-argiloso e ocorrendo em pequenas áreas entre os lagos Água Preta e Bolonha e o curso superior do rio Aurá.

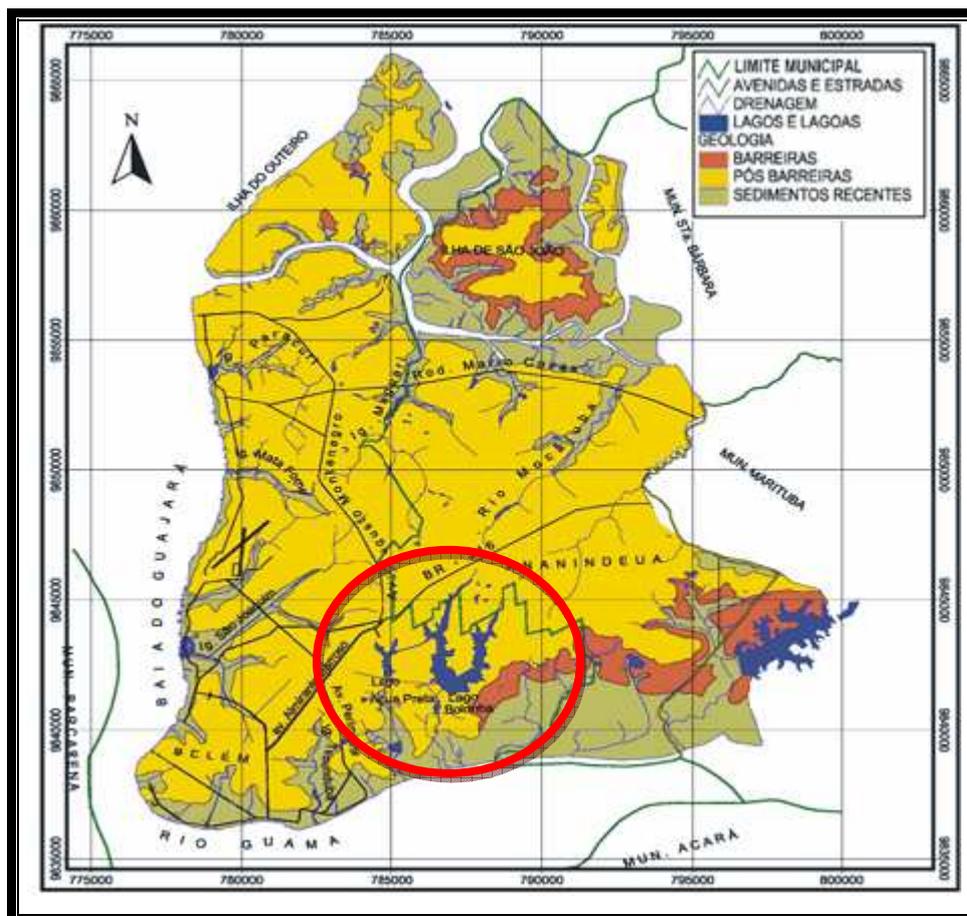


Figura 5 - Geologia da Região de Belém e Ananindeua
 Fonte: Modificado de Matta (2004).

Sobreposta ao Grupo Barreiras, a Cobertura Detrítica Pleistocênica, apesar da reduzida espessura, é a unidade geológica de maior expressão territorial e sobre a qual são assentadas as zonas urbanas. São sedimentos detríticos pleistocênicos de características alúvio-coluvial e, também, fluvial, representados por um fácies arenoso e outro areno-argiloso.

Os depósitos cuja deposição se processa desde o início do Holoceno, são constituídos por sedimentos argilosos cinza, ricos em matéria orgânica. São sedimentos dispostos ao longo da planície de inundação do rio Guamá, constituindo a Aluvião Recente (CONCEIÇÃO, 1995).

4.2.7 Aspectos Geomorfológicos

A área que compreende o sistema ambiental nos mananciais do Utinga apresenta em sua morfologia o Baixo Platô Amazônico, no qual está situado o conjunto dos lagos, que se caracteriza pelas suas cotas altimétricas mais baixas, variando de 3 a 8 metros (DIAS, 1991). Ainda segundo o autor, o conjunto dos lagos do Utinga, pode-se distinguir vários elementos que participam da estrutura morfológica da região dos baixos platôs:

- a) Plataformas intermediárias, correspondendo ao nível altimétrico de 10 a 15 m do patamar terciário, representando os rebordos das cabeceiras dos cursos de água. Contornadas por encostas e escarpas, tem cimo aplainado tabuliforme e solos predominantemente arenosos e concrecionários característicos da Formação Barreiras. Apresenta pontos de estrangulamento, provenientes dos processos de erosão, remontando às nascentes dos aquíferos, de superfície;
- b) Níveis de terraços escalonados em altitudes inferiores com cotas variando de 5 a 10 m - baixos patamares;
- c) Baixadas inundáveis correspondentes ao 4º nível geral do terraceamento, apresentam-se esculpidas sobre terrenos recentes, em sedimentos do Quaternário.

4.2.8 Recursos Hídricos

A RMB possui características hidrográficas peculiares, entrecortadas por furos, rios, igarapés, lagos e baías, seguindo aspectos estuarinos amazônicos. Os igarapés se destacam em sua importância, quando se relacionam com a topografia e com a formação e evolução dos vales, que modelam os diferentes níveis de relevos existentes. Os elementos hídricos de maior expressão, devido suas relações diretas

e imediatas com a cidade de Belém, são a Baía de Guajará e o rio Guamá, além de inúmeros igarapés que cortam a cidade.

A Baía de Guajará tem continuidade na Baía de Marajó, sofrendo diretamente a influência das marés oceânicas; É formada na confluência dos rios Acará e Guamá, está localizada em frente da cidade de Belém, prosseguindo até a Ilha do Mosqueiro, onde se encontra com a Baía de Marajó, no rio Pará. Sua margem esquerda é composta por ilhas, dentre as principais destaca-se; ilha das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetá Açu, Jutubá e canais, enquanto na margem direita está a cidade de Belém, as ilhas de Caratateua (Outeiro) e do Mosqueiro, separadas pelos furos do Maguari e das Marinhas, respectivamente (MATTA, 2002).

O rio Guamá margeia a cidade de Belém ao sul e deságua na baía de Guajará, possui águas pouco transparentes, com grande quantidade de material argiloso em suspensão, proveniente de atividades erosivas em suas margens, tornando suas águas turvas de coloração amarelada. Sua importância se encontra no fato de que a COSANPA posicionou em seu leito uma adutora (agora duplicada), que direciona a água deste rio para seus lagos naturais, compostos pelos lagos Bolonha e Água Preta (BAHIA; LUIZ; FENZL, 2004).

A área urbana do município de Belém é recortada por uma extensa rede hidrográfica, com inúmeros cursos d'água, os quais têm influência do rio Guamá e da baía do Guajará, o que provoca o surgimento de áreas alagadas, que são intensificadas pela precipitação (MATTA, op.cit).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ATIVIDADES DE CAMPO

Os pontos de amostragem foram distribuídos espacialmente em 10 (dez) pontos no lago Água Preta; 01 (um) ponto no canal de ligação entre os dois lagos e 01 (um) ponto no lago Bolonha. Os pontos foram escolhidos de forma que fosse possível avaliar as influências das dinâmicas de fluxo de água nos lagos, que se dá pela contribuição do sistema de adução de água do rio Guamá e pela precipitação pluviométrica, que juntos determinam os níveis de água nos lagos e que seguramente contribuem para o quimismo do ambiente (Figura 6).

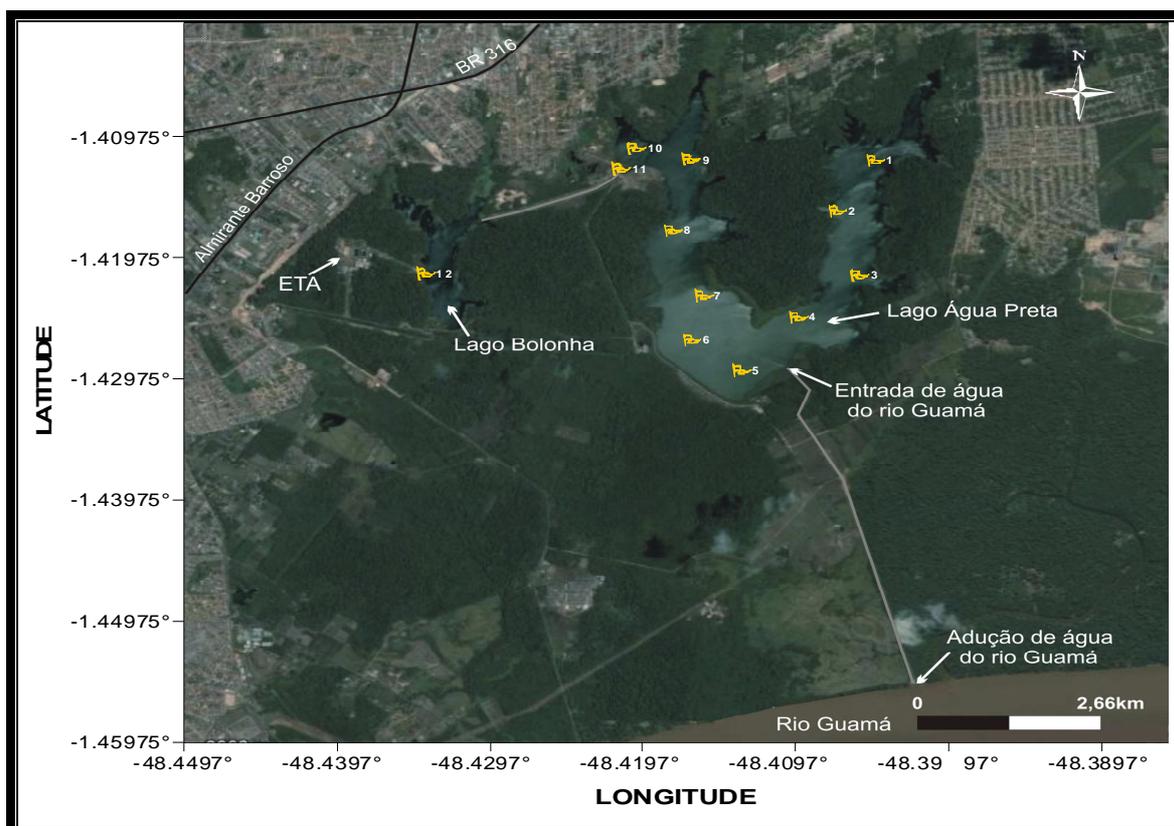


Figura 6 - Localização dos pontos de coleta nos lagos Bolonha e Água Preta
Fonte: Lagos... (2007).

Todos os pontos de amostragem foram georeferenciados em coordenadas geográficas com o auxílio do GPS (Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca GARMIN PLUS. As coletas foram iniciadas no mês de fevereiro de 2006 e realizadas mensalmente até janeiro de 2007, de maneira a se obter dados do período de maior precipitação pluviométrica (dezembro a maio) e do período de menor precipitação pluviométrica (junho a novembro). As amostras foram coletadas na superfície (isóbata de 30 cm) e a 40 cm acima da camada superficial do sedimento do fundo do lagos. Para a realização das coletas foi utilizada uma garrafa de Niskin.

Os parâmetros abióticos investigados no estudo foram pH, temperatura, oxigênio dissolvido, transparência (sendo que para os quatro primeiros as medidas foram feitas em campo e os demais parâmetros foram determinados em laboratório); turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, nitrato, N-amoniaco, fosfato, e sólidos suspensos totais, totalizando 3.456 análises no decorrer do trabalho. Para as leituras dos valores de pH das amostras foi utilizado um pH-metro portátil da marca PHTEK. A temperatura das amostras de superfície e de fundo foi registrada utilizando um termômetro digital da marca Instrutherm.

Para a análise dos demais parâmetros abióticos, em cada ponto de coleta, duas alíquotas de 1000 ml água (superfície e fundo), foram coletadas em garrafas de polietileno, resfriadas, acondicionadas adequadamente e levadas ao Laboratório de Controle de Resíduos (LCR) da UFPA. Para as análises de nitrato, N-amoniaco e fosfato as amostras foram filtradas no laboratório. Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros determinados em laboratório e seus respectivos métodos e referências.

As amostras coletadas para as análises de oxigênio dissolvido foram fixadas em campo, o método empregado foi o de Winkler descrito em Strickland e Parsons (1972). Foi lançado o disco de Secchi (Fotografia 3) para verificação da transparência da água e a medida da profundidade nos pontos amostrados foi registrada com o auxílio de um fio de prumo.



Fotografia 3 - Disco de SECCHI

Tabela 1- Parâmetros determinados, princípios do método, equipamento e referências.

| Variável | Metodologia | Referência |
|-------------------------------|--|------------------------|
| Cor Aparente | Colorimetria / Colorímetro DR 890 HACH | Standard Methods, 1995 |
| Turbidez | Nefelométrico / Turbidímetro 2100P HACH | |
| Condutividade Elétrica | Condutância Específica/ Condutímetro TCP 01 - Onda Científica | |
| Nitrato | Redução do íon nitrato pela passagem na coluna de Cádmio. | |
| N-amoniacoal | Método de Nessler | |
| Fosfato | Molibdato de Amônio e Ácido Ascórbico | |
| Sólidos suspensos | Método Gravimétrico | |

5.3 LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS

Batimetria é a medição da profundidade dos oceanos e lagos e é expressa cartograficamente por curvas batimétricas que unem pontos da mesma profundidade. No estudo da profundidade de corpos de água para determinar a topografia de fundo são utilizados; o Ecobatímetro (equipamento utilizado para determinação das profundidades) e o Sistema de Posicionamento Global - GPS para obtenção das posições exatas das profundidades indicadas pelo equipamento, a partir dessas informações é elaborada a carta batimétrica.

O objetivo da batimetria realizada neste trabalho foi o de identificar a morfologia do fundo do lago Água Preta, para verificação das variações das profundidades e possíveis assoreamentos ocorridos.

Para confecção da carta batimétrica inicialmente foram realizados levantamentos prévios *in loco* com a utilização do ecobatímetro Modelo 150SX_HUMMINBIRD Fishfinder Single Beam, cedido pelo Centro de Geofísica da Universidade Federal do Pará (UFPA) para a realização deste trabalho, e com um GPS da marca GARMIN, que registra a coordenada geográfica para definição da malha batimétrica realizada. A malha de perfilagem batimétrica foi constituída de linhas verticais e horizontais, espaçadas aproximadamente 100 metros.

A etapa de campo foi realizada no mês de outubro de 2006, mês escolhido em função das disponibilidades de equipamento (Ecobatímetro) e infra-estrutura e pessoal envolvido no trabalho, assim como por se tratar de período de menor precipitação pluviométrica facilitando as medidas e demais procedimentos de campo.

De posse de imagem da área em estudo foi iniciado o percurso por toda a borda do lago Água Preta onde foram georeferenciados aproximadamente 600 pontos em toda a margem do lago. À esses pontos foram empregados códigos particulares que foram chamados de pontos de referência nos quais foram marcados transectos a serem percorridos fazendo-se a varredura das profundidades.

Os transectos foram orientados em linhas verticais e horizontais de modo a se ter um número considerável de coordenadas que foram compostas por 1200 pontos, a fim de se obter uma maior representatividade nos resultados, Na figura 7 se observa os transectos percorridos para obtenção da malha batimétrica, a partir dos pontos georeferenciados.

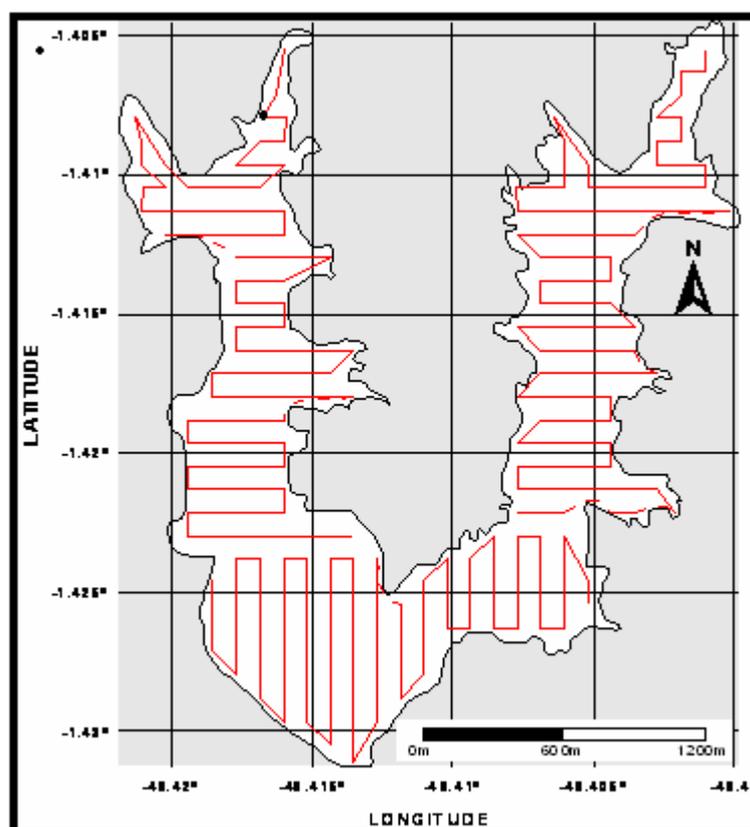


Figura 7 - Transectos da batimetria do lago Água Preta

Os dados (coordenadas geográficas e profundidades) obtidos em campo foram analisados e processados no Laboratório de Controle de Resíduos da Universidade Federal do Pará, utilizando-se o programa de modelagem (Surfer 8.0) para tratamento e elaboração da carta batimétrica.

5.4 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

A hidrologia tem um papel importante no controle das concentrações químicas das águas naturais, suas inter-relações com os componentes dos sistemas terrestres e aquáticos, interdependência com os fatores climáticos, biodiversidade, cobertura vegetal, usos da terra e outros, dão a dimensão da sua complexidade.

As vazões de entrada foram obtidas do cálculo baseado em planilhas operacionais, das horas diárias trabalhadas das 04 bombas (Fotografia 4) modelo 24QL19 com vazão de 5.400 m³/h, 550 CV de potência e 24 MCA, que realizam o bombeamento das águas do rio Guamá para o lago Água Preta o qual mantém o nível do lago Bolonha por gravidade através de um canal de ligação. Assim, de certa forma, a variação sazonal é também regulada por este abastecimento artificial. Todas as informações hidráulicas foram obtidas na Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).



Fotografia 4 - Conjuntos Motor Bomba da EAB rio Guamá
Fonte: Modificado de Pereira (2004).

Para esse trabalho as variáveis hidrológicas estudadas foram: precipitação pluviométrica, vazão de entrada (I) e de saída (Q) do sistema Bolonha Água Preta e variação dos níveis de água nos lagos. Os dados mensais de precipitação pluviométrica foram obtidos da estação meteorológica de Belém localizada a -1.4350° latitude e $-48,4377^\circ$ longitude, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os cálculos de área e volume foram realizados no software Arc GIS 9.1, utilizando as ferramentas da extensão analista espacial, a partir de bases cartográficas (IBGE), dos levantamentos batimétrico e da variação de níveis de água nos lagos. As vazões de saída do lago Bolonha de onde a água é captada para tratamento em uma Estação de Tratamento de Água (ETA), foram cedidas pela COSANPA.

Os níveis de água nos lagos foram obtidos de média mensal de fichas de controle, que registram observações diárias do valor das réguas limnimétricas. Estas réguas localizam-se no lago Bolonha e no lago Água Preta.

Foram consideradas na equação do balanço de água (2), a vazão de entrada (I), vazão de saída (Q), a precipitação pluviométrica (P), e as variações dos volumes de água nos lagos ($\frac{dV}{dT}$), determinando o saldo de água que na equação se definiu como (ΔQ).

$$\Delta Q = P + (I - Q) - \frac{dV}{dT} \quad (2)$$

A variável $\frac{dV}{dT}$ foi obtida pela subtração do mês em questão com o mês anterior.

Os dados trabalhados indicam o balanço de água e a variabilidade do regime hidrológico dos lagos.

O balanço da água também foi utilizado para estimar o tempo de sobrevida ($T_{sobrevida}$) do lago Água Preta, sem abastecimento de água do Guamá (Equação 3), considerando como o seu volume de base (V_{base}) a média mensal do período estudado.

$$T_{sobrevida} = \frac{V_{base}}{\Delta Q} \quad (3)$$

As perdas (ΔQ) estão associadas à evaporação, infiltração e escoamento e pode ser definida como (equação 4):

$$\Delta Q = Evap + Inf + Esc \quad (4)$$

Onde

$Evap$ = evaporação;

Inf = infiltração;

Esc = Escoamento (drenagens e estrangulamentos)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS DOS LAGOS

A precipitação pluviométrica total registrada nos lagos no período de fevereiro de 2006 à janeiro de 2007 foi de 3.578,8 mm. Os maiores valores registrados foram no período chuvoso (dezembro-maio). Observou-se nos meses de março e dezembro valores de 685,6 mm e 519,8 mm, respectivamente.

No período de menor precipitação pluviométrica foram registrados valores máximos e mínimos de 106 mm (julho/2006) e 240,9 mm (novembro/2006), (Figura 8).

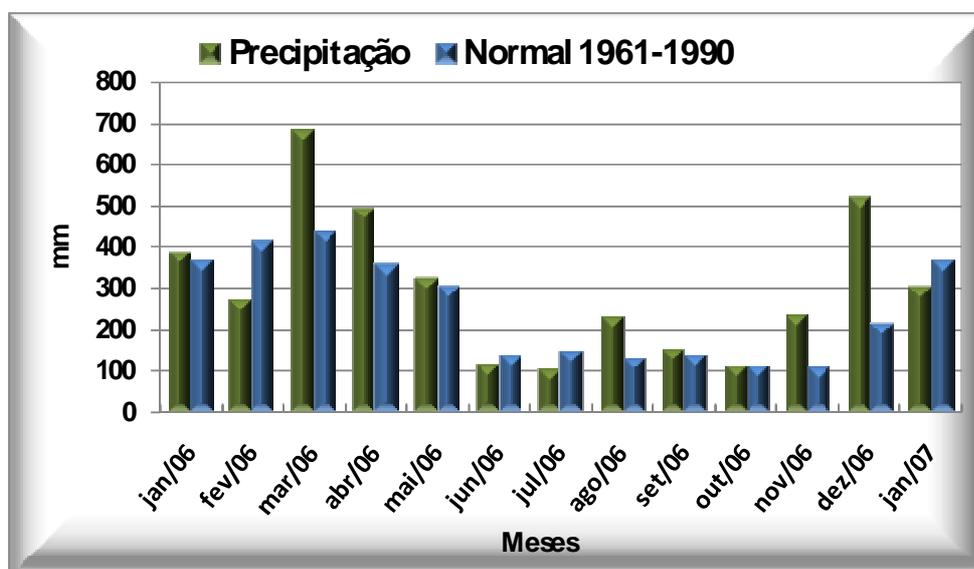


Figura 8 - Precipitação pluviométrica média do período de fevereiro de 2006 a janeiro de 2007 e normal climatológica do período de 1961 a 1990.

Quando se comparam as precipitações pluviométricas do período estudado com a normal climatológica (1961-1990), observa-se que em alguns meses a chuva observada em Belém ficou acima da média climatológica.

Estudos mostram que no ano de 2006 a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que é considerada o principal sistema de grande escala responsável pela precipitação, apresentou grande variabilidade em fevereiro, estando mais ao norte da sua posição média climatológica nos primeiros 15 (quinze) dias do mês. Essa condição não foi favorável à precipitação, contribuindo para um déficit de aproximadamente 200 mm nesse mês. Somente a partir do dia 20 de fevereiro /2006 com a ZCIT deslocada mais para o sul houve o favorecimento da formação de linhas de instabilidade e conseqüente aumento da precipitação, com valores superiores a normal em março.

Embora nos meses de março e abril de 2006 tenha havido irregularidade na distribuição espacial de precipitação no nordeste paraense, esses meses foram marcados por anomalias positivas de precipitação em grande parte do Estado, principalmente em Belém. Tal fato foi favorecido pelo posicionamento da ZCIT, que proporcionou linhas de instabilidade, convecção e aglomerados isolados, o que resultou em índices de 685,6 e 495,7 mm na capital.

No mês de dezembro de 2006 a banda de nebulosidade associada a ZCIT ficou ao norte de sua posição climatológica, o que contribuiu para a persistência da TSM acima da média no Atlântico Norte. As precipitações mais acentuadas em Belém no mês de dezembro de 2006 decorreram de episódios de chuva associados às linhas de instabilidade ou ainda aglomerados de cumulonimbus isolados. (relatório SIPAM, 2006).

A Figura 9 mostra a variação dos níveis de água nos lagos e a precipitação pluviométrica no período de fevereiro de 2006 a janeiro de 2007. É observado que mesmo com a contínua adução de águas do rio Guamá para os lagos, nos meses de diminuição da precipitação pluviométrica, ocorre um rebaixamento do nível de água dos lagos (só observado em maio/2006), evidenciando uma defasagem do pico de chuva ocorrida em março.

Nos meses de junho e julho ocorre a diminuição da precipitação pluviométrica com conseqüente redução dos níveis de água dos lagos.

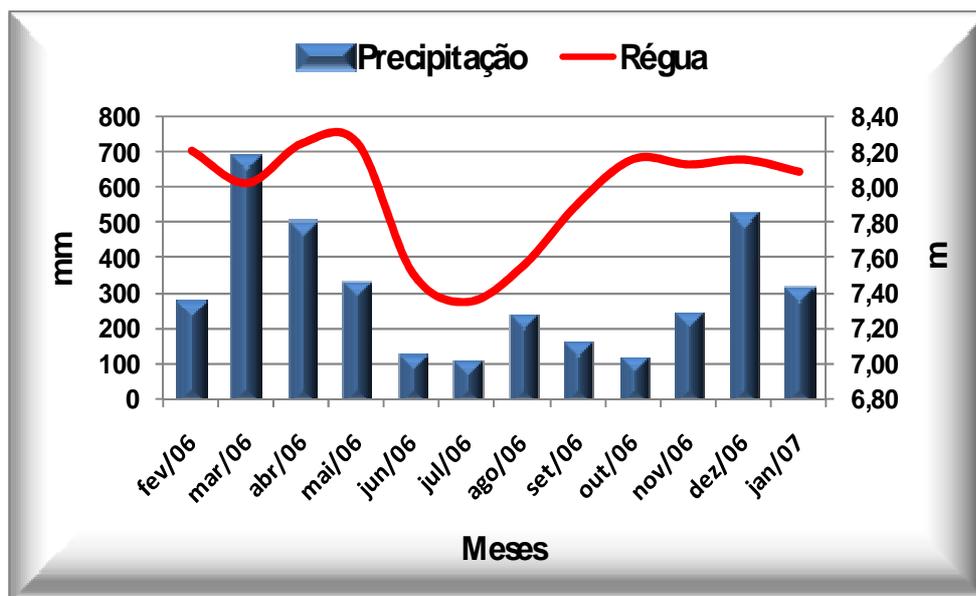


Figura 9 - Variação dos níveis de água nos lagos Bolonha e Água Preta com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007).

A explicação mais provável para o fato de valores mínimos de níveis não permanecerem durante o período de menor precipitação pluviométrica a partir de agosto é o aumento da adução de água pelas bombas para o lago Água Preta. Observa-se que a vazão de entrada (I) teve um mínimo no mês de abril e máximo no mês de agosto de 2006, com uma média mensal de adução de 12.528.370 m³ (Figura 10).

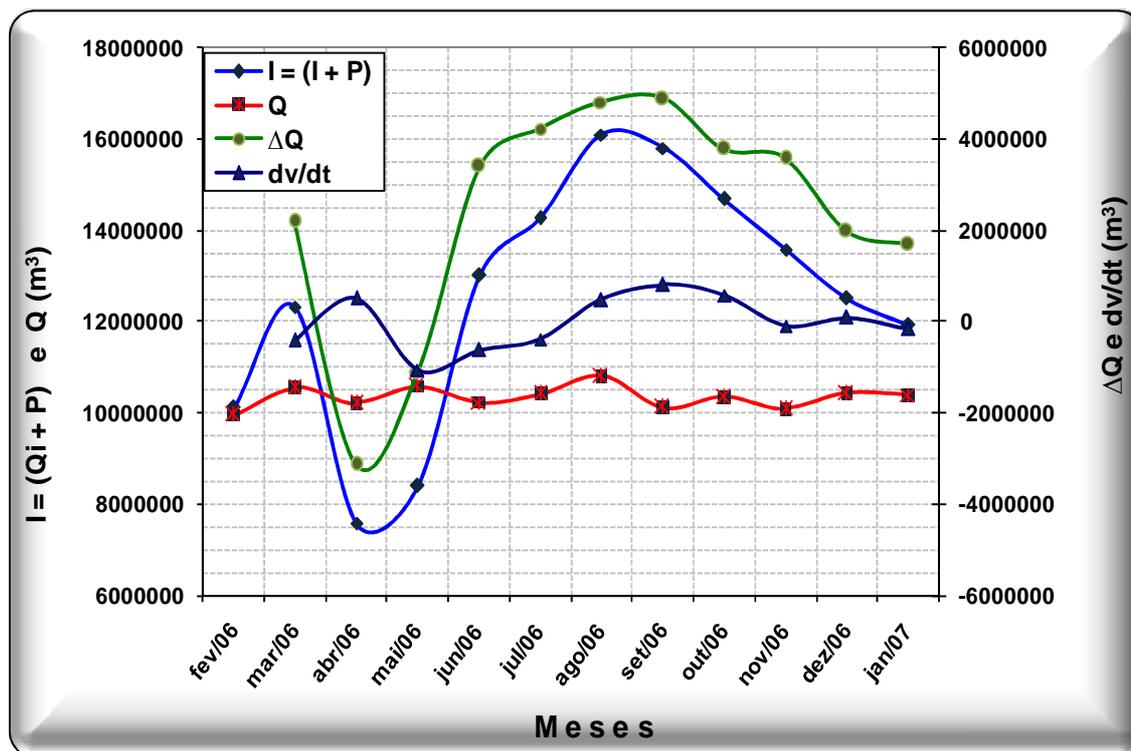


Figura 10 - Variação mensal dos parâmetros do Balanço de Água.

O volume que é retirado para tratamento (Q) não apresentou variação significativa, permanecendo com uma média de 10.345.924 m³ de retirada. A variável dv/dt mostra a variação de volume no lago Água Preta em uma possível relação direta com I , entretanto, essa relação possui uma defasagem de aproximadamente 1 mês, observando-se uma diminuição significativa entre o mês maio e junho, associado ao mínimo de I . Por outro lado, houve um aumento registrado entre o mês de agosto e setembro, associado ao máximo de I .

O saldo de água (ΔQ) mostrou uma variação muito próxima ao comportamento da vazão de entrada, com valores negativos apenas nos meses de abril e maio, portanto, ΔQ mostrou não sofrer influências significativas de evaporação nos meses de maior incidência de radiação, onde observou-se saldo positivo de água nos lagos, indicando uma forte associação com o bombeamento do rio Guamá para o Água Preta.

O tempo de sobrevida calculado pela equação para o lago Água Preta é de 2,76 dias. Isto significa que, cessando a adução de água do rio Guamá para o referido lago e prosseguindo a retirada de água para tratamento, em aproximadamente 3 dias o Água Preta atinge um nível que não permite mais a comunicação deste com o lago Bolonha. Na Tabela 2 são apresentados os valores das variáveis discutidas.

Tabela 2 - Precipitação pluviométrica (Prp), vazões de entrada (I) e saída (Q) e variações de vazão e volume dos lagos Bolonha e Água Preta (dv/dt).

| Meses | Prp (mm) | Prp (m³) SL* | I_input (m³) | V_Bas (m³) | Q_out (m³) | dv/dt | A_SL (Km²) | ΔQ (m³) |
|--------------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| fev/06 | 275 | 740000 | 10116830 | 7255686 | 9950976 | | 2689931 | |
| mar/06 | 686 | 1844217 | 12325563 | 6840272 | 10551408 | -415414 | 2689931 | 2189569 |
| abr/06 | 496 | 1333399 | 7596119 | 7347602 | 10220400 | 507329 | 2689931 | -3131610 |
| mai/06 | 326 | 875842 | 8414474 | 6292173 | 10574472 | 1055429 | 2689931 | -1104570 |
| jun/06 | 121 | 325482 | 13014132 | 5671119 | 10232640 | -621054 | 2689931 | 3402546 |
| jul/06 | 107 | 287016 | 14264430 | 5281812 | 10424184 | -389307 | 2689931 | 4229553 |
| ago/06 | 236 | 634824 | 16094052 | 5762753 | 10808088 | 480942 | 2689931 | 4805022 |
| set/06 | 156 | 419360 | 15807470 | 6565030 | 10123200 | 802277 | 2689931 | 4881994 |
| out/06 | 114 | 305576 | 14694254 | 7140793 | 10343832 | 575763 | 2689931 | 3774660 |
| nov/06 | 241 | 648004 | 13584909 | 7048877 | 10095840 | -91915 | 2689931 | 3580984 |
| dez/06 | 520 | 1398226 | 12506512 | 7140793 | 10432368 | 91915 | 2689931 | 1982229 |
| jan/07 | 307 | 825540 | 11921692 | 6979941 | 10393680 | -160852 | 2689931 | 1688864 |
| Média anual | 299 | 803124 | 12528370 | 6610571 | 10345924 | 166828 | 2689931 | 2390840 |

*SL=superfície líquida

6.2 TEMPERATURAS DA ÁGUA (°C)

Nos lagos Bolonha e Água Preta a temperatura mensal variou de 29,40 °C (medida de fundo), nos meses de abril e maio de 2006 e 33,50 °C (medida de superfície), valor máximo observado no mês de outubro de 2006.

Na distribuição da média da temperatura durante o período estudado, observa-se que no mês de outubro foi registrada uma temperatura de 32,04 °C, enquanto que no mês de fevereiro obteve-se uma média mensal de 30,15 °C (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) de temperatura (°C) nos lagos Bolonha e Água Preta.

| Mês da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|----------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------|
| Fevereiro 2006 | 30,15 | 0,25 | 30,60 | 29,70 |
| Março 2006 | 30,92 | 0,71 | 32,00 | 30,00 |
| Abril 2006 | 31,02 | 0,99 | 32,90 | 29,40 |
| Maio 2006 | 30,32 | 0,50 | 31,30 | 29,40 |
| Junho 2006 | 30,99 | 0,48 | 32,30 | 30,00 |
| Julho 2006 | 31,50 | 0,70 | 32,90 | 30,40 |
| Agosto 2006 | 30,89 | 0,57 | 32,00 | 29,80 |
| Setembro 2006 | 31,47 | 0,71 | 33,10 | 30,40 |
| Outubro 2006 | 32,04 | 0,80 | 33,50 | 30,60 |
| Novembro 2006 | 31,16 | 0,56 | 32,10 | 30,10 |
| Dezembro 2006 | 31,40 | 0,58 | 32,90 | 30,50 |
| Janeiro 2007 | 31,40 | 0,58 | 32,90 | 30,50 |

Ao observarmos o gráfico das temperaturas (Figura 11), verificou-se, como era esperado, que nos meses de menor precipitação pluviométrica (junho – novembro) as médias de temperatura foram mais elevadas, enquanto que nos meses de maior precipitação pluviométrica (dezembro a maio) foram registradas as menores médias de temperaturas.

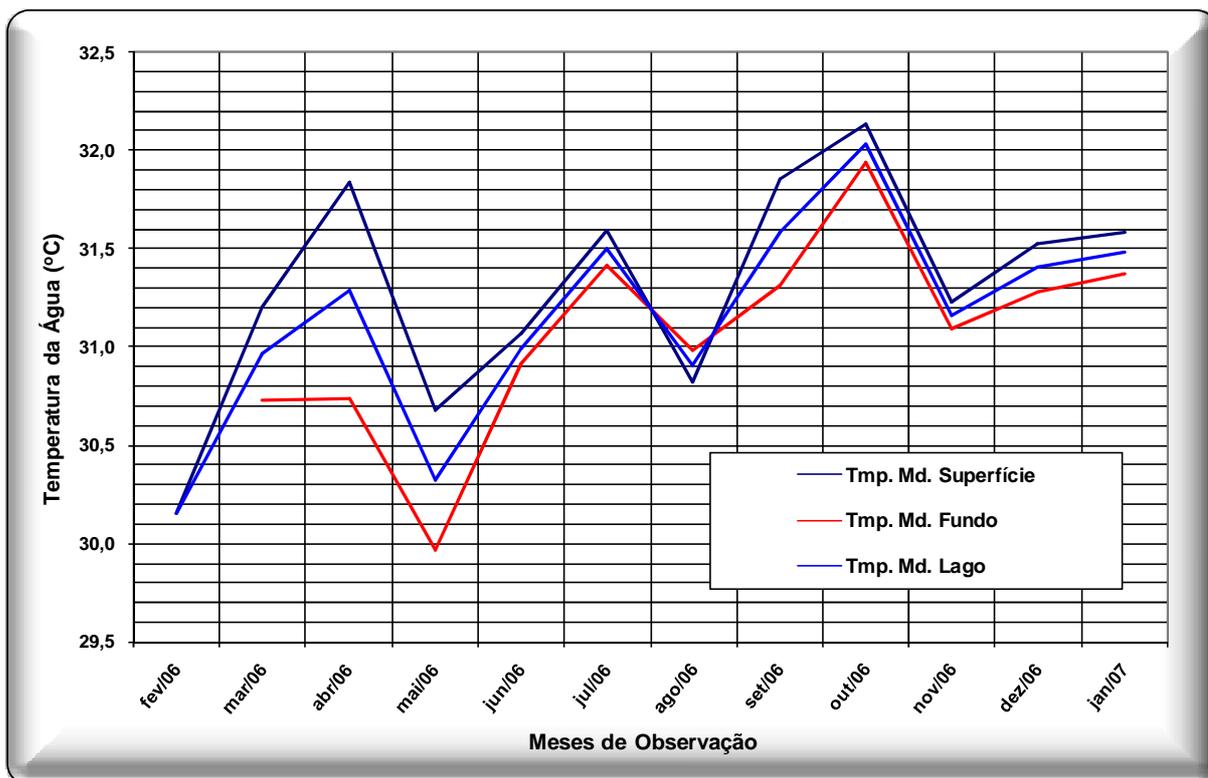


Figura 11 - Variação da temperatura (°C) nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007).

As variações de temperatura entre a superfície e o fundo dos lagos evidenciaram uma diferença térmica (Dt) máxima de $1,11\text{ }^{\circ}\text{C}$, no mês de abril de 2006 e mínima de $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ no mês de novembro de 2006, o que permite inferir que os mananciais em estudo não apresentaram estratificação térmica no período estudado.

O processo de estratificação térmica ocorre quando existe diferença de temperatura entre a superfície e fundo na coluna de água, que estabelecendo diferentes densidades e assim impedindo a mistura das camadas. O calor não se distribui uniformemente se a energia do vento não for suficiente para promover a mistura das camadas.

Branco (1991) descreve o estabelecimento da estratificação em lagos com profundidade superiores a 12 metros, já que 99% da radiação solar é absorvida nos primeiros 10 metros decrescendo rapidamente após os 12 metros.

Para o autor a ação dos ventos é mais facilitada quando o ambiente é mais raso ou não se encontra protegido por barreiras físicas (montanhas), a energia do vento pode ser suficiente para permitir uma melhor distribuição de calor.

Nas regiões tropicais a temperatura apresenta valores elevados e um ciclo sazonal definido, estando na dependência do período de insolação. A temperatura das águas superficiais resulta principalmente das condições climáticas da área, variando com a profundidade e hora do dia, e afetam diretamente muitas das características físicas, químicas e biológicas de ecossistemas, influenciando no retardamento ou aceleração das atividades biológicas, da absorção de oxigênio, da precipitação de compostos, processos de mistura e outros (WAICHMAN, 2002).

A grande maioria dos lagos na região amazônica, devido aos processos geológicos que os originam apresentam profundidade reduzida, aliada a isso a amplitude de variação diária de temperatura é maior do que a amplitude sazonal, devido a estes fatores observa-se normalmente em lagos tropicais estratificações e desestratificações diárias da coluna d'água (ESTEVES, 1998).

Na área estudada a temperatura sofre variação sazonal, com maiores valores registrados no período de maior insolação. A temperatura da água da superfície dos lagos registrou valores superiores aos encontrados nas amostras coletadas próximas ao fundo dos lagos; no entanto, a diferença térmica não registrou valores superiores a 1,1°C em todos os pontos analisados, isso deve-se ao fato dos lagos não possuírem profundidades elevadas.

A temperatura dos lagos manteve-se na maior parte do período estudado (fevereiro de 2006 - janeiro de 2007) acima da temperatura do ar, em média 2,5 °C. Isso pode ser explicado pela capacidade da água de reter calor, devido a sua alta capacidade calorífica, o que contribui para que as flutuações térmicas da massa líquida sejam bem mais atenuadas que as do ar, nas escalas diária e sazonal. Indicam, também, que a variação da temperatura da água durante o período de estudo dependeu das condições meteorológicas dos dias, principalmente quanto à irradiância solar. O gradiente térmico do lago foi de 0,3°C em uma profundidade média de 2,5 m.

6.3 TURBIDEZ (UNIDADE NEFELOMÉTRICA DE TURBIDEZ - UNT)

O valor máximo de turbidez registrado foi de 59,5 UNT (fundo) no mês de agosto de 2006 e o mínimo de 4,0 UNT (superfície) em abril de 2006. A distribuição da média de turbidez durante o período estudado no mês de abril de 2006 foi de 8,5 UNT e no mês de setembro de 2006 de 21,9 UNT (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) da turbidez (UNT) nos lagos Bolonha e Água Preta.

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 14,2 | 7,7 | 35,4 | 5,4 |
| Março 2006 | 9,5 | 2,1 | 14,3 | 5,0 |
| Abril 2006 | 8,5 | 2,5 | 15,3 | 4,0 |
| Maio 2006 | 11,4 | 3,8 | 19,8 | 4,7 |
| Junho 2006 | 17,2 | 7,6 | 46,5 | 6,2 |
| Julho 2006 | 18,5 | 10,0 | 47,2 | 6,6 |
| Agosto 2006 | 19,1 | 10,2 | 59,5 | 7,4 |
| Setembro 2006 | 21,9 | 6,4 | 40,2 | 9,3 |
| Outubro 2006 | 15,9 | 5,1 | 25,6 | 6,3 |
| Novembro 2006 | 17,3 | 7,3 | 31,8 | 5,9 |
| Dezembro 2006 | 16,3 | 8,9 | 46,3 | 4,4 |
| Janeiro 2007 | 10,2 | 3,3 | 19,0 | 5,1 |

A Figura 12 registra a distribuição superficial dos valores de turbidez com base na média obtida em cada ponto de amostragem nos lagos. Observa-se uma elevação da turbidez na área mais próxima à entrada de água do rio Guamá e uma atenuação dessas concentrações à medida que as estações de coleta estão mais afastadas desse ponto de entrada de água.

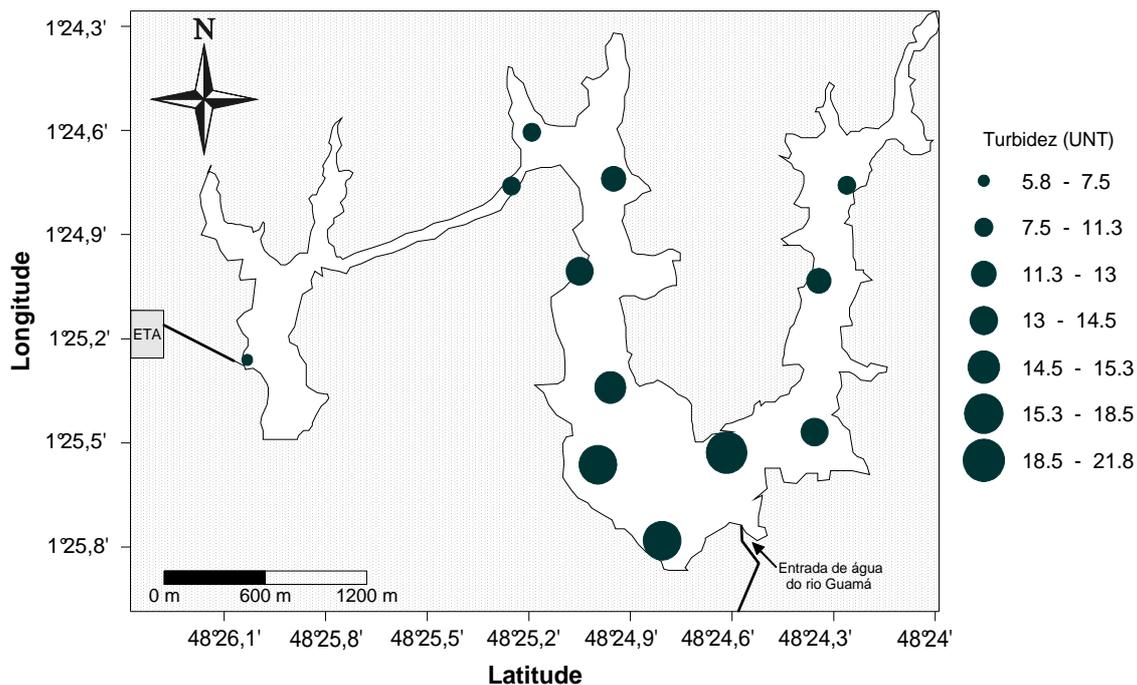


Figura 12- Distribuição superficial da turbidez (UNT) com base na média obtida em cada ponto.

A distribuição vertical de turbidez (Figura 13) mostra que na maioria dos pontos os maiores valores da média de turbidez foram detectados no fundo. Os lagos funcionam como um pré-tratamento de água, ou seja, um processo de decantação do material em suspensão, o que favorece a qualidade da água que entra na ETA Bolonha em termos de turbidez.

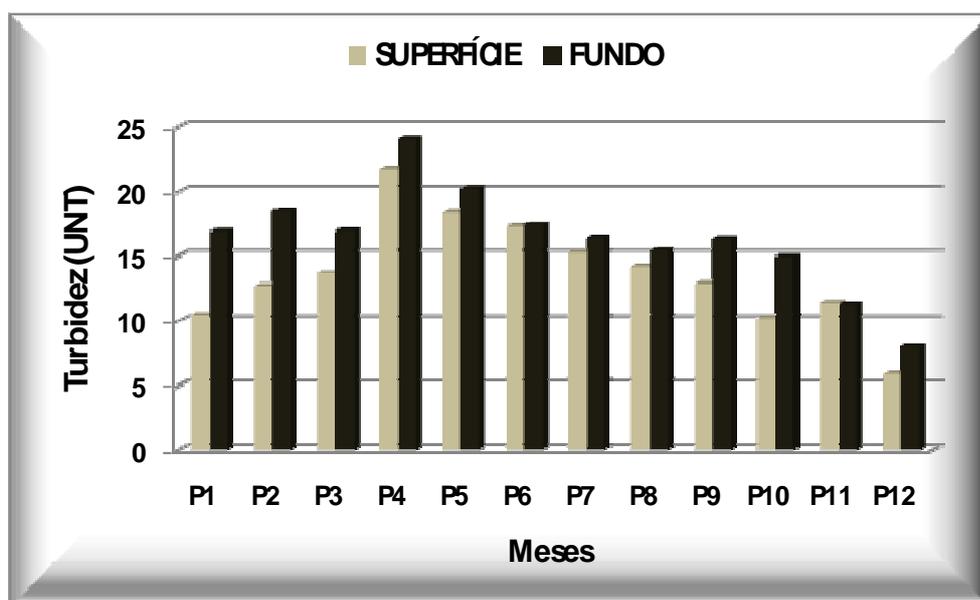


Figura 13 - Distribuição vertical da média de turbidez (UNT) nos pontos de amostragem.

O aspecto da água no ponto 4 (Fotografia 5), que se localiza na entrada de água do rio Guamá para o lago Água Preta, é diferenciado da água que sai do sistema (lagos Bolonha e Água Preta) para tratamento e distribuição.(Fotografia 6).



Fotografia 5 - Aspecto da água do rio Guamá na entrada do lago Água Preta.



Fotografia 6 - Aspecto da água na saída do sistema (entrada da ETA)

Quando se comparam as variações mensais de turbidez com as médias mensais de precipitação pluviométrica do período estudado é possível observar que, em meses mais chuvosos, foram registrados menores valores de turbidez, enquanto que em meses de menor precipitação pluviométrica houve elevação nos valores de turbidez nos lagos. Isso pode ser explicado pelo fato de que mesmo estando os lagos constantemente recebendo águas oriundas do rio Guamá, ocorre a “diluição” dessas águas em períodos de maior precipitação pluviométrica .

O excedente de água necessário para suprir os lagos para seu perfeito funcionamento é complementado com as águas das chuvas do período. Sendo assim as águas das chuvas se misturam às águas do rio Guamá provocando uma diminuição da turbidez nos lagos. Nos lagos a variação de parâmetros físicos ocorre de forma diferenciada de cursos de água lóticos (rios) onde em períodos de maior precipitação pluviométrica aumenta o aporte de sedimentos em seu curso, em consequência da maior erosão das margens nesse período (Figura 14).

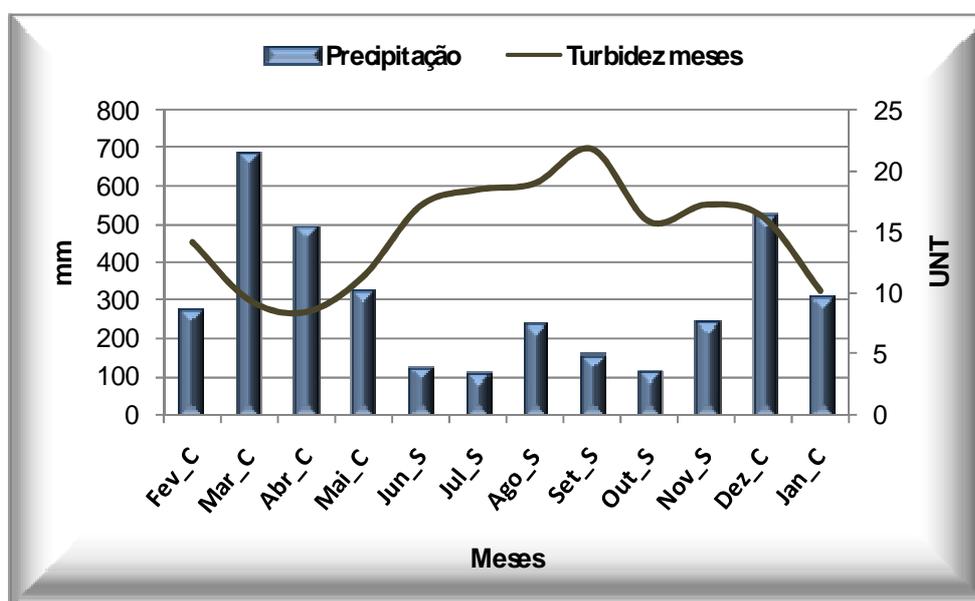


Figura 14 - Variação da turbidez (UNT) com a precipitação pluviométrica (mm) nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

Segundo Mucci; Souza e Vieira (2004), a taxa de decomposição que tende a aumentar a turbidez da água é maior nos meses mais quentes do ano, devido à aceleração do metabolismo dos organismos que participam do processo de autodepuração natural dos corpos de água.

Em águas naturais a turbidez se relaciona com fenômenos de absorção e dispersão da luz incidente (radiação solar) sobre as partículas dissolvidas e em suspensão na água.

Os valores de turbidez encontrados nos lagos Bolonha e Água Preta, variaram entre 4 UNT e 59 UNT, próximos aos encontrados por Mucci, Souza e Vieira (op.cit.) em estudo realizado no lago Parque Guaraciaba em Santo André, São Paulo, que encontrou o valor máximo de 10 UNT e o mínimo de 6,3 UNT.

Em 2005, SANTOS et al., obteve valores de turbidez no lago Água Preta entre 4,01 UNT e 88,00 UNT, sendo o maior valor observado em uma coleta realizada próximo a captação do rio Guamá. Estes autores relacionaram este máximo valor como consequência da influência direta das águas do rio Guamá. SOUZA; LIMA (2002) encontraram valores de turbidez entre 18,40 UNT e 2,50 UNT, no período de estiagem da região.

Ambientes lacustres (lagos) diferem de ambientes fluviais (rios) pelo fato da turbulência em ambientes fluviais mostrar-se mais elevada em comparação aos lagos devido à correnteza, as variações da maré e a dinâmica do rio. Uma característica especial dos mananciais (lagos) Água Preta e Bolonha é o fato de não se comportarem exclusivamente como ambientes lênticos, por consequência do aporte das águas aduzidas a esse ambiente e consequente movimentação das águas.

Os valores mais baixos de turbidez na entrada da ETA, em relação aos outros pontos, é considerado por muitos autores como consequências das características dos lagos, que favorecem processos de sedimentação das partículas em suspensão, reduzindo a turbidez.

6.4 COR APARENTE (MILIGRAMA POR LITRO DE PLATINA COBALTO (MG L⁻¹ PT CO))

Os valores de cor aparente nos lagos Bolonha e Água Preta variaram de 15 mg L⁻¹ Pt Co (superfície), no mês de abril de 2006 a 550 mg L⁻¹ Pt Co (fundo) no mês novembro de 2006. Com relação a distribuição média de cor aparente, observa-se que a menor média ocorreu no mês de abril de 2006, 109, mg L⁻¹ Pt Co e a maior no mês de setembro de 2006, 224 mg L⁻¹ Pt Co, (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão da cor aparente (mg L⁻¹ Pt Co) nos lagos Bolonha e Água Preta.

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 194 | 66 | 371 | 109 |
| Março 2006 | 153 | 31 | 239 | 93 |
| Abril 2006 | 109 | 35 | 186 | 15 |
| Mai 2006 | 186 | 48 | 268 | 97 |
| Junho 2006 | 223 | 94 | 517 | 19 |
| Julho 2006 | 218 | 73 | 425 | 107 |
| Agosto 2006 | 205 | 66 | 446 | 113 |
| Setembro 2006 | 224 | 54 | 362, | 108 |
| Outubro 2006 | 186 | 43 | 262 | 89 |
| Novembro 2006 | 187 | 95 | 550 | 78 |
| Dezembro 2006 | 137 | 72 | 361 | 20 |
| Janeiro 2007 | 123 | 36 | 200 | 48 |

A Figura 15 mostra que a distribuição superficial da cor aparente foi similar à distribuição de turbidez. Com os maiores valores são registrados nos pontos próximos da entrada de água do rio Guamá para o lago Água Preta.

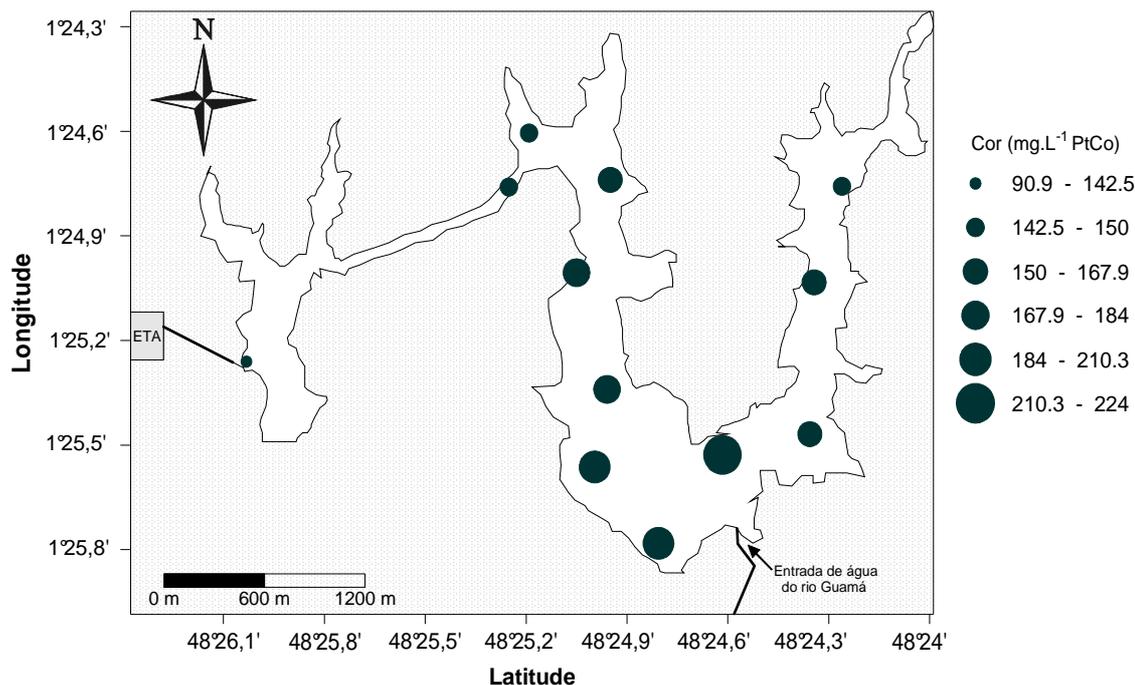


Figura 15 - Distribuição superficial da cor aparente (mg L⁻¹ Pt Co) com base na média obtida em cada ponto.

Da mesma forma como observou-se maiores valores de turbidez nas águas mais profundas em relação a superfície, verificou-se o mesmo padrão na distribuição vertical da cor aparente. Na figura 26, observa-se que com a excessão dos pontos 5 e 6 tiveram maiores valores na superfície, nos demais pontos a cor aparente foi maior nas águas do fundo (Figura 16).

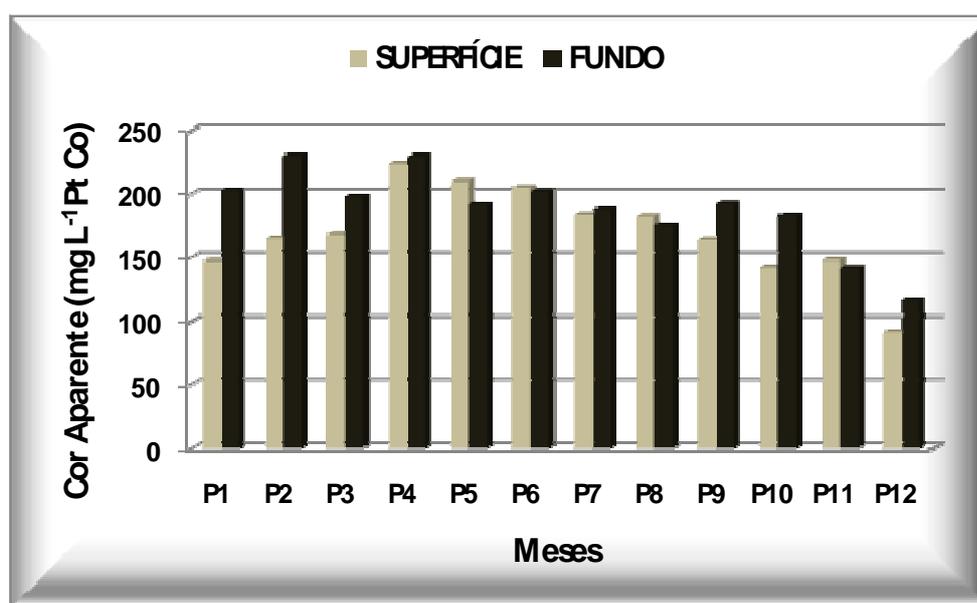


Figura 16 - Distribuição vertical da média de cor aparente (mg L⁻¹ Pt Co) nos pontos de amostragem.

Quando se observa a variação das médias mensais de cor aparente em comparação à precipitação pluviométrica, verificam-se concentrações mais elevadas nos meses de menor precipitação pluviométrica (Figura 17).

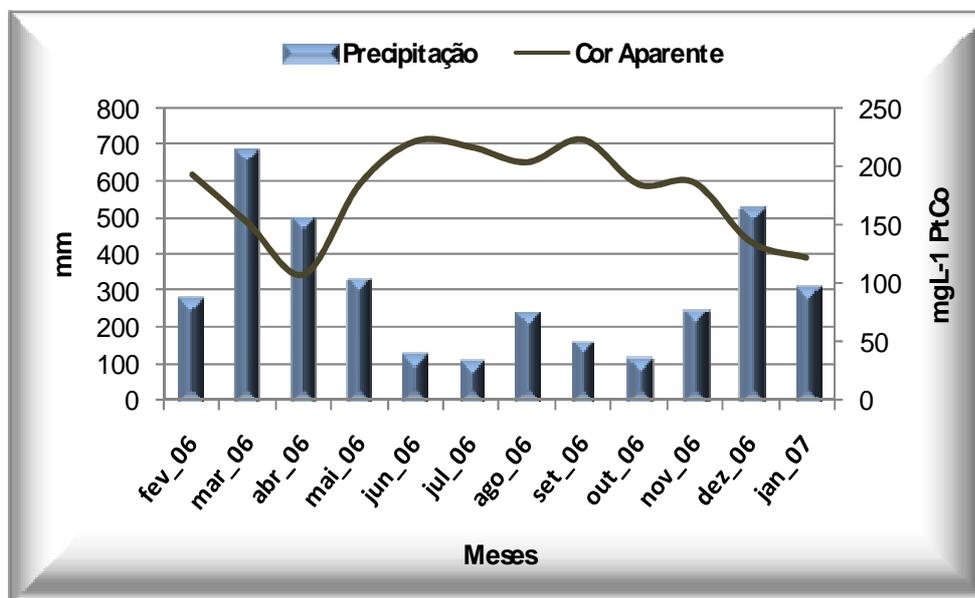


Figura 17 - Distribuição vertical da média de cor aparente (mg L^{-1} Pt Co) nos pontos de amostragem.

Os lagos Bolonha e Água Preta passaram por um processo de represamento de rios e igarapés, na década de 30. Devido a esse fato, os lagos apresentam características de represas, com áreas anteriormente vegetadas que foram alagadas, restando no fundo dos lagos muito material vegetal, que por meio de processos de decomposição que favorecem o desprendimento de substâncias húmicas, presentes na biomassa vegetal, conferindo às águas uma coloração escura.

Sabe-se que, ao contrário dos rios nos lagos deve predomina o material húmico de origem autóctone. A matéria orgânica dissolvida ou em estado coloidal, aliada ao material inorgânico em suspensão presente em um ecossistema aquático está diretamente ligada à coloração da água (MENEZES, 1999). Este mesmo autor encontrou valores de cor de 3,75 UC no rio Arapepó (microrregião do Salgado/PA) e 200 UC no lago da Coca-Cola (Salinópolis/PA). Nas águas do rio Guamá, em Ourém, Bujará e Belém, foi observado um aumento de cor na direção da nascente para a foz.

Souza e Lima (2002) registraram valores que variaram entre 18 UC e 160 UC, nos anos de 1980 a 2002. Nos lagos, a cor aparente da mesma maneira que a turbidez apresenta oscilação inversa à sazonalidade. Nos meses mais chuvosos a cor aparente tem valores reduzidos, enquanto que, em meses que ocorre menores precipitações pluviométricas, os valores encontrados desse parâmetro são mais elevados.

Os valores de cor aparente variaram de 15 UNT a 550 UNT, valores mais elevados do que os encontrados em outros trabalhos. Essa elevação na concentração da cor aparente nos lagos, especialmente a jusante da entrada do lago Água Preta, deve-se a contribuição das águas aduzidas do rio Guamá para os lagos.

6.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

A condutividade elétrica variou de $35 \mu\text{S cm}^{-1}$ (superfície) em junho de 2006 a $150 \mu\text{S cm}^{-1}$ (fundo), no mês de novembro de 2006. A maior média de condutividade elétrica, $132 \mu\text{S cm}^{-1}$, foi detectada no mês de novembro e a menor, no valor de $44 \mu\text{S cm}^{-1}$ no mês de maio (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos lagos Bolonha e Água Preta.

(continua)

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 54 | 3 | 60 | 50 |
| Março 2006 | 53 | 3 | 62 | 50 |
| Abril 2006 | 52 | 5 | 61 | 46 |
| Maio 2006 | 44 | 5 | 58 | 39 |
| Junho 2006 | 46 | 14 | 88 | 35 |
| Julho 2006 | 54 | 9 | 74 | 43 |
| Agosto 2006 | 59 | 9 | 80 | 51 |

(conclusão)

| Mês da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|---------------|--------------|----|--------|--------|
| Setembro 2006 | 66 | 10 | 87 | 48 |
| Outubro 2006 | 74 | 10 | 88 | 51 |
| Novembro 2006 | 132 | 11 | 150 | 117 |
| Dezembro 2006 | 103 | 6 | 117 | 89 |
| Janeiro 2007 | 66 | 5 | 75 | 59 |

A distribuição superficial, com base nos valores da média obtidos por estações (Figura 18), mostra uma pequena elevação dos valores nos pontos 5,7,8 este aumento está relacionado a maior presença de íons na água, os quais podem ser provenientes de fontes autóctones e alóctones.

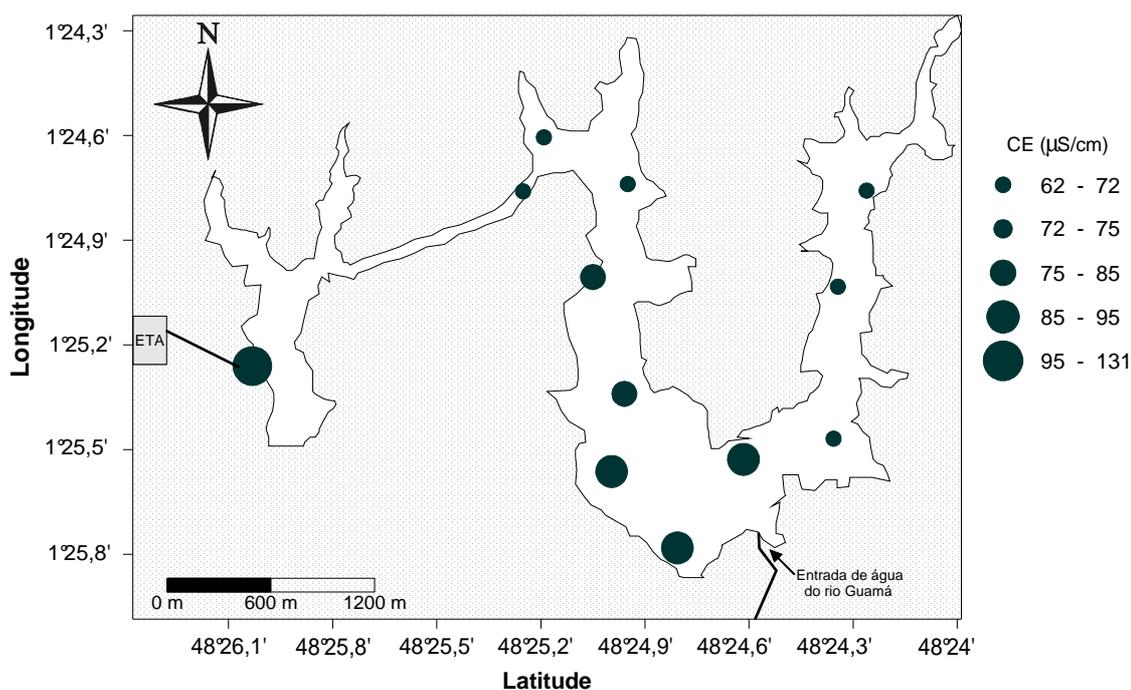


Figura 18 - Distribuição superficial da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) com base na média obtida em cada ponto.

A Figura 19 mostra a distribuição das médias de condutividade elétrica por ponto (superfície e fundo). Observa-se apenas uma pequena variação nas concentrações entre a superfície e o fundo, houve ainda pequena elevação nas concentrações em pontos próximos à entrada do rio Guamá e um valor elevado de condutividade elétrica no ponto 12 (Bolonha), que pode ser devido ao lançamento de

efluentes orgânicos provenientes de atividades realizadas na área de entorno dos lagos.

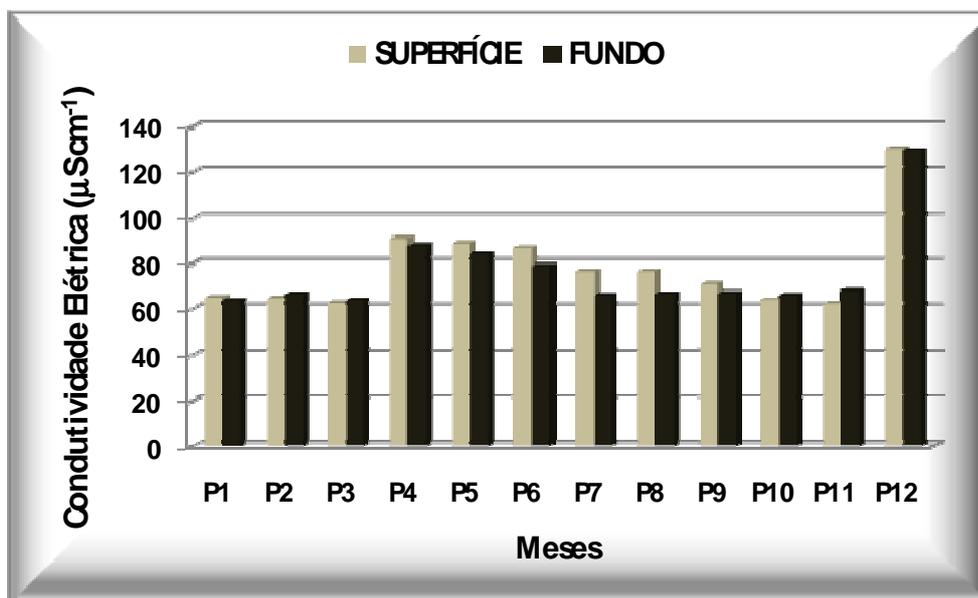


Figura 19 - Distribuição vertical da média de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) nos pontos de amostragem.

A Figura 20 mostra a variação da condutividade elétrica com a precipitação pluviométrica do período estudado, observa-se que o parâmetro apresentou um pico de concentração no mês de novembro, final do período de menor precipitação pluviométrica.

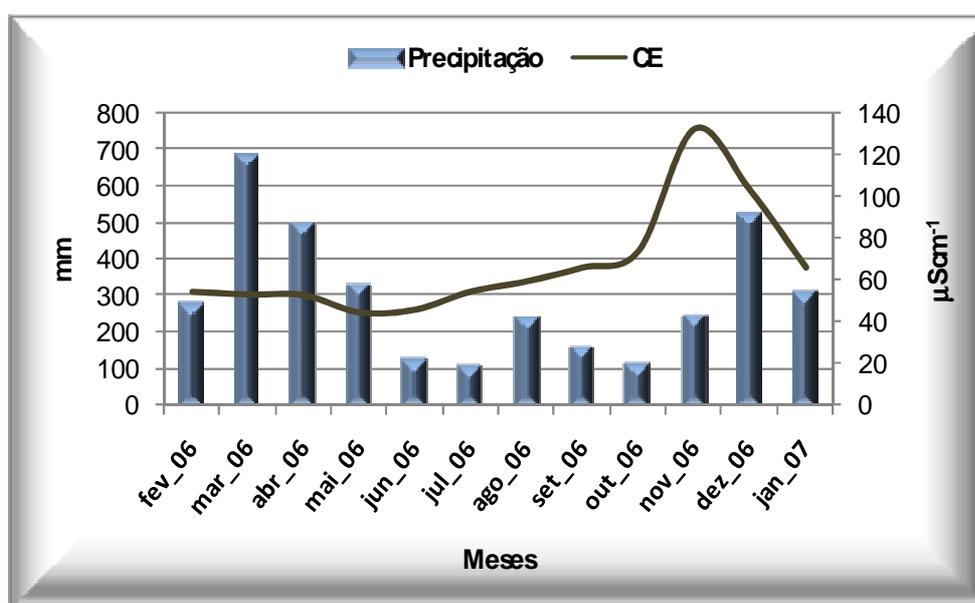


Figura 20 - Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) com a precipitação pluviométrica (mm) nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

A condutividade elétrica apresentou valores médios de 85,96 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 55,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período de menor precipitação pluviométrica e maior precipitação, respectivamente.

Os valores de mínimo e máximo de condutividade elétrica da água dos lagos variaram de 35 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 150 $\mu\text{S cm}^{-1}$; Souza e Lima (2002) encontraram no lago Água Preta, 155,7 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, 106,4 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ e 162,4 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. (BRIGANTE et al., 2003), consideram a concentração de 100 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a esperada para águas naturais.

A distribuição da condutividade elétrica nos pontos de amostragem identifica maiores valores nos pontos à jusante da entrada de água do rio Guamá e isso pode ser explicado pelo fato do rio Guamá trazer em suas águas uma carga de efluentes de origem antrópica, o que eleva os valores de condutividade elétrica. Não se pode descartar, no entanto a contribuição de fontes poluidoras instaladas no entorno dos lagos (lançamento de efluentes domésticos), que contribuem para elevar os valores de condutividade elétrica, como em pontos na porção norte do lago.

6.6 pH

O pH oscilou entre 5,7 (superfície) no mês de dezembro e 7,06 (fundo) no mês de fevereiro. A distribuição da média de pH durante o período estudado mostrou que a menor média, 5,98 ocorreu no mês de dezembro e a maior, 6,93 no mês de junho (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de pH nos lagos Bolonha e Água Preta.

(continua)

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 6,60 | 0,35 | 7,06 | 6,15 |
| Março 2006 | 6,68 | 0,16 | 6,90 | 6,40 |

(conclusão)

| Mês da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|----------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------|
| Abril 2006 | 6,71 | 0,27 | 7,04 | 6,10 |
| Maio 2006 | 6,89 | 0,14 | 7,04 | 6,70 |
| Junho 2006 | 6,93 | 0,12 | 7,05 | 6,70 |
| Julho 2006 | 6,82 | 0,15 | 7,03 | 6,60 |
| Agosto 2006 | 6,12 | 0,31 | 6,80 | 5,60 |
| Setembro 2006 | 6,20 | 0,19 | 6,80 | 5,90 |
| Outubro 2006 | 6,28 | 0,21 | 6,60 | 5,80 |
| Novembro 2006 | 6,18 | 0,15 | 6,50 | 5,90 |
| Dezembro 2006 | 5,98 | 0,20 | 6,40 | 5,70 |
| Janeiro 2007 | 6,18 | 0,15 | 6,50 | 5,90 |

A Figura 21 mostra a variação dos valores de pH nas estações de amostragens dos lagos estudados. O pH da superfície variou numa faixa de 6,20 a 6,85.

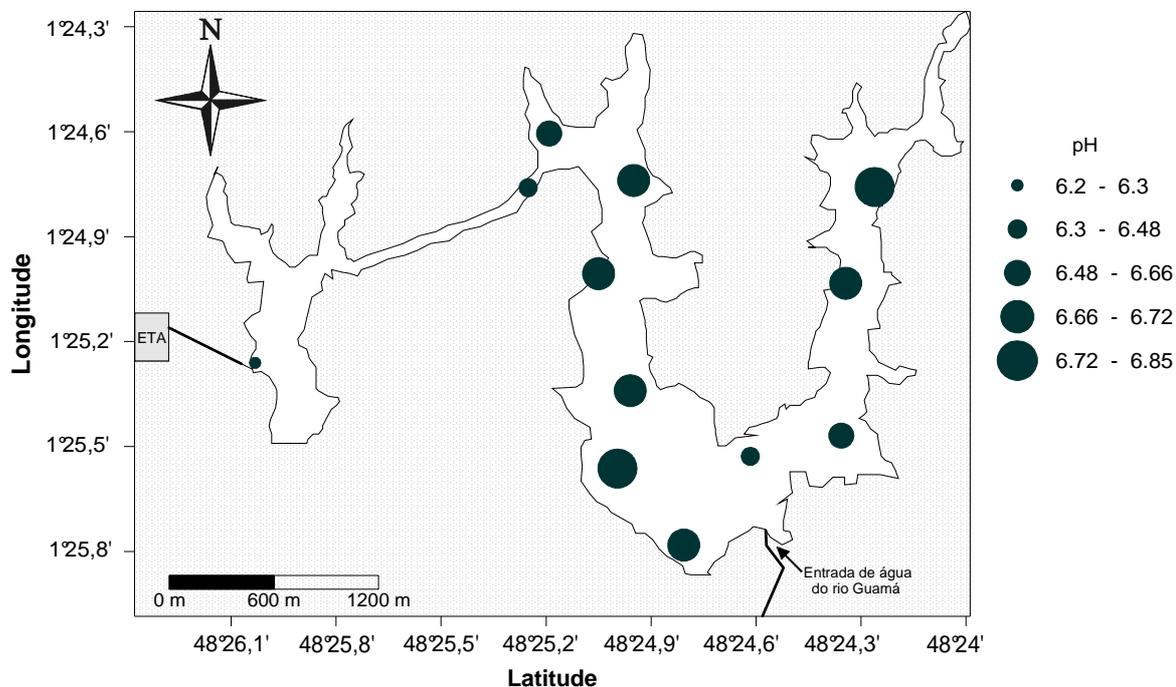


Figura 21 - Distribuição superficial do pH com base na média obtida em cada ponto.

Na Figura 22 pode ser observado as concentrações médias mensais de pH nas coletas de superfície e de fundo nos pontos de amostragem. Em todos os pontos amostrados os valores mais elevados de pH ocorreram na superfície. Esse

fato pode estar relacionado à atividade fotossintética na superfície que absorve o ácido carbônico do meio durante seu processo metabólico, elevando o pH do sistema.

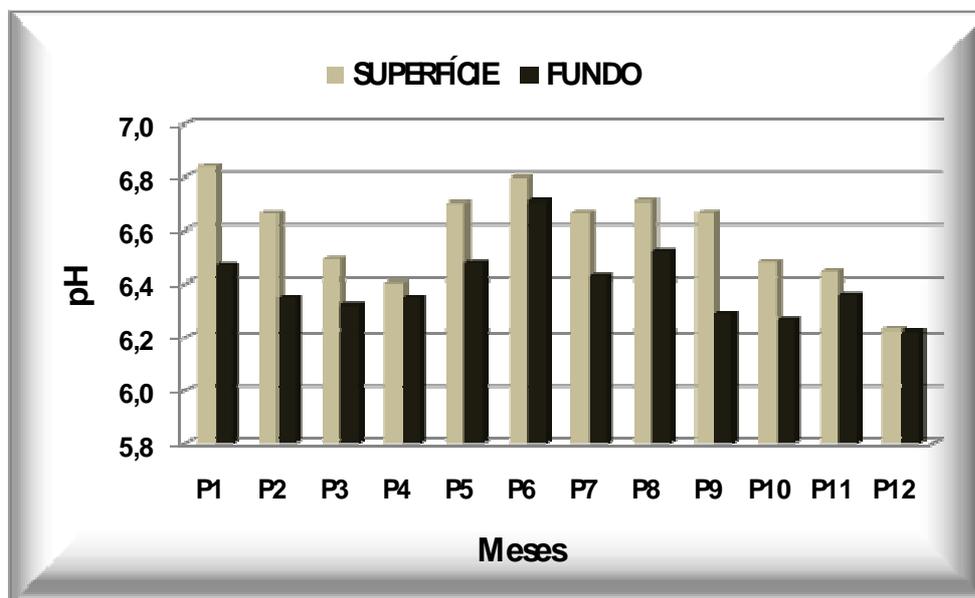


Figura 22 - Distribuição vertical da média de pH nos pontos de amostragem.

O pH nos lagos apresenta uma pequena elevação de valores no período de maior precipitação pluviométrica (Figura 23), mesmo sendo pouca a variação entre os valores encontrados.

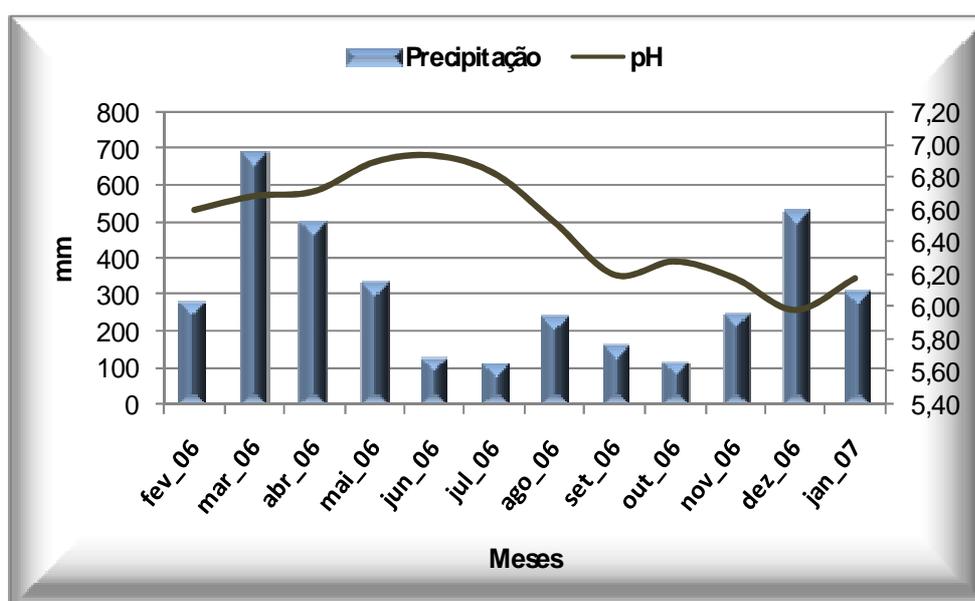


Figura 23 - Variação do pH com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

O pH pode ser considerado como um dos parâmetros mais importantes na caracterização dos ambientes aquáticos. Devido ao grande número de fatores que podem influenciá-lo, sua interpretação torna-se muito difícil (ESTEVES, 1998). Helaweell (1989) considera que a atividade fotossintética de algas e plantas superiores pode elevar o pH a 8 ou valores mais altos, já que a redução dos níveis de gás carbônico como resultado da fotossíntese que pode causar fortes mudanças de pH.

O pH da água é de fundamental importância para as demais variáveis químicas de interesse ambiental, podendo ser usado como indicador de possíveis alterações fisiológicas dos organismos. Suas variações no meio estão diretamente relacionadas ao ciclo do CO₂.

O pH dos lagos variou entre 5,60 e 7,06 no período estudado (fevereiro de 2007 a janeiro de 2007) Os valores de pH observados em outros trabalhos oscilaram entre 4,96 e 6,80, que relaciona-se, até certo grau, com a natureza geológica e a composição mineralógica do solo e subsolo por suas características ácidas e pobres em sais inorgânicos Sioli (1957).

No rio Guamá perto do Instituto Agrônomo do Norte em Belém, Sioli (op.cit.) encontrou o pH em torno de 6,2. Nas águas do rio Guamá, Ramos (2004) encontrou valores de pH entre 6 e 7. No Lago de Salto Grande, em Americana, SP (lago hipereutrófico), Zanata (1999) obteve valores de pH entre 5,90 e 7,80 no período seco e entre 6,30 e 7,00 no período chuvoso.

Apesar dos valores de pH encontrados nos lagos Bolonha e Água Preta possam ser comparados aos encontrados em ambientes eutrofizados, não indica, contudo, qualquer tipo de discussão em relação ao estado trófico dos lagos aqui estudados.

6.7 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (MILIGRAMA POR LITRO – Mg L^{-1})

Os valores de oxigênio variaram de 0,81(fundo) mg L^{-1} no mês de abril e 6,92 mg L^{-1} (superfície) em março de 2006.

Os valores médios de oxigênio dissolvido variaram de 3,67 mg L^{-1} a 5,16 mg L^{-1} , (Tabela 8), ambos no período de maior precipitação pluviométrica (abril e março).

Tabela 8 - Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) de oxigênio dissolvido nos lagos Bolonha e Água Preta.

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 3,77 | 1,11 | 5,46 | 2,10 |
| Março 2006 | 5,16 | 1,32 | 6,92 | 2,03 |
| Abril 2006 | 3,67 | 1,65 | 6,00 | 0,81 |
| Mai 2006 | 4,63 | 1,37 | 6,33 | 1,70 |
| Junho 2006 | 4,25 | 1,18 | 5,33 | 1,36 |
| Julho 2006 | 4,85 | 1,38 | 6,15 | 1,57 |
| Agosto 2006 | 4,80 | 1,32 | 6,90 | 1,67 |
| Setembro 2006 | 4,88 | 1,29 | 6,27 | 1,29 |
| Outubro 2006 | 4,80 | 0,97 | 6,72 | 2,35 |
| Novembro 2006 | 4,39 | 1,23 | 6,09 | 1,94 |
| Dezembro 2006 | 3,94 | 1,27 | 5,52 | 1,02 |
| Janeiro 2007 | 4,66 | 0,93 | 5,75 | 2,15 |

Antes da entrada para o lago Água Preta a água passa por um processo de aeração no momento que sai da tubulação de adução e passa para uma calha que leva essa água até o lago, o que favorece a distribuição desse gás. A diminuição desse gás ocorre pela oxidação da matéria orgânica, respiração dos organismos, oxidação dos íons metálicos, além da perda para atmosfera.

Conforme é apresentado na Figura 24, verificou-se que as maiores concentrações de oxigênio dissolvido foram à jusante do local de entrada da água aduzida do rio Guamá (pontos 5-10).

Uma provável explicação para esse fato é a aeração que a água sofre antes da entrada do lago Água Preta. Outros fatores que podem explicar o aumento do oxigênio dissolvido são: a troca entre a atmosfera e a água e o processo fotossintético.

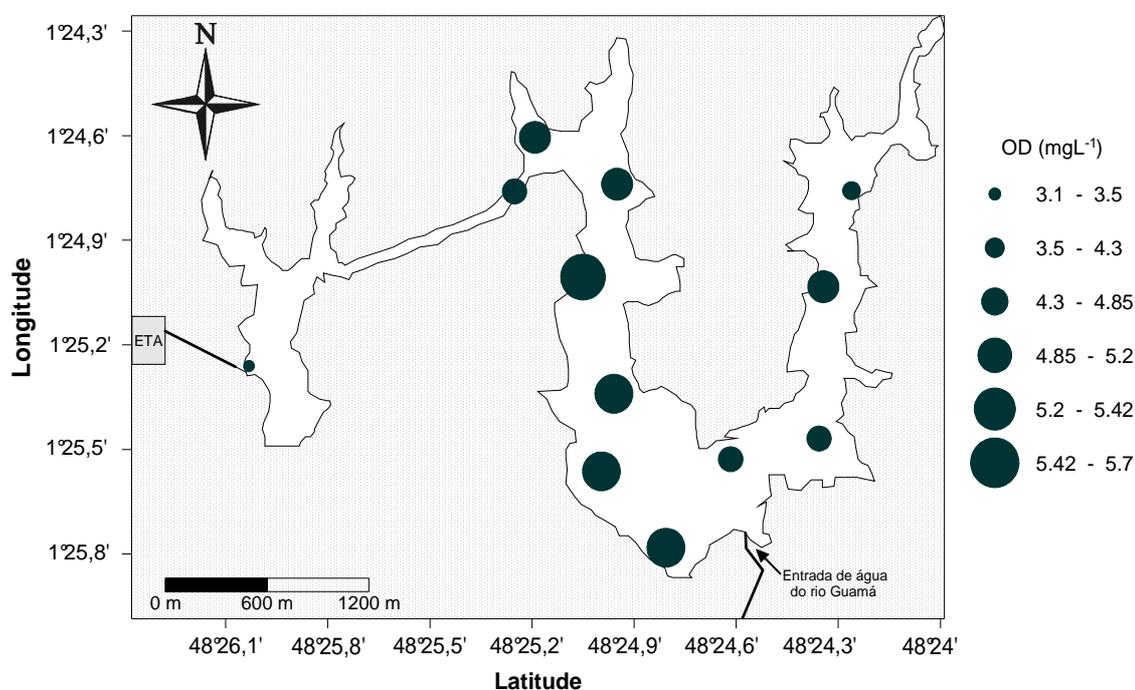


Figura 24 - Distribuição superficial do oxigênio dissolvido (mg L⁻¹) com base na média obtida em cada ponto.

A Figura 24 mostra a distribuição das médias dos valores de oxigênio dissolvido nas coletas de superfície e fundo, observa-se que os valores de superfície, apesar de pouco pronunciados em relação aos valores obtidos no fundo, são mais elevados, isso pode ser justificado pela atividade fotossintética das algas, que é realizada nas camadas superiores da lâmina d'água, que gera oxigênio e libera para o meio, e também pela aeração pelo vento.

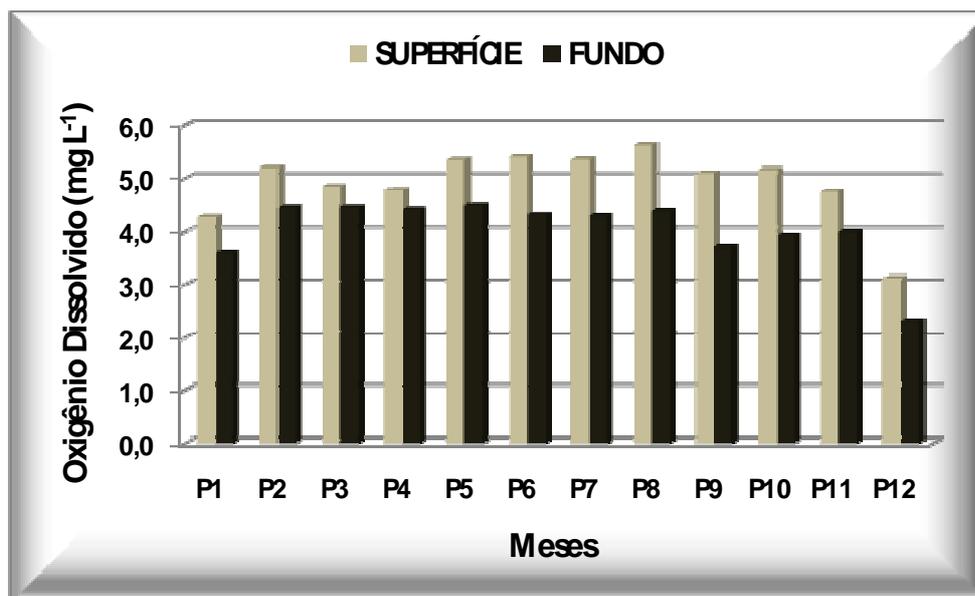


Figura 25 - Distribuição vertical da média de oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem.

O oxigênio dissolvido não apresenta destacada variação em função da precipitação pluviométrica, se mantém em concentrações pouco variáveis no período estudado. Pode-se inferir que apesar dos lagos receberem uma carga de poluentes das áreas de entorno, o que levaria a uma depleção na quantidade de oxigênio dissolvido dos lagos, ao mesmo tempo recebe um *input* de oxigênio no sistema pelo processo de adução das águas do rio Guamá (Figura 26).

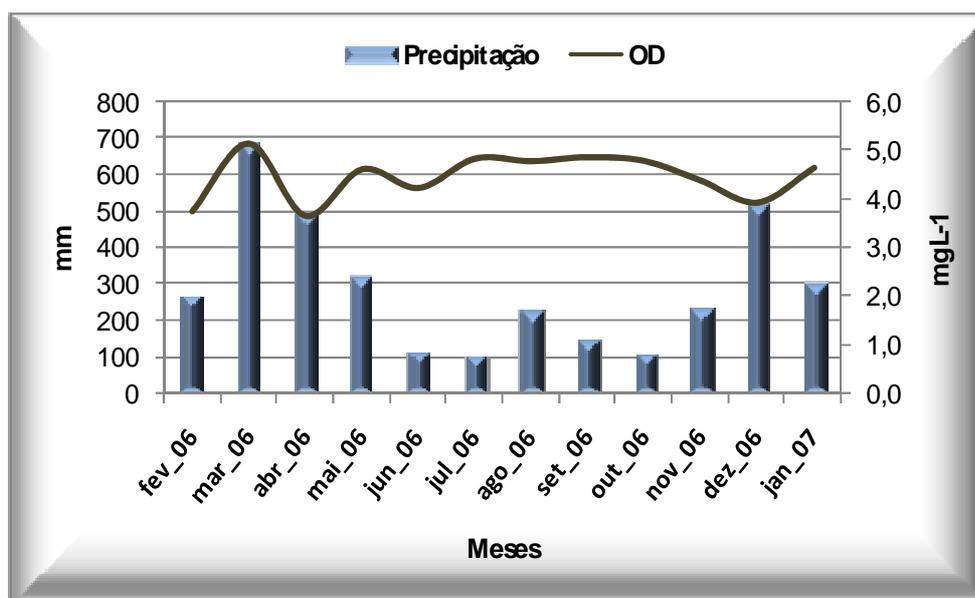


Figura 26 - Variação do oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

Uma das características mais importantes da água é a capacidade de solubilização de gases, especialmente o oxigênio, cujas concentrações influem decisivamente no funcionamento dos ecossistemas aquáticos, em suas comunidades e no balanço de vários nutrientes (PINEDA; SCHAFER, 1987).

Os valores de oxigênio dissolvido diminuíram da superfície para o fundo. Esses resultados estão de acordo com Esteves (1988), que cita que lagos de regiões tropicais apresentam na maioria dos casos fortes déficits de O_2 na coluna de água especialmente na parte inferior. Outra explicação é a presença de material orgânico no fundo do lago que constitui substrato para atividade biológica, causando depleção do oxigênio dissolvido. Valores de oxigênio dissolvido muito próximos na coluna de água, sem apresentar déficits de oxigênio no fundo, podem ser explicados pela ação dos ventos que favorecem o aporte de oxigênio para as camadas mais profundas.

Componente químico importante para processos bioquímicos e biológicos, o oxigênio dissolvido tem ação direta no metabolismo dos organismos, como a respiração e participa de processos de oxidação da matéria orgânica e de compostos químicos como o N-amoniaco e o N-nitrito (SILVA; SAVI, 2002).

O oxigênio dissolvido nos lagos registrou valor acima de $5,16 \text{ mg L}^{-1}$ apenas no mês de março de 2006 (Tabela 8), mês de maior índice de precipitação pluviométrica do ano. Mazzeo (1991) encontrou na baía do Guajará e no rio Guamá valores de oxigênio dissolvido entre $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e 8 mg.L^{-1} , valores acima dos encontrados nos lagos durante esse estudo.

Nas águas do igarapé Tucunduba, Mazzeo (op.cit.) registrou na vazante $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$ como valor mínimo e de $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de valores médios. Comparando-se com os dados obtidos no fundo do lago pode-se dizer que existe em ambos os ambientes grande consumo deste gás pela degradação da matéria orgânica.

6.8 NITRATO (MILIGRAMA POR LITRO – Mg L⁻¹)

Os valores de nitrato variaram de 1,396 mg L⁻¹ (fundo) no mês de agosto de 2006 a 0,002 mg L⁻¹ (superfície) no mês de julho de 2006. As médias de nitrato nos lagos foram; 0,075 mg L⁻¹ no mês de julho de 2006, e 0,637 mg L⁻¹ no mês de novembro de 2006 (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de nitrato nos lagos Bolonha e Água Preta.

| Mês da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|----------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------|
| Fevereiro 2006 | - | - | - | - |
| Março 2006 | 0,396 | 0,131 | 0,687 | 0,202 |
| Abril 2006 | - | - | - | - |
| Mai 2006 | 0,110 | 0,055 | 0,255 | 0,058 |
| Junho 2006 | 0,131 | 0,126 | 0,525 | 0,009 |
| Julho 2006 | 0,075 | 0,127 | 0,564 | 0,002 |
| Agosto 2006 | 0,379 | 0,346 | 1,396 | 0,053 |
| Setembro 2006 | 0,329 | 0,463 | 1,066 | 0,037 |
| Outubro 2006 | 0,376 | 0,259 | 1,004 | 0,062 |
| Novembro 2006 | 0,637 | 0,272 | 1,306 | 0,045 |
| Dezembro 2006 | 0,410 | 0,244 | 0,906 | 0,049 |
| Janeiro 2007 | 0,391 | 0,264 | 1,126 | 0,054 |

Nos meses de fevereiro e abril de 2006, ocorreram problemas técnicos na realização das análises de nitrato, por esse motivo não foram apresentados os resultados na Tabela.

Conforme apresenta a Figura 27, as maiores concentrações de nitrato coincidiram com os máximos valores de condutividade elétrica observados nos pontos 4 e 12.

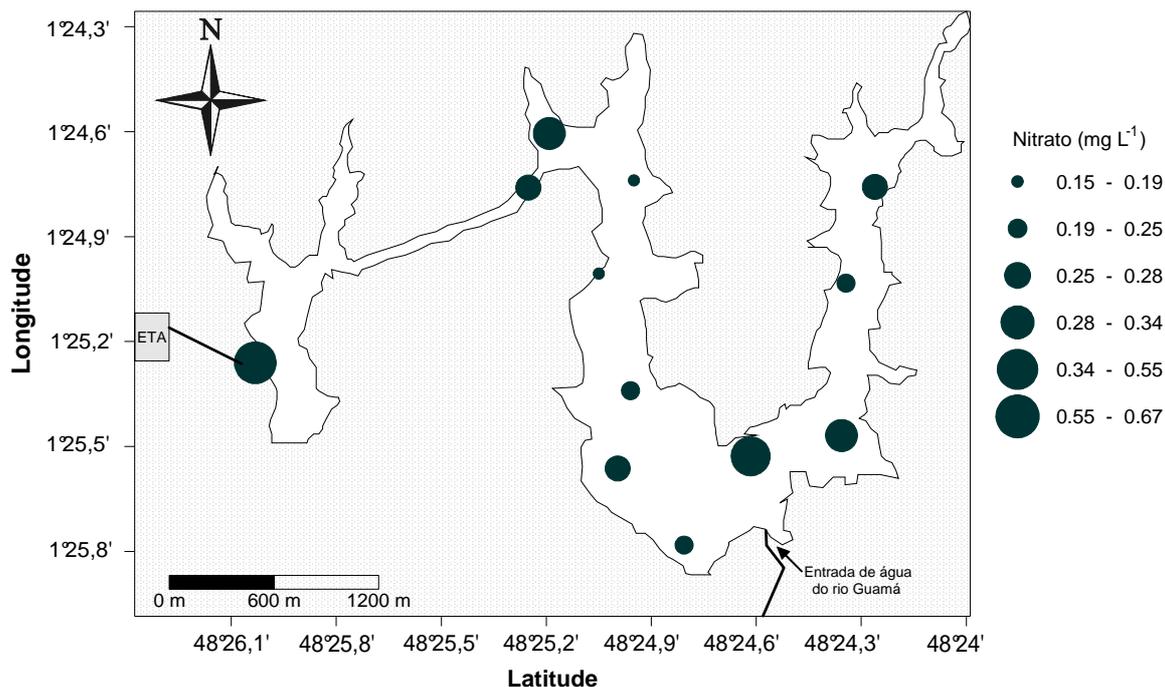


Figura 27 - Distribuição superficial do nitrato (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto.

A leste do lago Água Preta se localiza o conjunto habitacional Guanabara que pode estar contribuindo com a elevação dos valores de nitrato nos pontos 1 e 3 (lago Água Preta). A Figura 28 mostra a distribuição do nitrato nos pontos de coleta de superfície e fundo, observa-se que os valores mantiveram-se uniformes ao longo do período, as maiores concentrações foram observadas no ponto 4 (entrada de água do rio Guamã) e no ponto 12 (lago Bolonha).

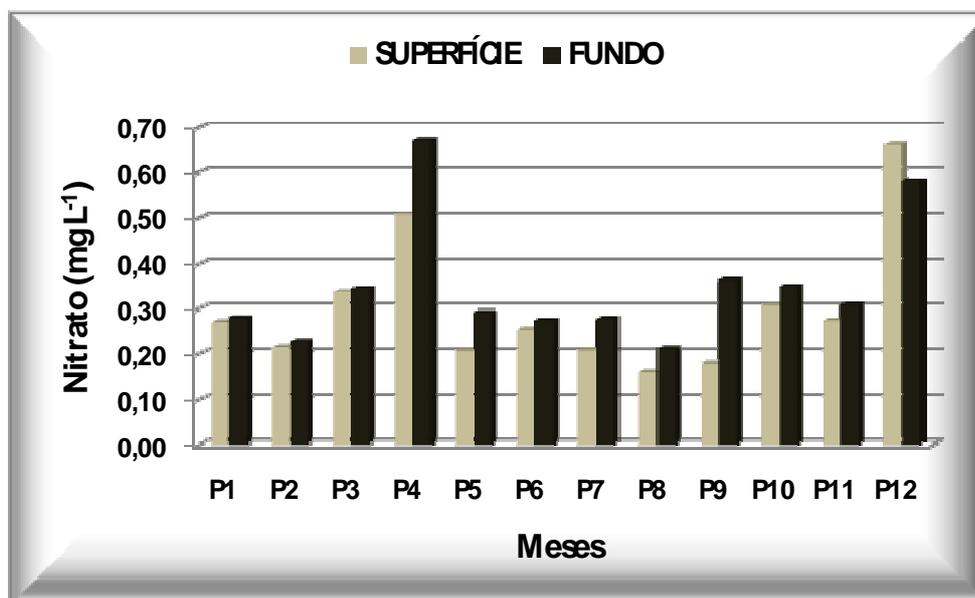


Figura 28 - Distribuição vertical da média de nitrato (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem

O nitrato registra uma tendência de elevação nas concentrações em meses menos chuvosos, tal fato coincidiu com a condutividade elétrica, turbidez e cor aparente durante o período menos chuvoso (Figura 29).

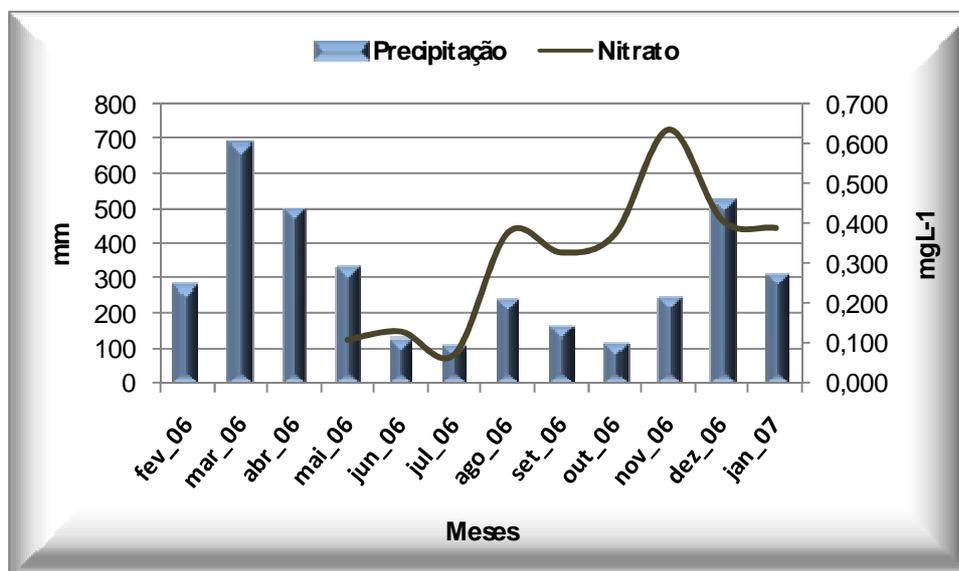


Figura 29 - Variação do nitrato (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

De acordo com Noriega (2004), no ciclo do nitrogênio, este elemento apresenta várias formas e estado de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas; nitrogênio molecular (N_2), em equilíbrio entre a atmosfera e a água; nitrogênio orgânico (dissolvido e no particulado em suspensão); nitrito (NO_2^-); nitrato (NO_3^-) e nitrogênio amoniacal (NH_3 , NH_4^+).

O nitrato é resultante da oxidação completa dos compostos orgânicos nitrogenados a partir da atividade aeróbica das bactérias. Altas concentrações deste nutriente indicam maiores aportes de matéria orgânica. Em regiões tropicais onde prevalecem as altas temperaturas há uma aceleração dos processos de degradação desta matéria, levando a elevados índices de N-nitrato, tornando o ambiente eutrofizado.

Para Baumgarten; Rocha e Niencheski (1996) o nitrato é a forma mais estável em solução aquosa, sendo um importante nutriente dissolvido para os produtores primários e é regenerado por via bacteriana (nitrificação ou oxidação total

do amônio) a partir do nitrogênio orgânico, que pela decomposição da matéria se transforma em nitrogênio amoniacal.

As reações de oxidação de amônia a nitrito e posteriormente a nitrato consomem oxigênio dissolvido do meio podendo causar um desequilíbrio no balanço produção/consumo deste gás no ambiente aquático, afetando diretamente a espécies aquáticas. Na captação do rio Guamá a (COSANPA,1982) obteve o máximo de $0,06 \text{ mg.L}^{-1}$ e mínimo de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$. Ribeiro (2002) determinou nos igarapés Paracurí e Combu, concentrações de $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$.

Em trabalhos realizados de 1980 a 1982 e em 2003, por Braz (1985), os teores de nitrato oscilaram de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$ no lago Bolonha. No lago Água Preta foi encontrado por Aguiar (2004) um valor mais elevado em comparação ao Bolonha, de $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$ no ano de 2003 e de 2004.

Quando se compara os valores da literatura aos obtidos nesse trabalho, observou-se uma faixa de variação mais ampla. A análise atual revela valores máximos mais elevados aos encontrados em outros trabalhos, isso pode estar associado às pressões antrópicas continuadas que o sistema Bolonha - Água Preta vem sofrendo ao longo dos anos, assim como no rio Guamá..

Se por outro lado se observa valores de nitrato variando numa faixa de $1,7 \text{ mg.L}^{-1}$ a 9 mg.L^{-1} , como o que foi registrado no igarapé Mata Fome por Gaspar (2001) e de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ a 48 mg.L^{-1} ; observado no rio Aurá por Morales (2002), que são valores típicos de ambientes que sofrem fortes pressões antrópicas, pode-se concluir que os lagos estudados ainda passam por um processo de autodepuração e renovação de suas águas, não atingindo concentrações características de ambientes hipereutróficos.

6.9 NITROGÊNIO AMONIAICAL (MILIGRAMA POR LITRO – Mg L⁻¹)

Na Tabela 10 são apresentados os valores de Nitrogênio amoniacal nos lagos, que oscilaram entre 0,010 mg L⁻¹, (superfície) em março de 2006 e 1,340 mg L⁻¹ (fundo) valor máximo no mês de setembro de 2006.

A média do parâmetro N-amoniacal foi 0,098 mg L⁻¹ em março de 2006 e de 0,550 mg L⁻¹ em fevereiro de 2006.

Tabela 10 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (DP) de N-amoniacal nos lagos Bolonha e Água Preta.

| Mês da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|----------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------|
| Fevereiro 2006 | 0,550 | 0,177 | 0,800 | 0,300 |
| Março 2006 | 0,098 | 0,139 | 0,580 | 0,010 |
| Abril 2006 | 0,207 | 0,130 | 0,500 | 0,020 |
| Mai 2006 | 0,175 | 0,135 | 0,510 | 0,020 |
| Junho 2006 | 0,160 | 0,199 | 0,800 | 0,030 |
| Julho 2006 | 0,160 | 0,103 | 0,570 | 0,050 |
| Agosto 2006 | 0,362 | 0,167 | 1,070 | 0,250 |
| Setembro 2006 | 0,408 | 0,214 | 1,340 | 0,290 |
| Outubro 2006 | 0,393 | 0,161 | 0,880 | 0,270 |
| Novembro 2006 | 0,469 | 0,087 | 0,660 | 0,350 |
| Dezembro 2006 | 0,355 | 0,131 | 0,790 | 0,230 |
| Janeiro 2007 | 0,334 | 0,055 | 0,450 | 0,160 |

O parâmetro nitrogênio amoniacal é uma forma nitrogenada reduzida, que indica uma poluição não recente. A Figura 30 mostra a distribuição dos valores de N-amoniacal mais acentuados a montante do local de entrada de água do rio Guamá (pontos 1 e 2) no ponto 4, entrada do rio Guamá e ponto 5, próximo ao clube do lago.

A maior concentração de N-amoniacal nos pontos a montante da entrada do rio Guamá pode ser explicado por estes estarem numa área de menor turbulência

das águas, menor aeração, ambiente mais propício às reações de redução de nitrato à n-amoniacal.

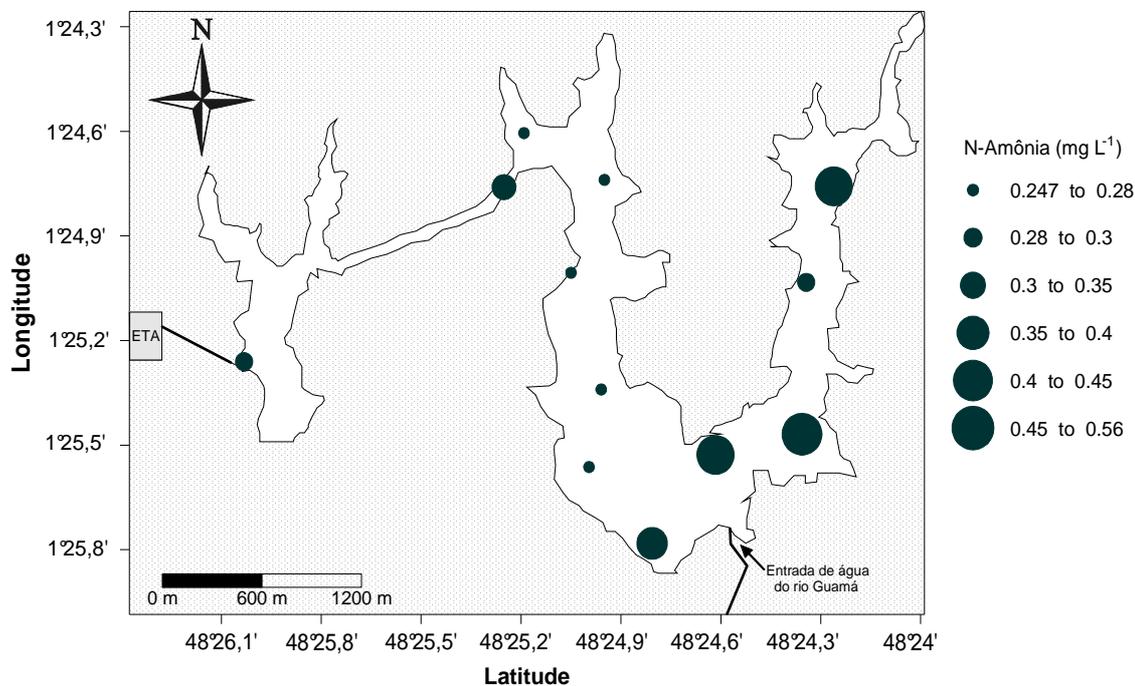


Figura 30 - Distribuição superficial do N-amoniaco (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto.

A Figura 31 mostra a variação média das concentrações de N-amoniaco nas amostras de superfície e de fundo durante o período estudado

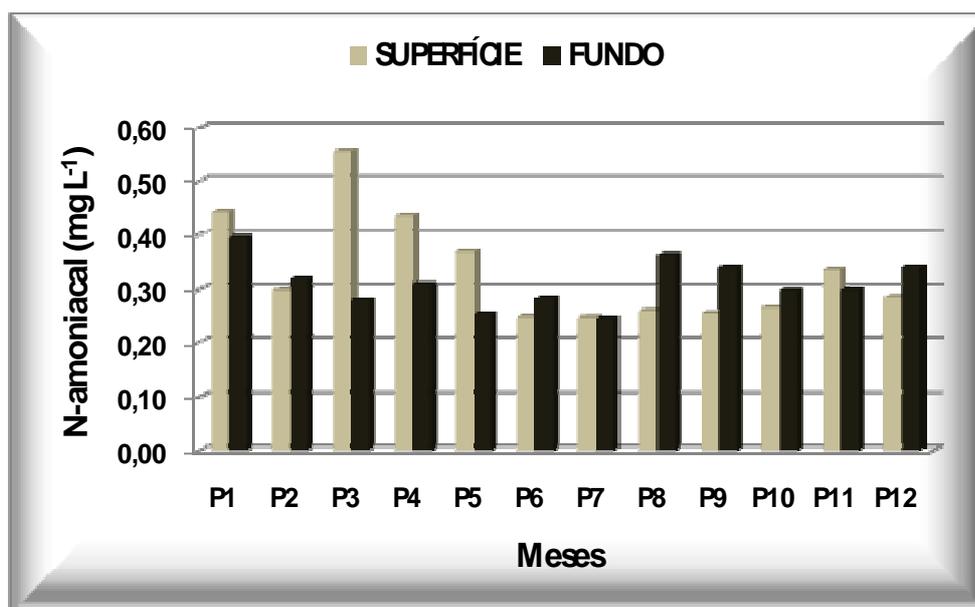


Figura 31 - Distribuição vertical da média de N-amoniaco (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem

Pode-se observar que ao longo do período o parâmetro se comporta sem apresentar tendência de concentrações mais elevadas na superfície ou no fundo, exceto nos pontos 3,4 e 5 onde ocorrem maiores concentrações desse nutriente na superfície.

Da mesma maneira que o nitrato, o N-amoniaco registra maiores concentrações em períodos de menores precipitações pluviométricas, possivelmente por não ter suas concentrações diluídas com as águas da chuva do período de maior precipitação pluviométrica (Figura 32).

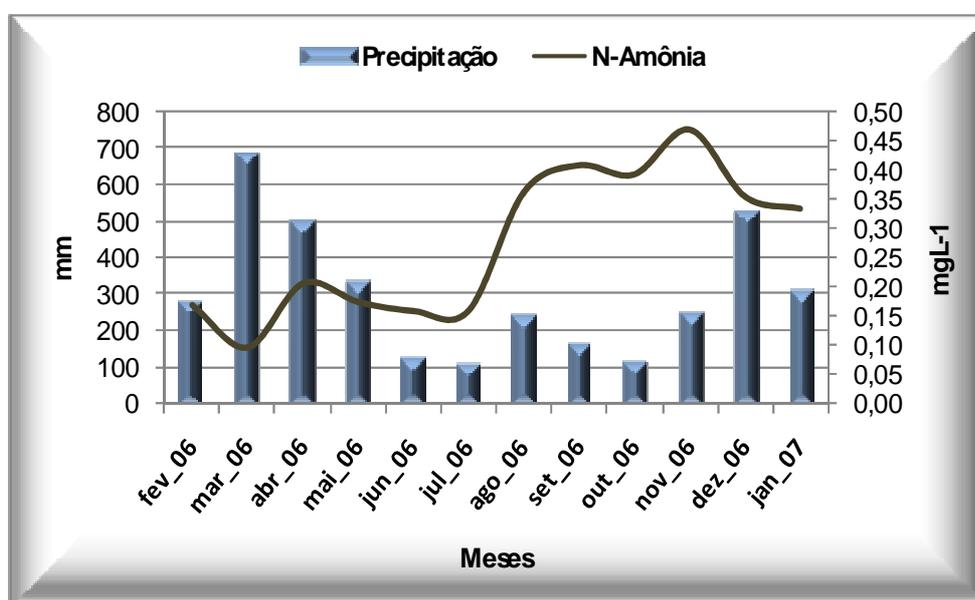
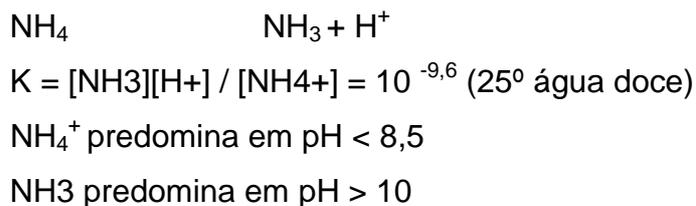


Figura 32 - Variação do N-amoniaco (mg L⁻¹) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

Dentre os compostos nitrogenados o N-amoniaco é a forma preferível do fitoplâncton devido ao menor gasto de energia para assimilação em relação ao N-nitrato, porém altos índices desse elemento podem ser prejudiciais à biota.

O N-amoniaco pode se apresentar na forma ionizada (NH₄⁺) ou não ionizada (NH₃). Este balanço é especialmente controlado pelo pH da água, sendo a forma não ionizada mais abundante em valores de pH maiores que 10 e a forma ionizada em pH abaixo de 8,5 (CARMOUZE, 1999)..



Vários processos podem determinar a distribuição espacial e as concentrações desse elemento no ambiente como a nitrificação, os processos naturais de transporte e o próprio ciclo de regeneração dos nutrientes à sua forma orgânica (ESTEVES, 1998).

Em 1998, Braz detectou valores máximo e mínimo de $1,05 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ no lago Bolonha, no lago Água Preta foi registrado um valor máximo de N-amoniacoal de $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$.

No igarapé Paracurí, Ribeiro (2002) detectou $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ e no igarapé Combu $0,08 \text{ mg L}^{-1}$. Na captação do rio Guamá foi detectado $0,1 \text{ mg .L}^{-1}$ e nas cabeceiras do rio Aura $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$ (MORALES, 2002).

No igarapé Mata Fome, Gaspar (2001) determinou $5,7 \text{ mg.L}^{-1}$ a $12,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Para águas com forte influência antrópica, foram verificados valores entre $4,9 \text{ mg.L}^{-1}$ e 51 mg.L^{-1} (MORALES,op.cit.).

Comparando a variação de N-amoniacoal obtida no presente trabalho ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$ a $1,34 \text{ mg L}^{-1}$), aos valores acima referenciados observa-se que são próximos aos de ambientes ainda não impactados. Os valores encontrados em ambientes antropizados evidenciam concentrações de N-amoniacoal superiores ao verificado nos lagos Bolonha e Água Preta, o que evidencia processo de autodepuração nos ecossistemas estudados.

6.10 FOSFATO (MILIGRAMA POR LITRO – Mg L⁻¹)

O valor mínimo de fosfato nos lagos foi de 0,009 mg L⁻¹ (superfície) no mês de março de 2006, e o máximo de 0,159 mg L⁻¹ (fundo) no mês de outubro de 2006.

Os valores médios de fosfato nos lagos Bolonha e Água Preta durante o período estudado foram de 0,015 mg L⁻¹ no período de maior precipitação e de 0,094 mg L⁻¹ no período de menor precipitação (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão de fosfato nos lagos Bolonha e Água Preta.

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 0,037 | 0,025 | 0,103 | 0,010 |
| Março 2006 | 0,015 | 0,006 | 0,033 | 0,009 |
| Abril 2006 | 0,016 | 0,008 | 0,045 | 0,010 |
| Mai 2006 | 0,066 | 0,023 | 0,111 | 0,026 |
| Junho 2006 | 0,031 | 0,021 | 0,090 | 0,010 |
| Julho 2006 | 0,019 | 0,005 | 0,029 | 0,010 |
| Agosto 2006 | 0,023 | 0,017 | 0,074 | 0,010 |
| Setembro 2006 | 0,032 | 0,016 | 0,074 | 0,014 |
| Outubro 2006 | 0,094 | 0,038 | 0,159 | 0,026 |
| Novembro 2006 | 0,061 | 0,023 | 0,097 | 0,024 |
| Dezembro 2006 | 0,037 | 0,021 | 0,090 | 0,012 |
| Janeiro 2007 | 0,017 | 0,007 | 0,036 | 0,010 |

Na Figura 33 se observa a concentração do fosfato nos pontos a jusante da entrada do rio Guamá, destacando-se os pontos 9,10 e 11 no lago Água Preta e 12 no Bolonha.

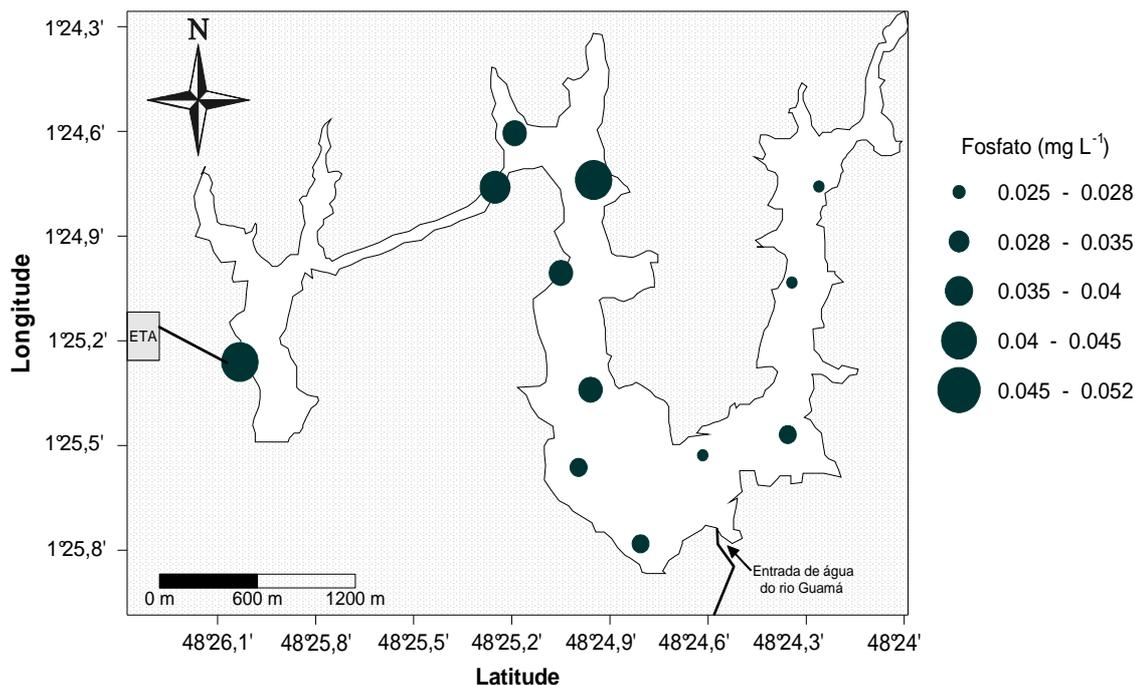


Figura 33 - Distribuição superficial do fosfato (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto.

A Figura 34 mostra a distribuição média mensal de fosfato nas coletas de superfície e fundo. Não houve diferenças significativas nas concentrações nas coletas superficiais e de fundo.

Observou-se que as concentrações mais elevadas foram a partir do ponto 8. O fosfato fica disponível em ambientes aquáticos através da ressuspensão de sedimentos na coluna de água, e de efluentes domésticos pela utilização de desinfetantes fosfatados.

A presença de maiores concentrações desse parâmetro a partir do ponto 8, pode ser devido às menores profundidades nesses pontos e a ação dos ventos, que pode estar favorecendo a ressuspensão de sedimentos para a coluna de água.

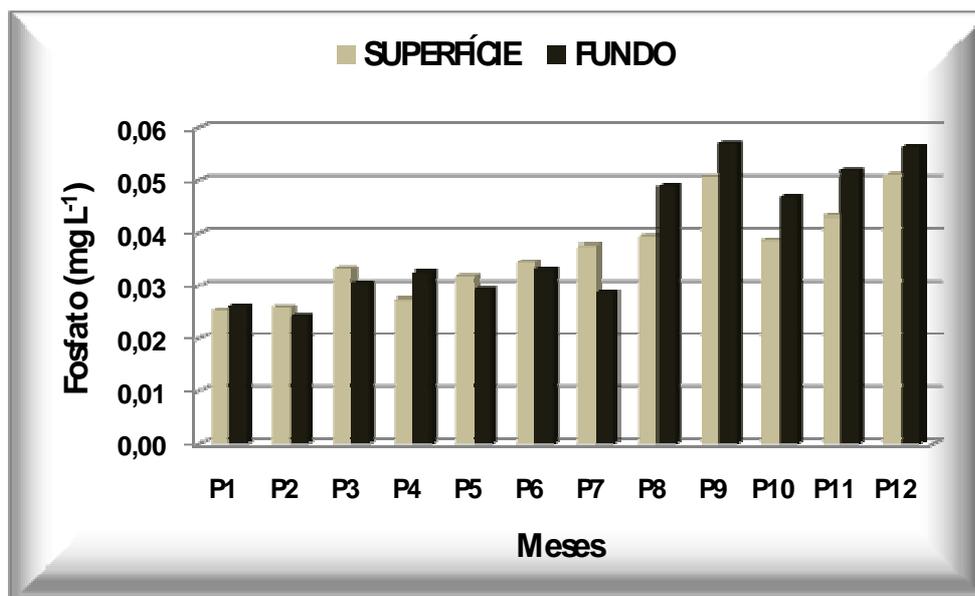


Figura 34 - Distribuição vertical da média de fosfato (mg L⁻¹) nos pontos de amostragem

Quando se analisa o comportamento do fosfato frente às variações da precipitação pluviométrica se observa uma tendência para maiores concentrações entre os meses de agosto e dezembro (Figura 35).

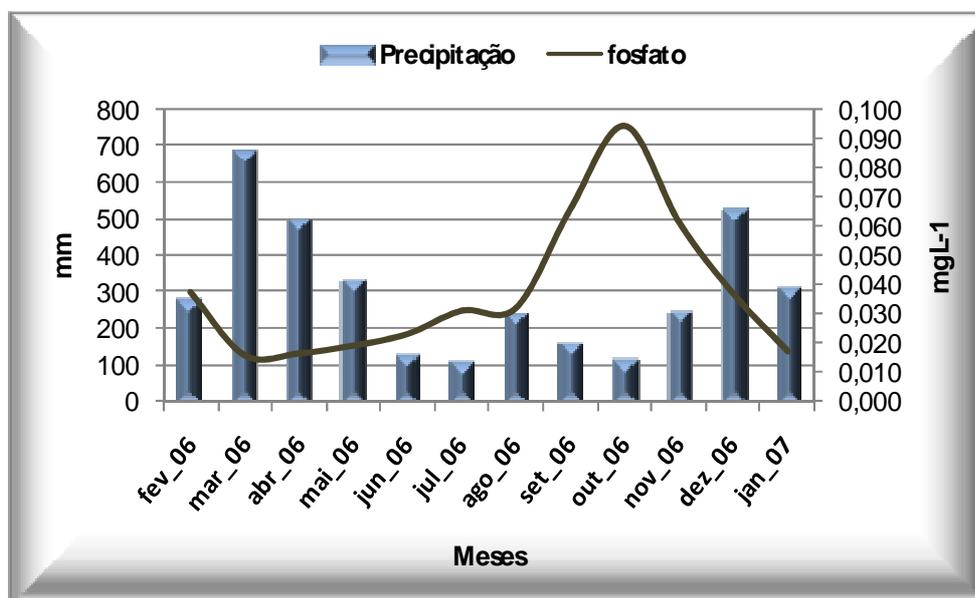


Figura 35 - Variação do fosfato (mg L⁻¹) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

Os nutrientes orgânicos e inorgânicos são constantemente transportados para o fundo dos lagos e reservatórios por sedimentação. Porém, por meio de processos biológicos, químicos, físicos e mecânicos esses nutrientes podem retornar do

sedimento para a coluna d'água. A taxa de ciclagem desses nutrientes também é influenciada por condições hidrológicas, morfologia do lago, tempo de residência da água, regime de temperaturas, além do tamanho e densidade das partículas (FORSBERG, 1989).

O fósforo é um elemento de extrema importância para os organismos sendo constituinte de compostos vitais como a ATP (adenosina-trifosfato), que é um dos mais importantes compostos energéticos, DNA e membranas celulares, sendo de extrema importância para o desenvolvimento do fitoplâncton. As fontes artificiais mais importantes são os esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial contido na atmosfera.

Nos lagos tropicais, devido à alta temperatura da água, o metabolismo dos organismos aumenta consideravelmente, fazendo com que o fosfato (fósforo inorgânico dissolvido) seja rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa, esse é um dos principais motivos pelo qual, nestes lagos, excetuando os eutrofizados artificialmente, a concentração de fosfato é muito baixa; geralmente abaixo do limite de detecção dos métodos analíticos atualmente disponíveis (ESTEVES, 1998). Segundo o autor a pouca profundidade de alguns ecossistemas aquáticos e a ação dos ventos favorece a disponibilidade de nutrientes à coluna de água.

A temperatura mais elevada acelera o metabolismo dos organismos consideravelmente, fazendo com que o P-orto seja ainda mais rapidamente assimilado e incorporado na sua biomassa. Este é um dos principais motivos pelo qual, nestes lagos, excetuando os eutrofizados artificialmente, a concentração de P-orto é muito baixa; geralmente abaixo do limite inferior de detecção da maioria dos métodos analíticos atualmente disponíveis. (ESTEVES, op.cit).

Cunha (2003) obteve no período chuvoso mínimo de 0,007 mg. L⁻¹ e máximo de 0,022 mg. L⁻¹; Sousa (2007) encontrou em agosto de 2005, valor mínimo de 0,007 mg.L⁻¹ e máximo de 0,027 mg.L⁻¹ Ribeiro (1992) detectou no período de estiagem, média de 0,026 mg.L⁻¹ e na época de chuva, média de 0,028 mg.L⁻¹.

Os valores de fosfato encontrados no presente trabalho foram de 0,159 mg L⁻¹ (valor máximo) e de 0,009 mg L⁻¹ (valor mínimo), os valores mínimos ficaram próximos aos encontrados em outros trabalhos e o valor máximo apresentou valores mais elevados, o que pode evidenciar também o aumento da disponibilidade desse parâmetro para coluna d'água.

6.11 SÓLIDOS SUSPENSOS (MILIGRAMA POR LITRO – Mg L⁻¹)

Os sólidos suspensos oscilaram entre 1 mg L⁻¹ (superfície) no mês de fevereiro a 57 mg L⁻¹ (fundo) no mês abril. Os valores médios de sólidos suspensos nos lagos foram de 7 mg L⁻¹ em fevereiro e 26 mg L⁻¹ em junho (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) de sólidos suspensos nos lagos Bolonha e Água Preta.

| <i>Mês da Coleta</i> | <i>Média Mensal</i> | <i>DP</i> | <i>Máximo</i> | <i>Mínimo</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Fevereiro 2006 | 7 | 7 | 27 | 1 |
| Março 2006 | 9 | 4 | 16 | 3 |
| Abril 2006 | 17 | 13 | 57 | 2 |
| Mai 2006 | 12 | 7 | 29 | 2 |
| Junho 2006 | 26 | 4 | 33 | 20 |
| Julho 2006 | 22 | 6 | 41 | 14 |
| Agosto 2006 | 25 | 4 | 31 | 14 |
| Setembro 2006 | 24 | 2 | 28 | 17 |
| Outubro 2006 | 24 | 3 | 29 | 15 |
| Novembro 2006 | 24 | 4 | 29 | 13 |
| Dezembro 2006 | 18 | 5 | 33 | 10 |
| Janeiro 2007 | 14 | 6 | 26 | 5 |

Na Figura 36 é apresentada a distribuição de sólidos suspensos nos lagos, esse parâmetro tem uma distribuição com concentrações mais elevadas em pontos próximos à entrada de água do rio Guamá. É interessante notar que a partir de entrada do rio Guamá ocorre diminuição nas concentrações desse parâmetro.

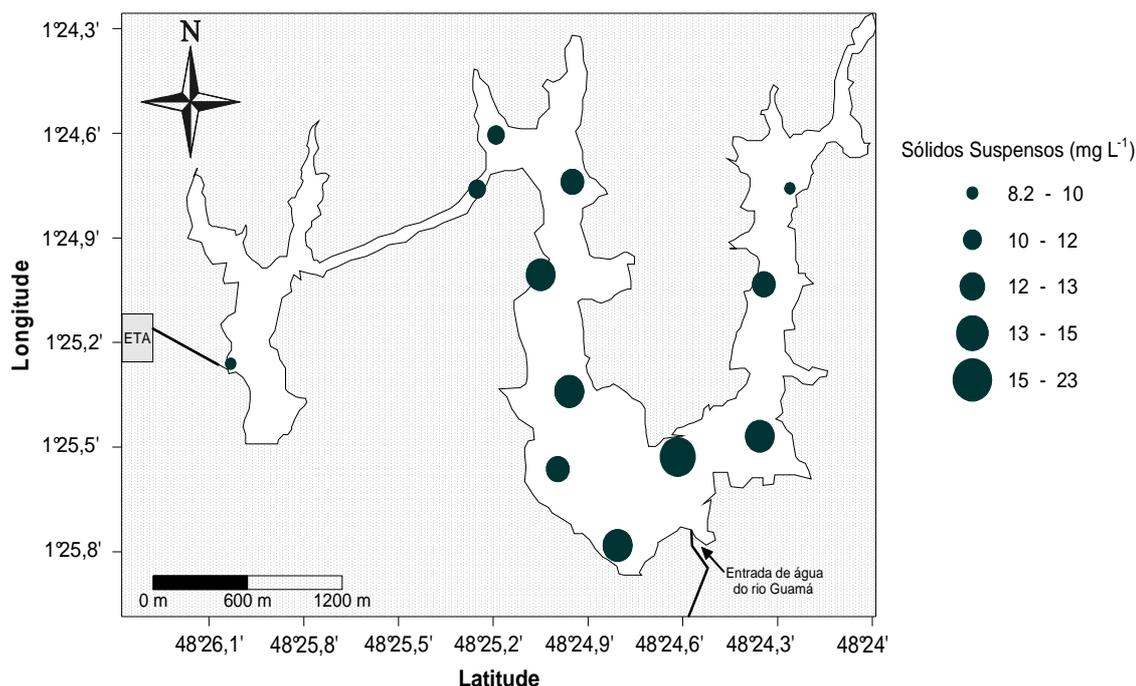


Figura 36 - Distribuição superficial de sólidos suspensos (mg L^{-1}) com base na média obtida em cada ponto.

Na distribuição dos sólidos suspensos nas coletas de superfície e fundo nos pontos de amostragem, observa-se na Figura 37 que as concentrações são mais elevadas no ponto 4 e menores a medida que se afastam desse ponto. O que confirma a informação dos lagos funcionarem como um pré tratamento para a ETA.

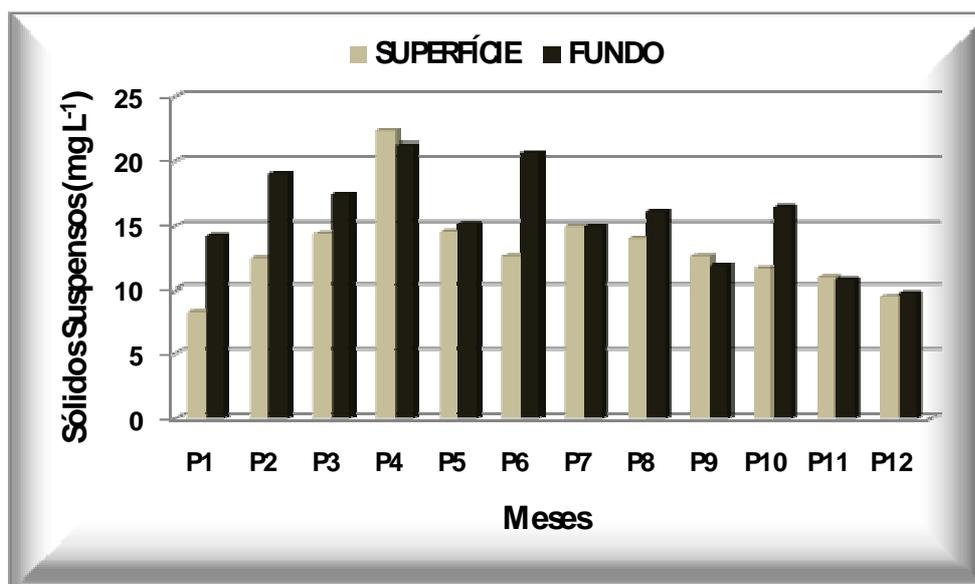


Figura 37 - Distribuição vertical da média de sólidos suspensos (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem

A Figura 38 mostra uma tendência à elevação de sólidos suspensos nos lagos em períodos de menor precipitação pluviométrica. A mesma tendência foi verificada para turbidez e cor aparente.

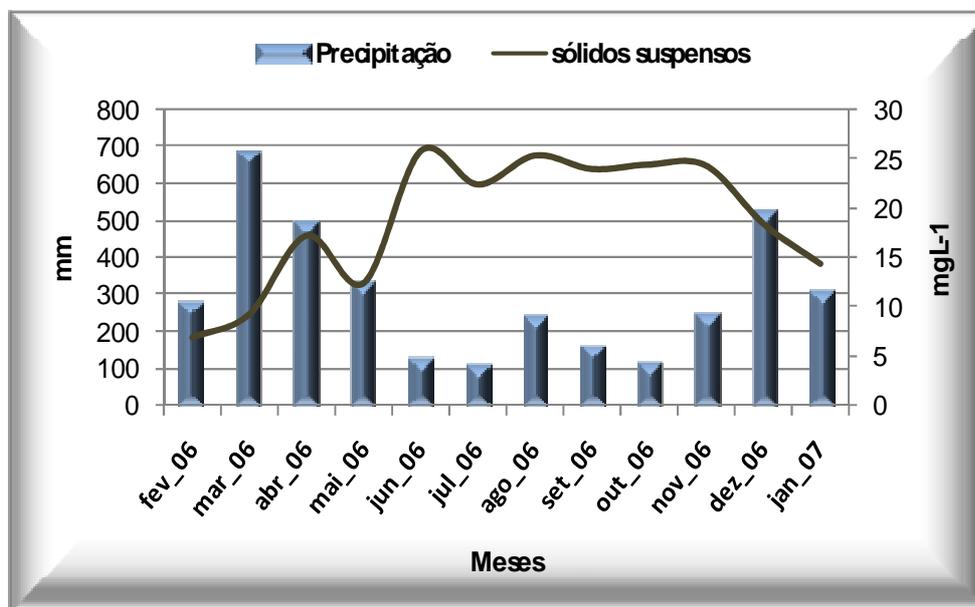


Figura 38 - Variação dos sólidos suspensos (mg L^{-1}) com a precipitação pluviométrica (mm) (fevereiro de 2006 a janeiro de 2007)

6.12 TRANSPARÊNCIA DO DISCO DE SECCHI (METRO)



A transparência máxima da água dos lagos foi de 1,5 m, em março e mínima de 0,35 M em agosto (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores médios, máximos e mínimos e desvio padrão (DP) da transparência nos lagos Bolonha e Água Preta.

| Data da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|-----------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------|
| Fevereiro 2006 | 1,05 | 0,29 | 1,40 | 0,40 |
| Março 2006 | 1,00 | 0,20 | 1,50 | 0,75 |
| Abril 2006 | 1,11 | 0,15 | 1,40 | 0,95 |
| Mai 2006 | 0,81 | 0,12 | 1,00 | 0,70 |
| Junho 2006 | 0,77 | 0,14 | 1,10 | 0,60 |

(conclusão)

| Data da Coleta | Média Mensal | DP | Máximo | Mínimo |
|-----------------------|---------------------|-----------|---------------|---------------|
| Julho 2006 | 0,74 | 0,24 | 1,30 | 0,50 |
| Agosto 2006 | 0,64 | 0,22 | 1,10 | 0,35 |
| Setembro 2006 | 0,78 | 0,30 | 1,20 | 0,45 |
| Outubro 2006 | 0,65 | 0,18 | 1,00 | 0,40 |
| Novembro 2006 | 0,89 | 0,27 | 1,45 | 0,55 |
| Dezembro 2006 | 1,03 | 0,23 | 1,40 | 0,70 |
| Janeiro 2007 | 1,05 | 0,23 | 1,40 | 0,70 |

Na Figura 39 é apresentada a variação mensal da transparência da água nos lagos, que foi em média de 1,11 m, no período de maior precipitação e de 0,64 M em período de menor precipitação.

O aumento da transparência da água no período de maior precipitação se deve à diluição que as águas do rio Guamá (de elevada cor aparente e turbidez) sofrem com as águas das chuvas.

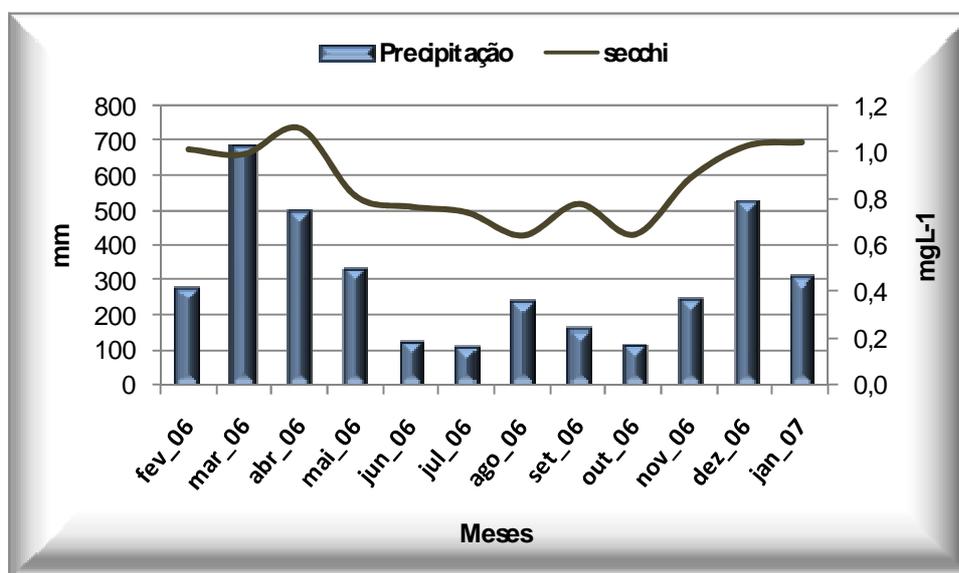


Figura 39 - Distribuição dos valores médios mensais de transparência nos lagos Bolonha e Água Preta (fevereiro de 2007 a janeiro de 2007).

A Figura 40 apresenta a distribuição superficial da transparência nos lagos, observa-se a diminuição desses valores com a entrada de água do rio Guamá.

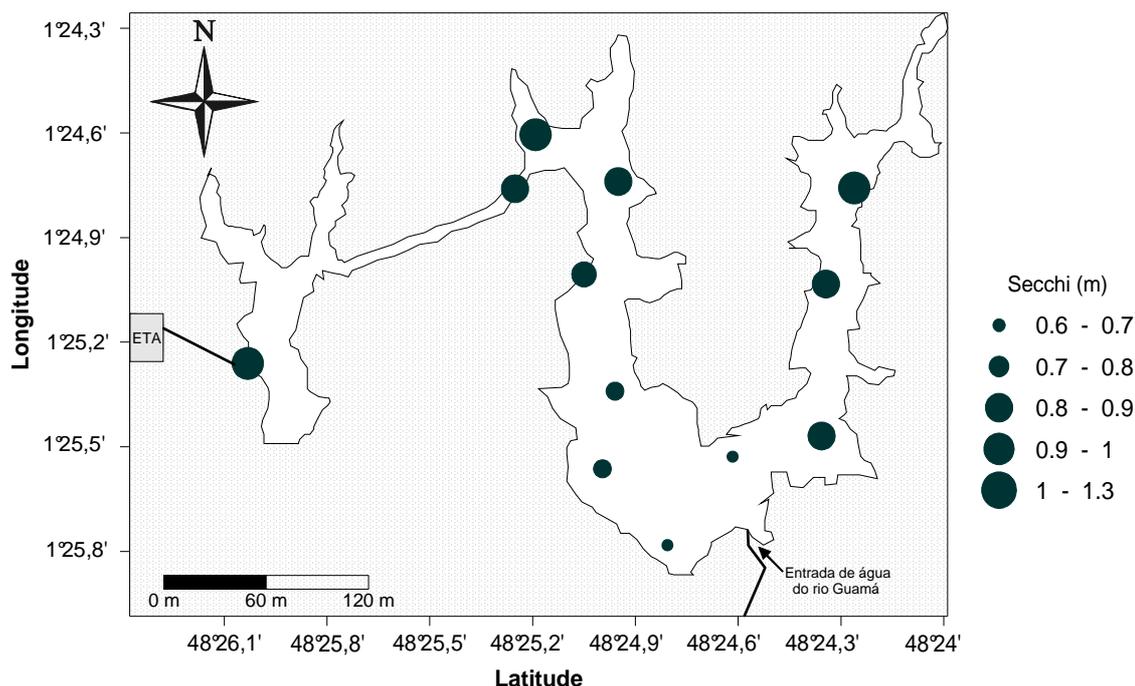


Figura 40 - Distribuição superficial de transparência da água (m) com base na média obtida em cada ponto.

A transparência da coluna de água foi relativamente baixa na maioria das estações amostradas, predominando valores inferiores a 1,0 m. Os maiores valores do disco de Secchi foram registrados nos meses de maior precipitação pluviométrica, enquanto que nos meses de menor precipitação pluviométrica foram registrados os menores valores de transparência da coluna de água.

Na observação dos valores do disco de Secchi nas estações amostradas verificou-se que as águas dos lagos tem maior transparência em estações mais distantes do ponto de entrada de água do rio Guamá.

6.13 BATIMETRIA

A carta batimétrica do lago Água Preta registra uma profundidade máxima de 4,4 m na porção central da bacia e mínima de 0,50 m na área próxima e entrada do rio Guamá. Nas extremidades (nordeste e noroeste) do lago Água Preta as profundidades variam de 2,2 a 3,2 metros com média de 2,5 m.

Na área do lago onde existe a entrada de água do rio Guamá a profundidade é menor, local onde foram encontradas profundidades variando de 0,5 a 1,5 metros, essa pequena profundidade pode estar associada à sedimentação de partículas mais pesadas que se depositam próximas a esses local em decorrência da adução das águas do rio Guamá. Na Figura 41 e mostrada a carta batimétrica do lago Água Preta, onde se observa a morfologia do lago e variação de suas profundidades.

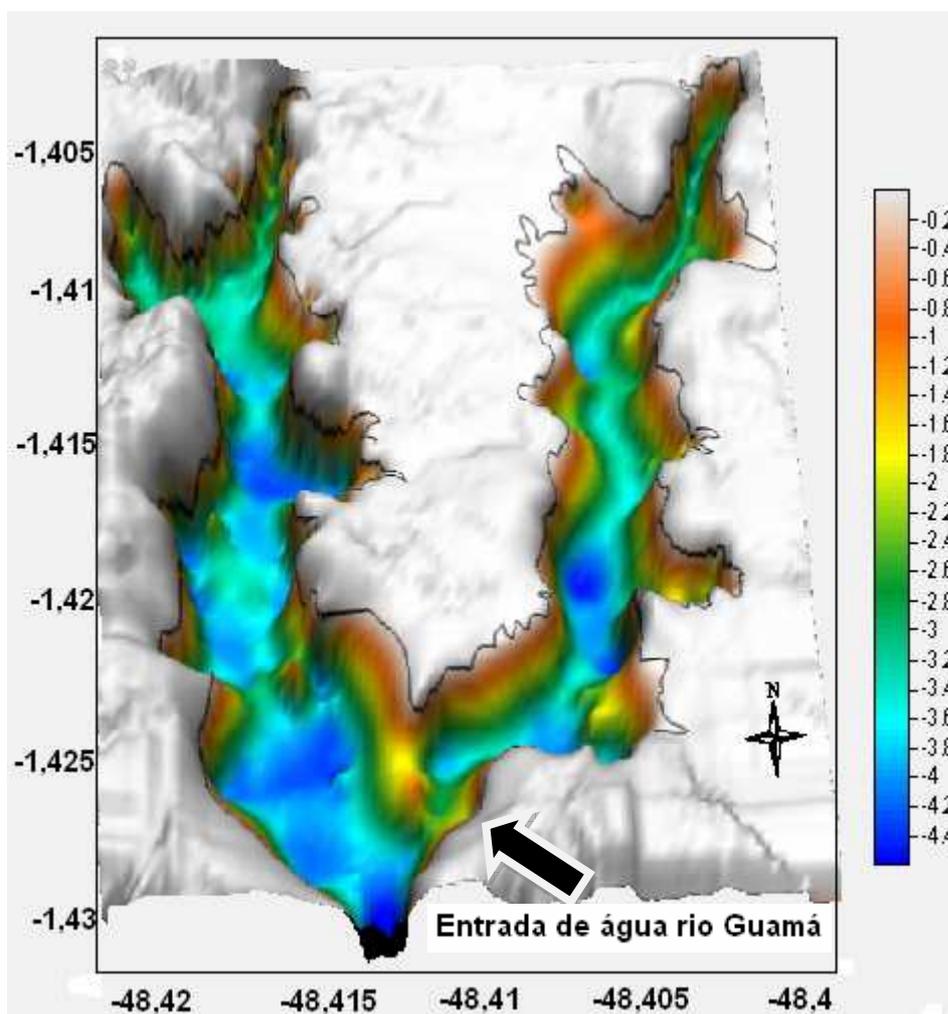


Figura 41 - Carta Batimétrica do lago Água Preta.

A batimetria realizada em 1983, pela COSANPA, encontrou volumes para as mesmas cotas, acima citadas, de 6.622.850 e 9.080.750 m³. Quando é feita a comparação dos volumes obtidos nos dois estudos, observa-se que existe uma diminuição no volume do lago de aproximadamente 1.412.835 m³ que corresponde a 18 % do volume de água armazenada pelo lago no ano de 1983.

A diminuição do volume de armazenamento do lago pode ser conseqüência do assoreamento de materiais no fundo, que pode ser pela devido à retirada da cobertura vegetal que fragiliza as margens causando desbarrancamento dentro do lago, erosão de áreas próximas ao lago, e ao aporte de sólidos oriundos do rio Guamá, o que acelera o processo de diminuição da vida útil do lago e conseqüentemente a redução de seu volume.

As diferenças observadas entre os anos de 1983 e de 2006, entre as relações cota x volume do lago Água Preta (Figura 42), que mostra a diminuição do volume do lago nesses 23 anos, confirma o processo de assoreamento do lago Água Preta.

A área de maior profundidade (4,5 m), está localizada próxima ao local onde houve o represamento do lago (porção sudoeste), canal do antigo igarapé Água Preta. A batimetria realizada no presente trabalho utilizou cotas (régua) variando entre 7,35 e 8,25 m e a partir desses valores obteve-se os respectivos volumes, de 5.281.811 e 7.596.119 m³ (Figura 42)

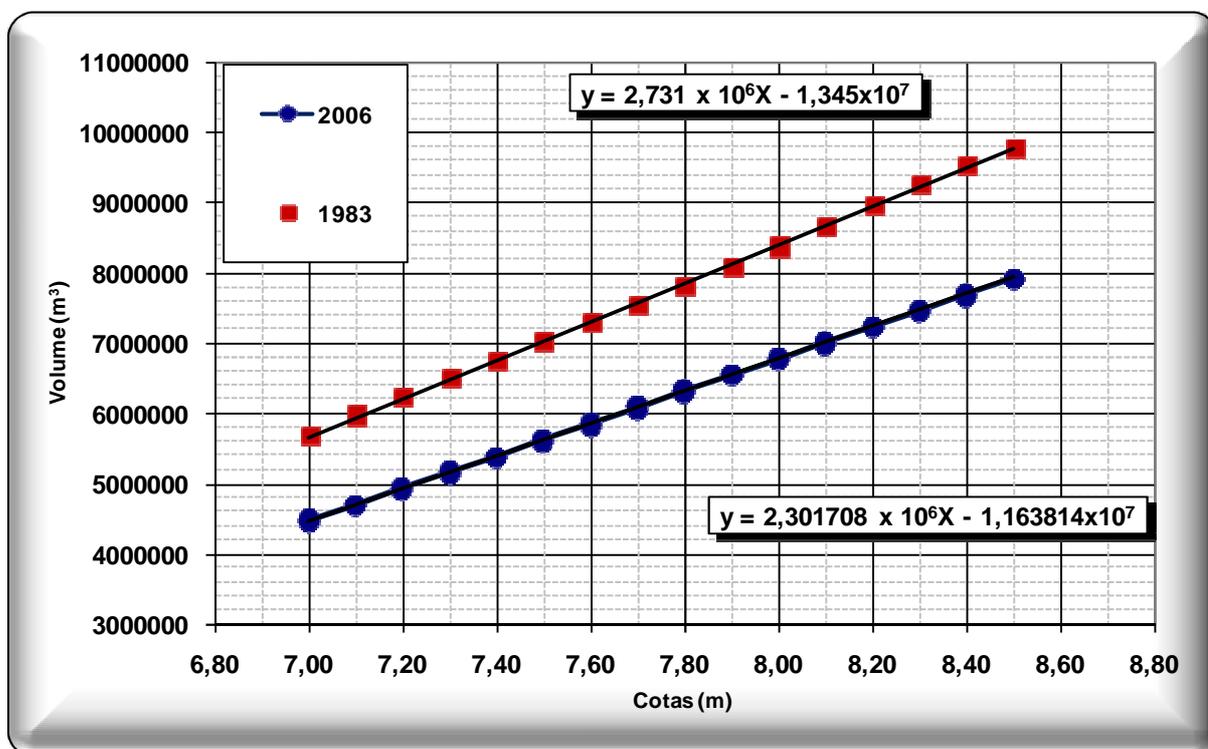


Figura 42 - Curva chave cota volume 1983 e 2006 (COSANPA, 1983)

7 CONCLUSÕES

O ciclo hidrológico dos lagos, apesar de ter forte contribuição mecânica (bombas adutoras de água para os lagos), sofre influência da precipitação pluviométrica em quantidade e qualidade das suas águas;

Pela análise dos resultados dos parâmetros abióticos estudados, observa-se que os lagos apresentam certa capacidade de assimilação da carga orgânica autóctone ou alóctone em seu ecossistema;

As características físicas dos lagos favorecem a sedimentação de partículas em suspensão, que faz com que os lagos funcionem como um pré tratamento (decantação) antes da entrada da água para a ETA;

A maioria dos parâmetros abióticos estudados tem suas variações de concentrações com tendências definidas em relação à precipitação pluviométrica e à variação dos níveis de água no período estudado;

A transparência de Secchi foi maior nos meses mais chuvosos com a diluição das águas captadas do rio Guamá;

A temperatura da água sofreu variações referentes aos períodos de maior e menor precipitação pluviométrica, os valores de temperatura do ar ficaram um pouco abaixo dos valores registrados na água;

Os valores médios mensais de pH foram típicos da região amazônica; o oxigênio dissolvido não apresentou variações médias acentuadas nos períodos de maior e menor precipitação pluviométrica;

Os valores de turbidez, cor aparente e sólidos suspensos (parâmetros físicos) tiveram variações semelhantes durante o período estudado, maiores valores nos períodos de menor precipitação pluviométrica, e concentrações mais elevadas em pontos próximo a entrada do rio Guamá;

A condutividade elétrica registrou valores mais elevados no período de menor precipitação pluviométrica, seguindo uma distribuição semelhante à dos parâmetros físicos analisados;

De maneira geral a distribuição do fosfato no período estudado não teve variações significativas, apresentando tendência de maiores concentrações no período de menor precipitação pluviométrica e nas amostras de fundo o que pode ser devido à degradação da matéria orgânica e posterior liberação desse nutriente para a coluna de água;

Os valores de nitrato e nitrogênio amoniacal foram mais elevados no período de junho a novembro (menor precipitação), o nitrato registrou maiores valores nas amostras de fundo enquanto que o N-amoniacal manteve um equilíbrio entre as concentrações de superfície e fundo;

O tempo de sobrevida dos lagos foi calculado em 2,7 dias, ou seja, tempo que o lago Água Preta teria de armazenamento de água; interrompida a captação das águas do rio Guamá e mantida a retirada de água para tratamento na ETA;

Na análise da carta batimétrica se observa profundidades menores no local de entrada de água do rio Guamá para o lago Água Preta (profundidade mínima 0,5 m), que pode ser conseqüência da entrada e sedimentação de partículas mais pesadas (material particulado) e nas cabeceiras do lago (porção norte), em média 2,5 metros, o que pode ser devido à barreira física do lago onde também estaria havendo sedimentação desse material;

Os mananciais estudados, apesar de serem denominados de lagos possuem um comportamento diferenciado ao dos ambientes lênticos, o que se observa nos resultados de alguns parâmetros abióticos estudados, isso se deve a movimentação da água a eles imposta pela adução do rio Guamá;

A utilização do solo de forma inadequada e a ocupação da área do entorno por população de baixo poder aquisitivo traz o ônus dos problemas decorrentes de lançamento esgoto doméstico nos córregos que desembocam nos

lagos, resíduos sólidos acumulados no entorno da APA, lixiviação do solo, erosão e assoreamento dos mananciais;

Se faz necessário o monitoramento contínuo dos mananciais, para que se possa avaliar o comportamento do ecossistema frente às mudanças a ele impostas, seja por pressões antrópicas, seja por metabolismos intrínsecos ou resposta do ambiente à sazonalidade da região, análises descontinuadas e/ou pontuais não são representativas para avaliar tais mudanças;

Existe a necessidade de políticas públicas no sentido de conter o avanço das pressões antrópicas sobre a área dos lagos, impedindo a degradação ambiental a que estão expostos, em função da ocupação desordenada no seu entorno, evitando que os lagos sejam usados como receptores finais de esgotos domésticos, industriais e águas pluviais lançadas na bacia.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A.C. **Relatório da qualidade da água bruta do manancial Utinga**. Belém: COSANPA, 2004. 4p.

ANDREOLI, C.V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba; Ed. Graf. Capital Ltda., 2005, 500p.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th edition. Washington D.C. American Public Health Association, 1995., 953p.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.5, n.6, p.125-34, 1999.

ARCOVA, F.C.S.; CESAR, S.F.; CICCIO, V. Qualidade da água em microbacias recobertas por floresta de Mata Atlântica, Cunha, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v.10, n.2, p.185-96, 1998.

BAENA, A. L. M. **Ensaio coreográfico sobre a província do Pará**. Belém: Santos & Menor, 1839.

BAHIA, V. E.; LUIZ, J. G. e FENZL, N. Influência do depósito sanitário metropolitano de Belém (Aurá) sobre as águas subterrâneas da área. **Rev. Águas Subterrâneas** n°18/ Janeiro 2004.

BAUMGARTEN, M.G.Z.; ROCHA, J.M.B.; NIENCHESKI, L.F.H. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: FURG, 1996. 132 p.

BERNER, E. K.; BERNER, R. A. **Global environment : water, air and geochemical cycles**. Prentice Hall, 1996.

BRAZ, V. M. N. **Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém (PA)**. 1985. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, 1985.

BRANCO, S. M. **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EDUSP, ABRH, 1991.

BRIGANTE, J. et al. Caracterização física, química e biológica da água do rio Mogi-Guaçu. In: BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E.L.G. (Ed.). **Limnologia Fluvial: um estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 55 -76.

CARNEIRO, B.S.; GERALDO, A. V. **Determinação de clorofila e avaliação da produtividade nos lagos Bolonha e Água Preta**. Belém. 2000. 48 f. Universidade Federal do Pará. Centro Tecnológico. (Trabalho de Conclusão de Curso).

CARVALHO, M. C. **Investigação do registro histórico da composição isotópica do chumbo e da concentração de metais pesados em testemunhos de sedimentos no lago Água Preta, região metropolitana de Belém**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Petrologia). Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Centro Tecnológico. (Trabalho de Conclusão de Curso). Belém. 2001.

CEBALLOS, B.S. O. Determinação de coliformes fecais E. coli pelo método do substrato definidos: alguns inconvenientes. Atualidades técnicas **Revista de Engenharia sanitária e ambiental**, v.3, n.1; jan./fev. e n. 2; abr./jun., p 9-10. 1998.

Companhia de Saneamento do Estado do Pará-COSANPA/CENSA. **Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta. II. Estudo da qualidade de proteção das águas**. Belém, 1983.

Companhia de engenharia sanitária e ambiental-CETESB. **Rios e reservatórios; variáveis de qualidade das águas**. 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/agua_geral.asp>. Acesso em: 20 março 2006.

Companhia de Desenvolvimento e Administração da área Metropolitana de Belém – CODEM. **Plano Diretor do Utinga. Parques do Utinga**. Belém-PA; 1987. vol. I e II

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ - COSANPA. **Projeto de abastecimento de água da grande Belém**. Belém, 1983. 22p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ - COSANPA. **Urbanização e medidas de proteção sanitária da região dos lagos do Utinga - Bolonha e Água Preta**. Belém, 1982. 78p.

CONCEIÇÃO, A.L. **Riscos ambientais para o manancial do Utinga** (Belém-PA). 1995. 73 f. Monografia (Especialização) – Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará. Belém, 1995.

CONDURÚ, M. T.; PEREIRA, J. A. R. **Elaboração e trabalhos acadêmicos ;**

normas, critérios e procedimentos. Belém: NUMA. UFPA, EDUFPA, 2005.184p.

COSANPA. **Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta.- Estudo da qualidade de proteção das águas.** Belém; Companhia de Saneamento do Pará, 1983.

CRUZ; E. **As águas de Bélem:** sistemas de abastecimento usados na capital desde os tempos imemoriais. Belém, Oficina da revista Veterinária,1944.137p.

CUNHA, G. P. Q. **Avaliação Ambiental do lago Água Preta (Belém- Pará) através de estudos limnológicos:** uma análise espacial e temporal. 2003.120 f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Pará. Belémrasil. 2003. 120f

DIAS, L.E.; ÁLVAREZ, V.H.V.**Fertilidade do solo.** Viçosa-MG; UFV,1996. 204p.

DIAS, N. L. C.; KELMAN, J. Comparações entre modelos climáticos e o uso de tanque classe A para estimar a evaporação no reservatório de Sobradinho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS,1987, Salvador. **Anais**, São Paulo, ABRH, 1987.p. 162-167.

DIAS, S. da F. **Estudo ambiental no Utinga:** vida útil do sistema de abastecimento de água de Belém. Belém. Instituto de Desenvolvimento Económico social do Pará., 1991.118p.,(Relatório de Pesquisa, 19).

LOPES, M. **Relatório impresso.** SIPAM/CTO Belém, 2006. 3 p.(Entrevista não publicada)

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F.S. do; FERREIRA, M.A.A. 1992.
Mapeamento da área Belém - Outeiro. Estágio de campo III: Relatório Final. Belém, UFPA. 247p.

FENZL, N. **Introdução à hidrogeoquímica.** Belém: Universidade Federal do Pará, 1986.

FORSBERG, C. Importance of sediments in understanding nutrient cycling in lakes. **Hydrobiology**, v. 176/177, p. 263 – 277,1989.

GASPAR, M. T. P. **Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém – Pará.** 2001. 112f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

GERALDO, A.C.V.; CARNEIRO, B.S. **Determinação de Clorofila e avaliação Produtividade nos lagos Bolonha e Água Preta.** 2000. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará. Belém, 2000.

HELLAWELL, J. M., "Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Mellamby", K. (Ed.) N.Y. **Pollution monitoring Series.** Elsevier Applied Science. 1989. 546 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Censos demográficos**, 1940, 1980, 1990, 2000, 2005.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO DO PARÁ-IBGE. **Belém:** um estudo ambiental do estuário Guajarina. Relatório de Pesquisa. 1991. n.17. 154 p.

IMBIRIBA JUNIOR, M; COSTA, F.R da. **Recursos hídricos:** o caso dos mananciais dos lagos Bolonha e Água Preta na Região Metropolitana de Belém, Pará, In: 33ª ASSEMBLÉIA Nacional da ASSEMAE, 33., 2003, Santo André. **Anais.**

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Relatório climático.** 2006. Disponível em : <http://reia.inmet.gov/climatologia/mapas>

JUNK, W. J. **Ecology of swamps on the middle Amazon.** Tn: GORE, A. J. P. Ed. Mires: Swamps. Bog, Fen and Moor, B. Amsterdam, Elsevier.1983. p. 269-294.

KOHLER, M.A.; NORDENSEN, T.J.; FOX, W.E. Evaporation from pans and lakes, U.S. **Weather Bureau Research**, 1955. 21 p. (Paper 38)

LAGOS Bolonha e Água Preta. 2007. Disponível em : <[HTTP://WWW.google.earth](http://WWW.google.earth)>acesso em 2007

LINACRE, E.T. **Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation.** Elsevier Science Publishers B.V. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v. 64, p. 237-256, 1993.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona: Omega, 1983. 100 p.

MARENGO, J., SOARES, W, 2003: **Impacto das modificações da mudança climática-Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil**. Chapter 6 in *Clima e Recursos Hídricos 9*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, pp 209-233.

MASSART, D. L. et al. **Handbook of chemometrics and qualimetrics**. Amsterdam: Elsevier, 1998. part A, cap. 17.

MATTA, M.A. da S. 2004. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. Belém. (Tese Doutorado).Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p.

MAZZEO, T. E. **Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém-PA quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn**. 1991. 141f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 1991.

MENEZES, L. B. C. **Considerações biogeoquímicas de ecossistemas amazônicos: rios e lagos selecionados nas microregiões bragantina, do salgado, e guajarina**. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 1999.

MORTON, F. I. **Operational estimates of lake evaporation**. *Journal of Hydrology*, v. 66, p.77-100. 1983.

MORALES, G. P. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solo e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá – Belém**. 2002. 240p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 2002.

MUCCI, JL.N.; SOUZA, A.; VIEIRA, A.M. **Estudo ecológico e sanitário do lago do Parque do Guaraciaba em Santo André, São Paulo**. São Paulo:Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, v. 9, nº 1, p. 13-25, 2004.

NASCIMENTO, F. S. do. **Dinâmica da distribuição dos Poluentes Metálicos e**

Orgânicos nos sedimentos de fundo dos canais de Drenagem de Belém. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica).Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFPA, Belém, 1995.

NORIEGA, C. E. D.: **Influência hidrológica e grau de poluição dos rios Pirapama e Jaboatão no estuário da Barra das Jangadas (PE-Brasil): Ciclo nictemeral.**; 1; 163; 2004

OGERA, R.C. **Remoção de nitrogênio no esgoto sanitário pelo processo de lodo ativado por batelada.** Dissertação (Mestrado).UNICAMP, Campinas. 1995.

PEGORINI, E. S.; CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C.V.:**Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados.** Curitiba: Sanepar, 2005. v. 1, 500 f.

PEREIRA, J. A. R. (Coord.). **Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém – PA.** Belém: NUMA/UFPA, Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, 2004. v. 1, 104 f.

PINEDA, M. D.; SCHAFER, A. Adequação de critérios e métodos de avaliação da qualidade de águas superficiais baseada no estudo ecológico do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.39, nº 2, p.198-206, 1987.

PISSARRA, T.C.T. **Avaliação quantitativa das características geomórficas de microbacias hidrográficas de 1ª ordem de magnitude em quatro posições do sistema de drenagem.**1998. 124f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

PRIMAVESI, O.; et al. Water quality of Canchim's creek watershed in São Paulo, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.45, n.2, p.209-17, 2002.

RAMOS, J. F. F. Poluição e contaminação da orla de Belém – PA. In: UHLY, S.; SOUZA, E.L. de (Org.). **A Questão da água na grande Belém**, Belém. 2004. p. 121 –148.

REBOUÇAS, A.C. **Uso inteligente da água.** Belém, 2004. p. 121 –148,.

REIS, R.J.; DIAS, N.L.C. Multi-season lake evaporation: energy-budget estimates and CRLE model assessment with limited meteorological observations. **Journal of hydrology**, v. 208, p. 135-147. 1998.

RIBEIRO, H.M.C. **Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-Pa)**. 1992. 205 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém. 1992.

RIBEIRO, K.T.S. **Qualidade sanitária da água em área de influência de duas Bacias hidrográficas e saúde humana em Belém – Pará**. 2002. 280f. Tese (Doutorado) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará. Belém, 2002.

ROQUE, R. O.; SANSIGOLO, C. A. Estimativas de evaporação do lago de Taquaruçu, SP pelo modelo conceitual de Morton. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n.1, p. 21- 28, 2001.

ROLAND, F.; CESAR, D. E. ; MARINHO, M. M. **.Lições de limnologia**. 1. ed. São Carlos: Rima, 2005. 532 p.

SANTOS, M.L.S.; et al. 2005. **Estudo preliminar das condições limnológicas no lago Água Preta (Belém/Pa)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 10.º., 2005, Ilhéus. **Resumo**. Ilhéus (BA), 2005. 1CD-ROM.

SARAIVA, A. L. de L.; **Estudo dos lagos Bolonha e Água Preta (Belém-PA): levantamento bibliográfico das condições ambientais**. 2005. 63 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Pará , Núcleo de Meio Ambiente, Belém, 2005.

SAWYER, C.N.; McCARTY, P.L.; PARKIN, G. F.. **Chemistry for environmental**, [S.l.:s.n.],1994.

SILVA, S.R.F.A; SAVI, M.A. Análise da dinâmica da eutrofização de corpos d'água a partir de um modelo matemático . In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2002. João Pessoa: **Anais**. ABEM, 2002.

SIOLI, H. Alguns resultados e problemas da limnologia amazônica. **Boletim Técnico**. Instituto Agrônômico do Norte. n. 24, p. 3 – 45, 1951.

SIOLI, H. Valores de pH de águas Amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, Belém, n.1, p. 1 –37. 1957.

SOUZA, A.D.G. de; TUNDISI, J.G. Hidrogeochemical comparative study of the Jaú and Jacaré- Guaçu river watersheds, São Paulo, Brazil. 2000. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, 2000. v.60, n.4, p 17.

SOUZA, E.C.; LIMA, M.N.N. **Avaliação da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta no período de Estiagem**. 2002. 95f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Universidade Estadual do Pará. Belém, 2002.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of sea water analysis. **Bulletim Fisheries research board of Canada**, Ottawa, n. 167, p. 1- 311. 1972.

VAZHEMIN, I.G. Chemical composition of natural waters in the VYG river basin in relation to the soil of Central Karelia. **Soviet Soil Science**, Silver Spring, v.4, n. 1, p.90-101, 1972.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v.1, 243p.

VON SPERLING, E. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: DESA/UFGM.1999.

WAICHMAN, A. V. **Qualidade da água**. Belém, 2002. 28 p. (Apostila)

ZANATA, L. H. **Heterogeneidade ambiental do lago de Salto Grande (Americana –SP) com ênfase na distribuição das populações de cladocera**. 1999. 218f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.