



UFPB UEPB UESC UFC UFRN UFS UFPI UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

**Programa Regional de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA**

MARINA SUÊNIA DE ARAÚJO VILAR

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS E DA QUALIDADE DA ÁGUA NO
PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO DE AÇUDES EM
CASCATA NO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**



PRODEMA

Campina Grande – PB

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA

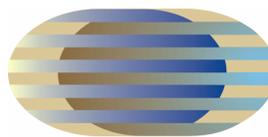


Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio

Ambiente

MARINA SUÊNIA DE ARAÚJO VILAR

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS E DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE
EUTROFIZAÇÃO DE AÇUDES EM CASCATA NO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**



PRODEMA

Campina Grande – PB

2009

MARINA SUÊNIA DE ARAÚJO VILAR

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS E DA QUALIDADE DA ÁGUA NO
PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO DE AÇUDES EM CASCATA NO
SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba /Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dra. Beatriz Susana O. de Ceballos

Campina Grande –PB

2009

MARINA SUÊNIA DE ARAÚJO VILAR

CONDIÇÕES AMBIENTAIS E DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO DE AÇUDES EM CASCATA NO SEMI-ÁRIDO PARAIBANO

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba /Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

APROVADO EM: 16/04/2009

BANCA EXAMINADORA:

Profª Dra. Beatriz Susana. O. de Ceballos
Orientadora

Prof.Dr. José Etham L. Barbosa
Examinador Interno

Prof.Dr. José Tavares de Sousa
Examinador Interno

Prof.Dr. Carlos de Oliveira Galvão
Examinador Externo

Dedicatória

**A Deus pela força, sabedoria e saúde, e
a minha família pelo amor e
incentivo que me deram em todos
os momentos de minha vida...**

Agradecimentos

Como todo longo trabalho esta dissertação não foi produto de um esforço somente meu. Do processo inicial até a conclusão foram tantos os amigos que de alguma forma contribuíram para tornar o que era apenas um esboço, em um trabalho finalizado, que tentar citá-los seria uma injustiça, pois certamente não caberia neste espaço o nome de todos, embora muito presentes em minha memória.

A minha mãe Marinês Sales de Araújo, que sempre incentivou meu crescimento, dando força e apoio em todas as etapas da minha vida. Ao meu pai Francisco de Assis Vilar, a minha irmã Daniela de Araújo Vilar e meu irmão Thiago César de Araújo Vilar, por sempre acreditarem em meu potencial e fazerem com que me sentisse especial. E ao meu esposo pelo carinho, companheirismo e compreensão. Enfim, a minha família, por serem tudo para mim.

Meus agradecimentos especiais ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) e seus Professores que contribuíram na ampliação dos conhecimentos nessa nova etapa da minha vida.

Ao grupo de recursos hídricos, UFCG, professores, técnicos e alunos pela extrema boa vontade e disponibilidade em compartilhar seus conhecimentos e a ajuda técnica, obrigada por tudo.

Agradeço também ao Laboratório de Saneamento Ambiental da UFCG e ao CT-HIDRO BEER, na pessoa do professor Carlos Galvão, coordenador Institucional do projeto na UFCG, por terem subsidiado esta pesquisa.

Finalmente e em especial a professora Beatriz Susana Ovruski de Ceballos que através de sua competência, organização e dedicação me orientou durante a elaboração desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
4. MATÉRIAS E MÉTODOS.....	14
4.1 Aspectos geomorfológicos e fisiográficos da área estudada.....	14
4.2 Descrição dos corpos aquáticos.....	16
4.3 Pontos de amostragem.....	16
4.4. Período de coleta e frequência de amostragem.....	17
4.5 Procedimento de coleta e preservação das amostras.....	17
4.6 Variáveis analisadas e metodologia analítica.....	18
4.6.1 Variáveis físico-químicas.....	18
4.6.2 Variável biológica.....	19
4.6.3 Variáveis microbiológicas.....	20
4.7 Índice de Estado Trófico.....	21
4.8 Dados Climatológicos.....	23

4.9 Análise do uso e ocupação do solo.....	23
4.10 Análises de dados.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1 Estudos horizontais e mensais.....	25
5.2 Índice de estado trófico.....	51
5.3 Bactérias Indicadoras de Contaminação fecal.....	54
5.4 Parasitos.....	56
5.5 Estudos nictemerais.....	58
5.6 Condições de uso e ocupação do solo da bacia.....	69
5.7 Qualidade da água segundo o VMP da CONAMA 357/2005.....	71
6. CONCLUSÕES.....	74
7. REFERÊNCIAS.....	76
ANEXOS.....	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do Estado da Paraíba, com destaque na região do Cariri Paraibano, da Bacia Experimental de São João do Cariri e dos açudes Bola III, Roque, Bola I, Luiz Heleno e Namorados.

Figura 2 – Volume acumulado dos reservatórios na Bacia Experimental de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. A área em destaque mostra o período chuvoso. (O açude Roque não dispõe de dados de volume).

Figura 3 – Transparência de Secchi e Zona Eufótica, observada nos reservatórios Roque (A), Bola I (B), Luiz Heleno (C) e Namorados (D), no período de setembro de 2006 a março de 2008.

Figura 4 – Variação na profundidade do disco de Secchi nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 5 – Distribuição temporal da temperatura observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Figura 6 – Variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a março de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 7 – Distribuição temporal do pH observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Figura 8 – Variação do pH nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 9 – Distribuição temporal da condutividade elétrica observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada **representa o período chuvoso.**

Figura 10 – **Variação da** condutividade elétrica nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 11– Distribuição temporal da alcalinidade observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Figura 12– Variação da alcalinidade nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 13 – Distribuição temporal do OD observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008.

Figura 14 – Variação do oxigênio dissolvido nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 15 – Distribuição temporal do fósforo total observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* Roque em Ago-07 apresentou 734,33 $\mu\text{g/L}$).

Figura 16 – Variação do fósforo total nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 17 – Distribuição temporal do ortofosfato observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* Roque em Ago-07 apresentou 223,00 $\mu\text{g/L}$).

Figura 18 – Variação do ortofosfato nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 19 – Distribuição temporal do nitrato observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008

Figura 20 - Variação do nitrato nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 21 – Distribuição temporal do nitrito observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (*Roque em Jul-07 apresentou 86,11 $\mu\text{g/L}$).

Figura 22 – Variação do nitrito nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 23 – Distribuição temporal do N-amoniaco observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* L. Heleno em ago-07 apresentou 111,35 $\mu\text{g/L}$).

Figura 24 – Variação do N-amoniaco nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 25 – Distribuição temporal da clorofila “a” observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* L. Heleno em Jun-07 apresentou $252,53\mu\text{g/L}$, jul-07 foi $66,01\mu\text{g/L}$, ago-07 = $21,07\mu\text{g/L}$).

Figura 26 – Variação da clorofila "a" nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 27 – Concentrações de coliformes totais (técnica de tubos múltiplos) nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

Figura 28 – Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP) nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB

Figura 29 – Concentrações de coliformes termotolerantes (membrana de filtração) nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

Figura 30 – Frequência de aparecimento e diversidade de parasitos nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

Figura 31 – Isolinhhas de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 32 – Isolinhhas de oxigênio dissolvido (mg/L) para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007)

Figura 33 – Isolinhhas de pH para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 34 – Isolinhhas da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 35 – Isolinhhas de amônia para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 36 – Isolinhhas de Nitrato para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 37 – Isolinhhas de Nitrito para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 38 – Isolinhhas de ortofosfato para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Figura 39 – Isolinhhas de clorofila para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados morfométricos dos reservatórios localizados na Bacia de São João do Cariri – PB.

Tabela 2 – Pontos de coleta dos reservatórios estudados na Bacia de São João do Cariri – PB.

Tabela 3 - Critério de Classificação adotado pelo Índice de Estado Trófico, a partir do valor obtido pela equação do IET para reservatórios tropicais, segundo o Índice de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. et al. (1983).

Tabela 4: Precipitação pluviométrica mensal (2006-2008) e média histórica (1986-2007) observada na Bacia Experimental de São João do Cariri – PB. Período do estudo em destaque no retângulo amarelo. (% - porcentagem da chuva mensal em relação ao total anual).

Tabela 5: Variáveis hidrológicas monitoradas na Bacia Experimental de São João do Cariri, nos anos de 2006 a 2008.

Tabela 6: Estatística descritiva das variáveis físico-químicas nos açudes da Bacia de São João do Cariri, no período de seca. (DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação).

Tabela 7: Estatística descritiva das variáveis físico-químicas nos açudes da Bacia de São João do Cariri, no período de chuva. (DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação).

Tabela 8: Variação da relação N:P nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008.

Tabela 9: Valores de IET para as variáveis transparências, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude Roque.

Tabela 10: Valores de IET para as variáveis transparências, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude Bola I.

Tabela 11: Valores de IET para as variáveis transparências, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude L. Heleno.

Tabela 12: Valores de IET para as variáveis transparências P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude Namorados.

Tabela 13: Valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das variáveis limnológicas no açude Luíz Heleno nos ciclos nictemerais de dezembro (estiagem) e de maio (chuva). (Os valores se referem aos dados das três profundidades nos nove horários – n = 27 dados).

Tabela 14: Valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das variáveis limnológicas no açude Namorados nos ciclos nictemerais de dezembro (estiagem) e de maio (chuva). (Os valores se referem aos dados das três profundidades nos nove horários – n = 27 dados).

Tabela 15: Uso e ocupação do solo da Bacia de São João do Cariri no período de 2006 a 2008.

Tabela 16: Análise comparativa dos valores médios de diferentes parâmetros quantificados nos açudes da Bacia de São João do Cariri no período de chuva como o VMP da CONAMA 357/2005.

Tabela 17: Análise comparativa dos valores médios de diferentes parâmetros quantificados nos açudes da Bacia de São João do Cariri no período de seca como o VMP da CONAMA 357/2005.

LISTA DE ABREVIATURAS

ALCA – ALCALINIDADE

DNOCS – DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS

CE – CONDUTIVIDADE

OD – OXIGÊNIO DISSOLVIDO

CLORA – CLOROFILA “A”

IET – INDICE DE ESTADO TRÓFICO

PORTO – ORTOFOSFATO

PT – FÓSFORO TOTAL

DP – DESVIO PADRÃO

CV – COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

TRANSP – TRANSPARÊNCIA

T – TEMPERATURA

NO₂ – NITRITO

NO₃ – NITRATO

RESUMO

As variações da qualidade da água em ecossistemas lênticos e os fatores determinantes são pouco estudados no nordeste semi-árido brasileiro, embora importantes pelas conseqüências nos usos da água e porque resultados obtidos em bacias experimentais podem ser extrapolados para outras maiores, com carência de dados, podendo ser úteis para definir formas de manejo desses recursos. Objetivando avaliar a dinâmica espacial e temporal dos processos físicos, químicos e biológicos, considerando a influência de fatores hidrológicos, climáticos, de uso e de ocupação do solo, realizou-se o monitoramento sistemático da qualidade da água em quatro açudes em cascata (Roque, Bola I, Namorados e Luiz Heleno), na bacia experimental de São João do Cariri/PB, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Foram realizados dois tipos de estudos: 1) em um ponto da zona limnética dos quatro açudes, na subsuperfície da água, mensalmente, e 2) no mesmo ponto, em ciclos de 24 horas e a cada três horas em três profundidades (sub-superfície, 50% de luz e fundo) definidas pela transparência de Secchi, em dois açudes de diferente morfologia (Luiz Heleno e Namorados) em época de estiagem e de chuva. As variáveis analisadas foram: temperatura da água, transparência, pH, condutividade elétrica, fósforo total, ortofosfato solúvel, amônia, nitrito, nitrato, alcalinidade e clorofila *a*. Houve forte impacto do clima, das atividades na bacia e das variáveis hidrológicas na dinâmica espacial e temporal dos parâmetros limnológicos com deterioração da qualidade da água no decorrer da estiagem. A escassa profundidade dos quatro corpos aquáticos e a precipitação pluviométrica inferior à média histórica na maioria dos meses foram determinantes da redução do volume de água e pela concentração de espécies químicas e rápida eutrofização. Todos os reservatórios foram classificados como hipereutroficos (IET) e na classe 3 (CONAMA 357/2005), devido às concentrações de fósforo total e clorofila “a”, embora os demais parâmetros estivessem dentro dos valores permissíveis para águas das classes 1 e 2. Houve diferenças significativas na qualidade da água nos períodos seco e chuvoso em cada açude, com destaque para pH, alcalinidade, condutividade elétrica, fósforo e clorofila “a”, sob influência do metabolismo fitoplânctônico, mais significativo em Roque e Luiz Heleno, de menor área e profundidade. Nestes, as diferenças morfométricas aceleraram a eutrofização com crescimento exuberante de cianobactérias e florescimento de *Cyldrospermopsis raciborskii* em Luiz Heleno. Os de maiores dimensões (Namorados e Bola I), foram mais resistentes às pressões climáticas. Luiz Heleno e Namorados, apresentaram estratificações e desestratificações térmicas diárias (polimíticos quentes). Houve diferenças pouco significativas da qualidade da água entre o dia e a noite e entre as profundidades, com concentrações crescentes da condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal e ortofosfato em direção ao fundo, no período noturno. Houve diferenças significativas entre os dois ciclos nictimerais (seca e chuva) para a maioria dos parâmetros ($p < 0,05$ – ANOVA). O modelo de monitoramento usado no presente trabalho (amostragens periódicas em um ponto da zona limnética e em ciclos nictimerais em épocas de seca e de chuva) proporcionou informações ecofisiológicas dos açudes que podem auxiliar na gestão desses recursos.

Palavras-chave: açudes aninhados, qualidade de água, Variação espaço-temporal

ABSTRACT

The variations in water quality in these ecosystems and the factors which determine them has been little studied in the semi-arid region of Northeast Brazil despite the importance and consequences for water usage. The results from these experimental basins could possibly be extrapolated to other larger water basins for which there is a lack of data, so as to define forms of management of these water resources. With the objective of evaluating the dynamics of the physical, chemical biological processes over time and space, considering the influence of hydrological and climatic factors and soil use, a systematic monitoring programme was developed to determine water quality in four lakes in the water basin of São Joao do Cariri, during the period September 2006 until February 2008. Two types of study were undertaken: 1) point sampling in the limnetic zone of the four lakes at the water surface, at monthly intervals and 2) at the same point during 24 hour cycles, sampling every 3 hours at 3 different depths, the levels were determined by transparency measurements with a Secchi disc in two lakes of different morphologies (Luiz Heleno and Namorandos) during the dry and rainy seasons. The variables measured were: water temperature, water transparency, pH, electrical conductivity, total phosphorus, soluble orthophosphate, ammonia, nitrite, nitrate, alkalinity and chlorophyll "a". There was a strong impact of climate on the hydrological variables and of time/depth on the limnological parameters, with deterioration in water quality during the dry season. The shallowness of the four water bodies plus historically low mean rainfall values during most of the months caused a reduction in water volume and as a consequence, given the concentrations of the chemical species present, rapid eutrophication. All the lakes were classified as hypereutrophic and of class 3 (CONAMA 357/2005), owing to the concentrations of total phosphorus and chlorophyll "a" although the rest of the parameters were within the values permitted for waters of class 1 and 2. There were significant differences in water quality between the dry and rainy periods in each lake highlighted by pH, alkalinity, electrical conductivity, ammonium nitrogen, orthophosphate and chlorophyll "a", under the influence of phytoplankton metabolism most significantly in Roque and Luiz Heleno, the lakes of smaller area and depth. These differences in lake morphology accelerate eutrophication with the consequent exuberant growth of cyanobacteria and the development of a bloom of *Cyldropermopsis raciborskii*. The lakes Namorados and Bola I, of larger dimensions, were more resistant to climatic pressures. During the nictomeric cycles each lake showed daily thermal stratification and destratification. There were small significant differences in water quality between night and day and with depth, with increases in concentrations in electrical conductivity, ammonia nitrogen and orthophosphate, with depth, at night. There was significant differences between the two nictomeric cycles (dry and rain) for most of the parameters. The monitoring model used in the present study (periodic sampling at points in the limnetic zone and diurnal cycles during the dry and rainy seasons) provided eco-physiological information on the lakes that could assist in the management of these resources.

Keywords: Lakes, Water quality, Variations space-time.

INTRODUÇÃO

A sociedade mundial enfrenta a difícil tarefa de estabelecer uma nova relação com o mundo natural ao longo do século XXI, com a finalidade de buscar o equilíbrio entre as ações humanas e a preservação do meio ambiente. Há grande perspectiva de que os recursos hídricos passem a ser um dos grandes entraves nessa nova conjuntura. A falsa visão de inesgotabilidade das fontes de água, assim como sua utilização inadequada e o descarte de resíduos em rios e mananciais, dentre outros fatores, provocaram a situação atual de escassez de água boa em quantidade suficiente para os diversos usos.

Segundo Straskraba e Tundisi (2000), a eutrofização cultural é a principal “doença” dos corpos de água superficiais que compromete a qualidade das águas, principalmente dos corpos lênticos. Este fenômeno consiste no enriquecimento do meio aquático pelo aporte de nutrientes (principalmente por compostos de nitrogênio e fósforo), estimulando o crescimento excessivo da biota em níveis que interferem os usos com os quais os corpos hídricos foram destinados, se transformando em fatores de risco à saúde pública (MARGALEF, 1986; VON SPERLING, 1994).

Entre os impactos causados pela ação do homem sobre os ecossistemas destaca-se a construção, em ritmo e escala crescentes, de reservatórios artificiais de água (STRAŠKRABA & TUNDISI, 2000) e o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica em que o manancial está inserido, sendo estas atividades as que geram as alterações das condições de equilíbrio dos sistemas aquáticos, a nível hidrológico, atmosférico, biológico e social (VOLLENWEIDER, 1981).

Grande parte dos reservatórios no mundo experimentam rápida eutrofização artificial, fato que preocupa a sociedade organizada de forma a suscitar políticas de gestão para viabilizar o manejo dos mesmos, incluindo retardo da eutrofização e sua recuperação, buscando minimizar os danos causados ao ambiente e à saúde humana.

Nos açudes nordestinos, a eutrofização é mais acelerada pela sua escassa profundidade e longos tempos de detenção hidráulica, que junto aos fatores climáticos de alta temperatura e intensa radiação solar durante longas horas diárias, estimulam a fotossíntese e os processos bioquímicos de biossíntese e biodegradação com conseqüências na qualidade da água e na biota em geral (CEBALLOS et al., 1998; BARBOSA, 2002).

Adicionalmente, nas pequenas bacias no Nordeste semi-árido, fonte predominante de água para as comunidades difusas no meio rural, ocorre outra relevante interferência antrópica: observa-se com frequência pequenos açudes construídos em cascata ao longo dos seus cursos d'água por proprietários individuais, o que tem um efeito significativo sobre o regime hidrológico das bacias, sobre a qualidade da água armazenada nos reservatórios e sobre o processo de eutrofização. Para investigar esses efeitos é importante, nos açudes interconectados, estabelecer suas relações cota-área-volume e monitorar a variabilidade do grau de assoreamento, dos níveis de água, dos volumes afluentes e extravasados, assim como das características biofísicas das bacias hidrográficas, do seu regime climático e das atividades antrópicas nelas ocorrentes.

Diversos autores enfatizam que o monitoramento limnológico da qualidade da água, a longo prazo, constitui um importante instrumento para a gestão ambiental, visto que a existência de séries contínuas e longas de dados e sua interpretação permitem melhor compreensão da evolução temporal das características dos corpos de água, associados aos fenômenos climáticos, de uso e ocupação do solo da bacia e econômicos. Com as informações geradas pelo monitoramento é possível estabelecer critérios de qualidade, definir políticas para uso da água e ações de controle e prevenção para conservação da qualidade ambiental dos corpos aquáticos.

Conhecimentos científicos integrados e interdisciplinares são necessários na busca de formas alternativas e soluções otimizadas para conservação da qualidade e quantidade da água dos corpos aquáticos. Estudos desse tipo são mais facilmente executados em bacias experimentais e representativas, que podem gerar conhecimentos e metodologias apropriadas para avaliação do balanço hídrico e das alterações qualitativas da água e que podem ser exportados a outras bacias maiores (PARAÍBA, 1997; PIMENTEL, 2004).

O presente trabalho estudou aspectos quali-quantitativos e o grau de eutrofização dos quatro principais açudes em cascata na Bacia Experimental de São João do Cariri, através do estudo de variáveis físicas, químicas, biológicas, microbiológicas e parasitológicas integradas aos fatores hidrológicos e climáticos, com o intuito de contribuir para a formação de um banco de dados.

Foram realizadas coletas de água para avaliação da qualidade do sistemas hídricos junto com o levantamento das informações de uso e ocupação da bacia. Com as informações obtidas, apresenta-se este trabalho de dissertação, organizado em 6 capítulos, os quais abordam os seguintes tópicos:

- Capítulo 1: INTRODUÇÃO - visão global da problemática abordada no estudo;

- Capítulo 2: OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS;
- Capítulo 3: REVISÃO DE LITERATURA – Água e Meio Ambiente: comportamento dos recursos hídricos em função da ação antrópica;
- Capítulo 4: MATERIAIS E MÉTODOS – instrumentos e metodologia utilizados no decorrer do desenvolvimento da pesquisa;
- Capítulo 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO - avaliação da qualidade da água através da análise de suas características físicas, químicas e biológicas associadas aos aspectos hidrológicos e climáticos;
- Capítulo 6: CONCLUSÕES;
- Capítulo 7: REFERÊNCIAS.

2.1 OBJETIVO GERAL

Objetivou-se estudar, na bacia experimental de São João do Cariri, as características ecológicas, sanitárias, os efeitos hidrológicos e a interação com a bacia de drenagem dos quatro principais açudes dessa bacia hidrográfica com o intuito de evidenciar as características individuais de cada reservatório, o efeito cascata e sua evolução ao longo do tempo e do espaço.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Diagnosticar as condições limnológicas e sanitárias dos açudes em cascata da bacia mediante estudos de variáveis físicas, químicas, biológicas, microbiológicas e parasitológicas;
- 2) Avaliar as características de uso e ocupação do solo na bacia sob estudo e os impactos dessas atividades na qualidade da água dos açudes aninhados;
- 3) Gerar um banco de dados consistente que permita a adoção de medidas mitigadoras na bacia hidrográfica e nos corpos aquáticos que retardem a eutrofização e promova melhorias da qualidade da água em açudes em cascata do semi-árido;

A seca é um fenômeno caracterizado pela ausência parcial ou total de chuvas ou sua má distribuição durante o período em que as precipitações deveriam ocorrer (CARVALHO, 1988). Esta pode atingir os mais diversos ambientes uma vez que pode ser provocada pelo clima, relevo e mudanças bruscas nas condições ambientais advindas da degradação dos solos, processos acelerados de desertificação e mudanças climáticas globais.

Nas regiões secas do planeta se faz necessário uma gestão adequada dos ecossistemas aquáticos continentais em virtude não só da escassez natural de recursos hídricos, mas também da elevada pressão antrópica que ocorre sobre esses ecossistemas para usos múltiplos de seus bens e serviços (VIEIRA, 2002).

A região semi-árida caracteriza-se pela deficiência e/ou irregularidade de chuvas, onde a evaporação normalmente supera a precipitação, provocando a perda de grande parte da água superficial e a intermitência de quase toda a rede hidrográfica constituindo um severo problema para a captação e o armazenamento desse recurso essencial. Nessas áreas o fenômeno da seca assola a população periodicamente (REBOUÇAS et al., 2002).

O semi-árido brasileiro compreende uma área de 982.563,3 Km² e abrange o norte do Estado de Minas Gerais, os sertões da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. São três os critérios usados para definir as áreas semi-áridas nordestinas: 1) precipitações pluviométricas médias anual igual ou inferior a 800mm; 2) Índice de aridez entre 0,5 e 0,21 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evaporação potencial, no período de 1961 a 1990; 3) Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período de 1970 a 1990 (BRASIL, 2005).

A Paraíba apresenta 86,6% de sua área inserida na zona semi-árida nordestina, o que corresponde a 48.785,3 Km² da superfície do Estado (BRASIL, 2005), sendo um problema a disponibilidade de água boa e em quantidade suficiente para a população, a qual tradicionalmente limita o desenvolvimento social e ambiental dessa região (REBOUÇAS et al., 2002).

A disponibilidade de água no semi-árido nordestino é reduzida e caracterizada pela marcante diferença entre o período chuvoso, com precipitações concentradas em 3 a 4 meses

do ano e o período seco prolongado, com alta taxa de evapotranspiração (>2000mm) (VIEIRA, 2002). As características climáticas aparecem retratadas no quadro natural pela vegetação xerofítica (caatinga), embasamento cristalino predominante, solos agrícolas rasos e pelo escoamento hidrográfico intermitentes (TUCCI e BRAGA, 2003).

A variabilidade climática do semi-árido brasileiro introduz significativa vulnerabilidade ao ambiente semi-árido. As incertezas associadas às disponibilidades hídricas impõem uma utilização conservadora dos estoques de água disponíveis, impondo, assim, uma relativa redução na quantidade de água disponível (TUCCI e BRAGA, 2003).

Para otimizar o uso da água pelas populações das regiões semi-áridas, foram construídos açudes ao longo do curso de água dos rios das principais bacias hidrográficas do Brasil (foi adotada a política da açudagem). A construção de açudes no Nordeste brasileiro teve início na época do Brasil Império, com a criação do açude de Cedro (CE). No entanto, somente após a grande seca de 1944/1945, iniciou-se efetivamente a construção dos açudes. Esses reservatórios passaram a contribuir como suporte hídrico para as atividades humanas e dessedentação animal (ESTEVES, 1998; TUNDISI, 2003).

Verifica-se que, nas regiões semi-áridas, as bacias de drenagem dos corpos aquáticos precisam ocupar uma área muito maior do que a área do corpo aquático para garantir um determinado volume mínimo de água nesses reservatórios (VON SPERLING, 1999). Dessa forma, uma característica distintiva importante desses reservatórios é a elevada relação entre a área da bacia de drenagem e a área do reservatório (VIEIRA, 2002).

Segundo Esteves (1998), açudes são ambientes com elevado tempo de detenção hidráulica, com a finalidade de acumular mais água, visto que a principal fonte consiste na precipitação pluviométrica.

Nas pequenas bacias no Nordeste semi-árido observam-se com frequência pequenos açudes construídos em cascata ao longo dos seus cursos d'água, o que tem um efeito significativo sobre o regime hidrológico das bacias e sobre a qualidade da água armazenada nos reservatórios. Neste sistema em cascata a capacidade que um reservatório tem de influenciar outro a jusante depende de suas características, quais sejam de um reservatório profundo e estratificado (efeitos mais pronunciados) ou raso (efeitos menores). A intensidade dessa influência depende também dos níveis tróficos dos reservatórios (STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

Observa-se que os reservatórios construídos, isoladamente ou em cascata, nessas regiões são ambientes relativamente rasos e de grandes espelhos d'água, altamente vulneráveis à ação dinâmica do vento e às oscilações climáticas, ficando o compartimento

biótico sob a influência desses fatores que podem exercer ação seletiva. Esses ambientes tendem a receber uma elevada carga externa de nutrientes e sedimentos em suspensão, desde sua área de drenagem que escoam as águas das chuvas concentradas em poucos meses do ano, o que favorece processos erosivos do solo. As ações de forças naturais e artificiais são determinantes nas características diversas e inconstantes desses corpos aquáticos (NOGUEIRA et al., 2005).

Embora reservatórios em regiões semi-áridas tropicais possam ser diferenciados entre si sob diversos aspectos, eles apresentam várias propriedades em comum. Em geral esses ambientes exibem gradientes longitudinais e variações temporais de estado trófico, turbidez e salinidade, controlados principalmente pelo volume de descarga fluvial e conseqüente carga externa de nutrientes e sedimentos e pelo balanço hidrológico de precipitação e evaporação (TUNDISI et. al., 2005).

A grande maioria dos açudes que compõe a reserva hídrica da Paraíba são considerados temporários, tanto pela irregularidade das chuvas e acentuada evaporação, como também pela retirada de água para consumo humano e dessedentação de animais. Com isso, percebe-se a grande relevância dos açudes na manutenção das comunidades vegetais, animais, e, especialmente, os agregados humanos consumidores destes recursos hídricos (DINIZ, 2003; BARBOSA, 2002).

A qualidade da água pode ser definida segundo a concentração de substâncias inorgânicas ou orgânicas e a composição e estrutura da biota aquática presente no corpo de água. A quantidade e a qualidade das águas superficiais dependem do clima e do solo da região, da vegetação circundante, da morfometria do ecossistema e da influência antrópica. A qualidade, portanto, está diretamente atrelada à processos internos e externos ao corpo de água (STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

A avaliação do uso e ocupação da bacia hidrográfica é importante em estudos de qualidade de água de sistemas lênticos e lóticos pelo impacto do escoamento superficial que promove alterações nas características físicas e químicas da água e no equilíbrio dos seres vivos que ali habitam, entre eles os componentes do fitoplâncton (VON SPERLING, 1994; STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

O aumento da poluição e da contaminação hídrica associados à mudança no perfil de consumo de água pela população (maior demanda) concorrem para a aceleração da deterioração da qualidade dos recursos hídricos (TUNDISI, 2003). Um fator adicional que altera qualidade da água é a disposição em cascata de diversos açudes, essa transformação sofrida pela bacia, desencadeia uma série de processos de alteração na dinâmica do ambiente

como: modificação do fluxo hidráulico, atenuação dos pulsos hidrológicos a jusante e promove alterações ambientais que resultam na interferência das características bióticas e abióticas do ambiente aquático (MOLLE & CADIER, 1992; STRAŠKRABA & TUNDISI, 2000).

Embora as atividades sejam diferentes em cada bacia hidrográfica segundo as formas de uso e ocupação do solo e o nível de desenvolvimento econômico e social das populações, em todas geram impactos que alteram a quantidade e a qualidade da água que se transmitem de um reservatório para outro, pelos rios e córregos que os interligam, configurando uma complexa estrutura em cascata de transferência de componentes químicos e biológicos que fazem à qualidade dessa água, sendo importante conhecer a influência dessa dinâmica nesses ecossistemas (MOLLE & CADIER, 1992; NOGUEIRA et al., 2005).

Os principais problemas relacionados à qualidade da água no semi-árido são: salinização dos corpos hídricos; formações cristalinas normalmente salinas; elevados níveis de turbidez e assoreamento; processos crescente de poluição dos recursos hídricos (VIEIRA, 2002)

A deterioração da qualidade da água além de causar danos nos ecossistemas aquáticos, também repercute diretamente na saúde humana, ocasionando aumento de internações hospitalares e da mortalidade infantil. Em torno de 1,1 bilhão de indivíduos no mundo não tem acesso ao abastecimento de água potável (WHO, 2005) e, no Nordeste do Brasil, o número de pessoas atingidas é significativo (mais de 20% da população no ano 2000). O consumo de água não tratada é a causa principal da manutenção dos ciclos endêmicos de doenças de veiculação hídrica na região (DINIZ, 2003; TEIXEIRA et al, 1993; IBGE, 2005).

Os usos da água dependem de sua qualidade. Existem normatizações específicas que determinam os níveis aceitáveis das características gerais da água para consumo. A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) define água potável como aquela que é apropriada para o consumo humano e “cujos parâmetros biológicos, microbiológicos, físicos, químicos e radioativos, atendem ao padrão de potabilidade e não oferecem riscos à saúde”.

Os mananciais destinados a fornecer água para consumo humano devem pertencer às classes que estão definidas na Resolução 357/2005 do CONAMA. Esta classifica as águas do território nacional segundo seus usos preponderantes tendo como base a qualidade que eles apresentam. A mesma considera as classes especiais 1, 2 e 3 de águas doces aptas para a potabilização. Entre os principais parâmetros de qualidade considerados estão clorofila “a”, fósforo total, as formas nitrogenadas, oxigênio dissolvido e DBO₅.

Tundisi (2003) afirma que a qualidade de água influencia o desenvolvimento social e econômico do país, e que a deterioração dos mananciais deve ser avaliada através dos estudos limnológicos, uma vez que as alterações na bacia são determinantes e importantes na eutrofização dos corpos aquáticos e limitantes do desenvolvimento sustentado de uma região.

A limnologia proporciona uma visão mais detalhada da qualidade da água, através do estudo das variáveis físicas, químicas e biológicas e suas inter-relações no interior de um corpo hídrico, bem como as inter-relações desse corpo com sua vizinhança (STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

A eutrofização de ambientes aquáticos constitui-se do aumento da concentração de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, acarretando no aumento da produtividade dos mananciais. A mesma pode ocorrer de forma lenta e contínua resultando do aporte de nutrientes trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais, caracterizando a eutrofização natural. Entretanto, o desenvolvimento de atividades antropogênicas aceleram este processo, provocando o envelhecimento precoce destes ecossistemas (BRANCO, 1986; VON SPERLING, 1999; STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

O envelhecimento do reservatório depende de dois tipos de processos, que são o físico-químico e o biológico. O processo físico-químico é controlado pela latitude, tamanho, profundidade, volume, tempo de retenção, total de matéria orgânica em suspensão e das atividades existentes nas bacias hidrográficas. No referente aos processos biológicos, o elemento mais importante é a taxa e o grau de desenvolvimento das comunidades aquáticas (STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

Os fatores ambientais tais como cheias, mistura da massa d'água, disponibilidade de luz e nutrientes, condições tróficas e variáveis climáticas são os mais importantes nesta relação, sendo que, tais fatores podem ainda interagir com as influências que ocorrem na bacia de drenagem. Desta forma, os corpos de água não devem ser vistos isoladamente, mas como elemento integrante de uma paisagem, interagindo diretamente com o ecossistema terrestre (TUNDISI, 2005).

Esteves (1998) considera a eutrofização artificial como uma reação em cadeia de causa e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra de estabilidade do ecossistema. Sendo caracterizada como um dos principais problemas de qualidade dos corpos aquáticos.

As causas desse processo foram reconhecidas pelos limnólogos somente na década de 60, quando surgiram os primeiros modelos quantitativos relacionando a eutrofização, às concentrações e aportes de fósforo (VOLENWEIDER, 1981).

As atividades antrópicas praticadas nas bacias de drenagem dos reservatórios desempenham papel determinante nas alterações do corpo aquático. Dentre as ações humanas, que mais contribuem para acelerar o processo da eutrofização temos:

- desmatamento;
- criação de áreas agrícolas;
- industrialização;
- implantação de cidades;
- utilização excessiva de adubos e pesticidas.
- obras hidráulicas que impliquem ao aumento do tempo de residência das massas de água.

Essas atividades geram agentes eutrofizantes, como fosfato, amônia e nitrato, na bacia de drenagem. Essas substâncias estão diretamente relacionadas com o processo fotossintético das algas e das plantas aquáticas superiores, uma vez que pertencem à estrutura de muitos compostos importantes para o metabolismo da célula vegetal, como a adenosina trifosfato e as proteínas (NOGUEIRA et al, 2005).

Os efeitos da eutrofização antrópica provocam a quebra do equilíbrio ecológico, pois passa a haver mais produção de matéria orgânica do que o sistema é capaz de decompor, alterando as condições físico-químicas do meio (aumento da concentração de nutrientes, alterações significativas no pH em curto período de tempo, aumento da concentração de gases, como metano e gás sulfídrico) e biológicas (alterações na diversidade e na densidade dos organismos). O aumento da concentração de nutrientes implica não só aumento da densidade de algas, mas também alterações qualitativas, como o surgimento de novas espécies e o desaparecimento de outras (ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 2002).

Segundo Andreoli e Carneiro (2005), as principais consequências desse processo na qualidade da água são os seguintes:

- redução de oxigênio dissolvido;
- baixa biodiversidade aquática;
- perda das qualidades cênicas e para lazer;
- morte extensiva de peixes;
- aumento da incidência de florações de microalgas e cianobactérias;
- restrições de uso da água;

- efeitos sobre a saúde humana;
- aumento nos custos para tratamento da água.

Os ambientes aquáticos, especialmente aqueles de regime lênticos, podem ser classificados de acordo com seu estado trófico, isto é, o seu grau de eutrofização, que permite uma avaliação limnológica bastante aproximada do nível de enriquecimento nutricional de um corpo aquático (MINOTTI, 1999; LAMPARELLE, 2004).

Os índices de estado trófico mais utilizados para ambientes tropicais, no Brasil, é o Índice de Estado Trófico (IET) desenvolvido por Carlson (1977), modificado por Toledo Jr. et al. (1983). Para o cálculo do IET são consideradas as medidas de transparência (visibilidade do disco de Secchi), concentração média de clorofila “a”, concentração total de fósforo total e ortofosfato. Os reservatórios são enquadrados em uma série de classes denominadas de estado trófico, que vão desde os menos produtivos para os mais produtivos, sendo:

- ultraoligotróficos – com muito baixa produtividade primária;
- oligotróficos – com baixa produtividade primária;
- mesotróficos – com produtividade primária média;
- eutróficos – com elevada produtividade, acima da do estado natural;
- hipereutróficos – com produtividades muito elevadas e muito acima do estado natural.

Em linhas gerais, os reservatórios ultraoligotróficos e oligotróficos são caracterizados por baixas entradas de nutrientes e produção primária, alta transparência e uma biota diversa. Ao contrário, águas eutróficas tem uma grande entrada de nutrientes e produção primária, baixa transparência e elevada biomassa, com poucas espécies (LAMPARELLI, 2004).

De acordo com Tundisi (2003), o nível trófico de um ambiente não é estático ou imutável. As variações de trófia estão condicionadas as modificações das variáveis biológicas e físico-químicas no ambiente aquático.

As variáveis físicas e químicas desempenham assim uma seletividade ambiental muito forte sobre a distribuição dos organismos, a composição das comunidades e os processos de produção primária das comunidades planctônica e perifítica, determinando a composição das espécies, assim como sua abundância (TUNDISI et al., 2002).

Com a introdução de grandes quantidades de matéria orgânica na água, pode ocorrer um desequilíbrio de elementos e nutrientes no ecossistema aquático, tendo como consequência à intensificação das reações fotossintéticas do fitoplâncton, na presença de luz, levando muitas vezes a ocorrência de florações de algas e cianobactérias, as quais podem

produzir e liberar para o meio líquido toxinas (cianotoxinas) que afetam a saúde humana, constituindo assim, uma ameaça à saúde pública (AZEVEDO et al, 2002; BRASIL, 2003).

Estudos ecofisiológicos permitem conhecer essas interações entre a biota e o ambiente e sua influência na qualidade da água que podem causar florações de cianobactérias potencialmente tóxicas, informações importantes para o gerenciamento de mananciais para usos múltiplos (TOLEDO et al, 1983; MENDES & BARBOSA, 2004; BARBOSA, 2003).

Vollenweider (1981); Rebouças et al (2002); Tundisi (2005), entre outros autores enfatizam em seus estudos a importância do conhecimento dos processos metabólicos que se verificam nas águas impactadas, da necessidade do manejo integrado do recurso água e das interações entre as atividades do homem e a qualidade da água.

Estes problemas evidenciam que, se no futuro não forem adotados controles rígidos para a preservação da qualidade das fontes de abastecimento, estas terão seu uso inviabilizado. Portanto um dos maiores desafios a enfrentar para alcançar o desenvolvimento sustentável será minimizar os efeitos da escassez de água e da poluição. Conservação da qualidade e quantidade da água de reservatórios é um problema complexo que demanda conhecimento científico integrado e interdisciplinar de forma a se encontrar alternativas e soluções otimizadas.

Tundisi (2005), argumenta que a implementação de estudos de monitoramento e avaliação trófica em sistemas aquáticos tem como relevância a detecção e predição dos seus processos de eutrofização e busca de propostas de soluções que viabilizem o aumento da vida útil, minimizando os impactos e entendendo a dinâmica desses ecossistemas.

A vigilância da qualidade da água para consumo humano deve ser uma atividade rotineira, preventiva, de ação sobre os sistemas públicos e soluções alternativas de abastecimento de água, a fim de garantir o conhecimento da situação da água para o consumo humano, resultando na redução das possibilidades de enfermidades transmitidas pela água (BRASIL, 2005), visando um equilíbrio para esses ecossistemas (ESTEVES, 1998).

Diante do exposto, os reservatórios do semi-árido nordestino brasileiro, submetidos à elevada evaporação e irregularidade da precipitação pluviométrica, os estudos limnológicos, aliados aos estudos morfométricos e climáticos, tornam-se fundamentais como base teórica e para o entendimento dos padrões de comportamento da qualidade da água e dos processos que os produzem, assim como para o desenvolvimento de programas de manejo dos corpos aquáticos, viabilizando a tomada de decisões para mitigar os impactos ambientais negativos decorrentes das atividades antrópicas desenvolvidas nos reservatórios e nas suas bacias de drenagem.

Bacias situadas no Cariri, Seridó e alto Sertão com açudes aninhados, não apresentam ainda estudos sistemáticos em relação à qualidade das águas desses açudes. Desta forma, esse trabalho se constitui num importante aporte ao conhecimento das condições limnológicas dos reservatórios em série do semi-árido paraibano, estando os sistemas selecionados situados numa bacia modelo ou bacia escola, em São João do Cariri. Estes estudos orientam-se à definição, num futuro próximo, de políticas públicas de gestão sustentáveis das águas do semi-árido na Paraíba. Estudos deste tipo são importantes, e podem ser extrapolados para bacias maiores, para a preservação das águas nordestinas em geral.

4.1 Aspectos geomorfológicos e fisiográficos da área estudada

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica experimental de São João do Cariri, onde se localizam cinco açudes dispostos em cascata. Essa bacia se situa próxima à sede do município de São João do Cariri, no estado da Paraíba, nordeste do Brasil. A Figura 1 apresenta em destaque a região do Cariri paraibano e a Bacia Experimental de São João do Cariri.

A bacia situa-se sobre embasamento cristalino, região de solos rasos com predomínio do Luvissole Crômico Vértico - TC, o Vertissolo Cromado Órtico - VC e o Neossolo Lítico - RL, ocorrendo em 55,6%, 22,4% e 7,9% da área, respectivamente. Apresenta um relevo ondulado com altitude média entre 450m a 550m em relação ao mar, com pequenos desvios altimétricos (Figura 2). A cobertura vegetal é de caatinga, vegetação típica da região, com algaroba, áreas de cultivo anuais e campos de palma. (CHAVES, 2002).

Predomina o clima seco semi-árido, segundo classificação de Koppen, caracterizado por um período seco e quente e um inverno temperado e chuvoso. As temperaturas são altas durante todo o ano, com média anual de 26,2⁰C, e grandes variações (máximas em torno de 29⁰C e mínimas 22,8⁰C), proporcionando fortes amplitudes térmicas diárias e anuais. A precipitação média anual é de 512,9mm, sendo que no período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, chega a precipitar 77,8% desse total. No entanto, no período de estiagem, de junho a novembro, a pluviosidade média é de 114,0mm. (PARAÍBA, 1985).

As taxas de evaporação são elevadas, com média anual de 2.240,80mm, devido à elevada temperatura ambiente, a intensa radiação solar, e a influência dos ventos que atuam diariamente e condicionam o clima local. A umidade relativa média é de 71,50%, a qual é influenciada pela alta taxa de evaporação (AESAs, 2006).

A bacia de São João do Cariri está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba (21.539km²), na sub-bacia média do Rio Taperoá, a 7° 25' de latitude Sul e 36° 30' de longitude Oeste. Tem área aproximada de 13,40 km², sendo que 0,88 km² são ocupados pelas bacias hidráulicas de açudes e lagoas, apresenta perímetro de 19,03 km, coeficiente de compacidade de 1,44, fator de forma de 0,18, densidade de drenagem de 4,82 km/km²,

4.2 Descrição dos corpos aquáticos

Nesta Bacia Experimental foram definidas quatro sub-bacias, onde se situam os açudes Roque, Bola I, Luis Heleno e Namorados.

A tabela 1 apresenta a caracterização morfométrica, realizada através de batimetria automatizada em agosto de 2006, para cada manancial. A classificação morfológica dos reservatórios monitorados foi realizada segundo a metodologia proposta por Melack (1984). De acordo com as classes morfológicas identificadas através do mapa da bacia experimental em que mostra os reservatórios constituintes da bacia hidrográfica, o seu divisor topográfico e a localização das estações pluviométricas e pluviográficas, foi possível identificar reservatórios de forma oval a dendrítica (Figura 1). Estes corpos aquáticos vêm sendo monitorados qualitativamente de forma regular desde setembro de 2006.

Tabela 1 – Dados morfométricos dos quatro reservatórios localizados na Bacia de São João do Cariri – PB.

Açude	Profundidade média (m)	Profundidade máxima (m)	Volume total (m ³)	Área inundada (ha)	Perímetro do reservatório (m)	Classe morfológica
Roque	-	-	-	-	-	Circular/Oval
Bola I	2,36	5,17	313174,69	16,62	3.378	Composto
Luiz Heleno	2,66	3,70	70184,17	5,36	1.759	Composto
Namorados	3,22	6,06	2118980	22,76	3.667	Dendrítico

4.3 Pontos de amostragem

Para definição dos locais de coleta de água nos quatro açudes, foi usado o mapa de isolinhas de profundidades da batimetria (Agosto de 2006). Foram identificadas as regiões de maior profundidade em cada reservatório e definidos, na zona limnética, os pontos de amostragens, os quais foram georreferenciados.

A tabela 2 apresenta a localização geográfica dos pontos de coleta da zona limnética de cada corpo aquático.

Tabela 2 – Pontos de coleta dos reservatórios estudados na Bacia de São João do Cariri – PB.

Açude	S	O
Bola II	7°20' 54.37''	36° 32' 53.24''
Roque	7°21' 00.29''	36° 32' 27.58''
Bola I	7°21' 32.97''	36° 32' 45.73''
Luiz Heleno	7°22' 04.36''	36° 32' 43.61''
Namorados	7°23' 07.30''	36° 31' 58.77''

4.4 Período de coleta e frequência de amostragem

Foram realizados dois tipos de estudo: um, com frequência mensal, com coletas de água em um único horário na sub-superfície (0,15m de profundidade). O período de amostragem estendeu-se de setembro de 2006 a fevereiro de 2008, abrangendo 04 meses de chuva e 14 meses de estiagem.

O segundo tipo de coleta foi realizado em dois açudes, Namorados e Luiz Heleno, no mesmo ponto da zona limnética, em intervalos de 3 horas, ao longo de ciclos de 24 horas (estudos de ciclos nictemerais). Esses estudos foram realizados nos meses de dezembro de 2006 e maio de 2007 (épocas de estiagens e de chuvas, respectivamente). As amostras de água foram coletadas em 3 profundidades definidas de acordo com o coeficiente de extinção da luz, com uso do disco de Secchi: 100% (PA), 50% (PB) e fundo (PD). A extensão da zona eufótica foi calculada multiplicando os valores de transparência, para cada mês em cada reservatório, pelo fator 3 sugerido por Esteves (1998).

4.5 Procedimento de coleta e preservação das amostras

Para a coleta de amostras foi utilizado um barco a remo, devidamente equipado. As amostras de água foram coletadas com amostrador tipo “Van Dorn” na sub-superfície da água (estudo horizontal) e nas diferentes profundidades (estudo vertical). Em cada ponto de amostragem o coletor era lavado repetidas vezes com água do próprio local. Uma vez coletada, cada amostra foi distribuída por sifonação, em recipientes apropriados e devidamente identificados. As amostras para exame microbiológico foram acondicionadas em frascos estéreis de vidro âmbar, de boca larga protegida com papel alumínio, previamente esterilizado (autoclave a 120⁰C por 15min). Todas as amostras foram transportadas, imediatamente após a coleta para o laboratório, em caixas isotérmicas resfriadas à temperatura inferior a 10⁰C, sendo processadas imediatamente ou conservadas conforme recomendação da APHA et al (1998), em função do tipo de análise.

4.6 Variáveis Analisadas e Metodologia Analítica

As variáveis quantificadas foram definidas conforme sua importância para a caracterização da qualidade física, química e sanitária e do grau de trofia dos corpos aquático.

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental do departamento de Engenharia Civil, no campus I, da Universidade Federal de Campina Grande – PB, e no Laboratório de Ecologia Aquática do Departamento de Biologia, no campus I, da Universidade Estadual da Paraíba – PB.

4.6.1 Variáveis físico-químicas

As variáveis físico-químicas foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), alcalinidade, dureza, formas de fósforo e nitrogênio. As análises seguiram as indicações da APHA et al., (1998).

Temperatura da água: A temperatura foi determinada em campo, no momento da coleta, com termômetro de filamento de mercúrio - Termistor FAC. As unidades foram expressas em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Transparência (Secchi): obtida através da leitura do desaparecimento e aparecimento do disco de Secchi, de cor branca e preta, de 30 cm de diâmetro, suspenso por uma corda graduada. O valor da zona eufótica foi calculada multiplicando-se o valor da profundidade do disco de Secchi pelo fator 2,7 (ESTEVES, 1998). Os resultados foram expressos em metros (m).

pH: A determinação do pH foi realizada no campo usando-se eletrodo combinado Micronal, calibrado previamente com soluções padrões de pH 4,7 e 9.

Oxigênio dissolvido: As preservações das amostras e as determinações de OD foram realizadas segundo método de Winkler modificado. A fixação do OD foi realizada no campo utilizado sulfato manganoso e azida sódica. No laboratório se procedeu á titulação com tiosulfato de sódio a 0,025N. Os resultados foram expressos em miligramas por litro (mg/l).

Condutividade elétrica: As medidas de condutividade foram feitas em campo, com uso de condutivímetro portátil, DIGIMED, modelo CD-2P, previamente calibrado. Os resultados foram expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Alcalinidade Total: foi usado o método titulométrico, com ácido sulfúrico 0,02N. Para determinação dos pontos de inflexão foi utilizado pHmetro. Os resultados foram expressos em miligramas de carbonato de cálcio por litro (mg CaCO₃/L).

Dureza: utilizou-se o método titulométrico de complexação com solução padrão de EDTA em meio alcalino, com emprego de negro de eriocromo como indicador. Os resultados foram expressos em miligramas de carbonato de cálcio por litro (mg CaCO₃/L).

Fósforo Total: Foi determinado pelo método colorimétrico do ácido ascórbico, empregando amostras digeridas com persulfato de amônia em autoclave a 121⁰C durante 30 minutos. Os resultados foram expressos em micro-gramas por litro (µg/L).

Ortofosfato solúvel: Foi utilizado o método colorimétrico do ácido ascórbico, para amostras previamente filtradas em filtros de fibra de vidro Whatman GF/C de 47 mm de diâmetro e porosidade de 0,45 mm. Os resultados foram expressos em micro-gramas por litro (µg/L).

Nitrogênio amoniacal: foi determinado pelo método espectofotométrico, utilizando-se reagente fenol-alcalino. Os resultados foram expressos em micro-gramas por litro (µg/L).

Nitrito: sua determinação foi realizada pelo método espectofotométrico com reagente sulfanilamida/cloreto de N-naftil etilenodiamina. Os resultados foram expressos em micro-gramas por litro (µg/L).

Nitrato: Foi determinado indiretamente sob a forma de nitrito pelo método espectofotométrico. A redução do nitrato a nitrito é efetuada pela passagem da amostra por uma coluna redutora de cádmio. Os resultados foram expressos em micro-gramas por litro (µg/L).

4.6.2 Variável Biológica

Foi analisada a concentração de clorofila "a", que representa de forma indireta a biomassa do fitoplâncton presente na amostra.

Clorofila "a": para sua determinação, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno e concentradas sob pressão negativa, em filtros de fibra de vidro Whatman GF/C de 47 mm de diâmetro. A extração do pigmento foi realizada segundo Richards e Thopson (1952) modificado por Wetzel e Linkes (1991), onde o solvente utilizado é a acetona 90%. Após 24 horas de extração, no escuro e sob refrigeração ($\pm 4^{\circ}\text{C}$), as amostras foram centrifugadas a

3000rpm por 15min e em seguida se realiza a medição da absorbância dos extratos espectrofotometricamente, a 665nm e 750nm de comprimento de onda, antes e após a acidificação com HCl a 1N. As concentrações de clorofila “a” foram obtidas através da fórmula (Eq. 1) abaixo:

$$Cla = 29,6 \times (Ab^{665} - Aa^{665}) \left(\frac{v}{(V \times l)} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

$Ab = Ab_{665} - Ab_{750}$ = Absorbância antes da acidificação

$Aa = Aa_{665} - Aa_{750}$ = Absorbância após a acidificação

v = Volume do extrato (ml)

V = Volume filtrado (L)

l = Comprimento da Cubeta (cm)

4.6.3 Variáveis Microbiológicas

As variáveis microbiológicas avaliadas foram coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e estreptococos fecais, sendo utilizadas técnicas recomendadas pelo APHA et al.,(1998) método dos tubos múltiplos para os dois primeiros e técnica de membrana de filtração para o terceiro.

Coliformes Termotolerantes: a determinação de coliforme termotolerantes foi realizada inicialmente utilizando o método de Membrana. Foram filtrados volumes (1, 10 e 50 ml) da amostra bruta e/ou das diluições decimais seriadas de até 10^{-3} . Foram usadas membranas Millipore tipo HAWG 047-SO de 47mm de diâmetro e poro de $0,45\mu\text{m}$, e o meio de cultura foi Ágar m-FC (DIFCO), com incubação à $44,5^{\circ}\text{C}/24\text{h}$. As colônias azuis típicas foram contadas e o resultado expresso em unidades formadoras de colônias por 100mililitros de amostra (UFC/100ml). Este método foi substituído, em agosto de 2007, pelo método de tubos múltiplos, devido o aparecimento de colônias mucilagenosas que entupiam a membrana impedindo a quantificação dos coliformes. Foram inoculados volumes conhecidos de amostra bruta e das diluições decimais seriadas de até 10^{-3} , em tubos contendo caldo lactosado e em seguida incubados a $35 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24-48horas. A partir dos tubos que apresentaram

turvação (crescimento bacteriano) se transferiu, com alça de platina, inóculos para tubos contendo caldo verde brilhante bilis 2%, que foram incubados 24-48 horas a $35 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Os tubos que apresentaram turvação e gás constituíram prova confirmativa da presença de coliformes totais. De cada tubo positivo, se transferia essa cultura com alça de platina para tubos contendo meio EC-MUG que foram incubados $44,5^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}/24$ horas. A presença de turvação e aparecimento de cor amarelo forte era indicador da presença de coliformes fecais ou termotolerantes. Os resultados são apresentados em Números Mais Prováveis (nmp/100ml) de microorganismos. Depois, esses mesmos tubos usados com ec-mug a $44,5^{\circ}\text{C}$ se observam sob luz UV ($\lambda = 366\text{nm}$) e a fluorescência indica positividade para *e.coli*.

Escherichia coli: quando se usou a técnica de membrana filtrante, colônias típicas foram repicadas para caldo MUG (COLILERT[®]) e incubadas a $37^{\circ}\text{C}/24\text{h}$. A presença de fluorescência azul sob lâmpada de luz UV ($\lambda = 366\text{nm}$) indicou positividade para *E. coli*. Na técnica de tubos múltiplos, a partir dos tubos positivos de verde bílis brilhante 2% (caldo turvo) foram transferidos para tubos EC-MUG, seguindo-se o procedimento anterior.

Estreptococos fecais: utilizou-se o método da membrana filtrante. Foram realizadas filtrações de volumes (1, 10 e 50 ml) da amostra bruta e/ou das diluições decimais seriadas de até 10^{-3} , em membranas Millipore tipo HAWG 047-SO de 47mm, idênticas as usadas para coliformes. O meio de cultura foi o m-Enterococos Ágar (DIFCO), com incubação à $37^{\circ}\text{C}/24-48\text{h}$. A quantificação foi feita pela contagem das colônias vermelhas e o resultado expresso em unidades formadoras de colônias por 100mililitros de amostra (UFC/100ml).

4.7 Índice de Estado Trófico

Foi calculado segundo a fórmula proposta por Carlson (1977), modificada por Toledo Jr. et al. (1983) para ambientes tropicais, usando-se as fórmulas que consideram as medidas de transparência (visibilidade do disco de Secchi), concentração de clorofila “a”, de fósforo total e ortofosfato; foi possível calcular o Índice de Estado Trófico médio [IET(m)]. Os cálculos dos IETs foram também calculados para cada mês, para todos os reservatórios, durante o período estudado. As equações utilizadas foram:

$$IET(S) = 10 \left\{ 6 - \frac{(0,64 + \ln S)}{\ln_2} \right\} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$IET(CLa) = 10 \left\{ 6 - \frac{(2,04 - 0,695 \ln CLa)}{\ln_2} \right\} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$IET(PO_4) = 10 \left[6 - \left\{ \frac{\ln(21,67/PO_4)}{\ln_2} \right\} \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

$$IET(P) = 10 \left[6 - \left\{ \frac{\ln(80,32/P)}{\ln_2} \right\} \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

$$IET(m) = IET(S) + 2 \{ IET(P) + IET(PO_4) + IET(CLa) \} / 7 \quad (\text{Eq. 6})$$

onde:

S = Valor da transparência medida na superfície da água, em cm

CLa = Concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

PO₄ = Concentração de ortofosfato medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

P = Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g.L}^{-1}$

m = IET médio

ln = Logaritmo natural

Os critérios de trofia foram definidos segundo os valores adaptados por Toledo Jr. et al. (1983).

Tabela 3: Critério de Classificação adotado pelo Índice de Estado Trófico, a partir do valor obtido pela equação do IET para reservatórios tropicais, segundo o Índice de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. et al. (1983).

CLASSIFICAÇÃO	VALOR
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 > IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 > IET \leq 59$
Eutrófico	$59 > IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 > IET \leq 67$
Hipereutrófico	$IET \geq 67$

4.8 Dados Climatológicos

Os dados climatológicos foram obtidos das estações climatológicas de superfície convencional e automática instaladas na Bacia Experimental de São João do Cariri e dos pluviômetros instalados em diversas partes da Bacia, operados de forma sistemática pelos técnicos da Universidade Federal de Campina Grande. Para definir épocas climáticas homogêneas (chuva e estiagem), em que os reservatórios pudessem ser agrupados, foram analisadas as séries históricas de precipitação pluviométrica da região, correspondente aos últimos 22 anos, de 1985 a 2007.

4.9 Análise do Uso e Ocupação do Solo

Para a avaliação de uso e ocupação do solo da bacia sob estudo, foram feitas visitas às propriedades inseridas na bacia, e realizado um levantamento visual junto com entrevistas aos proprietários, moradores e/ou trabalhadores. Foram também analisados, dados de órgãos públicos (Sudema; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA), trabalhos científicos, e feitas consultas com especialistas em gestão, geógrafos e botânicos, com intuito de compor um inventário sócio-ambiental da bacia experimental sob estudo em São João do Cariri-PB.

4.10 Análise de Dados

O software utilizado para execução das análises estatísticas foi o Statistica 7.2. A análise estatística foi realizada a partir da separação dos dados em dois períodos: estiagem e chuvoso. Na análise estatística descritiva foram calculados a média aritmética, mediana, mínimo, máximo e número de dados de todas as variáveis analisadas. O grau de dispersão foi medido pelo desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV). Os resultados foram apresentados na forma de tabelas e de gráficos tipo Box-Plot, para permitir uma melhor visualização da variabilidade observada em cada açude, para todas as variáveis.

A normalidade dos dados foi verificada com a utilização do teste estatístico Shapiro Wilk, sendo realizado para todas as variáveis analisadas. Os resultados obtidos evidenciam que a maioria dos dados não apresentaram distribuição normal, sendo necessária utilização de testes estatísticos não-paramétricos. Visando estabelecer o grau de correlação entre as variáveis, para o período seco e chuvoso, em cada açude, foi realizada a Análise de Correlação de Spearman, o teste da ANOVA KW e o Teste da ANOVA U, todos ao nível de 5% de significância.

Para o estudo nictimeral foi realizada as análises de estatística descritiva para o período de estiagem e chuvoso e análises de correlação para verificar diferenças significativas entre dia/noite e entre as profundidades em cada período, e também foi testado as correlações entre os dois períodos. Os dados são apresentados em gráficos de isolinhas, evidenciando a distribuição das variáveis ao longo do tempo e do espaço.

5.1 Estudos horizontais e mensais

Esse estudo considerou dois períodos, seca e chuva, para melhor caracterizar o comportamento dos açudes e a qualidade da água armazenada. De acordo com Vieira (2002), nos corpos aquáticos tropicais, o padrão de comportamento temporal responde em geral ao ciclo anual, onde se observa apenas duas estações ou épocas climáticas bem definidas, uma de estiagem e outra de chuvas gerando situações distintas e persistentes nas condições de estratificação e na qualidade da água.

De acordo com os valores da série histórica o período chuvoso se estende de janeiro a maio, concentrando 73,8% da precipitação anual, e o período de seca fica restrito de junho a dezembro (26,2% precipitação anual).

Ao longo deste estudo, o período chuvoso se concentrou nos meses de fevereiro a maio de 2007, no restante dos meses ocorreram chuvas escassas e dispersas. Os meses de janeiro de 2007 e janeiro e fevereiro de 2008 foram considerados de seca por terem apresentado precipitações extremamente baixas e atípicas à média histórica (com decréscimo de mais de 50% da precipitação esperada). O critério utilizado na determinação do início e término do período de chuvas e de estiagem baseou-se nos dados da série histórica de 21 anos da bacia e considerando o mês de transição entre as épocas, aquele onde a precipitação pluviométrica mensal fosse 50% superior ou inferior do que a precipitação do mês antecedente. Critérios semelhantes foram utilizados por Sansigolo (1989); Ceballos (1995), Barbosa (2002) e Diniz (2004). Desta forma o período chuvoso compreendeu quatro meses e o período de seca catorze meses.

Na Tabela 4 são apresentados os valores de precipitação pluviométrica mensal dos períodos 2006 a 2008 e os valores médios climáticos mensais dos últimos 21 anos para o período 1986 – 2007, medidos na estação meteorológica da Bacia Escola de São João do Cariri. Entre os meses de set/2006 a fev/2008, a precipitação pluviométrica na bacia foi baixa, aproximadamente 33% a menos em relação à média histórica da região, na maioria dos meses (Tabela 4). A precipitação total acumulada foi de 394,1 mm, assim distribuídos: 298 mm na estação chuvosa correspondendo 76% do total da precipitação do período de estudo e 96,1mm (24%) na estação seca.

Tabela 4 – Precipitação pluviométrica mensal (2006-2008) e média histórica (1986-2007) observada na Bacia Experimental de São João do Cariri – PB. Período do estudo em destaque no retângulo amarelo. (% - porcentagem da chuva mensal em relação ao total anual).

Período	Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul		Ago		Set		Out		Nov		Dez		TOTAL ANUAL mm
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
2006	0,1	0,0	66,9	12,6	65,7	12,4	91,9	17,3	23,9	4,5	261,1	49,2	7,7	1,5	5,2	1,0	0,5	0,1	3,3	0,6	3,1	0,6	1,0	0,2	530,5
2007	1,3	0,4	117,5	32,7	77,8	21,6	56,2	15,6	46,4	12,9	22,9	6,4	11,6	3,2	20,3	5,7	5,3	1,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	359,7
2008	12,2	2,0	14,4	2,3	276,6	44,5	139,9	22,5	114,7	18,4	31,4	5,0	24,3	3,9	6,6	1,1	1,1	0,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	621,5
Média Histórica	66,9	13	85,2	16,6	95,9	18,7	87,8	17,1	42,5	8,3	37,2	7,2	33,8	6,6	24,0	4,7	6,9	1,3	4,4	0,9	7,8	1,5	20,6	4,0	512,9

No período chuvoso, foi observado escoamento superficial difuso ao longo da bacia, entretanto foi insuficiente para provocar extravasamentos desses corpos de água aninhados, sendo assim, não houve transferência de água ao logo da cascata no período estudado (Figura 2).

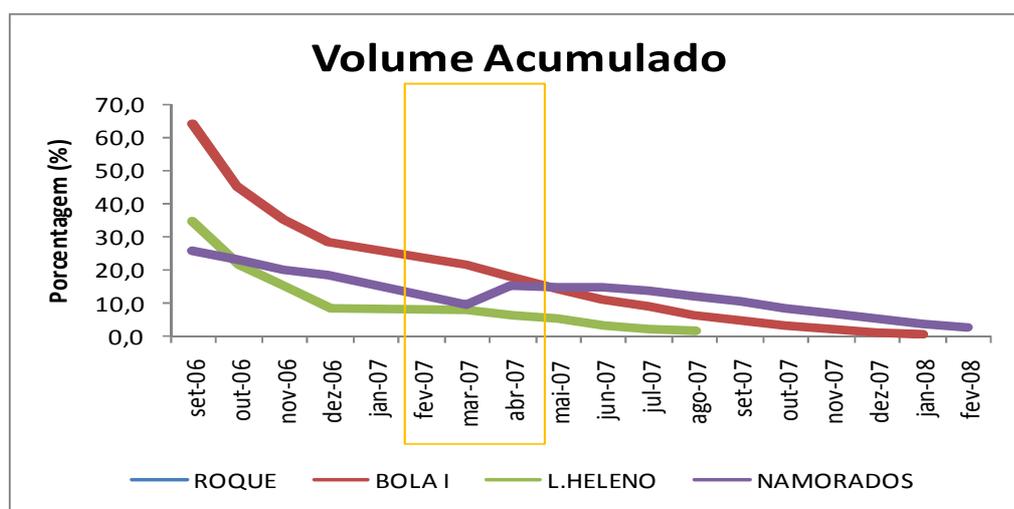


Figura 2 – Volume acumulado nos reservatórios na Bacia Experimental de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. A área em destaque mostra o período chuvoso. (O açude Roque não dispõe de dados de volume).

As chuvas alteram o volume armazenado, promovem perturbação na dinâmica hidroquímica do corpo aquático com entrada de nutrientes e outros materiais e também favorecem a dissoluções de espécies químicas já presentes no ecossistema (WETZEL, 2001). Com a estiagem, ocorre redução da umidade relativa do ar, favorecendo a evaporação e diminuição do volume armazenado, o que acarreta o aumento da concentração de espécies químicas, notadamente sais como os carbonatos e cloretos nos corpos d'água alterando a

concentração de íons, a condutividade elétrica, os sólidos dissolvidos, entre outros, gerando modificações no equilíbrio do ecossistema (WRIGHT, 1981)

Ao longo do estudo houve acentuada redução do volume de água armazenada em todos os açudes, apesar do registro de precipitações pluviométricas de até 117,5 mm em fevereiro de 2007. No mês de setembro de 2007 o açude Roque secou e o Luiz Heleno ficou reduzido a uma pequena poça de água. Já o açude Namorados e Bola I, como são os de maior capacidade volumétrica, mantiveram volumes de água remanescentes. A capacidade volumétrica mínima registrada para estes dois reservatórios, respectivamente, foi de 2,58 e 0,45% nos dois últimos meses do estudo.

O comportamento de cada reservatório reflete a influência de sua morfologia (área, espelho de água, profundidade média, etc) assim como da temperatura do ar e das variáveis hidrológicas. Durante os anos de 2006 a 2008, observa-se que a temperatura média do ar não teve grandes variações entre o período de seca e chuva (26,1°C e 27,0°C, respectivamente). A umidade relativa média foi maior na chuva (79,2%) do que na seca (72,8%). No entanto, a radiação global média no período seco (479,6 w/m²) foi superior à registrada para o período de chuva (409,3w/m²), comportamento acompanhado pela maior evaporação média nessa época (seca - 234,5 mm; chuva - 189,5 mm) (Tabela 5).

Tabela 5 – Variáveis hidrológicas monitoradas na Bacia Experimental de São João do Cariri, nos anos de 2006 a 2008.

Evaporação TCA (mm)												
Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	278,8	220,6	192,2	165,1	155,9	95,7	143,6	144,4	221,9	290,3	283,1	216,7
2007	273,9	208,9	180,6	176,9	191,6	148,0	158,3	145,9	230,7	258,8	269,6	263,1
2008	260,6	262,7	226,1	134,4	95,1	98,7	110,6	171,2	219,8			

Umidade relativa do ar (%)												
Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	71,7	76,5	78,4	80,5	81,3	85,8	84,6	78,3	72,5	70,1	69,3	68,3
2007	71,6	74,3	77,8	75,4	80,4	81,4	79,8	85,4	73,2	69,8	70,2	69,2
2008	70,2	68,2	69,3	79,8	83,2	82,1	82,1	79,4	74,1	75,3		

Temperatura do ar (°C)												
Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	27,3	28,1	27,3	26,9	25,6	23,4	23,3	24,1	25,1	26,2	27,4	27,9
2007	26,8	27,0	25,5	27,7	24,9	23,9	23,7	23,6	24,2	26,1	27,1	27,6
2008	27,2	28,1	27,0	25,4	24,6	22,9	22,8	23,8	24,2	26,2		

Radiação Global em (W/m ²)												
Ano	Mês											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	531,5	370,2	444,7	455,2	366,9	375,2	377,7	441,9	486,7	513,8	520,3	527,7
2007	456,3	455,4	439,2	418,0	413,1	352,0	403,5	405,1	435,0	540,5	533,0	537,7
2008	465,8	537,6	465,8	405,0	357,3	383,0	326,8	412,1	465,5	437,1		

Outros fatores externos ao corpo de água que devem ser considerados são as diferentes taxas de escoamento superficial nas sub-bacias e a capacidade de retenção da água em cada reservatório. A capacidade de retenção da água dos reservatórios se associa com as taxas de evapotranspiração do corpo aquático, a qual está relacionada com o tamanho do espelho d'água e a morfometria do açude (VON SPERLING, 1999). Todos os açudes da cascata aqui estudada apresentam pequena área (5,36 - 22,76 ha) e baixa profundidade média (2,36 - 3,22m) e os de menor área e profundidade São Roque e Luiz Heleno. Essas características morfométricas favorecem a evaporação com conseqüente redução acelerada do volume de água armazenada nos açudes na estação seca, comportamento comum nos reservatórios do semi-árido (TUCCI, 2002; MONTENEGRO, 2008). Estes dois açudes secaram rapidamente.

A transparência de Secchi representa a reflexão da luz na coluna do corpo d'água, a qual é influenciada pelas partículas em suspensão (WETZEL, 2001; TUCCI, 2002). Quanto maior o valor da transparência, maior a penetração da luz fotossintética ativa, melhor a distribuição do fitoplâncton ao longo da coluna de água e a produção de oxigênio dissolvido, favorecendo a maior oxigenação da massa de água nas camadas mais profundas (WETZEL, 2001).

As flutuações dos níveis dos reservatórios provocaram interferências diretas na transparência da água. Quando se eleva o nível do reservatório, as vazões afluentes carregam materiais poluentes da bacia de drenagem, são removidos materiais das margens e eventualmente também o material de fundo. Quando esse material alóctone sedimenta, a coluna de água torna-se mais transparente que no início do evento chuvoso. Quando na estiagem, ocorre a redução da água acumulada pela evaporação, compostos químicos e biomassa ficam mais concentrados, inclusive, a entrada de animais e do homem também removem o material sedimentado que fica em suspensão na água; Nas duas situações as conseqüências são diretas na transparência ao longo da coluna de água, o que afeta na penetração da luz, na disponibilidade de nutrientes e na atividade fotossintética do fitoplâncton, alterando a dinâmica do ecossistema (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

No presente estudo, a transparência da água foi decrescendo ao longo dos meses, acompanhando a diminuição do volume da água. A principal causa dessa distribuição da transparência relaciona-se com a ressuspensão do sedimento provocada pelo vento, pelos usuários e pelos animais que entram para beber água. A Figura 3 mostra o perfil de transparência de Secchi e da zona fótica dos quatro açudes ao longo dos meses.

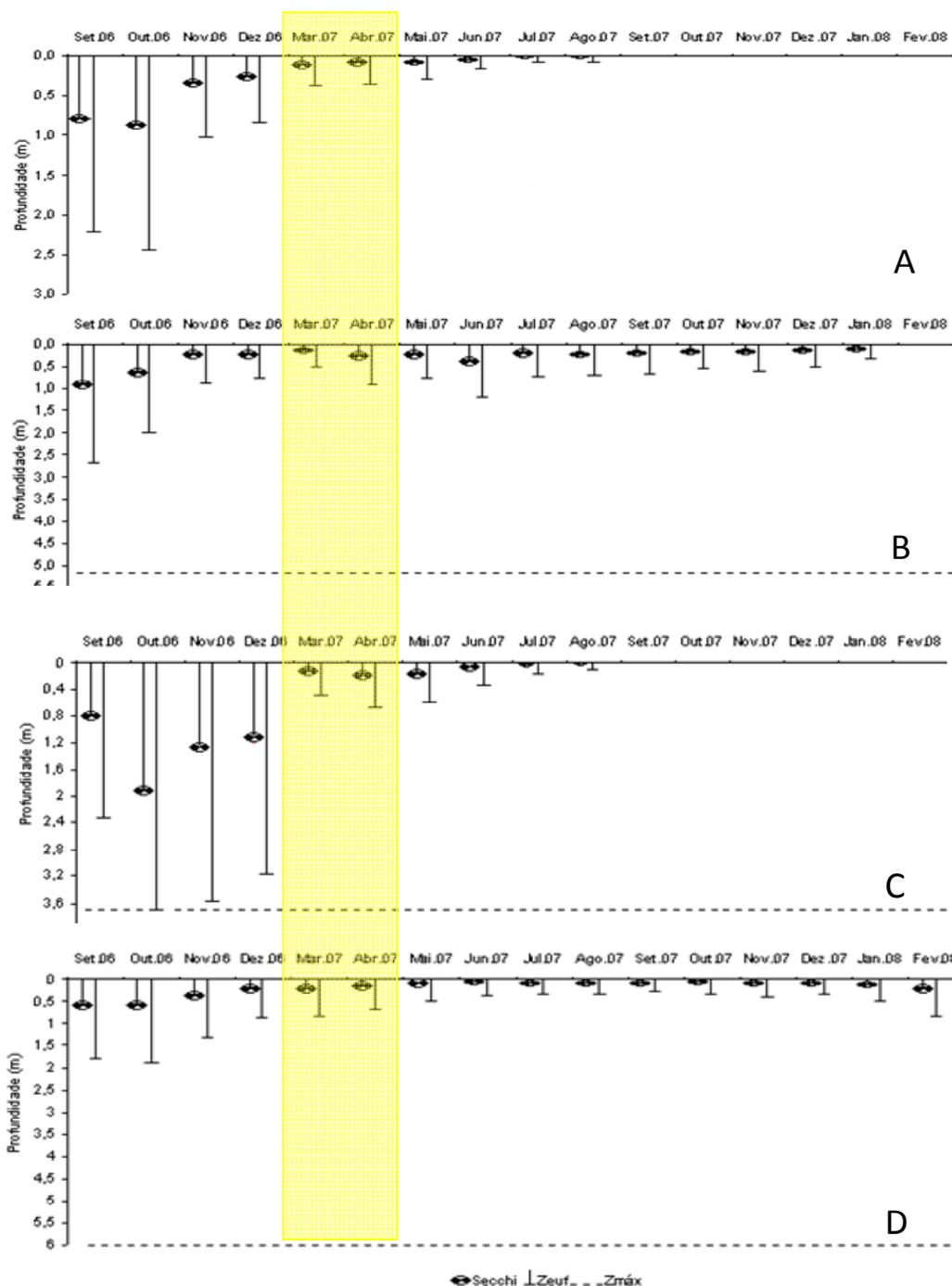


Figura 3 – Transparência de Secchi e Zona Eufótica, observada nos reservatórios Roque (A), Bola I (B), Luiz Heleno (C) e Namorados (D), no período de setembro de 2006 a março de 2008.

O valor máximo de transparência no açude Luiz Heleno foi de 1,98m e portanto de 5,34m para zona eufótica (out/2006). Considerando que a profundidade máxima do Luiz Heleno é de 3,70m e que nesse mês o açude tinha volume acumulado de 21,42%, a coluna de água esteve 100% iluminada. O valor mínimo de transparência foi registrado no açude de menor área e volume, o açude Roque, nos meses que antecederam a secagem desses reservatórios, julho e agosto (0,03m), como apresentado na Tabela 6 e 7 e nas Figura 3 e 4.

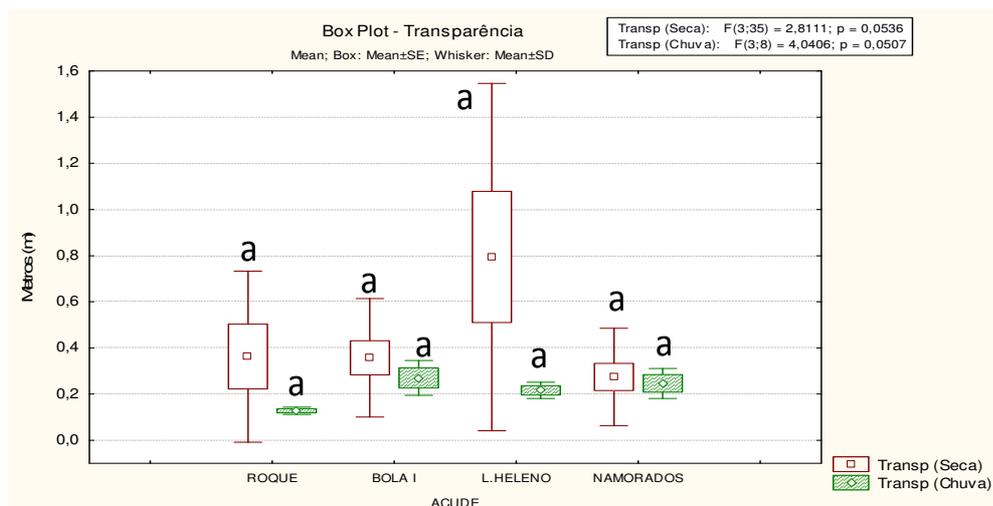


Figura 4 – Variação na profundidade do disco de Secchi nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

TABELA 6 – Estatística descritiva das variáveis físico-químicas nos açúdes da Bacia de São João do Cariri, no período de seca. (DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação)

Açúde	Estatística Descritiva	Transp. (m)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Alca. (mg/L)	OD (mg/L)	PT (µg/L)	POrto (µg/L)	NO ₂ ⁻ (µg/L)	NO ₃ ⁻ (µg/L)	N-amoniacal (µg/L)	Clor <i>a</i> (µg/L)
	N =	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Roque	Mínimo	0,03	24,80	7,57	23,90	40,51	3,68	17,67	3,00	1,67	78,89	0,71	0,00
	Máximo	0,91	28,30	8,32	269,90	144,54	10,30	734,33	223,00	86,11	785,65	26,71	14,33
	Média	0,36	26,94	7,94	176,24	94,34	6,68	166,71	49,29	18,44	235,85	6,12	5,24
	Mediana	0,31	27,30	7,96	231,50	94,71	6,40	87,67	29,00	16,85	140,37	1,29	4,17
	DP	0,37	1,31	0,30	97,81	31,30	2,27	252,91	78,52	30,41	247,520	9,52	5,97
	CV (%)	0,14	1,70	0,09	9567,06	979,59	5,15	63965,61	6165,90	924,68	61265,88	90,70	35,59
	N =	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12
Bola I	Mínimo	0,12	24,40	6,60	111,40	36,13	3,32	11,00	3,00	1,30	1,20	0,82	0,00
	Máximo	1,00	30,40	8,20	585,00	160,00	7,88	92,67	56,00	30,56	386,94	12,18	16,05
	Média	0,36	26,93	7,80	357,35	111,77	5,95	39,09	20,60	9,86	157,87	2,82	6,61
	Mediana	0,27	27,00	7,79	339,60	115,00	6,15	35,17	15,08	8,52	111,94	1,29	4,88
	DP	0,26	1,48	0,42	167,47	36,96	1,51	22,91	16,78	7,39	122,65	3,48	5,86
	CV (%)	0,07	2,18	0,18	28047,85	1365,89	2,29	524,82	281,61	54,64	15042,01	12,13	34,38
	N =	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Luiz Heleno	Mínimo	0,04	26,20	7,33	68,93	26,50	2,04	9,33	3,00	0,19	47,13	0,65	0,00
	Máximo	1,98	30,60	9,94	288,80	113,88	10,92	344,33	108,00	34,63	499,81	111,35	252,53
	Média	0,79	28,43	9,33	157,92	63,55	7,34	128,14	33,86	11,08	179,99	18,95	49,80
	Mediana	0,86	28,60	9,60	144,20	64,00	7,50	97,67	10,00	2,41	142,31	1,18	3,53
	DP	0,75	1,71	0,93	69,06	26,74	2,97	117,81	41,71	13,93	159,81	40,94	92,41
	CV (%)	0,57	2,91	0,87	4768,62	714,83	8,84	13880,29	1739,81	194,05	25539,75	1675,80	8539,96
	N =	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Namorados	Mínimo	0,10	23,30	7,03	157,50	33,40	3,97	2,67	3,00	1,67	43,33	0,53	0,00
	Máximo	0,70	31,90	8,29	284,30	125,00	8,06	242,67	132,00	37,96	378,15	12,76	11,24
	Média	0,27	26,53	7,84	207,52	79,02	6,08	64,67	31,12	11,63	120,44	1,93	4,89
	Mediana	0,15	26,00	7,90	187,50	75,00	6,55	37,67	24,00	6,85	98,98	1,24	4,80
	DP	0,21	2,44	0,33	41,77	21,42	1,27	69,28	34,00	10,94	91,45	3,72	3,58
	CV (%)	0,04	5,98	0,11	1744,63	458,99	1,61	4799,51	1155,76	119,72	8363,11	13,82	12,82

TABELA 7 – Estatística descritiva das variáveis físico-químicas nos açudes da Bacia de São João do Cariri, no período de chuva. (DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação)

Açude	Estatística Descritiva	Transp. (m)	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Alca. (mg/L)	OD (mg/L)	PT (µg/L)	POrto (µg/L)	NO ₂ ⁻ (µg/L)	NO ₃ ⁻ (µg/L)	N-amoniacal (µg/L)	Clor <i>a</i> (µg/L)
Roque	N =	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Mínimo	0,1	26,8	7,6	230,4	93,5	3,1	69,3	24,0	5,0	137,5	0,7	28,9
	Máximo	0,1	29,5	7,8	257,8	104,7	10,8	107,7	54,0	7,6	170,6	7,4	43,4
	Média	0,1	27,9	7,7	246,7	9,8	6,5	89,3	42,7	6,5	156,0	4,7	34,0
	Mediana	0,1	27,4	7,8	251,8	101,3	5,6	91,0	50,0	6,9	159,9	6,1	29,7
	DP	0,0	1,4	0,1	14,4	5,7	3,9	19,2	16,3	1,3	16,9	3,5	8,1
	CV (%)	0,0	2,0	0,0	207,5	32,8	15,6	369,4	265,3	1,8	286,0	12,6	66,2
Bola I	N =	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Mínimo	0,19	28,30	8,00	236,80	96,00	3,96	62,67	10,00	5,00	197,69	0,41	0,00
	Máximo	0,34	30,20	8,11	265,50	105,67	11,73	86,00	34,00	9,81	332,50	10,00	5,84
	Média	0,27	29,20	8,07	253,43	101,39	7,52	74,33	22,33	8,09	247,75	3,75	2,88
	Mediana	0,28	29,10	8,11	258,00	102,50	6,87	74,33	23,00	9,44	213,06	0,82	2,81
	DP	0,08	0,95	0,06	14,89	4,93	3,93	11,67	12,01	2,68	73,80	5,42	2,92
	CV (%)	0,01	0,91	0,00	221,56	24,29	15,42	136,11	144,33	7,18	5446,38	29,39	8,54
L. Heleno	N =	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Mínimo	0,18	25,80	8,75	169,30	73,50	5,73	96,00	14,00	4,26	210,74	0,88	10,67
	Máximo	0,25	29,60	9,10	173,20	98,10	17,03	149,33	52,00	5,37	367,13	27,35	28,99
	Média	0,22	28,20	8,94	171,13	89,31	12,05	118,22	36,33	4,81	288,94	10,86	20,90
	Mediana	0,22	29,20	8,96	170,90	96,33	13,40	109,33	43,00	4,81	288,94	4,35	23,03
	DP	0,04	2,09	0,18	1,96	13,72	5,77	27,76	19,86	0,79	110,58	14,39	9,34
	CV (%)	0,00	4,36	0,03	3,84	188,27	33,31	770,37	394,33	0,62	12228,74	206,96	87,27
Namorados	N =	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Mínimo	0,18	26,30	7,57	167,90	75,00	3,67	72,67	17,00	4,26	10,56	0,71	0,00
	Máximo	0,31	27,30	7,80	194,30	76,33	9,93	107,67	52,00	9,44	308,24	5,65	2,92
	Média	0,25	26,63	7,72	177,87	75,54	6,72	90,44	31,33	6,36	171,98	2,80	1,25
	Mediana	0,25	26,30	7,80	171,40	75,30	6,57	91,00	25,00	5,37	197,13	2,06	0,84
	DP	0,07	0,58	0,13	14,34	0,70	3,14	17,51	18,34	2,73	150,43	2,55	1,50
	CV (%)	0,00	0,33	0,02	205,60	0,49	9,84	306,48	336,33	7,45	22628,67	6,52	2,26

A transparência teve comportamento semelhante ao longo do tempo, de setembro de 2007 a fevereiro de 2008, em todos os açudes sem diferenças significativas (ANOVA; Seca - $f=2,81$; $p=0,053$; Chuva - $f= 4,04$; $p=0,05$). A correlação da transparência com o volume armazenado foi positiva e significativa, ou seja, a maior transparência da água ocorreu quando os açudes estavam com maior volume. Já a transparência teve correlação negativa significativa com condutividade elétrica (CE), ou seja, a diminuição da transparência se associou com diminuição do volume e com a maior concentração de íons determinantes da CE.

A transparência influenciou também a concentração de clorofila “a”, em particular no Luiz Heleno e no Bola I ($r= -0,79$ e $r= -0,73$; $p<0,05$; respectivamente), embora de forma diferente. No Luiz Heleno os menores valores de transparência ocorrem nos meses de maiores concentrações de clorofila “a”, sendo registrado neste período florescimento de

cianobactérias. Já Bola I teve características diferentes aos demais reservatórios aninhados, com águas mais barrentas e, portanto a menor transparência não é devido ao crescimento do fitoplâncton; deve-se à presença de material inorgânico em suspenso na água e se tornou mais pronunciada na medida que o volume do reservatório decresceu, pela ressuspensão dos sedimentos, assim como aumentou a CE, que foi a mais alta de todos os açudes com o avanço da estiagem.

Barbosa et al. (2006), estudando os açudes Taperoá II, Soledade, Namorados e Lagoa Panati /Paraíba, também verificaram baixa penetração de luz em todo o período, independente da época de seca e de chuva, comportamento que associaram com os processos de mistura da água pelos ventos e a baixa profundidade dos açudes estudados, que facilitaram a ressuspensão do material de fundo, produto da biodegradação.

A temperatura influencia as reações químicas e bioquímicas, a solubilidade de gases dissolvidos, a densidade da água e os processos biológicos (SAWYER *et al.*, 1994; ESTEVES, 1998; GUIMARÃES JR. et al, 1998). As faixas de temperatura da água dos corpos aquáticos podem ser favoráveis ou desfavoráveis aos processos de biossíntese e biodegradação. Chellappa e Costa (2003) destacam que temperatura maior que 20°C estimula a fotossíntese, sob concentrações elevadas de formas inorgânicas de nitrogênio e fósforo, estimulando a eutrofização, caracterizada pelo aparecimento exuberante de algas e cianobactérias.

No período chuvoso a média de temperatura foi ligeiramente maior que no período de estiagem, com baixos coeficientes de variação em todos os açudes (Tabelas 6 e 7).

Corpos aquáticos tropicais normalmente apresentam pequenas variações de temperatura ao longo do tempo e do espaço e particularmente no semi-árido, enquanto que as variações são maiores ao longo do dia em um mesmo corpo aquático. (TUNDISI, 2003) Neste trabalho foi observado no Luiz Heleno amplitude de temperatura maiores na seca (de 4,4°C entre os meses; e de 5,6°C num mesmo dia). No Namorados as maiores amplitudes registradas foram de 8,6°C (entre os meses, na seca) e 3,2°C (num mesmo dia, na chuva).

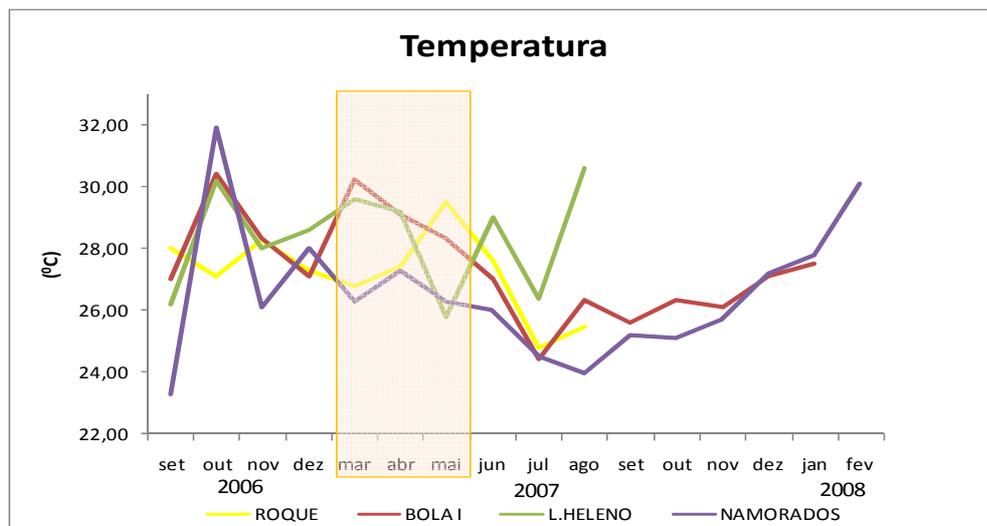


Figura 5 – Distribuição temporal da temperatura observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Na década de 30, Wright (1981) realizou estudos limnológicos em açudes nordestinos, em particular na Paraíba, registrando as primeiras observações sobre as pequenas variações temporais da temperatura da água de sub-superfície observados valores máximos de 26°C nos meses de março e maio e mínimos de 22°C em agosto. Ceballos (1995) e Diniz (2004) evidenciaram comportamento semelhante no reservatório Epitácio Pessoa, Açude Velho, Bodocongó, com valores próximos a 25 e 26°C, sendo predominante amplitudes entre 2 e 4°C, em ambas as épocas. Em 2005, Lins verificou pequenas variações térmicas e valores médios de 28°C na sub-superfície e de 27°C nas camadas mais profundas no reservatório de Acauã; o que também foi registrado por Luna em 2008, nesse mesmo açude. Os resultados mencionados mostram que as temperaturas observadas são típicas de ambientes lênticos de regiões tropicais.

Apesar das variações de temperaturas médias entre o período seco e chuvoso, não houve diferenças estatisticamente significativas (ANOVA $p > 0,05$) considerando todos os açudes em cada época. Comportamento semelhante ocorreu quando comparado os dois períodos para um mesmo açude, exceto em Bola I onde os dois períodos apresentaram-se estatisticamente diferentes (Figura 6). Esse comportamento térmico era esperado por todas as coletas terem sido realizadas num mesmo horário.

A análise de correlação mostrou influência mais acentuada da temperatura nas concentrações das formas nitrogenadas: foi verificada diminuição das concentrações de N-amoniaco nos reservatórios Namorados, Roque e Bola ($r = -0,58$; $-0,63$; $-0,54$; $p < 0,05$, respectivamente). Já no Luiz Heleno, o nitrato apresentou concentrações mais baixas com o

aumento da temperatura ($r=0,52$; $p<0,05$). A temperatura da água, pelas estratificações térmicas e o grau de oxigenação da coluna d'água apresentam forte influencia na concentração das formas nitrogenadas e nas suas transformações químicas. Os períodos de estratificações térmicas e o perfil clinogrado do oxigênio favorecem a menores concentrações de íon amônio no epilímio e altas no hipolímio, em consequência do maior assimilação deste íon pelo fitoplâncton no epilímio e das altas taxas de amonificação favorecidas pelas menores concentrações de OD no hipolímio. A menor oxigenação do corpo aquático leva ao processo de amonificação e desnitrificação, diminuindo a disponibilidade de nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) na massa de água. (SAWYER *et al.*, 1994; ESTEVES, 1998).

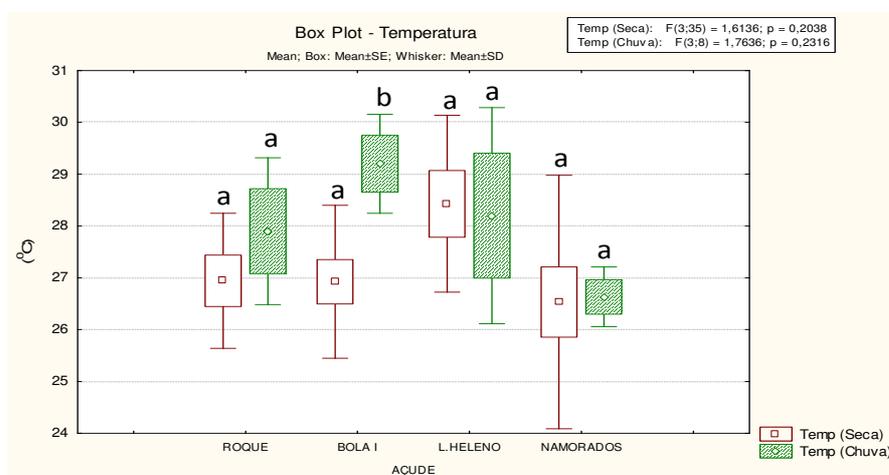


Figura 6 – Variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a março de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Figura 6 mostra que os valores de pH se mantiveram na faixa alcalina (máximo de 9,3 em Luiz Heleno) e foram ligeiramente maiores no período de estiagem. Esses altos valores se relacionam à maior atividade das algas e cianobactérias na assimilação do CO_2 durante o processo de fotossíntese liberando radicais hidroxilas (OH^-). (TUNDISI, 2005)

A distribuição dos valores de pH na água ao longo do tempo encontra-se na Figura 7. Em todo o período de estudo Bola I apresentou o menor valor para esta variável (6,6 em set/2006). O pH apresentou baixa variabilidade ($\text{CV}<1\%$) intra-açude nos períodos seco e chuvoso (Tabelas 6 e 7). Quando analisados os valores de pH entre os açudes se verificam diferenças entre os quatro reservatórios (ANOVA - seca - $f=16,47$; $p<0,000$; chuva - $f=57,61$; $p<0,000$).

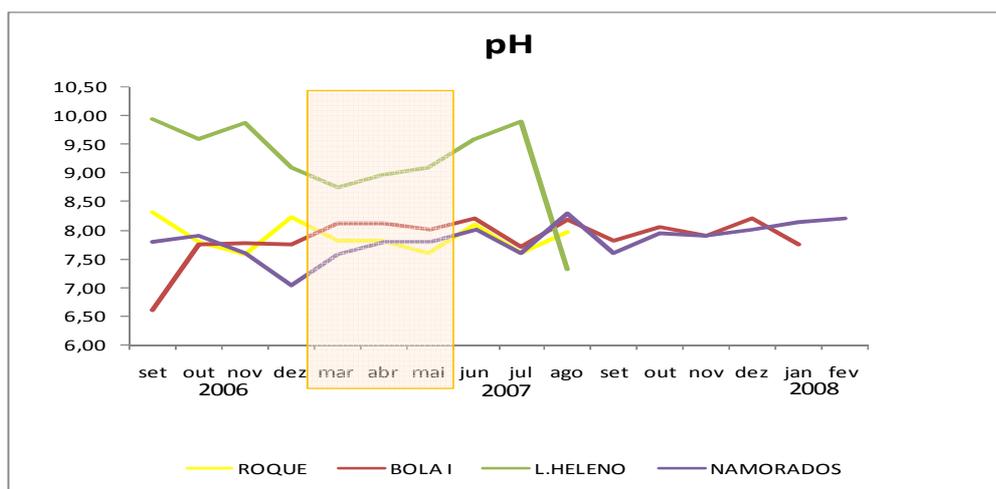


Figura 7 – Distribuição temporal do pH observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Valores de pH superiores a 9 favorecem a formação de NH_3 (MARGALEF,1986; SAWYER *et al.*, 1994), o qual ocorreu em Luiz Heleno entre maio e julho, quando se registraram as maiores concentrações de clorofila "a". Houve também decréscimos da alcalinidade, conseqüência da liberação de OH^- a partir da hidrólise de bicarbonato e carbonatos ocasionado pelo processo fotossintético. Nas Figuras 7 e 8 verifica-se que os maiores valores de pH ocorreram na época seca, quando houve maior atividade fotossintética e maior transparência em Luiz Heleno.

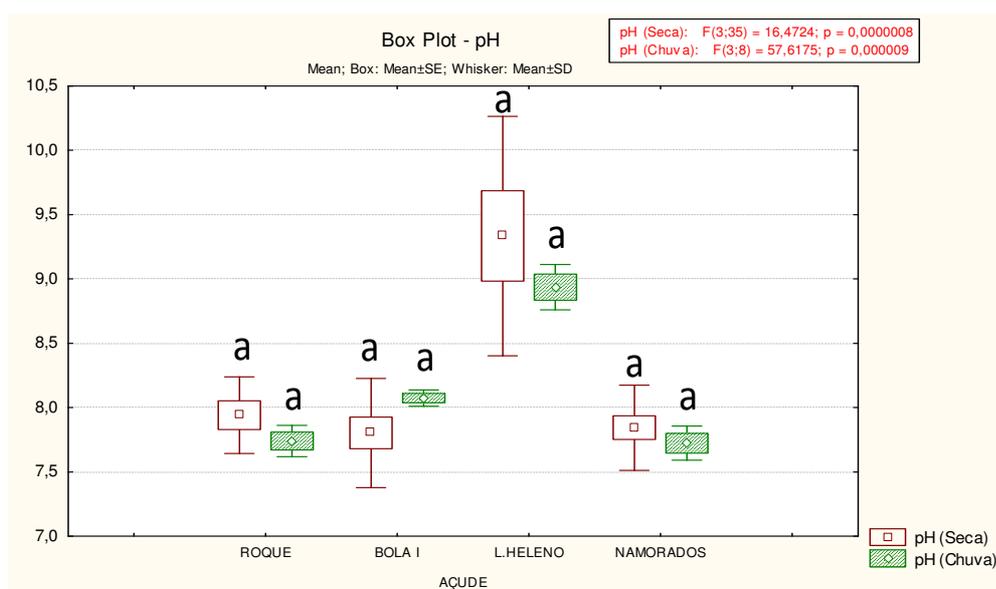


Figura 8 – Variação do pH nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Durante o estudo a condutividade elétrica variou de 111,40 μ S/cm (nov/2006, Bola I) até 585,00 μ S/cm (jan/2008, Bola I). A condutividade depende da concentração iônica do meio, quanto maior for seu conteúdo, maior será a condutividade (APHA, 1998; SAWYER *et al.*, 1994; VON SPERLING, 1999).

A variabilidade desse parâmetro foi alta em todos os açudes no período de seca (Tabela 6). As oscilações de condutividade elétricas, ao longo dos meses, não foram suficientes para estabelecer diferenças estatísticas significativas entre os períodos de seca e chuva num mesmo açude (Teste U - $p > 0,05$), comportamento evidenciado nos quatro reservatórios. No entanto, o comportamento desta variável nos açudes em um mesmo período foram distintos (ANOVA - $p < 0,05$), tanto na seca como na chuva. Esse resultado já era esperado, uma vez que dois dos quatro açudes apresentaram concentrações mais altas num período diferindo dos demais (Bola I e Namorados na seca).

Observa-se aumento da condutividade nos meses de chuva nos reservatórios Roque e Luiz Heleno, Comportamentos inversos foram observados nos açudes Bola I e Namorados, com valores de condutividade maiores para o período de estiagem. Foi registrada média de 253,4 e 177,9 μ S/cm no período de chuva e 357,4 e 207,5 μ S/cm no período de seca, respectivamente nos dois açudes. Os resultados sugerem que nos dois primeiros houve forte influencia exógena, causada por íons transportados pelas chuvas.

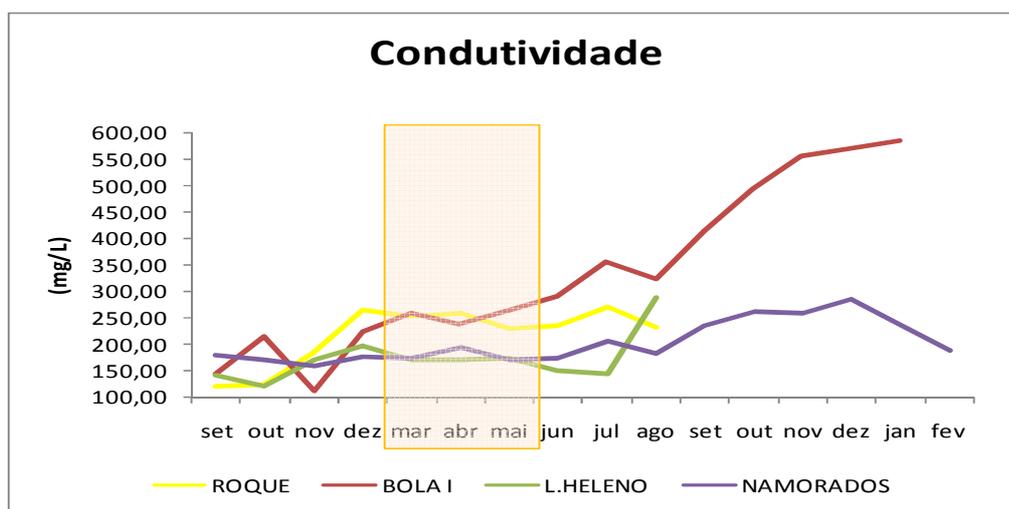


Figura 9 – Distribuição temporal da condutividade elétrica observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Efeitos de diluição de íons em açudes de maior tamanho foram observados com a entrada de água de chuvas no Açude Epitácio Pessoa - PB por Ceballos (1995), Diniz (2003),

(Guimarães et al (2005), no Taperoá por Barbosa (2002), na represa São Salvador –PB por Tavares (2000) e no açude de Acauã por Luna (2008). Na bacia de São João do Cariri não foi evidenciado comportamento semelhante, devido a suscetibilidade dos quatro reservatórios a reduções extremas de volumes ao longo da estiagem, sendo evidenciado a secagem total de dois reservatórios (Roque e Luiz Heleno) entre as épocas de seca e chuva.

Os mananciais localizados no nordeste semi-árido são vulneráveis à salinização, ocasionada pelas condições geológicas das microregiões, do relevo, da intensidade pluviométrica, da taxa de evaporação e das contribuições exógenas da bacia de drenagem (VIEIRA, 2002; BARBOSA, 2002).

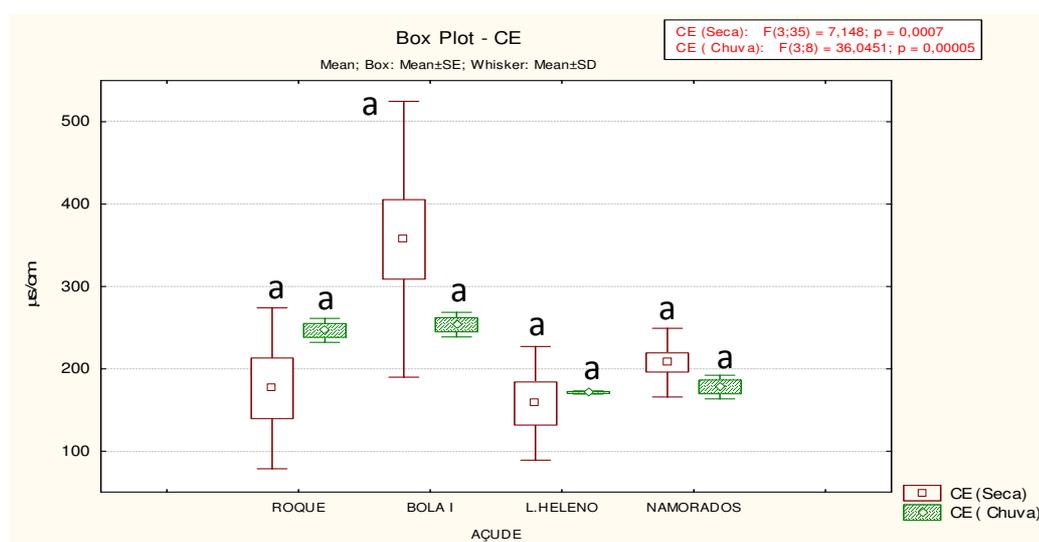


Figura 10 – Variação da condutividade elétrica nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ -Teste ANOVA U.

Dentre os íons que conferem alcalinidade às águas naturais, os bicarbonatos se destacam pela abundância, já que são formados em quantidades consideráveis por ação do dióxido de carbono sobre materiais calcários presentes no solo (SAWYER et al, 1994).

Neste estudo, as concentrações de alcalinidade total foram elevadas nos quatro reservatórios, com médias de 93,00 mgCaCO₃/L no Roque, 107,00 mgCaCO₃/L no Bola I, 76,4 mgCaCO₃/L no Luiz Heleno e 77,3 mgCaCO₃/L no Namorados. Os valores registrados foram, na maioria dos açudes, bem superiores aos indicados por APHA (1998) como águas de baixa alcalinidade (20 mgCaCO₃/L). O valor máximo foi de 160,00 mgCaCO₃/L (jan/2008; Bola I) e o mínimo de 20mgCaCO₃/L (mar/2008; L. Heleno), indicando fortes flutuações associados com as características geológicas locais, bem como pelos volumes de água armazenada em cada reservatório. A alcalinidade foi mais baixa e homogênea no açude

Namorados em todos os meses de monitoramento e provavelmente devido ao maior volume armazenado em todo o período (Figura 11, Tabela 8).

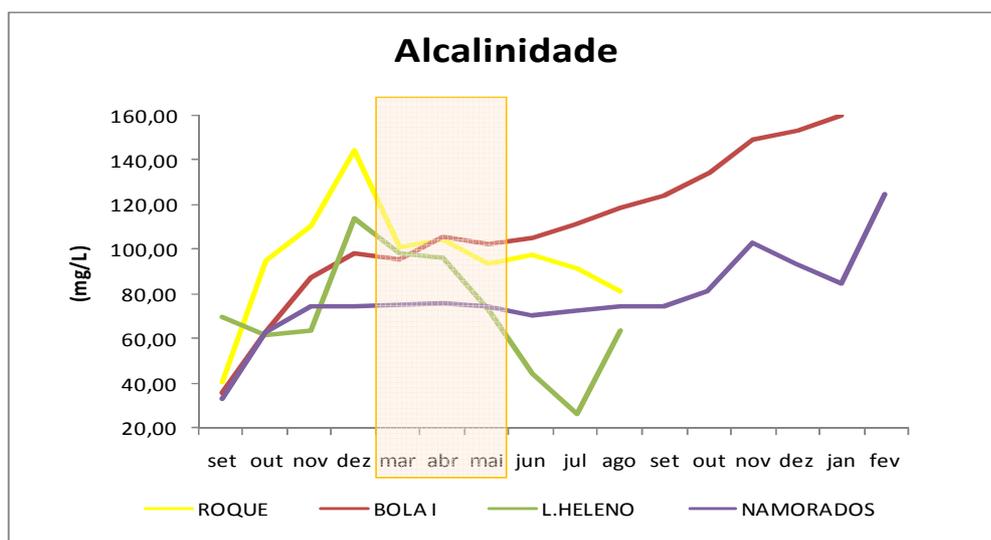


Figura 11 – Distribuição temporal da alcalinidade observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. Área sombreada representa o período chuvoso.

Luiz Heleno apresentou diferença significativa entre a alcalinidade no período seco, com valores mais baixos, e no período chuvoso com amplitude de 44,5 mgCaCO₃/L, podendo estar relacionado com as florações de algas ocorridas neste reservatório. Quanto maior for a biomassa algal em relação à massa d'água, maiores serão as alterações de pH e alcalinidade no meio.

Conforme mostra a Figura 12, a alcalinidade apresentou variações ao longo do tempo e entre os períodos seco e chuvoso em todos os reservatórios, sendo as maiores amplitudes observadas na época de chuva.

Leprun (1983), ao analisar a qualidade física e química de águas de diversos açudes na região semi-árida, observou a predominância de sais com maior concentração dos íons bicarbonatos. Watanabe et al (1989), estudando o comportamento da alcalinidade e da condutividade elétrica no período de estiagem em oito açudes paraibanos verificaram aumento desses parâmetros na medida que aumentava a distância do litoral, ocasionado pela diminuição da precipitação pluviométrica, aumento da evaporação e pelas características geológicas locais.

Ceballos (1995) analisando as águas de açudes nordestinos encontrou valores médios de alcalinidade superiores na época de chuvas (açude Velho – 160 mgCaCO₃/L; açude Bodocongó – 240 mgCaCO₃/L e açude Boqueirão – 140 mgCaCO₃/L). A autora também

indicou como possíveis causas a interação entre os aportes dos solos da região, dos rios e dos esgotos afluentes.

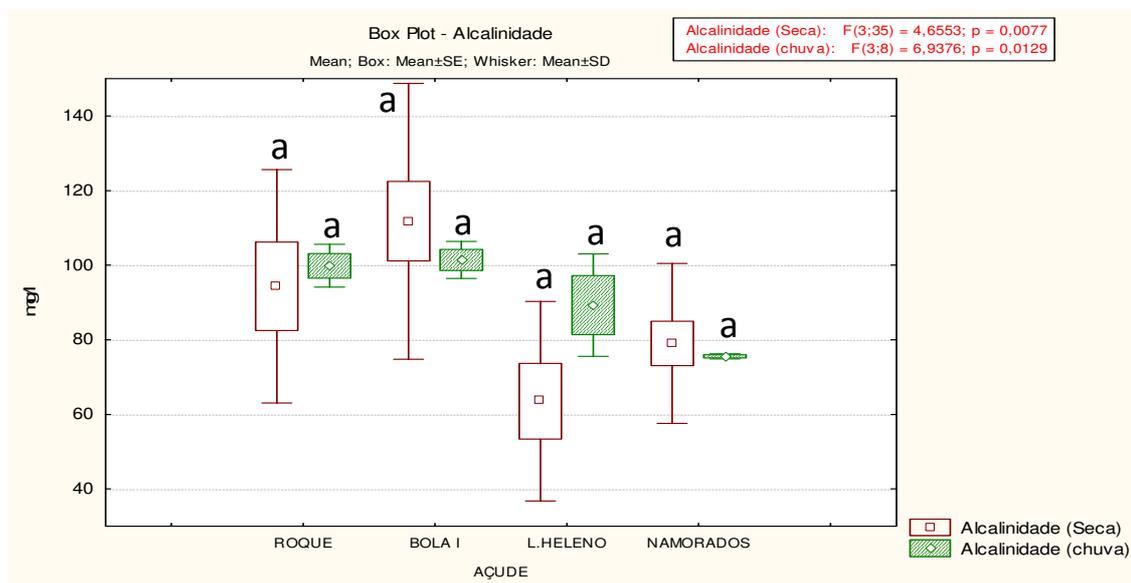


Figura 12 – Variação da alcalinidade nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

O oxigênio dissolvido (OD) nos sistemas aquáticos é fundamental para as atividades e manutenção do metabolismo de organismos aeróbios. Enquanto organismos fotossintetizantes produzem O_2 , os heterótrofos aeróbios o utilizam na respiração e biodegradação da matéria orgânica, sendo que o balanço entre respiração aeróbia e fotossíntese pode ser quebrado por alterações do ambiente, tais como a entrada de pulsos poluidores que aumentam a demanda de O_2 (WETZEL, 2001). Na região Nordeste, valores em torno de 8,5 e 9,0 mgO_2/L são comuns de ambientes eutrofizados (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

O perfil de oxigênio dissolvido foi mais homogêneo no açude Namorados, (CV=1,6% e $x = 6,1mgO_2/L$ na seca; CV= 9,9% e $x = 6,7mgO_2/L$ na chuva). Barbosa et al (2006) verificaram média de 5,8 mgO_2/L no período de seca para este reservatório, valor próximo ao registrado neste estudo na mesma época seca, quando o volume acumulado de água estava baixo e vulnerável a ação dos ventos.

O açude Roque apresentou maior variabilidade de OD (CV=15,6%) no período chuvoso, apesar de ter registrado médias um pouco maiores no período de seca. Bola I teve valor médio maior (7,5 mgO_2/L) e maiores amplitudes (3,9-11,7 mgO_2/L) no período chuvoso. Em Luiz Heleno ocorreram os maiores valores de OD e as maiores variações nas duas épocas (Figuras 13 e 14; Tabela 6), indicando níveis elevados de eutrofização nos dois períodos

(VOLLENWEIDER, 1981). Efetivamente o Luiz Heleno teve o maior valor de clorofila “a” (252,5 $\mu\text{g/L}$) de todos os açudes, evidenciado num bloom de cianobactérias em junho de 2007.

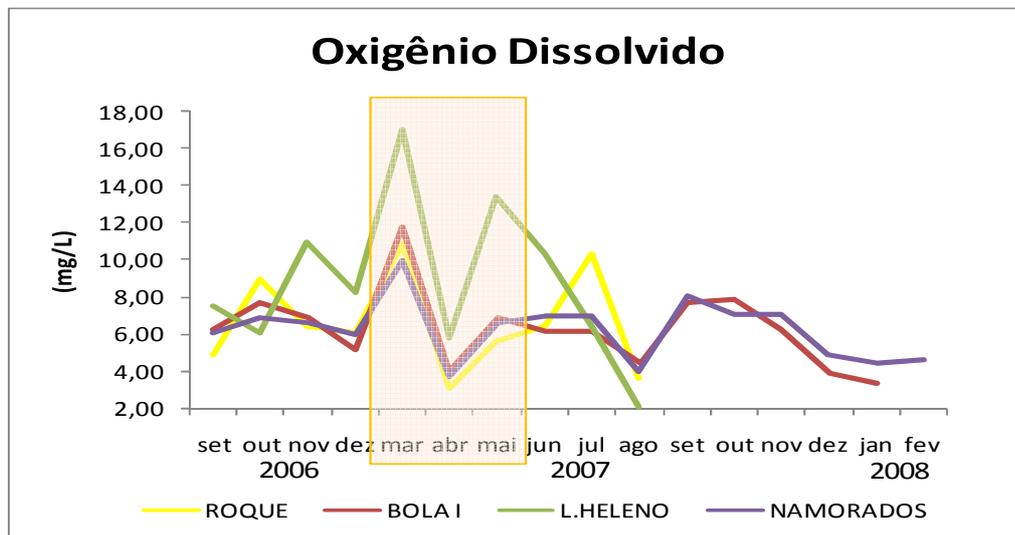


Figura 13 – Distribuição temporal do OD observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008.

Foram registrados valores baixos de oxigênio dissolvido em agosto para Luiz Heleno (2,0 mgO_2/L), quando os volumes acumulados foram mínimos (1,39%) e houve baixos valores de clorofila “a”, indicando estreita relação entre os dois parâmetros.

Considerando que na região do Cariri a concentração de saturação de oxigênio da água é da ordem de 7,9 mgO_2/L , o açude Luiz Heleno teve supersaturação (>130%) em dezembro/2006, março, maio e junho/2007 o qual corresponde a uma média de supersaturação de 68%. As maiores concentrações de oxigênio nas amostras de sub-superfície ocorram nos meses com maior concentração de clorofila “a” neste reservatório. Nos outros três açudes o OD teve valores de supersaturação, entretanto não houve correlações significativas positivas com clorofila “a”. No período de chuvas as concentrações de OD foram maiores que no período de seca, no entanto não foi verificada diferença significativa entre os reservatórios nos dois períodos ($p>0,05$) (Figura 14). Num mesmo açude, embora as concentrações de OD tenham sido mais elevadas na chuva, não foram evidenciadas diferenças significativas entre os períodos de seca de chuva, para nenhum reservatório.

Comportamento semelhante de valores de supersaturação de OD na sub-superfície com baixas concentrações de clorofila “a” foi registrado nos açudes Velho e Bodocongó (CEBALLOS,1995; DINIZ, 2004), nos períodos seco e chuvoso em ambos os reservatórios. Foram registradas concentrações semelhantes de OD em oito reservatórios paraibanos

(WATANABE *et al.*, 1989); no açude Taperoá (BARBOSA, 2002); no Epitácio Pessoa (GUIMARÃES *et al.*, 2006); no Acauã (LINS, 2006; LUNA, 2008) associados a altos teores da biomassa fitoplanctônica, uma vez que altas temperaturas aceleram a cinética das reações fotossintéticas.

A falta de associação entre OD e clorofila “a” nas amostras de sub-superfície nos açudes Roque, Bola I e Namorados pode ter sido ocasionado pela intensa radiação solar na sub-superfície que provocou a migração do fitoplâncton para camadas mais profundas daquelas onde foi coletada a amostra, para procurar proteção contra a radiação. Deste modo, o oxigênio produzido atingiu a superfície enquanto a biomassa fitoplactônica se concentrou a maiores profundidades, correspondente a 50% da incidência de luz fotossintética ativa (na seca e na chuva) (Figura 39). A baixa cota hídrica favoreceu a iluminação da coluna d'água em toda sua profundidade, o que facilitou a migração da biomassa para níveis mais profundos.

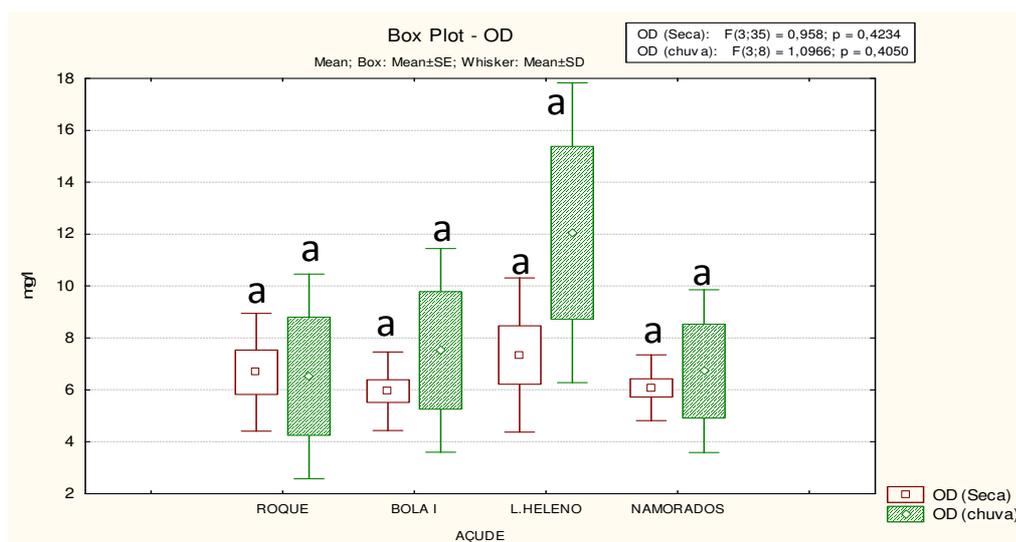


Figura 14 – Variação do oxigênio dissolvido nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ -Teste ANOVA U.

O fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, sendo exigido em grandes quantidades pelas células para a constituição das membranas e outras estruturas, e está diretamente relacionado ao armazenamento de energia celular, como ATP e GTP (ESTEVEZ, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2003).

As maiores concentrações de fósforo total (P - total) ocorreram nos açudes Luiz Heleno e Roque no período de estiagem. O açude Roque apresentou a maior concentração média de P-total ($166,7\mu\text{g/L}$), possivelmente associada ao menor volume acumulado. Os dois açudes

citados apresentavam na estiagem volume armazenado em torno de 10% (Figuras 15 e 16, Tabelas 6 e 7).

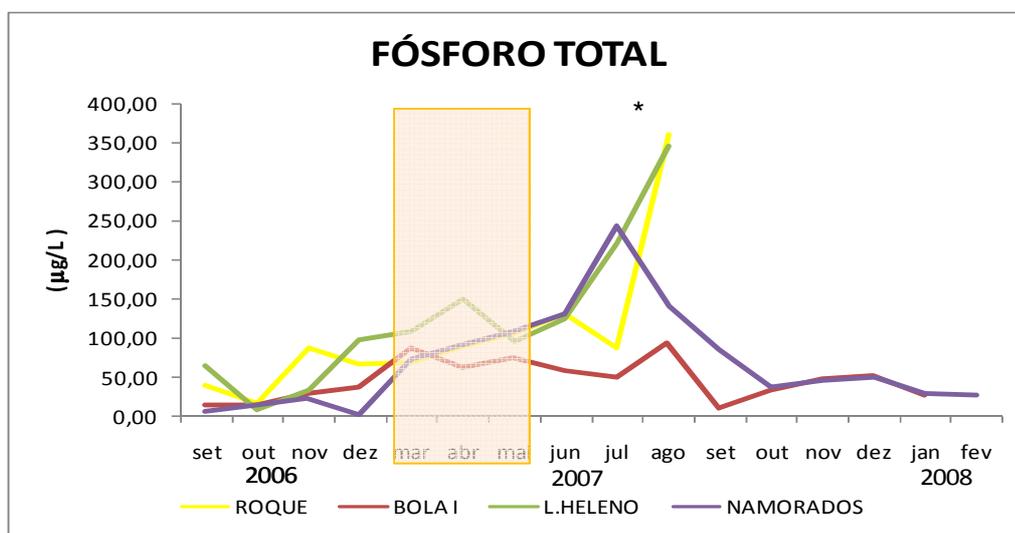


Figura 15 – Distribuição temporal do fósforo total observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* Roque em Ago-07 apresentou 734,33 mg/L).

Os açudes Bola I e Namorados, tiveram os menores teores de fósforo total, com valor médio de 90,4 e 74,3µg/L, respectivamente. Os maiores valores de P-total foram registrados no período chuvoso, o que pode ser explicado pela ocorrência de escoamento superficial favorecendo o aporte de matéria orgânica na bacia (Março e Abril de 2007). As próprias características morfométricas dos reservatórios do nordeste semi-árido (grandes áreas e pouca profundidade), como também as características das bacias onde estão inseridos, tais como solos rasos suscetíveis à erosão nos períodos chuvosos, contribuem para o aporte externo de nutrientes, resultando em elevações de fósforo total nesses ambientes, entre outras formas químicas (VIEIRA, 2002; STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

Nos quatro açudes aninhados o aumento de fósforo total ocorreu tanto na época de chuvas (correlação positiva significativa – $r \geq 0,5$; $p=0,05$), como na época seca (correlação negativa significativa – $r \geq 0,8$; $p=0,05$). Favorecido pelo déficit hídrico registrado ao longo dos períodos, levando ao aumento de fósforo total, que se concentrou com a diminuição do volume de água acumulado. Padrões semelhantes de variação de fósforo total no período de seca foram observados por Barbosa (2002) no açude Taperoá II nos anos de 1998 a 2000, influenciados pelos níveis de água do açude ($r = -0,75$, $p = 0,0001$). O mesmo não ocorreu no período de chuvas ($r = 0,66$; $p = 0,0001$), onde se verificou diluição do fósforo total.

Aumento na concentração de fósforo estimula a eutrofização com o conseqüente aumento da produtividade fitoplanctônica (CALIJURI et al, 1997). Entretanto, se observa que não houve correlação positiva significativa da concentração de fósforo total e a biomassa fitoplanctônica na maioria desses reservatórios, exceto para Luiz Heleno ($r = 0,60$; $p = 0,05$) (Anexo 1 e 2). Outras variáveis que possivelmente influenciaram esse comportamento se relacionam com a disponibilidade de luz e/ou nitrogênio, por serem fatores limitantes importantes da produção primária nesses ambientes onde o fósforo total é abundante (ATTAYDE E BOZELLI, 1998; AZEVEDO et al, 2002; CHELLAPA e COSTA, 2003). Associação do fósforo total com clorofila “a” foi observada por Sousa (2007) em quatro reservatórios da região do Seridó (Cruzeta, Itans e Boqueirão de Parelhas), no Rio Grande do Norte, embora de maior porte que os estudados neste trabalho, evidenciando que a entrada de nutrientes favorece a produtividade biológica independente do tamanho do ecossistema.

Não houve diferenças estatísticas significativas (ANOVA – $p > 0,05$) quando se comparou as concentrações de fósforo total nos períodos de seca e chuva entre os reservatórios aninhados. Já quando analisadas as concentrações desse parâmetro nos períodos de seca e chuva para cada reservatório foi verificada diferença significativa somente em Bola I (Teste U – $p = 0,03$) (Figura 16).

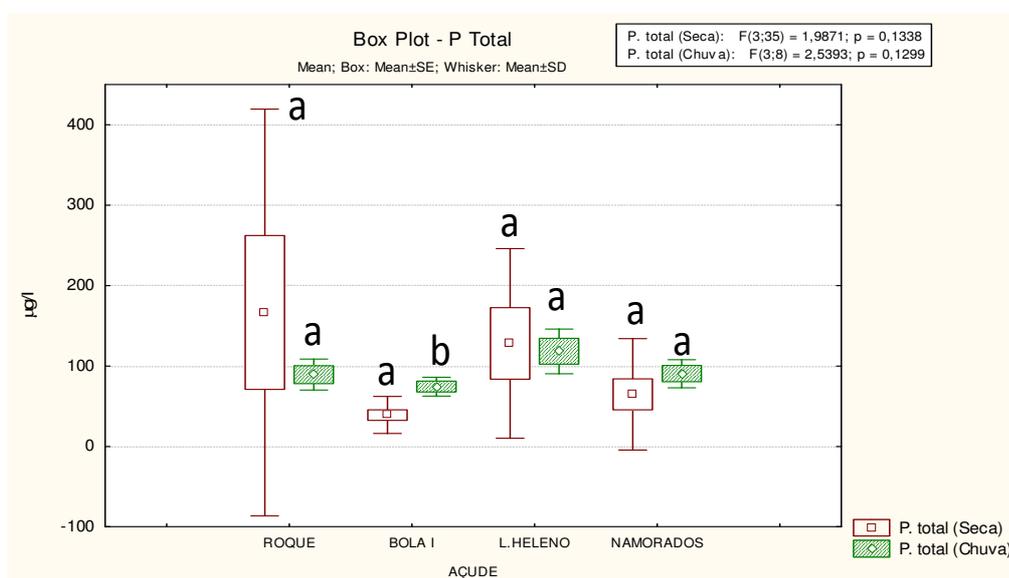


Figura 16 – Variação do fósforo total nos reservatórios da bacia de São João do Cariri no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

O ortofosfato é a forma de fósforo mais facilmente assimilável pelos organismos fotossintetizantes, sendo rapidamente incorporado na biomassa, as altas temperaturas estimulam o aumento das taxas metabólicas e, portanto a absorção de ortofosfato em ambientes tropicais (ESTEVES, 1998).

Houve aumento de ortofosfato (P-orto) ao longo dos meses (Figuras 17), ocasionado pela baixa precipitação. As maiores concentrações de ortofosfato no açude Roque (223,0 μ g/L), Bola I (56,0 μ g/L), Luiz Heleno (108,0 μ g/L), e no Namorado (132,0 μ g/L) foram registradas no mês de agosto de 2007.

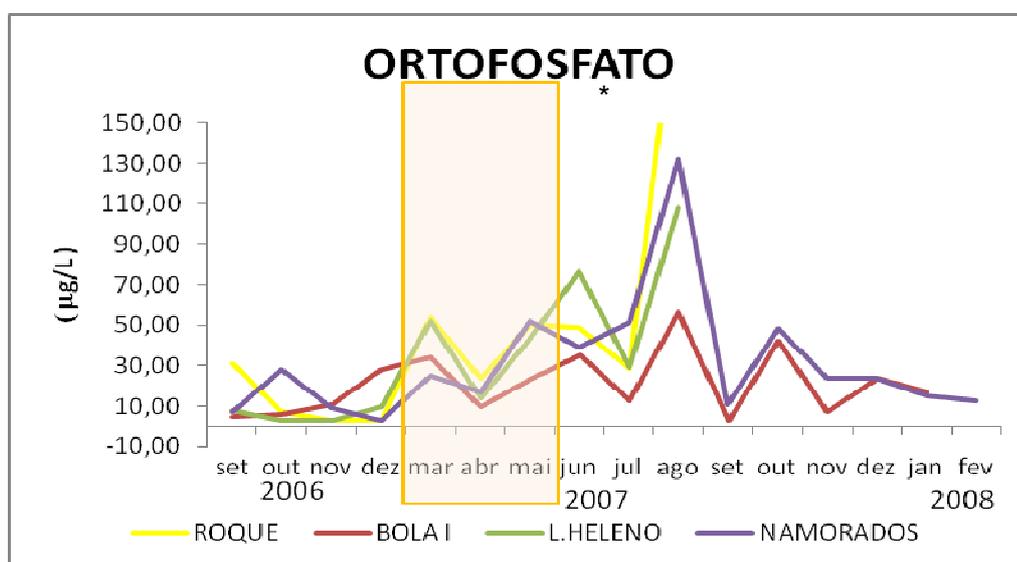


Figura 17 – Distribuição temporal do ortofosfato observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* Roque em Ago-07 apresentou 223,00 mg/L).

Nota-se acentuada amplitude das concentrações de P-orto tanto na seca como na chuva, embora sejam pequenas as diferenças entre os períodos. Ao longo deste estudo, o valor máximo foi de 223 μ g/L no açude Roque (agosto/2007) e o mínimo 3,0 μ g/L em Luiz Heleno e Bola I (setembro/2006). Valores baixos podem ter sido influenciados pelas elevadas temperaturas, as quais aceleram o metabolismo com assimilação rápida do P-orto à biomassa (ESTEVES,1998; WETZEL, 2001). Ceballos (1995) também verificou valores baixos de ortofosfato (0 - 0,01mg/L) no açude de Boqueirão/Paraíba, comportamento que a autora atribuiu a rápida assimilação de nutriente, como também à diluição.

As concentrações de P-orto mantiveram comportamento semelhante nos açudes nos dois períodos estudados (seca e chuva) (ANOVA – $p > 0,05$), e quando analisado o período

seco e o chuvoso para cada reservatório também não houve diferenças estatísticas significativas (Teste U – $p > 0,05$) (Figura 18).

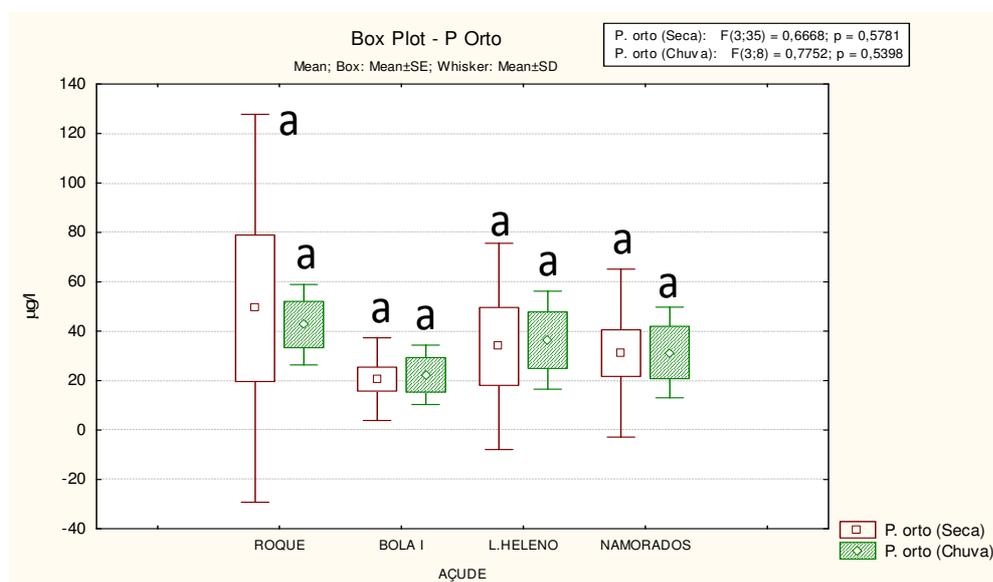


Figura 18 – Variação do ortofosfato nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

A série nitrogenada manteve concentrações relativamente baixas nos quatro açudes e na faixa de ambientes oligotróficos (nitrato: 0,0 - 1.000µg/L; nitrito: 0,0 – 500µg/L; N-amoniacal: 0,0 – 300µg/L) segundo Vollenweider (1981).

A distribuição temporal de nitrato foi, em geral, bastante heterogênea entre os açudes e entre os períodos, sendo a forma nitrogenada de maior concentração nos quatro açudes (Figuras 19 e 20, Tabelas 6 e 7). Durante o período de estiagem, o valor máximo foi de 785,6µg/L (junho/2007 no açude Roque) e o mínimo de 1,2µg/L (outubro/2007 no açude Bola I) indicando fortes variações. Já no período chuvoso o valor máximo registrado foi de 367,1µg/L (dezembro/2007; Luiz Heleno) e o mínimo foi de 10,6µg/L (maio/2007 no Namorados).

Barbosa (2002) também observou no açude Taperoá II, concentrações de nitrato superiores às outras formas nitrogenadas, com valores entre 0 – 1900µg/L, relacionados ao grau de oxigenação. Tavares (2000) registrou na represa São Salvador, Sapé/PB concentrações de nitrato entre 100 – 200µg/L, e atribuiu às contribuições de fertilizantes advindos das áreas com atividade agrícola. Essas concentrações foram próximas às registradas neste estudo, no entanto, não se verifica a mesma contribuição, uma vez que na avaliação de uso e ocupação do solo da bacia não foi registrado o uso de fertilizantes, mas sim a prática

extensiva de criação de animais (bovinos e caprinos), onde o aporte pode vir das fezes desses animais (Tabela 15).

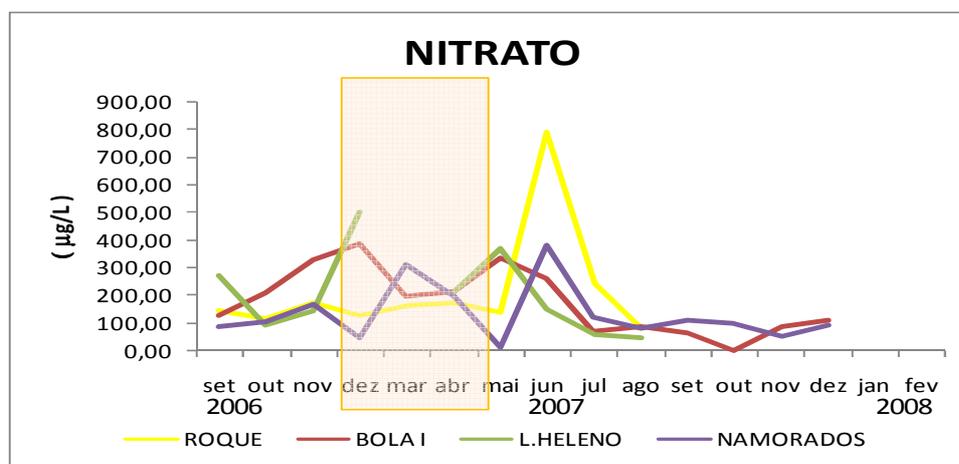


Figura 19 – Distribuição temporal do nitrato observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008.

A menor variabilidade ocorreu no açude Namorados na seca e no Roque no período chuvoso (Tabelas 6 e 7). Houve relação direta das formas nitrogenadas (correlação significativa positiva – $r \geq 0,50$) no açude Roque, Luiz Heleno e Namorados. Esse comportamento pode refletir o equilíbrio dinâmico entre as formas nitrogenadas nos ambientes tanto na época de seca como de chuva. Não foram evidenciadas diferenças estatísticas para o nitrato em nenhum açude quando analisados as duas épocas (Teste U – $p > 0,05$), assim como para todos os açudes no mesmo período (ANOVA – $p > 0,05$), verificado na figura 20.

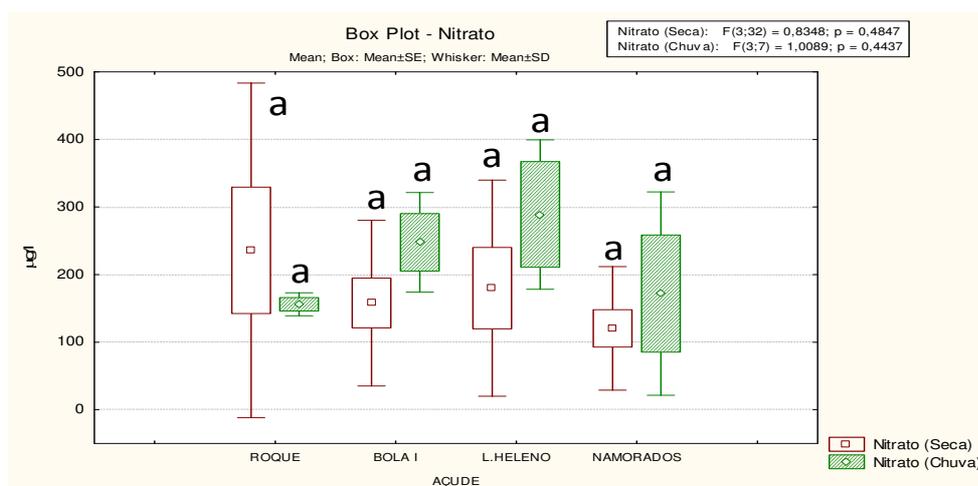


Figura 20 – Variação do nitrato nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

As concentrações de nitrito foram mais variadas na estação seca, entretanto, seus valores permaneceram baixos ao longo de todo estudo (Figuras 21 e 22, Tabelas 6 e 7), com valor máximo de 86,1 $\mu\text{g/L}$ (agosto/2007: Roque) e mínimo de 0,2 $\mu\text{g/L}$ (novembro-dezembro/2006: Luiz Heleno). O nitrito está geralmente presente em quantidades mínimas em águas que apresentam altas concentrações de oxigênio dissolvido, por ser facilmente oxidado a nitrato, e em águas anaeróbias, o nitrito é convertido em amônio (SAWYER *et al.*, 1994; WETZEL, 2001). Os reservatórios apresentaram-se bem oxigenados na maioria dos meses, o que pode ter favorecido a conversão do nitrito a nitrato. Em agosto o comportamento foi inverso, com baixa concentração de oxigênio na água, os valores de nitrito e N- amoniacal aumentaram enquanto houve decréscimo de nitrato em Luiz Heleno e Roque. No período de chuva as concentrações de nitrito foram menores que as concentrações no período de seca (Figura 22). Concentrações de *N-amoniacal* semelhantes às registradas no presente estudo, ocorreram no reservatório Marcela – Itabaiana –SE, nos meses de junho/04 a outubro/05, com variação de 30 a 130 $\mu\text{g/L}$, sendo a forma nitrogenada de menor concentração no corpo aquático quando apresentava-se bem oxigenado (GARCIA *et al.*, 2003). No semi-árido mineiro Viana e Von Sperling (2002) estudando os reservatórios de Ribeirão e Soberbo –MG na Bacia do Rio Jequitinhonha, verificaram comportamento semelhante das formas nitrogenadas, com menores concentrações para N-amoniacal, no entanto com faixas mais elevadas (0 – 670 $\mu\text{g/L}$ - Ribeirão)(60-1200 $\mu\text{g/L}$ – Soberbo) que as registradas neste trabalho. O perfil de oxigênio apresentado nos dois reservatórios foi clinogrado, ocorrendo processos de oxidação no epilímio.

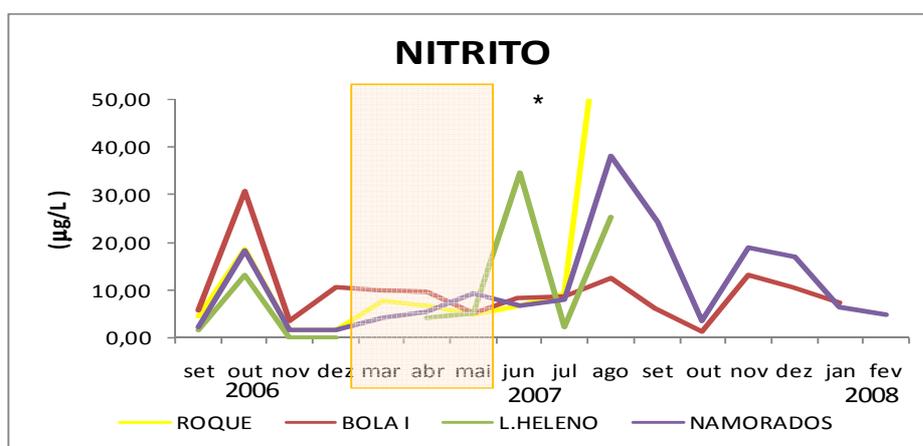


Figura 21 – Distribuição temporal do nitrito observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (*Roque em Jul-07 apresentou 86,11 $\mu\text{g/L}$).

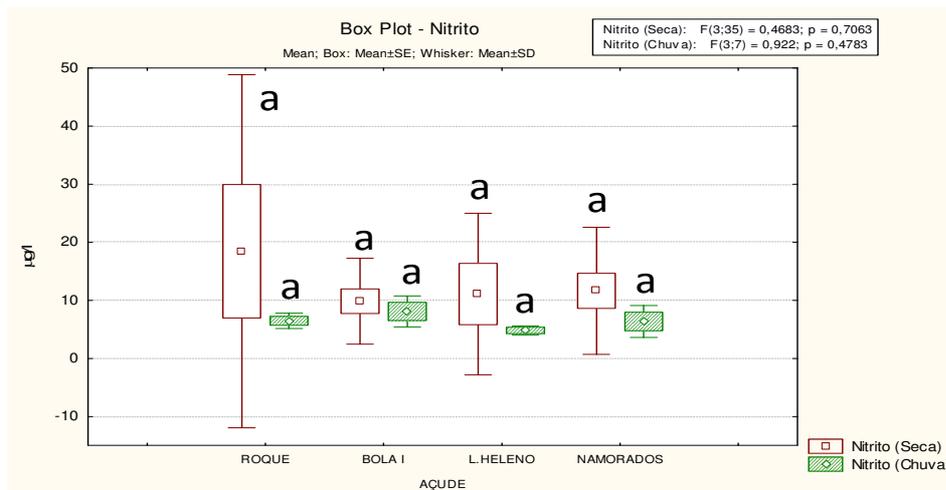


Figura 22 – Variação do nitrito nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

N-amoniaco apresentou valor máximo ($111,4\mu\text{g/L}$, ago/2007 no Luiz Heleno) e valor mínimo ($0,4\mu\text{g/L}$, mar/2007) no Bola I. As concentrações médias de N-amoniaco no período seco foram bem próximas as do chuvoso, sendo um pouco mais elevadas na chuva para os açudes Bola I e Namorados. Luiz Heleno apresentou as maiores concentrações para esta variável ($0,6$ - $111,4\mu\text{g/L}$), com aumento no período de seca (Figuras 23 e 24, Tabelas 6 e 7). Pode-se inferir que os aumentos de N- amoniaco estão associados ao processo de esvaziamento dos açudes, de forma que o N-amoniaco liberado na biodegradação ativa do lodo do fundo atinge a superfície, facilitada pela baixa profundidade e baixas concentrações de OD no fundo.

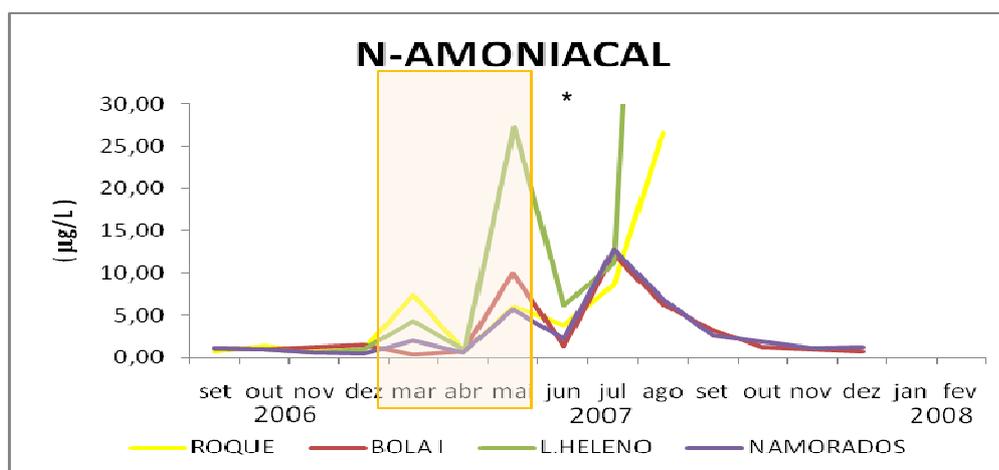


Figura 23 – Distribuição temporal do N-amoniaco observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* L. Heleno em ago-07 apresentou $111,35\text{ mg/L}$).

Em corpos d'água, a forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição: nitrogênio orgânico ou amoniacal é associado com poluição recente, enquanto poluição mais remota se associada com nitrato (ESTEVEZ, 1998). Nos ambientes estudados a forma predominante de nitrogênio foi a de nitrato, com ampla variação (1,2 – 785,6 µg/L). O nitrato é a forma mais comum de nitrogênio inorgânico em lagos e rios e a sua concentração esta intimamente ligada com as práticas de uso da terra da bacia hidrográfica (VON SPERLING, 1999). Embora as chuvas não tenham contribuído de forma efetiva para o aumento do volume dos açudes, houve entrada de águas, por escoamento superficial, que aportaram nutrientes da bacia de drenagem e que se concentraram na água armazenada remanescentes da evapotranspiração.

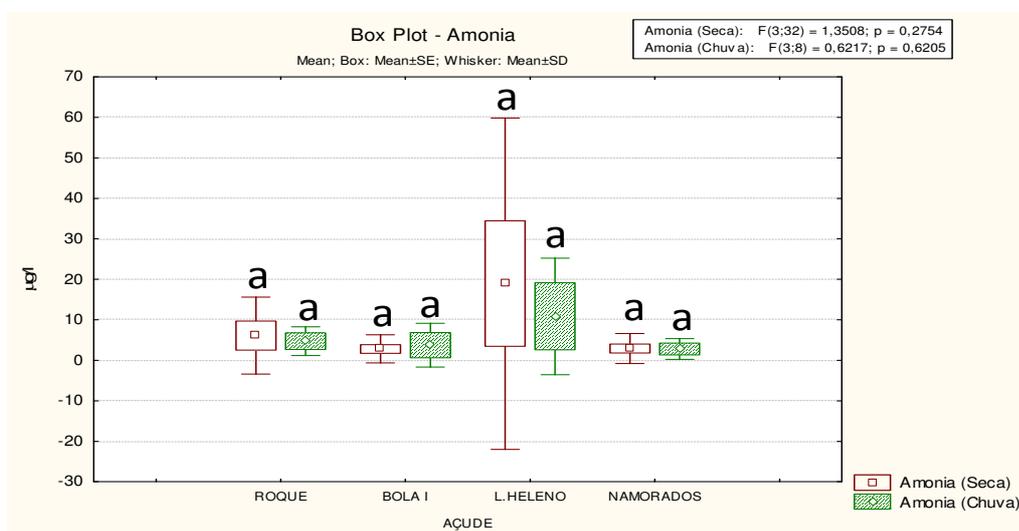


Figura 24 – Variação do N-amoniaco nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ - Teste ANOVA U.

Apesar de não ter sido analisada a carga total de nitrogênio nos sistemas, foi realizado o somatório das frações da série nitrogenada (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-) e sua relação com o fósforo total, e verificada os possíveis efeitos destes nutrientes como fatores limitantes no comportamento da biomassa fitoplactônica.

Schindler (1978) afirma que uma relação N:P superior a 10:1 é limitada pelo fósforo total e inferior a 5:1 indica deficiência de nitrogênio e razões entre estes intervalos indicam que ambos os nutrientes podem ser limitantes.

Verificou-se uma predominância de limitação do nitrogênio ao longo dos meses, sendo estritamente limitante no período chuvoso. Nos meses de maior volume acumulado (setembro a dezembro de 2007) houve limitação do fósforo nos açudes Bola I e Namorados. Na maioria

dos meses tanto em Roque como em Luiz Heleno o nitrogênio foi limitante para o crescimento do fitoplâncton (Tabela 8).

Barbosa (2002) verificou forte influencia dos níveis de água acumulada e a alternância de limitação do nitrogênio e do fósforo na produtividade algal no açude Taperoá. Sendo o período de chuvas evidenciado baixas concentrações de fósforo total.

Tabela 8 : Variação da relação N:P nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. ($N \leq 5$; $10 < N/P < 5$; $P \geq 10$).

AÇUDES	2006				2007								2008			
	SET	OUT	NOV	DEZ	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV
ROQUE	N 4	NP 8	N 2	N 2	N 3	N 2	N 1	NP 6	N 3	N 0	-	-	-	-	-	-
BOLAI	NP 8	P 17	P 11	P 11	N 5	N 2	N 1	NP 7	N 0	N 2	N 2	N 0	N 2	N 4	N 5	-
LUIZ HELENO	N 4	P 11	N 4	N 5	N 0	N 1	N 4	N 2	N 0	N 1	-	-	-	-	-	-
NAMORADOS	P 15	NP 8	NP 7	P 17	N 3	N 1	N 1	N 2	N 3	N 2	N 2	N 0	N 0	N 4	N 2	N 0

A determinação de clorofila foi usada para estimar a biomassa fitoplanctônica nos reservatórios monitorados.

A concentração da clorofila atingiu valor máximo (252,5µg/L) no mês de jul/2007 no Luiz Heleno e mínimo (0,6µg/L) nos meses de agosto-setembro/2007 no Namorados. Houve níveis baixos e não detectáveis nas amostras dos açudes: Roque (setembro e dezembro/2006; junho/2007), Bola I (dezembro/2006; abril e junho/2007), Luiz Heleno (dezembro/2006) e no Namorados (abril e junho/2007). Roque e Luiz Heleno apresentaram alta variabilidade nos dois períodos (Figura 25; Tabelas 6 e 7).

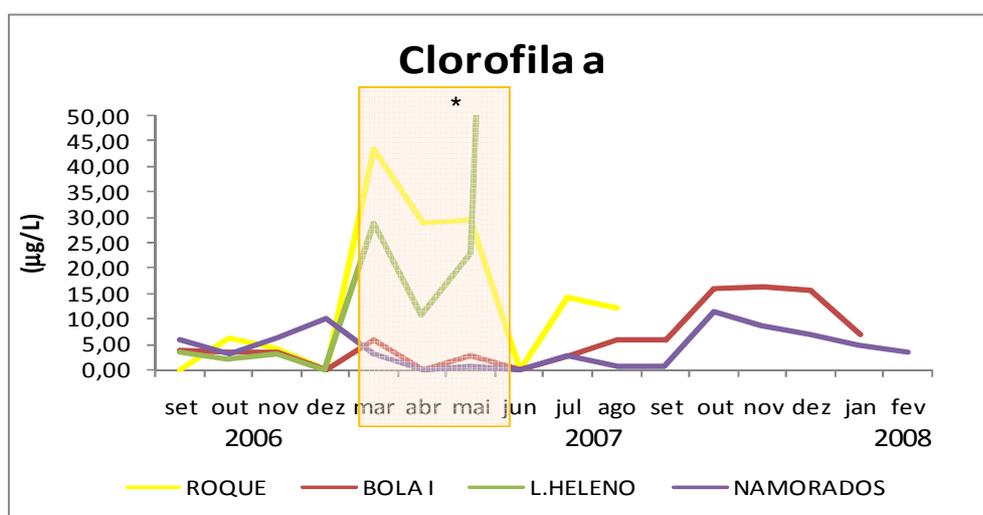


Figura 25 – Distribuição temporal da clorofila “a” observada nos açudes nos reservatórios da bacia de São João do Cariri, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. (* L. Heleno em Jun-07 apresentou 252,53µg/L , jul-07 foi 66,01µg/L , ago-07 = 21,07µg/L).

O comportamento deste parâmetro entre os dois períodos registrou diferenças significativas no período chuvoso entre os açudes (ANOVA – $p=0,0007$). A maior biomassa fitoplanctônica no açude Luiz Heleno influenciou nesses resultados. Em julho de 2007, foi registrada em Luiz Heleno a maior concentração de clorofila “a” ($252,5\mu\text{g/L}$), quando houve florescimento de algas e cianobactérias (Figura 26). Comportamento semelhante foi observado por Calijuri et al (1997) numa represa hipereutrófica e de maior porte (Salto Grande – Americana/SP), com concentrações entre 13 e $110\mu\text{g/L}$, com evidencia de um “bloom” de algas devido à eutrofização desse manancial. O açude Roque apresentou diferenças significativas entre seca e chuva, com os maiores registros na chuva, diferente dos demais reservatórios.

Baixas concentrações de clorofila "a" ($0,29\text{--}82,55\mu\text{g/L}$) foram obtidos por Sousa (2007) na região do Seridó- RN, evidenciando reduzida biomassa nos reservatórios estudados comportamento similar ao apresentado nos quatro açudes da bacia de São João do Cariri.

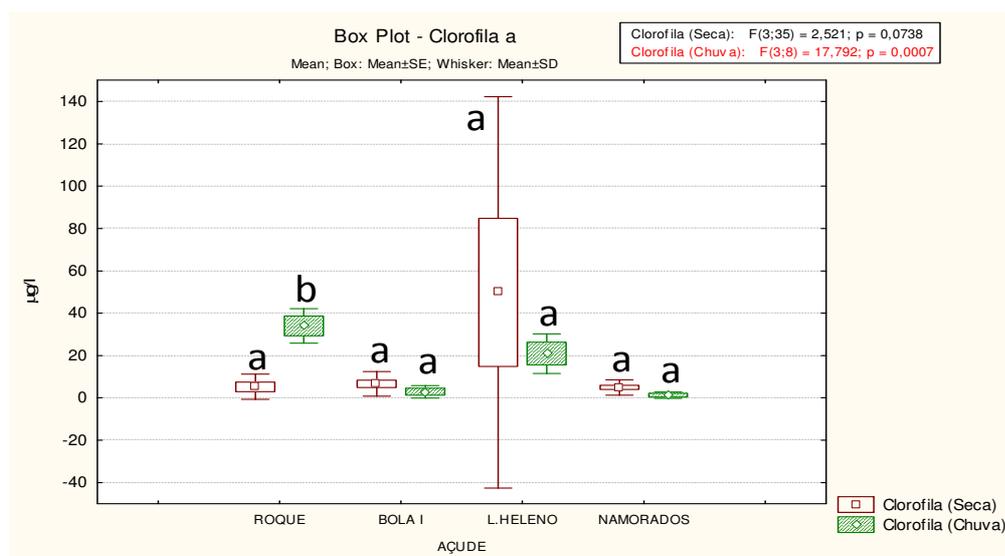


Figura 26 – Variação da clorofila "a" nos reservatórios da bacia de São João do Cariri entre o período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008. . Teste ANOVA KW, resultados: *significativo para $p < 0,05$. Letras diferentes acima de cada par de barras indicam diferenças significativas para $p < 0,05$ -Teste ANOVA U.

5.2 Índice de estado trófico

O índice de estado trófico constitui importante instrumento para avaliar os graus de trofia da água. Avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas (CALIJURI et al, 1997; MINOTTI,

1999). Foi aplicado o IET de Carlson (1977) modificado por Toledo Jr. (1983), para ambientes tropicais.

Os reservatórios apresentaram altos valores do IET caracterizando estes ambientes como hipereutróficos ($IET \geq 67$) em todos os meses. O IET calculado para cada uma das variáveis mostra que ao longo do estudo o comportamento de uma variável específica é determinante do estado de trofia: a transparência foi a variável que causou a elevação do IET em praticamente todos os meses nos quatro reservatórios. É importante ressaltar que em Roque p-total e p-orto contribuíram expressivamente em alguns meses (Tabela 9), assim como a clorofila “a” nos meses de chuva foi determinante. No açude Bola I e Namorados não foi verificada contribuição da clorofila “a” no estado de trofia pela ($IET \leq 59$), ficando esses dois reservatórios, caracterizados por esta variável, entre oligo e mesotróficos (Tabelas 10 e 12). Nota-se a determinância dos níveis de trofia por p-total no açude Luiz Heleno (Tabela 11), indicando que um controle do aporte deste nutriente possibilitaria um uso mais abrangente dessa água.

Recomenda-se a tomada de medidas que protejam estes mananciais, principalmente quanto ao controle do uso do solo nas margens e das águas desses reservatórios e reflorestamento das margens para evitar a contaminação destas águas por fezes ou entrada de material orgânico arrastados pelo escoamento superficial.

Tabela 9: Valores de IET para as variáveis transparência, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude Roque (1-ultraoligotrófico; 2-oligotrófico; 3-mesotrófico; 4-eutrófico; 5-supereutrófico; 6-hipereutrófico).

CHUVA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
MAR/07	79,13	6	57,88	3	68,37	6	73,17	6	136,1
ABR/07	79,66	6	61,80	4	64,31	5	61,47	4	133,3
MAI/07	82,61	6	64,23	5	64,55	5	72,06	6	140,0
SECA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
SET/06	53,63	3	50,30	2	-	-	65,17	5	86,6
OUT/06	52,13	3	38,15	1	48,70	2	43,70	1	89,4
NOV/06	64,73	5	61,26	4	44,89	1	31,47	1	104,0
DEZ/06	67,66	6	57,53	3	-	-	31,47	1	93,1
JUN/07	91,36	6	67,06	6	-	-	71,77	6	131,0
JUL/07	101,36	6	61,26	4	57,26	3	64,20	5	153,6
AGO/07	101,36	6	91,93	6	55,55	3	93,63	6	170,2

Tabela 10: Valores de IET para as variáveis transparência, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude Bola I (1-ultraoligotrófico; 2-oligotrófico; 3-mesotrófico; 4-eutrófico; 5-supereutrófico; 6-hipereutrófico).

CHUVA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
MAR/07	74,73	6	60,99	4	48,27	2	66,50	5	124,9
ABR/07	66,33	5	56,42	3	-	-	48,84	2	96,4
MAI/07	69,13	6	58,88	3	40,92	1	60,86	4	115,0

SECA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
SET/06	50,77	2	36,72	1	44,09	1	38,84	1	85,0
OUT/06	55,31	3	35,14	1	43,22	1	41,47	1	89,5
NOV/06	66,76	5	45,47	1	43,22	1	50,22	2	106,4
DEZ/06	69,13	6	49,08	2	-	-	63,70	5	101,4
JUN/07	62,61	4	55,22	3	-	-	66,92	5	97,5
JUL/07	69,66	6	52,97	3	40,92	1	52,63	3	111,5
AGO/07	70,20	6	62,06	4	48,36	2	73,70	6	122,8
SET/07	70,77	6	31,32	1	48,36	2	31,47	1	102,5
OUT/07	73,99	6	47,02	2	58,20	3	69,55	6	123,9
NOV/07	72,61	6	52,47	3	58,40	3	43,70	1	116,8
DEZ/07	74,73	6	53,91	3	57,96	3	61,47	4	124,3
JAN/08	81,36	6	44,84	1	49,64	2	56,64	3	124,5

Tabela 11: Valores de IET para as variáveis transparência, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude L. Heleno (1-ultraoligotrófico; 2-oligotrófico; 3-mesotrófico; 4-eutrófico; 5-supereutrófico; 6-hipereutrófico).

CHUVA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
MAR/07	75,51	6	64,45	5	64,33	5	72,63	6	133,1
ABR/07	70,77	6	68,95	6	54,31	3	53,70	3	121,3
MAI/07	72,61	6	62,57	4	62,02	4	69,89	6	128,2

SECA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
SET/06	52,94	3	56,80	3	43,22	1	45,62	1	94,6
OUT/06	40,91	1	28,95	1	38,69	1	31,47	1	69,2
NOV/06	46,76	1	47,74	2	42,26	1	31,47	1	81,5
DEZ/06	48,38	2	62,82	4	-	-	48,84	2	80,3
JUN/07	81,36	6	66,50	5	86,03	6	78,10	6	147,3
JUL/07	91,36	6	74,60	6	72,58	6	64,20	5	151,8
AGO/07	97,21	6	81,00	6	61,13	4	83,17	6	161,6

Tabela 12: Valores de IET para as variáveis transparência, P-total, P-orto e Clorofila "a" e IET médio calculado segundo Calson modificado (TOLEDO JR., 1983) para o período de chuva e seca no açude Namorados (1-ultraoligotrófico; 2-oligotrófico; 3-mesotrófico; 4-eutrófico; 5-supereutrófico; 6-hipereutrófico).

CHUVA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
MAR/07	67,66	6	58,56	3	41,32	1	62,06	4	113,9
ABR/07	70,77	6	61,80	4	-	-	56,50	3	104,6
MAI/07	75,51	6	64,23	5	28,85	1	72,63	6	122,9
SECA	IET Transp		IET Ptotal		IET CLO a		IET Porto		IET MÉDIO
SET/06	56,76	3	22,57	1	48,16	2	43,70	1	89,5
OUT/06	55,91	3	36,72	1	42,26	1	63,70	5	96,7
NOV/06	61,06	4	41,75	1	48,70	2	47,32	2	100,4
DEZ/06	67,21	6	10,87	1	53,54	3	31,47	1	94,6
JUN/07	79,13	6	67,06	6	-	-	68,48	6	117,9
JUL/07	80,20	6	75,95	6	40,92	1	72,35	6	134,3
AGO/07	80,20	6	68,12	6	24,79	1	86,07	6	131,3
SET/07	83,99	6	60,99	4	24,79	1	50,22	2	122,8
OUT/07	80,20	6	49,08	2	54,82	3	71,47	6	130,3
NOV/07	80,20	6	53,45	3	49,70	2	61,47	4	127,2
DEZ/07	75,51	6	45,75	1	46,30	1	55,17	3	117,6
JAN/08	67,66	6	44,84	1	43,13	1	52,63	3	107,8
FEV/08	81,36	6	53,65	3	40,89	1	68,10	6	127,8

5.3 Bactérias indicadoras de contaminação fecal

Nas amostras de água da superfície apresentaram valores de coliformes totais elevados (na ordem de $50-60 \times 10^3$ NMP/100ml) (Figura 27), enquanto os coliformes termotolerantes tiveram valores inferiores a 3NMP/100ml e *E.coli* esteve ausentes em todas as amostras. As bactérias coliformes são tradicionalmente utilizadas como indicadoras de contaminação fecal,

atributo também considerado para os coliformes totais até aproximadamente 1950, quando foi reconhecida sua capacidade de multiplicação no ambiente (APHA, 1989).

A partir da Edição dos métodos Padrões de 1995, os indicadores de contaminação fecal ficaram reduzidos aos coliformes termotolerantes, previamente denominados de coliformes fecais e especificamente à bactéria *E. coli*, hoje considerada a única componente do grupo coliformes que confirma a presença de material fecal de animais homeotérmicos (APHA, 1998; BRASIL, 2004, CONAMA, 2005).

Neste trabalho, a detecção quantitativa de coliformes foi realizada por duas técnicas (tubos múltiplos e membranas de filtração – APHA, 1998) devido a ambas apresentarem restrições para águas naturais com alta turbidez e, em particular com florescimento de algas e cianobactérias.

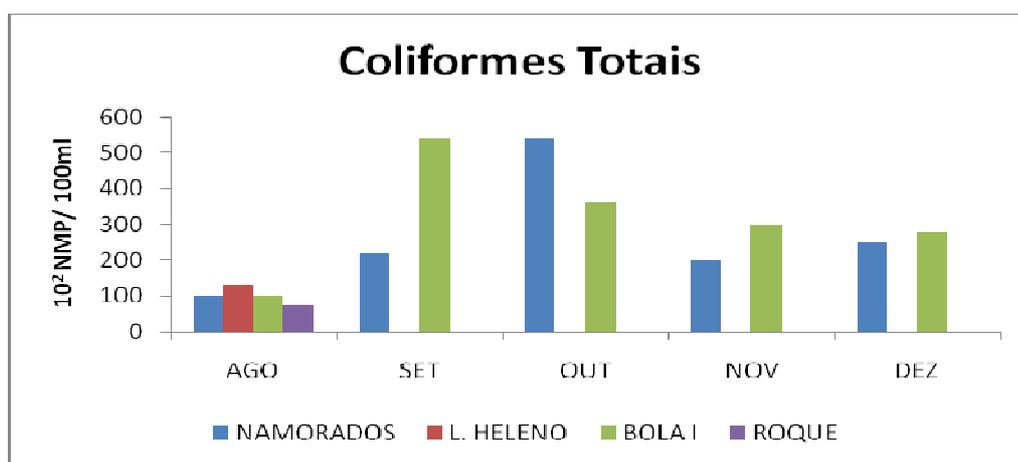


Figura 27 – Concentrações de coliformes totais (técnica de tubos múltiplos) nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

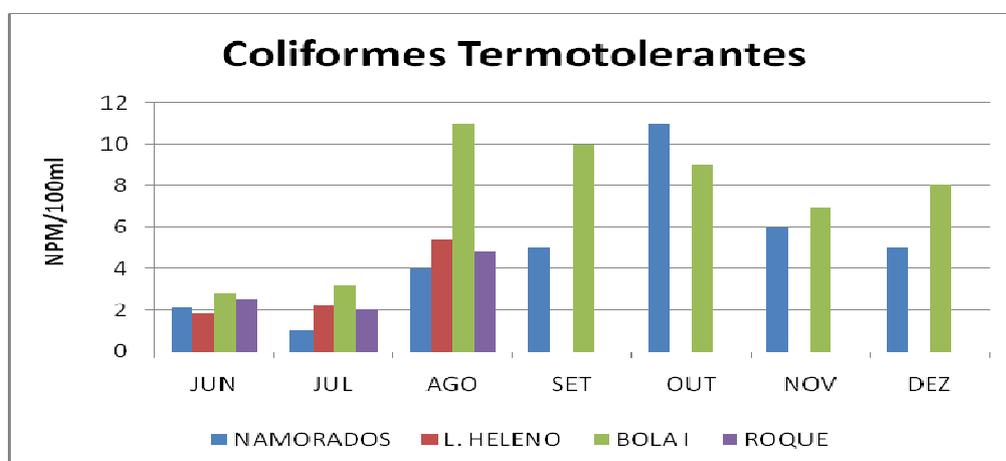


Figura 28 – Concentrações de coliformes termotolerantes (NMP) nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

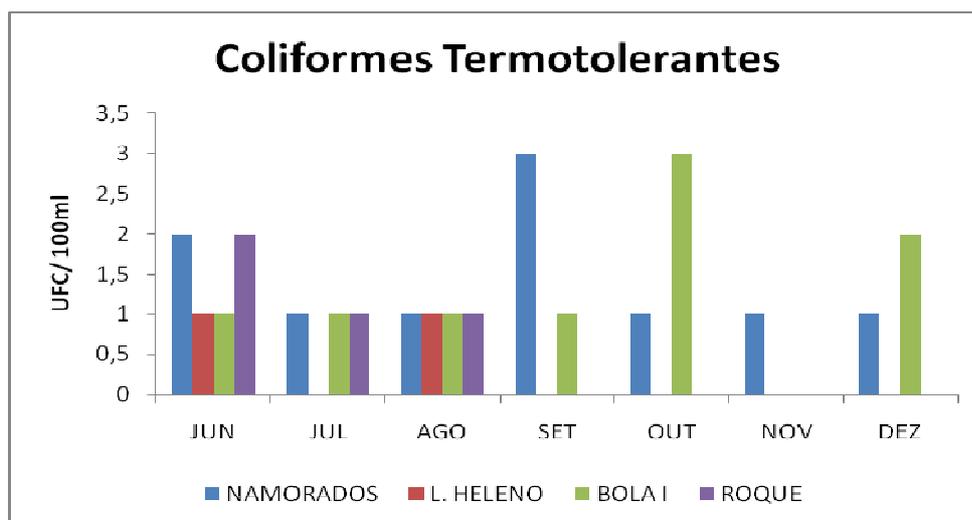


Figura 29 – Concentrações de coliformes termotolerantes (membrana de filtração) nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

As concentrações de coliformes termotolerantes, com a técnica de membrana de filtração (Figura 29) foram inferiores às quantificadas com tubos múltiplos (Figura 28). A maioria das membranas nas placas de Petri com meio m-FC não apresentaram colônias azuis típicas dessas bactérias e em algumas placas houve acúmulo de algas e cianobactérias (cobertura esverdeada sobre as membranas), em outras cresceram bactérias mucilaginosas esbranquiçadas que dificultaram a leitura ou até impediram o desenvolvimento das colônias de coliformes. Devido à constância desse inconveniente descartou-se o uso da técnica de membrana de filtração. A ausência de coliformes termotolerantes com a técnica de tubos múltiplos, onde esses problemas são contornados pelo uso de meios de cultura líquidos, confirma sua ausência ou valores baixos na água dos reservatórios. Esses resultados, junto à ausência de *E.coli* nas mesmas amostras levam a interpretar que a contaminação fecal é muito baixa ou que ocorre ocasionalmente.

5.4 Parasitos

A identificação de cistos de protozoários e ovos de helmintos patogênicos nessas águas (Figura 30) evidenciou que ausência de *E.coli* ou os baixos valores de coliformes termotolerantes não refletem os níveis reais de contaminação fecal. Três açudes foram positivos para ovos de *Ascaris lumbricoides*, (frequência de aparecimento de 11 a 75%); dois

para cistos de *Entamoeba histolytica/E.dispar* (11 a 56%), dois para cistos de *Giardia sp* (22%) e um para cistos de *Entamoeba coli* (14%). Um açude apresentou três dessas espécies e os restantes duas.

O açude Bola I teve as maiores frequências de ocorrência de cistos de *Entamoeba histolytica/E.dispar* (56%). No açude Roque, foram detectadas as maiores frequências de ovos de *Ascaris lumbricóides* (75%) e cistos de *Entamoeba coli* (14,3%), que embora não patogênicas indicam maior capacidade de sobrevivência dos cistos de protozoários em relação aos coliformes termotolerantes e a *Escherichia coli*.

Namorados apresentou frequência de *E. histolytica/E.dispar* (11%) e *Entamoeba coli* (14%). Luis Heleno teve três espécies de parasitos: cistos de *Giardia ssp* (22%) e *E.histolytica/E.dispar* (11%) e de um helminto, ovos de *Ascaris lumbricóides* (29%). Este açude apresentou a maior diversidade e contaminação por cistos de protozoários e por ovos de enteroparasitos patogênicos.

Ambientes eutróficos com altos valores de pH e oxigênio dissolvido, submetidos durante várias horas do dia à radiação solar intensa tendem a gerar condições bactericidas idênticas às observadas em sistemas de lagoas de estabilização facultativas (STANIER et al, 1969; VON SPERLING, 1999; CEBALLOS et al., 2006), e se constituem nos principais fatores de destruição de bactérias indicadoras e patogênicas.

Valores de pH superiores a 8,5 destroem as bactérias coliformes e bactérias enteropatogênicas. Nesses ambientes também são produzidas formas tóxicas de oxigênio pela ação da luz solar sobre o oxigênio molecular (oxigênio singlet, peróxido de hidrogênio e radicais OH) que atingem as membranas celulares contribuindo com a morte celular, assim como a própria luz solar onde a radiação ultra-violeta age sobre o DNA dificultando e até impedindo sua multiplicação pelo efeito fotocatalítico sobre estas moléculas (STANIER et al, 1969; BLACK, 2002).

Portanto, embora os baixos valores de coliformes termotolerantes e de *Escherichia coli* registrados, estes valores podem ser originalmente bastante elevados. A criação de animais próximo aos açudes e uso destes corpos de águas na sua dessedentação indicam importante fonte de contaminação fecal que ocorre em cada um dos açudes de forma continua.

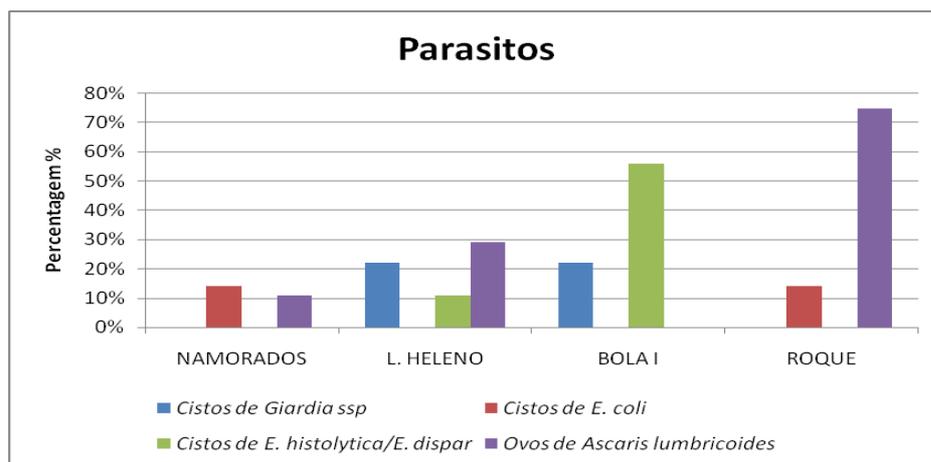


Figura 30 – Frequência de aparecimento e diversidade de parasitos nos açudes da Bacia de São João do Cariri/PB.

5.5 Estudos Nictemerai

O estudo das variações nictemerai (24 horas) permite observar os principais mecanismos e as interações que ocorrem em curtos períodos de tempo nos sistemas aquáticos, sob influências das variações climáticas regionais e os impactos da bacia hidrográfica (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

Em reservatórios e lagos a ocorrência ou não de estratificações estáveis e as interações entre o regime de mistura vertical e a disponibilidade de luz e nutrientes têm importantes consequências sobre a distribuição da comunidade fitoplanctônica na coluna de água (CALIJURI et al., 1997).

Estudos ao longo de ciclos de 24 horas foram realizados nos açude Luiz Heleno e Namorados no mês de dezembro de 2006, correspondendo à época de seca, com registro de precipitação pluviométrica acumulada de 0,9 e 1,2 mm em cada sub-bacia, respectivamente e no mês de maio de 2007, sendo registrado precipitação pluviométrica acumulada de 58,5 e 49,6 mm para o Namorados e Luiz Heleno, respectivamente. Houve escoamento superficial difuso na bacia, embora insuficientes para provocar extravasamentos dos corpos de água aninhados. O mês do último ciclo nictimeral correspondeu ao final da época de chuvas. Ao longo do estudo se verificou acentuada diminuição do volume da água armazenada, como descrito na Figura 2.

Os dois açudes apresentaram estratificação térmica diurna nas épocas de seca e de chuva. Na estiagem essas estratificações se estabeleceram entre às 10:30 e 19:30 horas

aproximadamente. Em maio, houve também estratificações noturnas no açude Namorados e menos acentuadas no Luiz Heleno, como se evidenciam nos gráficos de isotermas profundidade-hora (Figura 31). Houve mistura completa na coluna d'água, atingindo a isoterma de 21 até 8 horas do dia seguinte, aproximadamente, tanto no período seco como no chuvoso para Luiz Heleno, e apenas no período seco no Namorados. As características morfológicas destes açudes (baixa profundidade e o tamanho do espelho d'água) favorecem a ação dos ventos, levando a processos de misturas e circulação de água dentro dos reservatórios e caracterizando-os como polimíticos quentes (STRASKRABA e TUNDISI, 2000).

A temperatura da água variou em Luiz Heleno entre 23,7 e 31,1°C, ocorrendo o menor valor no mês de maio nas três profundidades amostradas (PA-100%, PB- 50% de luminosidade e PD- fundo) as 4:30 horas. Já o maior valor foi verificado no mês de dezembro as 13:30 horas na subsuperfície (100% de luminosidade). No Namorados a maior temperatura foi 27,5°C em dezembro (no PA e PB), e a menor 24°C em maio (nas três profundidades). Considerando os nove horários amostrados nas 3 profundidades (total de 27 dados) a média de temperatura apresentada foi de 27,5 e 26,8°C em dezembro, e de 25,3 e 26,3°C em maio, para Luiz Heleno e Namorados, respectivamente (Tabela 13 e 14). As baixas cotas hídricas normalmente favorecem a massas de água mais quentes. A variação anual das temperaturas de um reservatório são dependentes das condições geográficas (em especial latitude e altitude) e do tamanho do corpo hídrico (NOGUEIRA et al, 2005).

Estudo semelhante, mas em ambientes de maior porte, realizado por Barbosa (2002) no açude Taperoá II e Diniz et al. (2006) no açude Epitácio Pessoa e Bodocongó, mostraram padrão inverso na temperatura da água, mais quentes no período chuvoso, no entanto com valores inferiores (média de 25,3°C) aos do presente estudo. Embora as temperaturas de Luiz Heleno e Namorados tenham sido maiores na época de seca, os valores médios na chuva foram muito próximos aos valores médios achados por Barbosa (2002) e Diniz et al (2006), na chuva, mostrando que ambientes com pequeno volume acumulado e de menores dimensões são capazes de manter maior quantidade de energia calórica (temperatura) nas massas de água.

Tabela 13 – Valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das variáveis limnológicas no açude Luíz Heleno nos ciclos nictemerais de dezembro (estiagem) e de maio (chuva). (Os valores se referem aos dados das três profundidades nos nove horários – n = 27 dados.)

Período	Estatística básica	T (°C)	OD (mg/l)	pH	CE (μS/cm)	POrto (μg/l)	NO ₃ ⁻ (μg/l)	NO ₂ ⁻ (μg/l)	N-NH ₄ ⁺ (μg/l)	Clor a (μg/l)
Seco	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Mínimo	25.5	4.7	8	191.7	3	ND	ND	0.41	7.7
	Máximo	31.1	11.17	9.3	206.9	14	499.81	2.41	5.71	43.7
	Média	27.5	7.5	8.9	199.9	7.0	124.5	0.2	1.1	22.5
	Mediana	27.4	7.55	8.95	200.2	7	137.69	ND	0.88	20.4
	DP	1.35	1.52	0.28	3.68	3.66	98.76	0.56	0.99	8.8
	CV (%)	4.92%	20.32%	3.19%	1.84%	52.61%	79.35%	281.05%	93.36%	38.97%
Chuvoso	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Mínimo	23.7	2.9	7.5	143.2	58	230.4	3.52	9.35	ND
	Máximo	27.5	10	9.3	174.5	100	1705.7	16.48	48	113.8
	Média	25.3	6.5	8.3	170.8	80.4	996.7	6.6	32.4	43.87
	Mediana	25	6.5	8.3	172.8	82	631.4	6.11	36.35	33.7
	DP	1.08	2.14	0.57	5.82	9.2	584.0	3.0	11.2	29.18
	CV (%)	4.27%	32.82%	6.82%	3.41%	11.46%	58.60%	45.87%	34.64%	66.51%

Tabela 14 – Valores mínimos, máximos, médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das variáveis limnológicas no açude Namorados nos ciclos nictemerais de dezembro (estiagem) e de maio (chuva). (Os valores se referem aos dados das três profundidades nos nove horários – n = 27 dados)

Período	Estatística básica	T (°C)	OD (mg/l)	pH	CE (μS/cm)	POrto (μg/l)	NO ₃ ⁻ (μg/l)	NO ₂ ⁻ (μg/l)	N-NH ₄ ⁺ (μg/l)	Clor a (μg/l)		
Seco	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27		
	Mínimo	26,8	7,3	81,0	176,9	5,9	51,9	1,3	125,9	1,6	10,0	14,0
	Máximo	26,8	7,3	80,4	177,8	6,0	49,4	1,2	137,7	1,3	9,7	6,9
	Média	26,1	7,0	71,4	168,6	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
	Mediana	27,5	7,5	88,2	190,7	6,5	129,4	2,9	192,7	5,0	19,7	140,6
	DP	0,44	0,15	3,97	4,9	0,41	31,7	0,64	52,9	1,29	4,53	27,5
	CV (%)	1,64%	2,04%	4,90%	24,20%	6,90%	61,02%	50,31%	42,02%	82,31%	45,31%	196,71%
Chuvoso	N	27	21	27	27	27	27	27	27	27	27	
	Mínimo	26,3	7,3	5,3	170,6	73,8	76,0	59,3	391,4	8,5	3,87	2,5
	Máximo	26,5	7,3	5,2	169,2	74,0	74,3	59,0	398,5	8,0	3,6	0,8
	Média	24	7,0	4,4	165,5	70,5	57,7	43,0	271,9	3,5	1,9	0,0
	Mediana	27,2	7,5	8,2	182,5	77,5	119,3	74,0	494,5	15,4	6,6	11,8
	DP	0,77	0,11	0,80	4,44	1,43	13,45	8,10	69,02	2,75	1,20	3,04
	CV (%)	2,92%	1,55%	15,15%	2,61%	1,93%	17,70%	13,66%	17,63%	32,25%	31,09%	120,37%

Os reservatórios apresentaram perfis térmicos pouco acentuados, o que pode ser explicado pela pequena profundidade dos corpos d'água. Nestes ambientes aquáticos são freqüentes estratificações pouco duradouras causadas pelos ventos que dependendo da sua intensidade, quebram as estratificações. Estratificações pouco estáveis são freqüentes em reservatórios rasos de regiões tropicais (WETZEL,2001; MINOTTI, 1999). Padrões térmicos de estratificação e mistura diária influenciam na distribuição dos componentes químicos e biológicos ao longo da coluna de água e caracterizam estes corpos aquáticos com polimíticos quentes (TUNDISI et al, 2005).

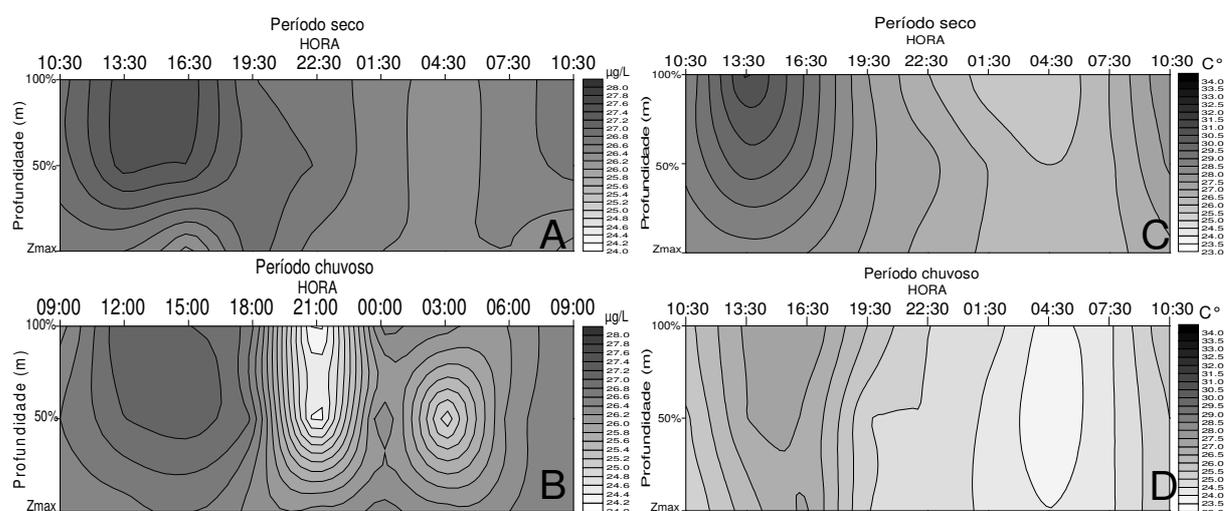


Figura 31 – Isolinhas de temperatura da água (°C) para os açudes Namorados (A e B) e Luíz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Estudos de Gomes (2000) na Lagoa Messejana-CE, também de pouca profundidade, mostraram comportamento semelhante, com estratificações diurnas pouco estáveis e desestratificações noturnas. No açude Taperoá II, Barbosa(2002) também observou misturas nos horários noturnos, verificadas nos períodos secos e chuvosos. O autor atribuiu esse comportamento as trocas de calor entre a água e a atmosfera, mais fria no horário noturno, ocasionando a quebra das barreiras térmicas com alteração da densidade da água. Misturas influenciadas pelos ventos e associadas com baixa profundidade também foram registrados no açude Bodocongó por Medeiros et al, (2006).

Para evidenciar as modificações ao longo do ciclo de 24 horas, foram realizados três tipos de análises com o teste ANOVA: 1) Comparou-se todos os dados diurnos nas três profundidades com todos os dados noturnos também nas três profundidades para cada ciclo (dezembro e maio), a fim de verificar se houve diferenças entre dia e noite; 2) Comparou-se os dados de todos os horários para cada profundidade, para verificar se houve diferenças entre as três profundidades; 3) Comparou-se os dados de todos os horários e profundidades do ciclo

de dezembro com os do ciclo de maio, para verificar a ocorrência de diferenças entre os dois ciclos. Essas análises foram realizadas separadamente para cada reservatório e são apresentadas nos anexos 6 e 7.

No açude Luiz Heleno constatou-se diferenças significativas de temperatura entre dia/noite tanto para o período seco quanto para o chuvoso (ANOVA – $p=0,001$; $p=0,002$, respectivamente), mas não entre as profundidades. No açude Namorados não houve ocorrência de diferenças significativas de temperatura entre o dia/noite e entre as profundidades em nenhum dos períodos (ANOVA – $p>0,05$). As variações anuais para reservatórios tropicais normalmente são baixa, sendo mais expressivas as variações diárias. No entanto quando se trata de corpos hídricos rasos, como os estudados aqui, as variações diárias são atenuadas pelos contínuos processos de misturas (STRASKRABA & TUNDISI, 2000).

Durante os dois períodos amostrados as maiores concentrações de oxigênio dissolvido (OD) ocorreram nos horários iluminados e nas camadas superiores, com reduções noturnas em direção ao fundo dos dois reservatórios. O perfil vertical do OD teve média de 7,5mg/L e 5,9 mg/L no período seco e de 6,5 mg/L e 5,3 mg/L no período chuvoso para Luiz Heleno e Namorados, respectivamente (Tabela 13 e 14 e Figura 32). No entanto, esse comportamento não foi suficiente para caracterizar diferenças significativas entre dia/noite nos dois ciclos em ambos os reservatórios (ANOVA – $p>0,05$). Em Namorados as diferentes concentrações de OD ao longo das profundidades foram significativas no mês de dezembro (ANOVA – $p=0,003$).

Na Figura 32, observa-se nos dois açudes que as maiores concentrações de OD ocorreram na subsuperfície durante o dia, com marcada microestratificação ao longo da coluna de água tanto na seca como na chuva, mostrando perfil clinogrado especialmente entre 14 e 19 horas. No período noturno houve mistura para os dois reservatórios, permitindo boa oxigenação até a profundidade máxima.

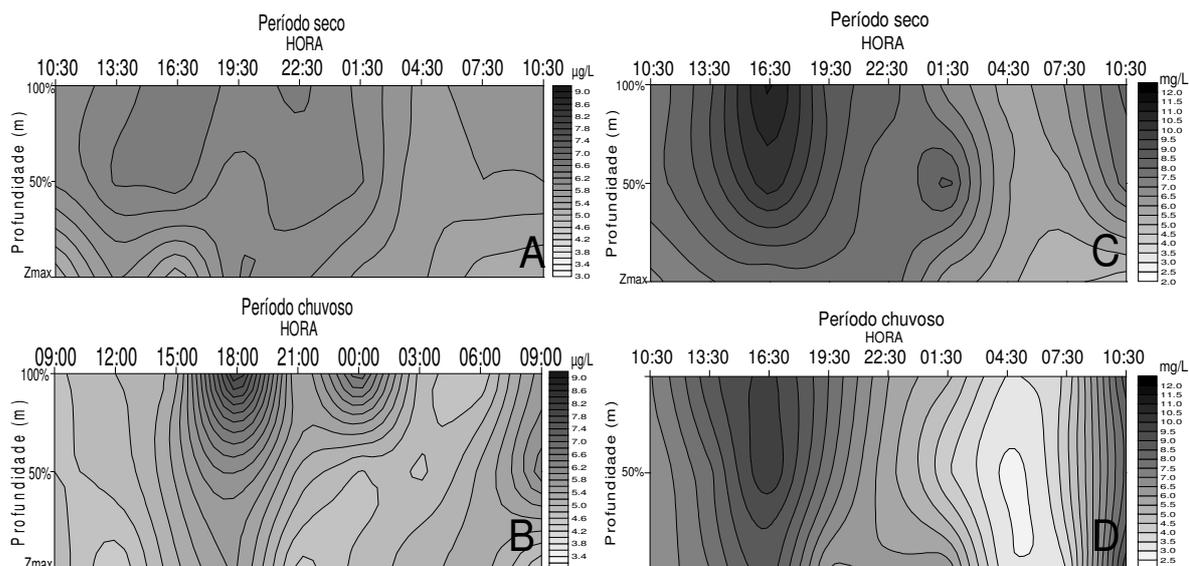


Figura 32 – Isolinhas de oxigênio dissolvido (mg/L) para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

O oxigênio dissolvido seguiu o mesmo comportamento que a temperatura da água, apresentando correlação positiva significativas entre ambos os parâmetros, no mês de dezembro tanto para Luiz Heleno como para Namorados ($r = 0,68$; $r=0,61$; $p<0,01$ respectivamente), e no mês de maio apenas para Luiz Heleno ($r = 0,88$ $p<0,01$). Correlações positivas significativas de temperatura e OD são bastante frequentes em açude do nordeste semi-árido (DINIZ et al, 2006; MEDEIROS et al, 2006).

O pH teve flutuações entre neutro a levemente alcalino (pH 7 - 7,5) em Namorados e mais elevado (pH 8 - 9,3) no Luiz Heleno em todas as profundidades tanto no período chuvoso quanto no seco (Tabelas 2 e 3; Figura 4). Em Luiz Heleno o pH apresentou menor coeficiente de variação no período seco (CV= 3,19%) quando comparado ao chuvoso (CV= 6,82%), com diferença significativa nesse último período entre o dia/noite (ANOVA – $r=0,0001$; $p<0,05$). Já no açude Namorados não se distinguiu padrão de variação (CV= 2,0% /1,5% - seco/chuvoso) significativo entre dia/noite nos dois períodos, mas houve diferenças significativas do pH para as três profundidades na seca (ANOVA – $r=0,0006$; $p<0,05$). Ocasionalmente pelas microestratificações observadas neste período associada ao comportamento da temperatura e do oxigênio.

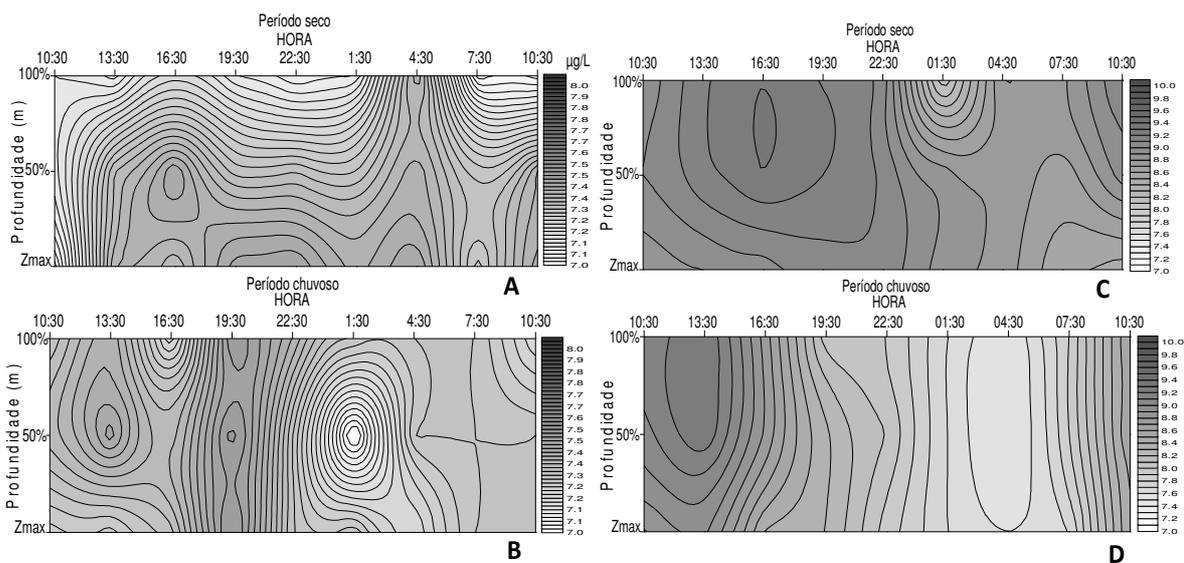


Figura 33 – Isolinhas de pH para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

A correlação positiva significativa registrada em Luiz Heleno entre pH e oxigênio dissolvido ($r = 0,76$ $p < 0,005$ - seco); ($r = 0,75$ $p < 0,005$ - chuvoso), bem como entre pH e temperatura da água ($r = 0,64$ $p < 0,005$ - seco); ($r = 0,80$ $p < 0,005$ - chuvoso), indicam que os valores de pH são influenciados pela produção de OD no processo fotossintético, mais intenso a maiores temperaturas (AZEVEDO et al, 2002).

Os valores da condutividade elétrica no açude Namorados, não tiveram diferenças significativas entre as profundidades e dia/noite, ou mesmo entre os perfis de dezembro e maio (Anexo 6). Na Figura 34, observa-se leve aumento da condutividade na camada do fundo, relacionado com a maior concentração de íons nessa profundidade. Já no açude Luiz Heleno houve diferença significativa da condutividade elétrica entre o dia/noite (Anova – $p = 0,0001$) no perfil de dezembro, como também entre os dois ciclos nictemerais (Anova – $p = 0,0001$), enquanto que não se observaram diferenças significativas entre as profundidades (Anexo 7).

No período noturno houve valores mais altos desta variável com aumento a partir das 19:30h em direção à parte mais profunda dos dois reservatórios e se estendendo até às 04:30 horas (Figura 5). Esse gradiente vertical se associou com a concentração de íons e o processo de decomposição mais ativa nas regiões mais profundas do corpo aquático, como foi observado no açude de Boqueirão/PB, por Diniz et al, (2003).

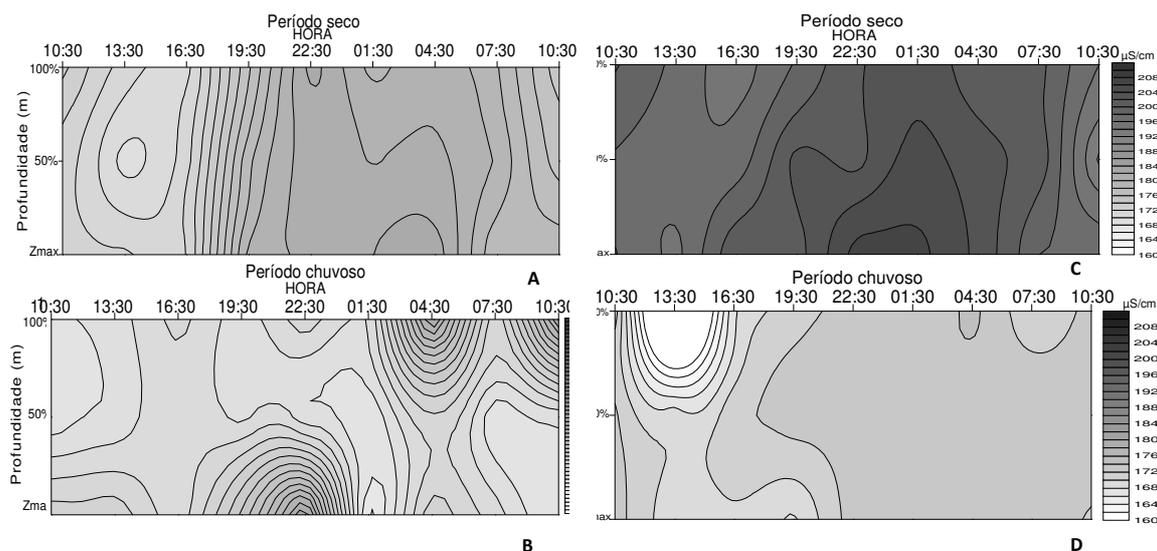


Figura 34 – Isolinhas da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

As concentrações do nitrogênio amoniacal apresentaram-se significativamente diferentes, com os maiores valores no perfil de maio para Luiz Heleno ($x= 32,4\mu\text{g}/\text{l}$) e no perfil de dezembro para Namorado ($x= 10,0\mu\text{g}/\text{l}$). Variações entre dia/noite e entre as profundidades foram consideradas de baixa significância (ANOVA – $p>0,05$, Anexos 6 e 7), para os dois corpos aquáticos.

Na Figura 35, evidencia-se leve tendência a valores altos de amônia no fundo, nos dois períodos, em Namorados e Luiz Heleno. As menores concentrações de nitrogênio amoniacal no epilímnio contrastando com maiores no hipolímnio podem estar relacionadas com a maior assimilação da amônia na superfície. Regimes de estratificações e desestratificações diurnas e noturnas favorecem a mobilidade dos nutrientes liberados próximo ao sedimento, aumentando a concentração nas camadas inferiores da coluna de água (ESTEVEZ, 1988; SAWYER, 1994).

Maiores concentrações de nitrogênio amoniacal no fundo do reservatório foi observado no açude Taperoá (BARBOSA, 2002), na represa São Salvador (TAVARES, 2000), nos açudes Epitácio Pessoa, Bodocongó (DINIZ et al, 2006; MEDEIROS et al, 2006), e no açude Acauã (LINS, 2006; LUNA, 2008), embora apresentem morfometrias diferentes.

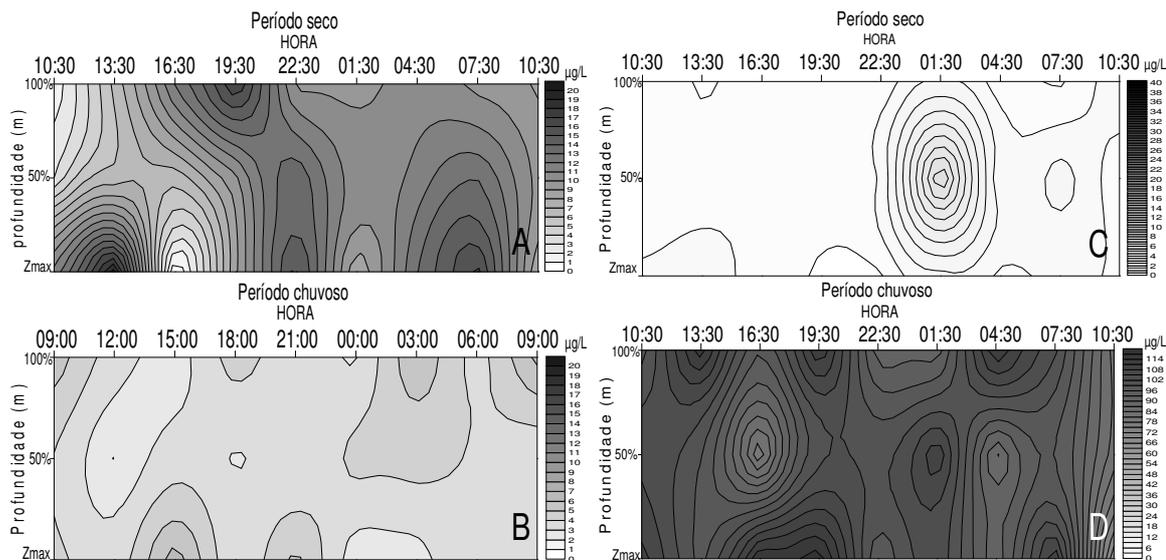


Figura 35. Isolinhas de amônia para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Dentre as formas de nitrogênio, o nitrato, foi a que apresentou nos dois períodos estudados os valores mais elevados para os dois ambientes. Tal fato está possivelmente relacionado com a disponibilidade de OD nas águas do reservatório o que favorece o processo de nitrificação neste ecossistema (ESTEVES, 1988; SAWYER, 1994).

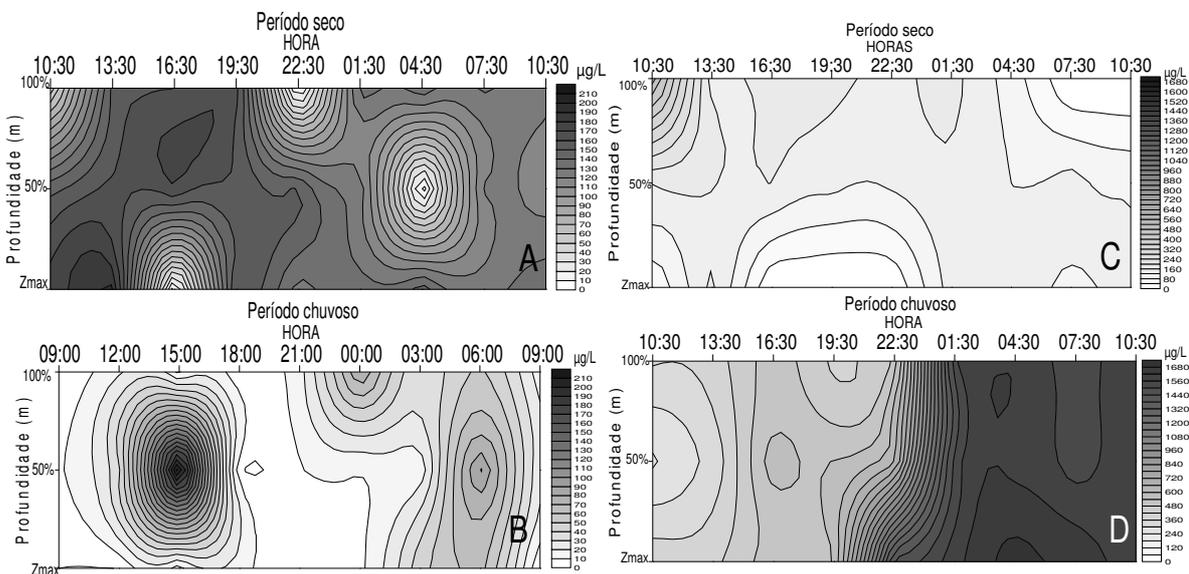


Figura 36 – Isolinhas de Nitrato para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

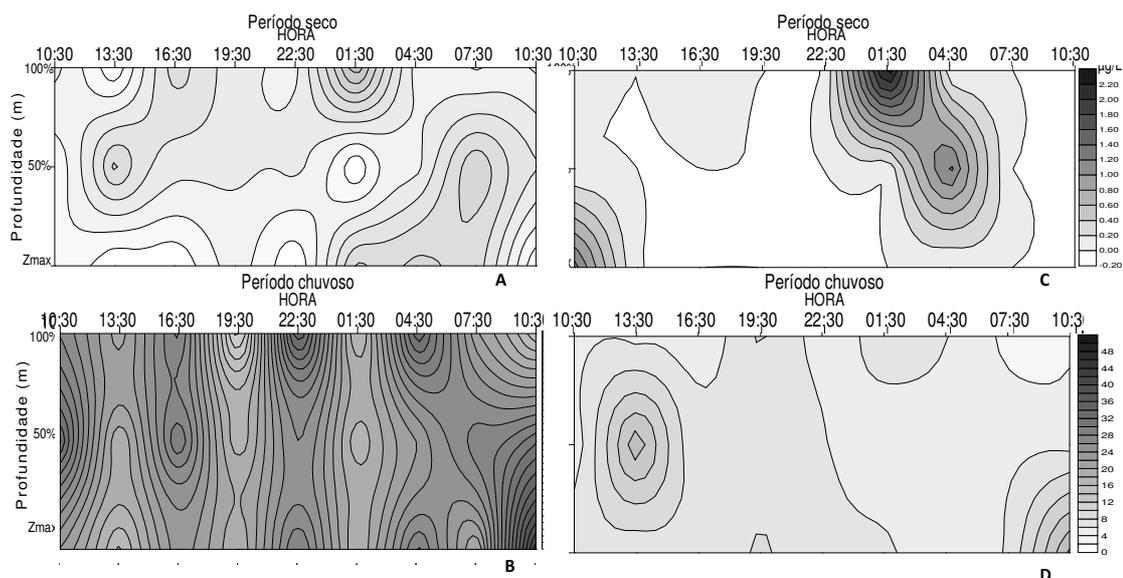


Figura 37 – Isolinhas de Nitrito para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Os resultados de nitrogênio, nitrato e nitrito, não mostraram diferenças significativas entre as profundidades nos perfis de 24 horas de dezembro e maio, mesmo quando comparadas às concentrações medidas entre o dia e a noite em cada um dos açudes (ANOVA – $p > 0,05$). No entanto, entre os dois ciclos nictemerais para um mesmo açude houve variações extremamente significativas (ANOVA – $p = 0,0001$), denotando comportamentos diferentes de um ciclo nictemeral para o outro, com os maiores valores em dezembro (estiagem) de 2006 para Namorados e em maio (chuva) de 2007 para Luiz Heleno (Figuras 36 e 37).

As concentrações de ortofosfato apresentaram valores mais elevados no período chuvoso tanto para Luiz Heleno como para Namorados. Na estiagem apesar de apresentar concentrações menores, foram registrados os maiores coeficientes de variação ($CV = 52,6\%$ e $50,3\%$). Ocasionalmente pelo escoamento superficial registrado neste período, proporcionando a entrada de água com aporte de nutrientes, no entanto sem elevação de volume armazenado (balanço hídrico negativo). Comportamento semelhante foi observado em Luiz Heleno, com diferença significativa entre o dia e a noite no período chuvoso.

Houve diferença significativa (ANOVA) das concentrações da série fosfatada entre os períodos de estudos para ambos os açudes (Anexos 6 e 7).

No ciclo nictemeral de maio de 2007 (chuvoso) houve altos valores de ortofosfato nos dois ambientes, possivelmente associados ao aporte com escoamento desde a bacia e posterior concentração com a acelerada evaporação, como se verifica pelo baixo volume dos açudes nesses meses (Figura 2). No gráfico de isolinhas para essa variável (Figura 38) as maiores

concentrações ocorreram durante a madrugada, o qual pode estar relacionada com a liberação desde o sedimento durante desestratificação térmica noturna (DINIZ, 2006).

As altas concentrações de ortofosfato ocorreram simultaneamente com altas concentrações de clorofila “a” e de formas nitrogenadas no açude Luiz Heleno quando este apresentava apenas 5% de água armazenada, já com alto grau de eutrofização, e que ficou evidente no mês seguinte (junho de 2007) com um bloom de cianobactérias neste reservatório.

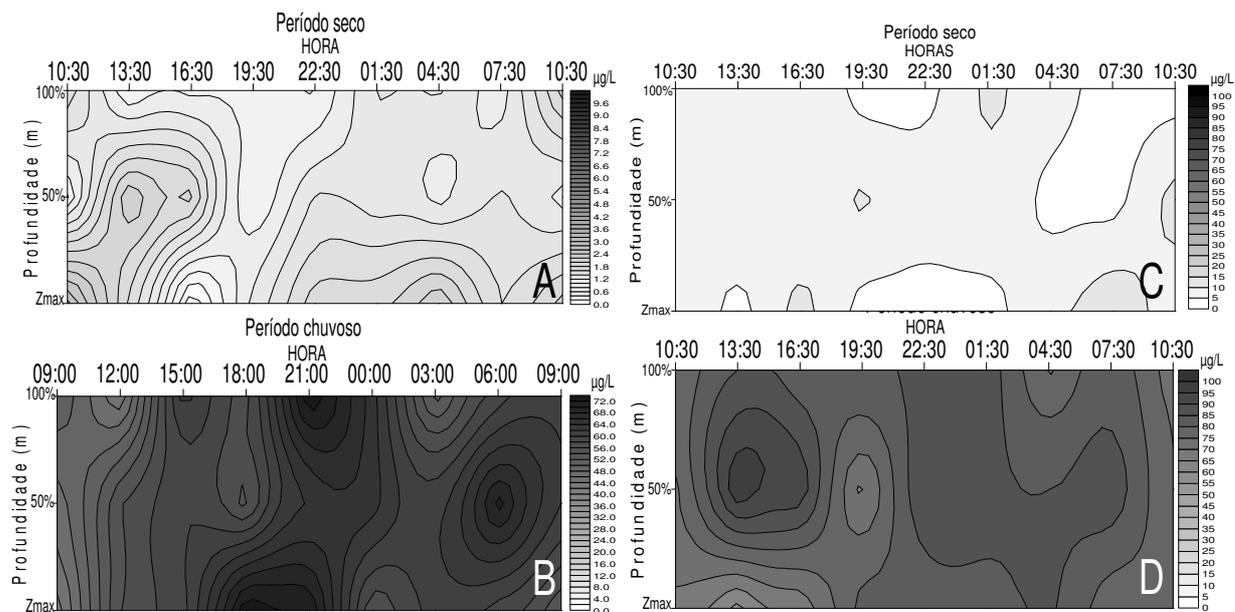


Figura 38 – Isolinhas de ortofosfato para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

A clorofila "a" apresentou diferença significativa entre os meses seco e chuvoso nos dois açudes (ANOVA – $p < 0,05$). O máximo de clorofila *a* no açude Luiz Heleno foi de $113,8 \mu\text{g/L}^{-1}$ em maio/07 durante o dia a 50% de luminosidade, com gradiente descendentes nas camadas imediatamente superiores e inferiores. No período seco as concentrações de clorofila *a*, foram mais baixas e apresentaram um perfil vertical de distribuição homogênea. Em Namorados as maiores concentrações ocorreram na estiagem com média de $14 \mu\text{g/L}^{-1}$, o máximo de clorofila *a* foi de $140,6 \mu\text{g/L}^{-1}$ em dezembro abaixo da zona de 50% de luz, em direção à profundidade do reservatório, às 16:30 horas (Figura 10), quando a zona eufótica atingiu 1 metro de profundidade e a profundidade do reservatório era de 5 metros e o volume armazenado de 18% da capacidade máxima.

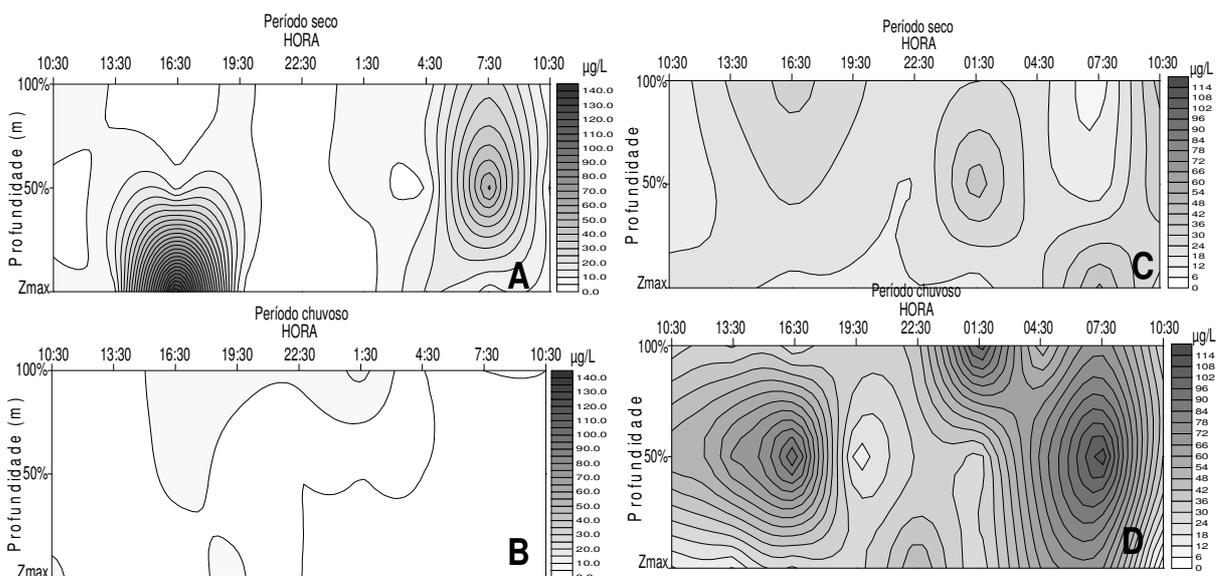


Figura 39 – Isolinhas de clorofila para os açudes Namorados (A e B) e Luiz Heleno (C e D) na época seca (dezembro/2006) e chuvosa (maio/2007).

Houve poucas diferenças significativas entre o dia e a noite e também entre as profundidades para as variáveis analisadas, tanto no mês de seca como no mês chuvoso nos dois açudes monitorados. Isto pode estar relacionado, pelo menos parcialmente, com a pouca profundidade dos açudes, a qual aumenta a capacidade do vento de promover misturas na água e conseqüentemente torna mais homogênea a coluna de água. A análise dos comportamentos dos açudes nos dois ciclos nictemerais mostra distribuição diferentes da maioria das variáveis (ANOVA – $p > 0,05$) quando testadas em ambos os açudes. Estes comportamentos podem estar relacionados com fenômenos de mistura que levam a impactos dinâmicos nas estruturas dos ecossistemas associados com a redução acentuada do volume destes ambientes ao longo do tempo de monitoramento.

5.6 Condições de uso e ocupação do solo da bacia

Na bacia hidrográfica de São João do Cariri resta apenas uma pequena área de vegetação nativa que consiste em árvores de pequeno porte características de caatinga. Os principais usos do solo são atividades de agropecuária. Na área cultivável predominam plantio de milho, feijão, capim e de palma, além da prática do plantio de culturas de vazantes nas épocas de estiagem.

Ao longo da bacia ocorre criação semi-extensiva, principalmente de bovino e caprino, os quais têm acesso aos corpos aquáticos para dessedentação. A prática da piscicultura artesanal ocorre em três dos quatro reservatórios, excetuando-se Luiz Heleno.

A água dos reservatórios se destina à irrigação das áreas cultivadas, a pesca artesanal e ao consumo animal e humano. Nas residências, é freqüente a filtragem da água em filtros de cerâmica para beber; para as demais atividades domésticas a água é utilizada sem tratamento prévio.

Os resultados do inventário de uso e ocupação do solo realizado com os proprietários e/ou trabalhadores das propriedades inseridas na bacia são apresentados na tabela 15.

Tabela 15 – Uso e ocupação do solo da Bacia de São João do Cariri no período de 2006 a 2008.

ATIVIDADES	N° Pessoas	Piscicultura	Cultura	Área (há)	Pecuária
ROQUE	03	Traíra, Tilápia	Palma, capim	5	250 animais
BOLA I	23	Tilápia	Milho, feijão, palma, capim	17	800 animais
L. HELENO	04	Não há	Palma, capim	5	100 animais
NAMORADOS	14	Traíra, Tilápia	Milho, feijão, palma, capim	4	200 animais

Os principais fatores de vulnerabilidades da qualidade da água da bacia de São João do Cariri se associam aos usos do solo e atividades econômicas tais como:

- A ausência de vegetação nativa (mata ciliar);
- Avanço das áreas agrícolas próximas as margens dos açudes;
- Aumento dos usos da água para irrigação;
- Introdução de espécies exóticas de peixes nos reservatórios.

Os usos múltiplos de água geram impactos na dinâmica dos reservatórios contribuindo para um maior déficit hídrico e aceleram a eutrofização. As alterações da vegetação natural ocasionam aumento do escoamento superficial e o carreamento dos materiais acumulados na bacia para os corpos de água, aumentando a vulnerabilidade da bacia hidrográfica e do ecossistema aquático, que associado aos aspectos climáticos extremos da região, agravam o assoreamento, a contaminação e o enriquecimento da água com nutrientes que estimulam o crescimento de algas, cinobacterias e macrófitas (NOGUEIRA et al, 2005). No seu conjunto, as forças ou pulsos exógenos alteram a qualidade da água, provocando alterações, de cor, odor e sabor, a qual perde seu atrativo para o lazer e sua utilidade para consumo humano e animal.

5.7 Qualidade da água segundo o VMP da CONAMA 357/2005

Foi realizada avaliação da qualidade da água dos reservatórios levando em consideração os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de março de 2005, a fim de verificar em qual classe de águas doces se encontravam os açudes no período de seca e chuva. Estão apresentados nas tabelas 16 e 17. Foram realizadas análises comparativas entre as concentrações médias de diferentes parâmetros nas amostras de águas superficiais como os valores máximos permitidos (VMP) em cada classe nessa resolução.

Tabela 16: Análise comparativa dos valores médios de diferentes parâmetros quantificados nos açudes da Bacia de São João do Cariri no período de seca como o VMP da CONAMA 357/2005.

PARÂMETROS	CONAMA 357/2005			AÇUDES SOB ESTUDO (VALORES MÉDIOS NA SECA)			
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	Roque	Bola	L. H	Nam
Clo a (µg/L)	10 µg/L	30	60	5,2	6,6	49,8	4,9
P- Total (µg/L)	20	30	50	166,7	39,1	128,1	64,7
NO ₃ (µg/L)	10000	10000	10000	235,8	157,9	179,9	120,4
NO ₂ (µg/L)	1000	1000	1000	18,4	9,9	11,1	11,6
N-amoniacal* (µg/L)	500-3700	500-3700	5600- 13300	6,1	2,8	18,9	1,9
OD (mg/L)	> 6,0	>5,0	>4,0	6,7	5,9	7,3	6,1
Ph	6 - 9	6 - 9	6 - 9	7,9	7,8	9,3	7,8
Coliformes termotolerantes	200 UFC	1.000	2.500	<200	<200	<200	<200
<i>E. coli</i>	200	200	200	<200	<200	<200	<200

* com 7,5<pH >8,5

Tabela 17 – Análise comparativa dos valores médios de diferentes parâmetros quantificados nos açudes da Bacia de São João do Cariri no período de chuva como o VMP da CONAMA 357/2005.

PARÂMETROS	<u>CONAMA 357/2005</u>			<u>ACUDES SOB ESTUDO</u> (VALORES MÉDIOS NA CHUVA)			
	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	Roque	Bola	L. H	Nam
Clo a (µg/L)	10	30	60	34,0	2,88	20,9	1,25
P- Total (µg/L)	20	30	50	89,3	74,3	118,2	90,4
NO ₃ (µg/L)	10000	10000	10000	156,0	247,8	288,9	172,0
NO ₂ (µg/L)	1000	1000	1000	6,5	8,1	4,8	9,4
N-amoniacal* (µg/L)	500-3700	500-3700	5600-13300	4,7	3,8	10,9	2,8
OD (mg/L)	> 6,0	>5,0	>4,0	6,5	7,5	12,1	6,7
pH	6 - 9	6 - 9	6 – 9	7,7	8,1	8,9	7,7
Coliformes termotolerantes	200 UFC	1.000	2.500	<200	<200	<200	<200
<i>E. coli</i>	200	200	200	<200	<200	<200	<200

* com 7,5<pH >8,5

Os resultados obtidos estabelecem padrões de qualidade para água doce Classe 3 embora as concentrações da maioria dos parâmetros se encontrassem dentro dos valores aceitos para águas de classes 1, 2. O parâmetro determinante para o enquadramento dos reservatórios na Classe 3 foi o fósforo total em todos os açudes no período chuvoso. No período de seca apenas o Bola foi enquadrado na Classe 2 quando apresentou decréscimo em torno de 50% na concentração do fósforo, os demais permaneceram com enquadramento Classe 3.

Uma vez que os reservatórios monitorados foram enquadrados na classe 3: suas águas devem destinar-se aos seguintes usos:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

- à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- à pesca amadora;
- à recreação de contato secundário;
- à dessedentação de animais.

CONCLUSÕES

As características físicas, químicas, biológicas, microbiológicas e parasitológicas e a análise de uso e ocupação do solo da bacia associados aos aspectos hidrológicos e climáticos, mostraram que:

Houve forte impacto do clima, do uso da bacia e das variáveis hidrológicas na dinâmica espaço-temporal dos parâmetros limnológicos nos compartimentos horizontais e verticais dos açudes aninhados da bacia experimental de São João do Cariri, com deterioração acentuada da qualidade no decorrer da estiagem.

A escassa profundidade dos quatro açudes e a precipitação pluviométrica inferior à média histórica na maioria dos meses foram determinantes para reduzir o volume de água e concentrar as espécies químicas com conseqüente aumento da eutrofização. A qualidade da água dos açudes, usando como referencia a Resolução CONAMA 357/2005, correspondeu à classe 3, determinada pela concentração do fósforo e da clorofila “a”, embora as concentrações dos demais parâmetros estivessem dentro dos valores permissíveis para águas de classes 1 e 2.

O índice do estado trófico (IET) calculado para cada mês em cada açude indicou ambientes hipereutróficos nos períodos de seca e de chuva, influenciado principalmente pelas variáveis transparência, fósforo total e clorofila *a*. Somente Luiz Heleno teve florescimento de cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas (junho/2007) quando o volume ficou extremamente baixo.

Bactérias indicadoras de contaminação fecal, cistos de protozoários e ovos de helmintos não apresentam a mesma resistência aos fatores ambientais, sendo os primeiros os de menor sobrevivência em ambientes eutrofizados. Portanto, é importante a sensibilização dos órgãos gestores em recursos hídricos, saneamento e saúde pública para as limitações das bactérias coliformes, usadas internacionalmente como indicadores universais de contaminação fecal

Os estudos limnológicos em amostras de água subsuperficiais nos quatros açudes em cascata mostraram diferenças significativas no comportamento da qualidade da água nos períodos definidos como seco e chuvoso para cada um deles. Os parâmetros de qualidade da água que marcaram essas diferenças foram o pH, a alcalinidade, condutividade elétrica, fósforo e a clorofila “a”, sob forte influencia do metabolismo fitoplanctônico, que foi mais

significativo nos açudes Roque e Luiz Heleno, os menores da cascata e que vieram a secar durante o monitoramento. Em Luiz Heleno houve crescimento exuberante de cianobactérias e florescimento de *Cyldrospermopsis raciborskii*. Os açudes Namorados e o Bola I apresentaram comportamento semelhante, sendo mais resistentes as pressões climáticas, por apresentarem maiores dimensões.

Em um mesmo açude houve poucas diferenças da qualidade da água ao longo de 24 horas (dia e a noite) e também entre as diferentes profundidades para as variáveis analisadas nos estudos dos ciclos nictimerais em Luiz Heleno e Namorados. Estes estudos mostraram a ocorrência de estratificações e desestratificações térmicas diárias, relacionadas com a pouca profundidade dos açudes e a influencia dos ventos, tendo como consequência maior impacto das variações da temperatura externa. Observou concentrações crescentes em direção ao fundo no período noturno, para a condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal e ortofosfato.

As atividades humanas de maior impacto na qualidade da água dos quatro açudes se restringem a criação de animais, culturas de vazantes, cultivos irrigados de milho, feijão e palma e ocorrência esporádica de piscicultura extensiva em alguns reservatórios.

O monitoramento sistemático no modelo usado no presente trabalho, com amostragens periódicas em um ponto da zona limnética complementado com estudos nictemeras em épocas de seca e chuva foi bem sucedido, proporcionando informações ecofisiológicas dos açudes e de sua bacia. O banco de dados gerado pode ser um importante auxiliar para ações e políticas de gestão desses recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Levantamento batimétrico automatizado dos açudes Namorados, L. Heleno, Bola I e Bola II** – Bacia Escola de São João do Cariri – Paraíba, Brasil. Relatório Final. 2006.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar; FINEP, 2005. 500 p

APHA; AWWA; WPC. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 17^a Ed. – Washington D.C. 1989. 1587p.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998, 1220p.

ATTAYDE, J. L. BOZELLI, R.L. **Assessing the indicator properties of zooplankton assemblages to disturbance gradients by canonical correspondence analysis**. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55: 1789-1797, 1998.

AZEVEDO, S. M. F. O; CARMICHAEL, W. W.; JOCHIMSEN, E. M.; RINEHART, K. L.; LAU, S.; SHAW, G. R. EAGLESHAM, G. K. **Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru – Brazil**. Toxicology 181:441-446, 2002.

BARBOSA, J.E.L. *Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicas nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido paraibano*. 2002. 208 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, SP, 2002.

BARBOSA, J.E.L.; ANDRADE, R.S.; LINS,R.P.;DINIZ, C.R. Diagnóstico do estado trófico e aspectos limnológicos de sistemas aquáticos da Bacia hidrográfica do rio Taperoá, Trópico semi-árido brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 81-89. 2006.

BLACK, J.G. **Microbiologia – Fundamentos e perspectivas**. Ed. Guanabara koogan. 4ed. 856p. 2002.

BRANCO, S.M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3^a Ed. Brasil, 620p. 1986.

BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**. Brasília, 2004.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. **Nova Delimitação do Semi-árido Brasileiro**. 2005.

CALIJURI, M. C.; MINOTI, R. T.; BOEMER, G. L. C. & DEBERDT, A. J. Variação Sazonal da Produção Primária da Comunidade Fitoplanctônica no Reservatório do Salto Grande (Americana – S.P.). **VI Congresso Brasileiro de Limnologia – SBL**, São Carlos, SP. 1997, p.88.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **Waco**, v. 22, p. 361-369, 1977.

CARVALHO, O.. "A Economia Política do Nordeste: seca, irrigação e desenvolvimento. Ed.Campus, Rio de Janeiro-RJ. 505 p. 1988.

CEBALLOS, B.S.O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. Tese de Doutorado. USP- São Paulo, 192 p., 1995.

CEBALLOS, B.S.O.; AZEVEDO, S.M.F. O; BENDATE, M.M.A. Fundamentos Biológicos e Ecológicos Relacionados às Cianobactérias. In Valter Lúcio de Pádua. Contribuição ao Estudo da Remoção de Cianobactérias e Microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: **ABES**, 2006.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; VASCONCELOS, A. C. F.; SILVA, A. P. P. **Salinidade das Águas Superficiais e Suas Relações com a Natureza dos Solos na Bacia Escola do Açude Namorado e Diagnóstico do Uso e Degradação das Terras - RELATÓRIO TÉCNICO**, UFPB, Campina Grande, Vol. 1, 114p, 2002.

CHELLAPPA, N. T. & COSTA, N.A.M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a semi-arid reservoir of Northeast Brazil. **Acta Oecologica – Internacional Journal of Ecology**. Vol 24, Paris. 2003. p.S3- S10.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (2005). **Resolução n. 357, de 17 de marco de 2005**. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acesso em: 17/09/2008.

DINIZ, C. R. ; BARBOSA, J. E. L. ; CEBALLOS, B. S. O. . Variabilidade temporal (nictemeral e sazonal) das condições limnológicas de açudes do tropico semi-árido paraibano. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, p. 1-10, 2006.

DINIZ, C. R. **Ritmos Nictimerais E Distribuição Espaço Temporal De Variáveis Limnológicas E Sanitárias Em Dois Açudes Do Trópico Semi-Árido(Pb)**. 2004. Tese de Doutorado Apresentado Ao Programa Interinstitucional de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro De Ciências Tecnológicas - UFCG. 2004.

DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B.S.O.; BARBOSA, J. E. “Ciclo Nictimeral e vertical de variáveis ambientais no açude Epitácio Pessoa, semi-árido paraibano”. in **Anais do 22^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Joinville, SC. 2003.

ESTEVEES, F. A.; BOZELLI, R. L.; CAMARGO, A. F. M.; ROLAND, F.; THOMAZ, S. M. Variação diária (24 horas) de temperatura, O₂ dissolvido, pH, e alcalinidade em duas lagoas costeiras do Estado do rio de Janeiro e suas implicações no metabolismo destes ecossistemas. *Acta Limnol. Brasil.*, São Carlos, v. 2, p. 99-127, 1988.

ESTEVEES, F.A.. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro, **Interciência/FINEP**. 1998. 575 p.

GARCIA , C.A.B., SANTOS, D.B., OLIVEIRA, B.S., ALVES, J.P.H., Eutrofização em Reservatório Impactado com Fósforo. In: XXIX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. **Anais**. 2006.

GOMES, R.B. **Qualidade Sanitária e grau de eutrofização de uma lagoa urbana do município de Fortaleza- Ceará**. 2000. Dissertação de mestrado - Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campina Grande, 2000.

GUIMARÃES JR, C.; LEOPOLDO, P.R.; CRUZ, J.A.; FONTANA, S.C.; Aspectos Limnológicos do Reservatório de Ibatanga-SP. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 3 n.1. Jan/Mar 1998, 89-103.

GUIMARÃES, A.O. **Formulação de um modelo de previsão da qualidade da água para gestão de reservatórios de abastecimento urbano no semi-árido**. 2006. 75 p. Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande. 2006.

GUIMARÃES, A.O.; MELO, A.D. de; CEBALLOS, B.S.O.; GALVÃO, C.O.; RIBEIRO, M.M.R. Aspectos de gestão do Açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade da água. In: XXIII Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campo Grande. ABES- 2005. Completo – **CD-ROOM**. 2005.

LAMPARELLI, Marta Conde. **Grau de Trofia em Corpos de água do estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento**. Tese (doutorado) apresentada ao Instituto de Biociências da USP, São Paulo, 2004.

LEPRUM, P. Primeira avaliação das águas superficiais do nordeste. Relatório final de convênio, **SUDENE**, Recife, 141p. 1983

LINS, R P. **Dinâmica sazonal de variáveis limnológicas nas escalas espaciais horizontal e vertical na Barragem Acauã, Semi-Árido Paraibano**. Dissertação de mestrado: PRODEMA. 134p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

- LUNA, B.J.C. **Características espaço-temporais do sistema do açude de Acauã, PB, e seu atual índice de estado tráfico**. 2008. Dissertação de mestrado: Prodem. 118p. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- MARGALEF, R. **Limnologia**. Barcelona, Omega, 1986, 1030p.
- MENDES, J.S.; BARBOSA, J.E.L. 2004. O índice de estado tráfico como ferramenta no monitoramento da qualidade de água da barragem de Acauã: sistema recém construído sobre o rio Paraíba – PB. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal. **Anais...Natal**, Sociedade de Engenharia Sanitária,. p. 54-64. 2004.
- MEDEIROS, P.R.; BARBOSA, J.E.L.; SILVA, A.M.A.; CRISPIM, M.C.B. Vertical and nictemeral dynamics of limnological variables in a tropical Brazilian Dam. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, Número 1, 2º Semestre- 2006.
- MINOTI, R. T. **Variação Anual da Produção Primária e Estrutura da Comunidade Fitoplanctônica no Reservatório de Salto Grande (Americana – SP)**. São Carlos, SP. [Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos – USP, SP], 142p., 1999.
- MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude**. Recife: SUDENE-DPG-PRN-DPPAPR, 1992, 524p.
- NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. Ecologia de Reservatórios: Impactos Potenciais, Ações de Manejo e Sistemas em Cascata. São Carlos: **Rima**, 472p. 2005.
- OLIVEIRA, J. B., PANOSSO, ATTAYDE, R., J. L. Efeitos da limitação por nutrientes (N e P) e da herbivoria sobre o crescimento do fitoplâncton em quatro ecossistemas lacustres do nordeste brasileiro. **VI Congresso de Ecologia do Brasil**, Fortaleza, 2003
- PARAÍBA, Governo do estado. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa, Paraíba, Secretaria do Estado da Paraíba/UFPB, 1985, 100p.
- REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (2002). Água Doce no Mundo e no Brasil. In:____. **Águas Doces no Brasil**. São Paulo: Institutos de Estudos Avançados da USP. Academia Brasileira de Ciências. 2002.
- SAWYER, C.N; McCARTY, L.P., PARKIN, G.F. (1994). *Chemistry for Enviromental Engineering*. **Mc Graw Hill** – 4 Ed., 656 p.
- SOUSA, W. **Comunidades zooplanctônicas como bioindicadoras da qualidade da água de quatro reservatórios da região semi-árida do Rio Grande do Norte**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal, 2007.
- STANIER, R. Y., DOUDOROFF, M. ADELBERG, E.A. **Mundo dos Micróbios**, 2º Ed. Editora Edgard Blucher. SP. 1969,754p.
- STATISTICA 7.1 STATSOFT, Inc., Tulsa, USA, 2003.

STRASKRABA, M. & TUNDISI, J.G. *Diretrizes para o gerenciamento de lagos*. São Carlos, **International Lake, Environment Committe, International Institute of Ecology**, Vol. 9 (Gerenciamento da qualidade da água de represas), 258p. 2000.

SCHIDLER, 1978

TAVARES, J. L.; CEBALLOS, B. S. O.; ALBUQUERQUE, F. & GÓIS, R. S. S. Interferência de Fatores Hidrológicos na Qualidade da Água de uma Represa do Trópico Semi-Árido (Sapé-PB-Brasil). In: XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental – “Gestion Ambiental en el Siglo XXI”, AIDIS. **Anais**, Lima – Peru, 1998.

TAVARES, J.L. **Evolução da eutrofização em uma represa nordestina de recente formação. represa são salvador, Sapé – PB**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campina Grande, 2000.

TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S. E HAGE, E. **Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica, Bahia, Brazil**. Bulletin of PAHO, 27(3): 244-253. 1993.

TOLEDO JR., A.P.; TALARICO, M.; CHINEZ, S.J.; AGUDO, E.G. (1983). A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processos de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: do XII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Camboriú, **Anais ...** p.1-34. 1983.

TUCCI, A. **Sucessão da comunidade fitoplantônica de um reservatório urbano e eutrófico**. 2002. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências da UNESP. São Paulo, SP, Brasil 2002.

TUNDISI, J.G. *Água no século XXI – enfrentando a escassez*. **RIMA** Editora: São Carlos-SP. 2003.

TUNDISI, J.G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – estudo de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Eds.). *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos: **Rima**, 2005. cap. 1, p. 1-21.

TUNDISI, J.G.; MATSUMARA-TUNDISI, T.; ROCHA, O. **Ecosistemas de águas interiores**. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Eds.). *Águas Doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Editora Escritura, 2002. cap. 5, p. 153-194.

VIEIRA, V. P. P. B. Água Doce no Semi- Árido. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). *Águas Doces do Brasil*. São Paulo: **Escrituras**, p. 509-532. 1999.

VIANA, T.H.; VON SPERLLING, E. **Qualidade de água em reservatórios do semi-árido Mineiro. Estudo de caso das represas de Soberbo e Ribeirão (Pedra Azul e Madina – MG)**, VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória – ES, 2002.

VOLLENWEIDER, R. A., Eutrophication – A Global Problem. **Water Qual. Bull.** 6, 1981, p.59-62.

VON SPERLING, E. Avaliação do Estado Trófico de Lagos e Reservatórios Tropicais. **Bio – Engenharia Sanitária e Ambiental**. Encarte Técnico, Ano II, 1994, p.68 – 76.

VON SPERLING, E., **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) / Universidade Federal de Minas Gerais, 1999,138p.

WATANABE, T.; GADELHA, C.L.M.; PASSERAT DE SILANS, A.M. Análises estatística da relação entre presença de plantas aquáticas e parâmetros físicos químicos da água de açudes. Congresso, Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 8, Foz de Iguaçu, 1989, **Anais**, p 582-594.

WETZEL, R. G. **Limnology. Lake and Rivers Ecosystems**. 3th Edition. Elsevir, 2001. 985 p.

WRIGHT, S. **Alguns dados da Física e da química das águas dos Açudes Nordestinos**. Bol. Tec. Dep. Nac. Obras contra secas, 39:21-31, 1981.

ANEXOS

ANEXO 1:

Coeficiente de Correlação entre as variáveis analisadas em estudo mensal no açude Roque, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008, a 5% de significância

Parâmetro	Tranps (m)	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/l)	Alcal (mg/l)	P-total (µg/l)	P- orto (µg/l)	NO ₃ ⁻ (µg/l)	NO ₂ ⁻ (µg/l)	NH ₄ ⁺ (µg/l)	Clor a (µg/l)	PP (mm)
Transp (m)	1,00												
Ph	0,09	1,00											
CE (µS/cm)	-0,58	0,18	1,00										
T (°C)	0,37	-0,07	-0,49	1,00									
OD (mg/l)	0,13	-0,41	0,04	-0,33	1,00								
Alcal (mg/l)	0,27	-0,14	0,22	0,18	0,18	1,00							
P - total (µg/l)	-0,83	-0,12	0,21	0,06	-0,40	-0,12	1,00						
P- orto (µg/l)	-0,57	0,18	0,05	-0,20	-0,12	-0,60	0,53	1,00					
NO ₃ ⁻ (µg/l)	-0,42	-0,11	0,05	-0,74	0,16	-0,49	0,21	0,52	1,00				
NO ₂ ⁻ (µg/l)	-0,29	-0,17	0,39	0,13	0,24	0,20	0,23	-0,10	-0,19	1,00			
NH ₄ ⁺ (µg/l)	-0,71	-0,14	0,30	-0,63	0,30	-0,42	0,43	0,70	0,71	-0,17	1,00		
Clor a (µg/l)	-0,33	-0,54	0,20	-0,24	0,15	-0,06	0,23	0,45	0,43	0,01	0,45	1,00	
P P (mm)	-0,38	-0,30	0,13	0,24	0,00	0,13	0,56	0,54	0,02	0,40	0,20	0,68	1,00

ANEXO 2:

Coeficiente de Correlação entre as variáveis analisadas em estudo mensal no açude Bola I, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008, a 5% de significância.

Parâmetro	Tranps (m)	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/l)	Alcal (mg/l)	P-total (µg/l)	P- orto (µg/l)	NO ₃ ⁻ (µg/l)	NO ₂ ⁻ (µg/l)	NH ₄ ⁺ (µg/l)	Clor a (µg/l)	Vol (%)	PP (mm)
Transp (m)	1,00													
Ph	-0,27	1,00												
CE (µS/cm)	-0,79	0,30	1,00											
T (°C)	0,20	0,09	-0,50	1,00										
OD (mg/l)	0,11	-0,12	-0,33	0,11	1,00									
Alcal (mg/l)	-0,76	0,33	0,96	-0,48	-0,46	1,00								
P - total (µg/l)	-0,16	0,68	0,07	0,12	-0,21	0,08	1,00							
P- orto (µg/l)	-0,35	0,59	0,23	-0,01	-0,13	0,21	0,66	1,00						
NO ₃ ⁻ (µg/l)	-0,05	0,15	0,07	0,11	-0,28	0,07	0,23	0,01	1,00					
NO ₂ ⁻ (µg/l)	0,53	-0,01	-0,69	0,70	-0,16	-0,63	0,20	0,07	0,01	1,00				
NH ₄ ⁺ (µg/l)	0,14	-0,27	0,09	-0,54	-0,04	0,06	-0,02	0,16	-0,31	-0,06	1,00			
Clor a (µg/l)	-0,70	0,13	0,65	-0,31	0,10	0,60	-0,19	0,01	0,03	-0,72	-0,25	1,00		
Volume (%)	0,10	0,26	-0,19	0,36	-0,01	-0,20	0,56	0,21	-0,10	0,40	0,23	-0,52	1,00	
P P (mm)	0,79	-0,36	-0,98	0,49	0,38	-0,99	-0,10	-0,25	-0,03	0,64	-0,10	-0,64	0,17	1,00

ANEXO 3:

Coeficiente de Correlação entre as variáveis analisadas em estudo mensal no açude Luiz Heleno, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008, a 5% de significância.

Parâmetro	Tranps (m)	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/l)	Alcal (mg/l)	P-total (µg/l)	P- orto (µg/l)	NO ₃ ⁻ (µg/l)	NO ₂ ⁻ (µg/l)	NH ₄ ⁺ (µg/l)	Clor a (µg/l)	Volum e (%)	PP (mm)
Transp (m)	1,00													
Ph	0,29	1,00												
CE (µS/cm)	-0,50	-0,75	1,00											
T (°C)	-0,12	-0,65	0,21	1,00										
OD (mg/l)	0,12	0,11	-0,15	-0,44	1,00									
Alcal (mg/l)	0,31	-0,47	0,44	-0,04	0,33	1,00								
P - total (µg/l)	-0,88	-0,41	0,61	0,27	-0,38	-0,15	1,00							
P- orto (µg/l)	-0,91	-0,54	0,67	0,26	0,04	-0,09	0,78	1,00						
NO ₃ ⁻ (µg/l)	-0,49	-0,37	0,28	0,49	-0,29	-0,49	0,31	0,63	1,00					
NO ₂ ⁻ (µg/l)	0,35	-0,01	0,20	-0,52	0,55	0,78	-0,32	0,18	-0,41	1,00				
NH ₄ ⁺ (µg/l)	-0,82	-0,22	0,50	-0,03	-0,02	-0,33	0,54	0,80	0,56	-0,25	1,00			
Clor a (µg/l)	-0,83	-0,03	0,13	-0,08	0,22	-0,41	0,60	0,77	0,59	-0,28	0,66	1,00		
Vol	0,89	0,39	-0,58	-0,16	0,20	0,35	-0,87	-0,84	-0,51	0,43	-0,72	-0,71	1,00	
PP(mm)	-0,48	-0,51	0,31	0,18	0,09	0,08	0,50	0,52	0,48	-0,15	0,25	0,62	-0,55	1,00

ANEXO 4:

Coeficiente de Correlação entre as variáveis analisadas em estudo mensal no açude Namorados, no período de setembro de 2006 a fevereiro de 2008, a 5% de significância.

Parâmetro	Tranps (m)	pH	CE (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/l)	Alcal (mg/l)	P-total (µg/l)	P- orto (µg/l)	NO ₃ (µg/l)	NO ₂ (µg/l)	NH ₄ (µg/l)	Clor a (µg/l)	Vol (%)
Transp (m)	1,00												
Ph	-0,31	1,00											
CE (µS/cm)	-0,65	0,41	1,00										
T (°C)	0,48	0,02	-0,19	1,00									
OD (mg/l)	-0,21	-0,42	-0,04	-0,32	1,00								
Alcal (mg/l)	-0,33	0,42	0,62	0,28	-0,17	1,00							
P - total (µg/l)	-0,71	0,17	0,13	-0,41	0,12	0,05	1,00						
P- orto (µg/l)	-0,47	0,36	0,01	-0,27	0,19	-0,01	0,72	1,00					
NO ₃ ⁻ (µg/l)	-0,57	0,48	0,28	-0,15	0,07	0,13	0,56	0,52	1,00				
NO ₂ ⁻ (µg/l)	-0,01	-0,13	-0,14	0,06	0,28	-0,17	0,28	-0,03	-0,19	1,00			
NH ₄ ⁺ (µg/l)	-0,67	0,28	0,15	-0,58	0,33	-0,03	0,79	0,75	0,51	0,03	1,00		
Clor a (µg/l)	0,21	-0,08	0,29	0,09	0,08	0,27	-0,71	-0,37	-0,43	-0,45	-0,46	1,00	
Vol (%)	0,54	0,53	-0,68	-0,10	-0,03	-0,86	-0,21	-0,15	-0,27	0,02	-0,39	-0,17	1,00

ANEXO 5:

Resultados da ANOVA realizada para estabelecer a significância das variações espaço-temporais dos parâmetros analisados no açude Luiz Heleno, nos ciclos nictemerais de dezembro de 2006 (seco) e de maio de 2007 (chuvoso), a 5% de significância.

Período	Ciclo de dezembro de 2006 (Seco)			Ciclo de maio de 2007 (Chuvoso)			Seco e Chuvoso		
	Dia/noite	F	p	Dia/noite	F	p	Dia/noite e Prof.	F	p
T °C	Dia/noite	3.529	0,0012	Dia/noite	2.756	0,0018	Dia/noite e Prof.	1.566	0.0001
	Prof.	0.4184	0.6628	Prof.	0.3996	0.675			
pH	Dia/noite	1.499	0,7815	Dia/noite	3.031	0,0001	Dia/noite e Prof.	3.965	0.0001
	Prof.	9224	0.4112	Prof.	0.1728	0.8424			
CE (µS/cm)	Dia/noite	1.117	0,0001	Dia/noite	18.675	0.2018	Dia/noite e Prof.	2.501	0.0001
	Prof.	0.6122	0.5504	Prof.	1.035	0.3707			
Alca. (µg/L)	Dia/noite	1.629	0.3222	Dia/noite	2.873	0.7151	Dia/noite e Prof.	17.431	0.0001
	Prof.	1.67	0.2094	Prof.	0.3776	0.6895			
OD (mg/L)	Dia/noite	2.072	0.6072	Dia/noite	1.540	0.102	Dia/noite e Prof.	1.971	0.0583
	Prof.	2.974	0.0702	Prof.	0.1209	0.8867			
NO ₂ ⁻ (µg/L)	Dia/noite	5.091	0.3786	Dia/noite	9.198	0.7216	Dia/noite e Prof.	28.795	0.0001
	Prof.	0.2461	0.7838	Prof.	1.199	0.3189			
NO ₃ ⁻ (µg/L)	Dia/noite	4.256	0.6661	Dia/noite	1.189	0.2645	Dia/noite e Prof.	36.764	0.0001
	Prof.	1.626	0.2176	Prof.	0.188	0.8298			
NH ₄ ⁺ (µg/L)	Dia/noite	15.428	0.4247	Dia/noite	1.581	0.4131	Dia/noite e Prof.	127.16	0.0001
	Prof.	1.287	0.2945	Prof.	0.4455	0.6457			
Porto (µg/L)	Dia/noite	1.185	0.3219	Dia/noite	3.083	0.2120	Dia/noite e Prof.	0.6329	0.0001
	Prof.	0.2922	0.7492	Prof.	2.424	0.1099			
Clor a (µg/L)	Dia/noite	2.426	0.7046	Dia/noite	1.787	0.9872	Dia/noite e Prof.	8.868	0.0001
	Prof.	0.0918	0.9126	Prof.	1.947	0.1646			

ANEXO 6:

Resultados da ANOVA realizada para estabelecer a significância das variações espaço-temporais dos parâmetros analisados no açude Namorados, nos ciclos nictemerais de dezembro de 2006 (seco) e de maio de 2007 (chuvoso), a 5% de significância.

Período	Ciclo de dezembro de 2006 (Seco)			Ciclo de maio de 2007 (Chuvoso)			Seco e Chuvoso		
	Dia/noite	f	p	Dia/noite	f	P	Dia/noite e Prof.	f	p
T °C	Dia/noite	4.615	0.1780	Dia/noite	10.151	0.153	Dia/noite e Prof.	3.736	0.0249
	Prof.	3.270	0.0555	Prof.	0.1942	0.8248			
pH	Dia/noite	1.159	0.1573	Dia/noite	4.687	0.5930	Dia/noite e Prof.	1.936	0.1936
	Prof.	10.317	0,0006	Prof.	0.08118	0.9223			
CE (µS/cm)	Dia/noite	596.34	0.167	Dia/noite	2.445	0.3508	Dia/noite e Prof.	46.834	0.9930
	Prof.	0.8100	0.4566	Prof.	1.878	0.1746			
Alca. (µg/L)	Dia/noite	1.427	0.3637	Dia/noite	4.686	0.4265	Dia/noite e Prof.	7.727	0.0001
	Prof.	0.01045	0.9896	Prof.	2.621	0.934			
OD (mg/L)	Dia/noite	2.804	0.2394	Dia/noite	5.192	0.1685	Dia/noite e Prof.	3.658	0.0003
	Prof.	7.513	0,0029	Prof.	1.609	0.2209			
NO ₂ ⁻ (µg/L)	Dia/noite	1.290	0.4415	Dia/noite	1.058	0.4489	Dia/noite e Prof.	4.500	0.0001
	Prof.	0.3837	0.6854	Prof.	0.1096	0.8967			
NO ₃ ⁻ (µg/L)	Dia/noite	1.338	0.6484	Dia/noite	1.779	0.1191	Dia/noite e Prof.	1.574	0.0001
	Prof.	0.2074	0.8141	Prof.	0.8911	0.4234			
NH ₄ ⁺ (µg/L)	Dia/noite	3.580	0.1296	Dia/noite	1.309	0.5891	Dia/noite e Prof.	14.180	0.0001
	Prof.	0.4562	0.6391	Prof.	0.9160	0.4137			
Porto (µg/L)	Dia/noite	2.337	0.6024	Dia/noite	1.020	0.034	Dia/noite e Prof.	159.01	0.0001
	Prof.	1.874	0.1752	Prof.	0.08873	0.1752			
Clor a (µg/L)	Dia/noite	107.94	0.1690	Dia/noite	2.785	0.7278	Dia/noite e Prof.	81.710	0.0362
	Prof.	0.5865	0.5640	Prof.	1.160	0.3305			

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)