



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**RONALDO JUSTINO DE ARAUJO JÚNIOR**

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS NÍVEIS TRÓFICOS DO AÇUDE  
EPITÁCIO PESSOA, SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

**Campina Grande**

**2009**

RONALDO JUSTINO DE ARAUJO JÚNIOR

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS NÍVEIS TRÓFICOS DO AÇUDE EPITÁCIO  
PESSOA, SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Área de Concentração:** Ciência Ambiental

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dra. Célia Regina Diniz

**Co-Orientador:** Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa

Campina Grande

2009

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na sua forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

A663e Araújo Júnior, Ronaldo Justino de.  
A evolução temporal dos níveis Tróficos do açude e Epitácio Pessoa, semi-árido paraibano [manuscrito] / Ronaldo Justino de Araújo Júnior. – 2009.  
70 f. : il. color.

Digitado

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, 2009.

“Orientação: Prof. Dra. Célia Regina Diniz, Departamento de Enfermagem”.

1. Água – Qualidade 2. Semi-árido. 3. Índice do Estado Trófico  
I. Título.

22. ed. CDD 553.7

RONALDO JUSTINO DE ARAUJO JÚNIOR

**EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS NÍVEIS TRÓFICOS DO AÇUDE EPITÁCIO  
PESSOA, SEMI-ÁRIDO PARAIBANO**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Célia Regina Diniz – Orientadora  
Universidade Estadual da Paraíba

---

Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa – Co-Orientador  
Universidade Estadual da Paraíba

---

Profa. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega - Examinadora  
Universidade Federal da Paraíba

---

Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos - Examinadora  
Universidade Estadual da Paraíba

## **DEDICO**

*A meus Pais (Ronaldo e Rosa) e irmã (Juliana),*

*.....se cheguei até onde estou foi porque vocês me cercaram com amor, carinho e dedicação sem medidas, nunca deixando desvanecer a esperança, pagando um alto preço para que eu conseguisse alcançar este sonho, o qual muitas vezes me pareceu impossível....mas conseguimos .....vencemos.*

*Cleidys*

*a verdade do seu amor e dedicação..... onde suas palavras sempre semearam paz nas horas difíceis.....você é de valor imensurável.....*

*A todos que contribuíram com a conquista de mais esta vitória.....!!!*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço a ti Senhor por fazer firmes os meus passos, sustentar a minha fé, e sobre tuas mãos guardares a minha vida, e por ter conseguido conquistar mais este título em minha carreira.*

*À Universidade Estadual da Paraíba, e Coordenação do Programa Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental pela formação acadêmica e profissional...*

*Ao Laboratório de Ecologia Aquática - LEAq pela execução e processamento das análises.*

*Ao Programa Ecológico de Longa Duração - PELD UFPB, pelo apoio logístico, essencial para realização das campanhas...*

*A amiga e orientadora professora Célia Regina Diniz pela dedicação e determinação fundamentais a execução deste trabalho, pela orientação e incentivo, por cada observação tão pertinente ao nosso estudo. Foi um verdadeiro privilégio ser orientado por você... Célia, você é parte fundamental nessa conquista...*

*Ao amigo, irmão, e co-orientador professor José Etham, pela participação ativa neste trabalho, por me ajudar nas horas de dúvidas. Amigão jamais irei esquecer as oportunidades e o incentivos, do LEAq, nem de cada uma das portas que se abriram...você é parte fundamental no meu sucesso...*

*A professora Beatriz Ceballos pela participação na Banca de Avaliação e incentivo constante, por me conceder a oportunidade de participar dos programas de iniciação científica e apoio técnico, e ter me ensinado mais do que simples palavras... Bia agradeço-te de coração...*

*A professora Cláudia Coutinho Nóbrega pela participação como avaliadora externa e contribuições em todas as etapas do programa do Mestrado.*

*Aos meus colegas de turma no MCTA, Carol, Laryssa, Danuza, Deoclécio, Silvia, Patrícia, Bruno, Fabrício, Chico, Raynner, Rita, Silene e Ulisses pelas horas compartilhadas de aprendizado e de descontração...*

*Aos meus inesquecíveis companheiros de batalha no LEAq, Gilberto, Gabi, Janiele, Bruno, Raquel, Patrícia, Klívia, Eline, Daniel, Adriano, Alessandra, Rosa e a todos os outros que fazem deste grupo de pesquisa, pelo acolhimento e aprendizado compartilhado com tanta alegria...*

*Aos colegas funcionários da UEPB, Laércio, Raminho, Iran, Marcônio, Kerry, Rodrigo, Wilton e tantos outros, pelos momentos de descontração e pela companhia e pronta disposição em resolver os pormenores diários da nossa missão...*

*A todos aqueles que de alguma forma contribuíram não apenas para a realização direta deste trabalho, mas aqueles que estiveram presentes a cada dia durante este processo...*

*Muito Obrigado!!!!*

## RESUMO

O processo de eutrofização nos corpos aquáticos, resultante das atividades antropogênicas, constitui um dos problemas mais graves de degradação da qualidade da água, limitando seu uso para diversos fins. A avaliação do estado trófico tem produzido resultados satisfatórios para o manejo dos recursos hídricos. Esse estudo teve como objetivos estudar a qualidade da água do açude Epitácio Pessoa - PB entre os anos de 1989 a 2008 e avaliar a tendência da evolução dos níveis tróficos. As informações desse estudo foram provenientes da base de dados do Laboratório de Ecologia Aquática – LEAq da Universidade Estadual da Paraíba no período de 2005 a 2008 e de teses de doutorado desenvolvidas entre 1989 e 2003. A temperatura da água variou entre 23,6°C e 29,6°C, com maiores valores entre 2003 e 2008. O pH médio variou entre 7,4 e 9,11 mais elevado na estiagem. A Condutividade Elétrica esteve mais alta entre 2002 e 2003 (525µS/cm a 633µS/cm), quando o volume armazenado no açude foi reduzido a 35,4% da capacidade. As maiores concentrações de oxigênio dissolvido, ocorreram entre 1989 e 1991 (médias > 8,0mg/L). As concentrações médias de nitrogênio amoniacal foram mais elevadas entre 1991 e 2003, período em que o açude contava com menor volume de água. Os nitratos foram mais elevados entre 1989 e 2003, com diminuição entre 2005 e 2006 resultante do aporte de grande volume de água. O fósforo total variou entre 4 µg/L e 125 µg/L, mais elevado entre 1991 e 2003. Entre 1989 e 1991 a clorofila “a” apresentou os maiores valores médios nas épocas chuvosas, entre 3,3 µg/l e 6,7 µg/l. A partir da chuva 3 (2002), as maiores concentrações ocorreram na estiagem. O açude Epitácio Pessoa classificou-se como oligo-mesotrófico (1989 – 1991), mesotrófico (2002 – 2003), oligotrófico (2005 – 2007) e oligo-mesotrófico (2008), evidenciando um maior gradiente trófico no período de maior redução do volume, repercutindo no aumento das concentrações dos nutrientes. As variáveis que melhor correlacionaram-se com as variações do IET-Médio, foram o fósforo total, o ortofosfato solúvel e a transparência. As informações geradas nesse estudo poderão subsidiar ações futuras de planejamento e gerenciamento das águas do açude Epitácio Pessoa, importante fonte de água para consumo humano no Estado da Paraíba.

**Palavras-chave:** Evolução Temporal da Qualidade de Água. Índice do Estado Trófico. Açudes do Trópico Semi-árido.

## ABSTRACT

The eutrophication process on water bodies, resulting of anthropogenic activities, is one of more serious problems of degradation of water quality, limiting its use for various purposes. The evaluation of trophic state has produced satisfactory results for the management of water resources. This study aimed to study the water quality of Epiácio Pessoa dam – PB, between the years 1989 to 2008 and assess the trend of the evolution of trophic levels. The information in this study were from the database of the Laboratory of Aquatic Ecology – LAE of Paraíba State University on the period 2005 to 2008 and Ph.D. theses developed between 1989 and 2003. The water temperature ranged between 23.6 C and 29.6 ° C, with higher values between 2003 and 2008. The average pH ranged between 7.4 and 9.11 higher in the dry season. The electrical conductivity was highest between 2002 and 2003 (525µS/cm the 633µS/cm), when the volume stored in the reservoir was reduced to 35.4% of capacity. The highest concentrations of dissolved oxygen occurred between 1989 and 1991 (average > 8.0 mg / L). The average concentrations of ammonia were higher between 1991 and 2003, during which the dam had less volume of water. Nitrates were higher between 1989 and 2003, decreased between 2005 and 2006 resulting in the delivery of large volumes of water. The total phosphorus ranged from 4 µg/L and 125 µg/L, higher between 1991 and 2003. Between 1989 and 1991 chlorophyll "a" had the highest values in the rainy season, between 3.3 µg/l and 6.7 µg/l. From the rain 3 (2002), the highest concentrations occurred in the dry season. The Epiácio Pessoa dam was classified as oligo-mesotrophic (1989 - 1991), mesotrophic (2002 - 2003), oligotrophic (2005 - 2007) and oligo-mesotrophic (2008), showing a higher trophic gradient in the period of greatest reduction in volume, reflecting the increased concentrations of nutrients. The variables that correlated with changes in STI-average, were the total phosphorus, soluble orthophosphate and transparency. The information generated in this study could support future action planning and management of the waters of the Epiácio Pessoa dam, a major source of drinking water in the state of Paraíba.

**Key-words:** Temporal Evolution of Water Quality. Trophic State Index. Dams in Semi-Arid Tropics.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<b>Figura 3.1</b>	Localização geográfica e vista parcial do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB.....	29
<b>Tabela 3.1</b>	Épocas analisadas e seus respectivos períodos de amostragem, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), 1989-2008.....	30
<b>Tabela 3.2</b>	Parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados, metodologias e referência, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), 1989 a 2008.....	30 -31
<b>Figura 4.1</b>	Variação do volume de água acumulado e da precipitação pluviométrica no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB, 1989-2009.....	34
<b>Tabela 4.1</b>	Estatística descritiva dos valores dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do açude Epitácio Pessoa – PB, nos períodos: setembro de 1989 a julho de 1991 (CEBALLOS, 1995) e maio de 2002 a março de 2003 (DINIZ, 2005).....	35-36
<b>Figura 4.2</b>	Gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de Temperatura da Água, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido nos anos de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), 2002 a 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPB) no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos e seca (Sc) e de chuva (Ch). .....	37
<b>Figura 4.3</b>	Gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de Amônia, Nitratos, Fósforo Total e Ortofosfato Solúvel nos anos de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), 2002 a 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPB) no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos e seca (Sc) e de chuva (Ch).....	38
<b>Figura 4.4</b>	Gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de clorofila “a” nos anos de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), 2002 a 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPB) no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos e seca (Sc) e de chuva (Ch). .....	39
<b>Figura 4.5</b>	Valores médios de transparência da água nos períodos no	

	período de 2002 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	40
<b>Figura 4.6</b>	Varição média da Temperatura da Água e Volume, no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	42
<b>Figura 4.7</b>	Varição média do pH e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	43
<b>Figura 4.8</b>	Varição média da Condutividade Elétrica (CE) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	45
<b>Figura 4.9</b>	Varição média de Oxigênio Dissolvido (OD) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	47
<b>Figura 4.10</b>	Varição média do Nitrogênio Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) e Volume no período de 1991 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	48
<b>Figura 4.11</b>	Varição média do Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	49
<b>Figura 4.12</b>	Varição média do Fósforo Total (P-tot) e Volume no período de 1991 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	51
<b>Figura 4.13</b>	Varição média do Ortofosfato Solúvel (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	52
<b>Figura 4.14</b>	Varição média da Clorofila "a" e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.....	53
<b>Figura 4.15</b>	Varição do estado trófico no açude Epitácio Pessoa em função do Volume nos anos entre 2002 e 2008.....	54
<b>Tabela 4.2</b>	Classificação do Estado Trófico do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB, usando o índice de Carlson modificado, entre 2002 e 2008.....	54
<b>Figura 4.16</b>	Regressão Linear entre o IET-Médio e o Volume das águas acumuladas no açude Epitácio Pessoa, nos anos entre 2002 e 2008.....	55

**Figura 4.17** Regressões Lineares entre o IET-Médio e os índices calculados para o Fósforo Total, Ortofosfato Solúvel, Clorofila “a” e Transparência do açude Epitácio Pessoa – PB..... 56

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
	<b>3.1 Área de Estudo .....</b>	<b>28</b>
	<b>3.2 Metodologia.....</b>	<b>29</b>
	<b>3.3 Tratamento estatístico dos dados.....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSOES.....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A deficiência de instalações de abastecimento de água para as populações, em termos de quantidade e qualidade, constitui uma das maiores dívidas sociais ainda persistentes no mundo (HELLER, 2006), em função da escassez da água e da deterioração da qualidade dos mananciais.

As atividades humanas, respaldadas em um estilo de vida e desenvolvimento às custas da degradação ambiental, têm determinado alterações significativas na disponibilidade de diversos recursos naturais. A água, em alguns territórios, tem se tornado um recurso escasso e com qualidade comprometida (BRASIL, 2006). Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) apontam que em algumas décadas, cerca de dois bilhões de pessoas serão atingidas pela escassez de água com características apropriadas para o consumo (THOMAS, 2003).

Nos países em desenvolvimento essa problemática é agravada em razão da baixa cobertura da população com serviços de abastecimento de água com qualidade e em quantidade. No Brasil, 40,6 milhões de pessoas não têm acesso ao abastecimento de água fornecida por rede coletiva. Este contingente está mais concentrado na área rural, onde 47,6% da população sequer dispõem de água canalizada na propriedade ou no interior do domicílio (HELLER, 2006).

Este cenário é mais agravante no semi-árido nordestino que, periodicamente, apresenta problemas de escassez e de qualidade de água, onde os corpos aquáticos estão submetidos a processos de evaporação elevada que causam concentração de sais deteriorando sua qualidade. Por não possuírem sistemas de esgotamento ou drenagem, estes locais, lançam elevada carga poluidora nos corpos aquáticos, onde uma parte significativa da população rural utiliza estas águas para consumo humano sem tratamento prévio (LITTER; MANSIGLIA, 2001; LITTER; GONZALEZ, 2004).

Os aumentos das cargas de nitrogênio e fósforo são os principais fatores que atingem os ecossistemas aquáticos continentais que podem levar à criação de condições eutróficas nos corpos aquáticos, o que coloca em risco a manutenção da vida aquática e o uso deste recurso para o abastecimento

humano. Aliados a esses condicionantes acrescenta-se a expansão das áreas agrícolas, desmatamento e remoção das matas ciliares, que produzem modificações graves e irreversíveis no ambiente e na dinâmica natural dos ecossistemas aquáticos (REBOUÇAS, 2002; TUNDISI, 2003; VON SPERLING, 2005).

A eutrofização de águas leva ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, com conseqüente desequilíbrio e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lânticos. A elevada produtividade primária em corpos aquáticos significa provável presença de cianobactérias que podem liberar cianotoxinas.

Os principais efeitos da eutrofização são a ocorrência de um desequilíbrio do balanço de oxigênio na massa líquida predominando supersaturação na superfície e anoxia no fundo do corpo aquático (TUNDISI, 2001); elevados custos de tratamento da água potável e de saúde pública; gastos no gerenciamento, na recuperação, a necessidade de construir novos reservatórios, a redução da diversidade das espécies e o menor valor estético dos corpos hídricos (TUNDISI, 2001).

Diante do exposto, realizou-se um estudo para avaliar a evolução temporal da qualidade da água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) –PB, situado na região semi-árida, principal reservatório da Bacia do Rio Paraíba, bastante antropizada.

Nos últimos anos do século passado (1997-1999), o reservatório Epitácio Pessoa, passou por períodos com baixo volume de água, cerca de 15% de sua capacidade (novembro de 1999), que quase causaram o colapso do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande, a segunda maior do Estado da Paraíba e principal cidade abastecida por este reservatório (REGO; ALBUQUERQUE; RIBEIRO., 2000; ALBUQUERQUE et al., 2004). Os piores índices de qualidade das águas também foram observados neste período (GALVÃO et al., 2002), onde o açude ficou vulnerável às ações antrópicas de sua bacia, agravadas com os aumentos da demanda, provocando no reservatório crises qualitativa e quantitativa (GUIMARÃES et al., 2005).

Nesse sentido, o objetivo geral desse estudo foi analisar a variação temporal da qualidade da água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) -PB,

servindo como base de dados para nortear ações de manejo e gestão deste ecossistema aquático do semi-árido paraibano.

Os objetivos específicos foram:

- Estudar a qualidade da água do açude Epitácio Pessoa entre os anos de 1989 a 2008 com o intuito de avaliar a tendência da evolução dos níveis tróficos deste ecossistema com base nas variáveis biológicas, físicas e químicas avaliadas neste estudo.
- Organizar um banco de dados que subsidie medidas de gestão que permitam a manutenção e eventualmente a melhoria das características qualitativas desse ecossistema, importante fonte de água para consumo humano no Estado da Paraíba.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

O problema da disponibilidade de água é atualmente um tema discutido em todo mundo. Essa discussão passa pela avaliação quantitativa de disponibilidade hídrica bem como pela qualidade da água disponível para os seus diferentes usos (LAMPARELLI, 2004).

Para Pinheiro e Lima (2002) até recentemente, a expectativa da falta de água não era considerada um problema para a sociedade em geral. Sua abundância e pronta disponibilidade parecia se tratar de um recurso natural infinito e não havia maiores esforços voltados para o seu uso racional. As surpreendentes transformações do mundo atual globalizado têm levado a uma persistente discussão sobre a possibilidade concreta de colapso no abastecimento de água potável em muitos lugares do planeta.

A qualidade da água se tornou uma questão de interesse para a saúde pública no final do século XIX e início do século XX (SANCHES et al., 2007), sendo anteriormente associada apenas a aspectos estéticos e sensoriais, tais como a cor, o gosto e o odor (FREITAS; FREITAS, 2005).

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos que caracterizam a qualidade das águas sofrem grandes variações no tempo e no espaço, havendo necessidade de um programa de monitoramento sistemático para obter uma estimativa da variação da qualidade das águas superficiais (TOLEDO; NICOLELLA, 2002).

As atividades antropogênicas têm produzido efeitos negativos nos ecossistemas aquáticos ameaçando o desenvolvimento e dificultando a proteção ambiental. O processo de deterioração dos corpos aquáticos coloca em risco a manutenção da vida aquática e o uso deste recurso para o abastecimento humano, a menos que, nas próximas décadas, a água doce seja utilizada de forma mais eficiente (REBOUÇAS, 2002).

Dentre os principais fatores que atingem os recursos hídricos, destacam-se as alterações químicas produzidas pela entrada de substâncias tóxicas, nutrientes e as modificações biológicas resultantes da carga orgânica que atinge corpos aquáticos (GOMES, 2008).

Com a contínua degradação dos corpos hídricos, a população do planeta já enfrenta problemas com a falta de água, onde 1,3 bilhões de

pessoas não têm acesso à água potável; 2 bilhões de pessoas não têm acesso ao saneamento adequado e a diversidade global dos ecossistemas aquáticos vem sendo reduzida significativamente. Estima-se que em 2025, dois terços da população humana estarão vivendo em regiões com estresse de água (TUNDISI, 2003).

Entre as populações em condições catastróficas de escassez de água, destaca-se a Etiópia, onde apenas de 10 a 20% da população rural têm acesso a água potável; a África do Sul, onde cerca de 7 milhões de habitantes ainda não têm acesso à água potável num raio de 180 metros de suas residências e o Haiti, onde a falta de manejo adequado deixa mais de 75% da população sem acesso à água de qualidade. Este país apresenta um dos piores índices sociais do mundo, ocupando o último lugar (dentre 147 países), no ranking de saúde hídrica (MONTAIGNE, 2002).

Na América Latina, apesar dos avanços na cobertura de água e saneamento, 76,5 milhões de pessoas (15,4% da população) não têm acesso fácil a opções adequadas de abastecimento de água, 103,3 milhões não dispõem de redes de esgotamento sanitário e 53,9 milhões utilizam como fonte de abastecimento sistemas sem conexão domiciliar (10% da população). O percentual de população rural sem acesso adequado à água e saneamento é cinco vezes maior que na população urbana (ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE, 2001).

As deficientes condições sanitárias, no Brasil, verificadas em muitas das bacias hidrográficas, densamente e desordenadamente ocupadas, resultam na degradação generalizada dos recursos hídricos (MACEDO, 2004). É freqüente o lançamento de efluentes domésticos e industriais ricos em nutrientes, o carreamento de fertilizantes utilizados na lavoura e dejetos oriundos da criação de animais domésticos criados nas mediações de cursos de água, ou em locais sem infra-estrutura adequada (SANCHES et al., 2007).

No Brasil, há um déficit no fornecimento de água de 17,68% e um déficit de rede coletora de esgotos de 51,76%, sendo que 21,42% do saneamento, em alguns domicílios, ainda é feito por fossas sépticas (SANEAMENTO..., 2007). O déficit está localizado basicamente nos bolsões de pobreza, como favelas, periferias das cidades, na zona rural e no interior (HELLER, 2006).

Como conseqüência, ocorre o aumento das doenças de veiculação hídrica; a diminuição da água disponível per capita; o aumento no custo da produção de alimentos; limitações ao desenvolvimento industrial e agrícola, aumento dos custos de tratamento de água e comprometimento dos usos múltiplos (TUNDISI, 2003).

Pesquisas estimam que a deficiência de sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e de higiene é responsável pela morte anual de 2,2 milhões de pessoas nos países em desenvolvimento, correspondendo a 4% de todas as mortes. A maioria desses óbitos ocorre em crianças menores de cinco anos por doenças diarréicas (PRUSS et al., 2000; WHO, 2000).

A diarréia infantil é um importante problema de saúde em todo o mundo, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, devido, entre outros fatores, a inexistência ou precariedade dos serviços de saneamento (TEIXEIRA; HELLER, 2005). Essas doenças, especialmente quando associadas à desnutrição, podem enfraquecer as defesas imunes a ponto de contribuir com a morbi-mortalidade por outras causas (HELLER, 2006). Kosek, Bern e Guerrant (2003), consolidando publicações de diversos países para o período 1992 – 2000 estimaram uma incidência anual de 3,2 casos de diarréias por criança menor de cinco anos. Quanto à mortalidade, a ela atribuída, estima-se em 2,5 milhões de mortes em menores de cinco anos, o que representaria 21% do total de óbitos registrados nesta faixa etária. Estimativas mais recentes de 2000 – 2003 mostraram que a diarréia estava entre as seis causas que explicavam 73% das 10,6 milhões de mortes em crianças menores de cinco anos, contribuindo com 18% destas (BRYCE et al., 2005).

Entre os efeitos da poluição da água, a eutrofização destaca-se como o que apresenta as mais complexas características, em função de sua base essencialmente biológica. O conceito de eutrofização relaciona-se com uma elevada fertilização do ambiente aquático, decorrente da presença de nutrientes (BRASIL, 2006), deflagrada pela instalação e persistência de atividades antrópicas nas áreas das bacias de drenagem dos corpos aquáticos.

A ocorrência de processos de eutrofização em inúmeros reservatórios, dificulta a tomada de decisão pelo poder público de quais reservatórios encontram-se em situação mais crítica para implementação de ações

emergenciais de controle e reversão desse processo (FIGUEIREDO et al., 2007).

Bartram et al. (1999) estimam que cerca de 41% dos lagos e represas localizados na América do Sul poderiam ser considerados eutrofizados onde cepas de cianobactérias potencialmente tóxicas poderiam estar no ambiente inviabilizando seu uso para diversos fins.

Naturalmente, os sistemas aquáticos passam por um processo de enriquecimento de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, como resultado do aporte de material orgânico carregadas pelas chuvas e das sucessões biológicas ao longo de centenas de anos. A esta tendência dinâmica dá-se o nome de envelhecimento natural ou eutrofização (ESTEVES, 1998; ROLAND; CESAR; MARINHO, 2005). Esse processo contínuo de enriquecimento das águas pode ser definido como a transformação de um ambiente pobre em nutrientes (oligotrófico), para um meio rico nestes (eutrófico) (MARGALEF, 1983).

O enriquecimento pode ser provocado artificialmente, através de processos que envolvem práticas humanas. A eutrofização antrópica, cultural ou artificial resulta no aumento excessivo da fertilidade de um ecossistema aquático em conseqüência da remoção da mata nativa e ciliar e do aporte alóctone de dejetos orgânicos acima da capacidade de autodepuração e ciclagem natural desses elementos em cada ambiente (ESTEVES, 1998; MINELLA, 2005; ROLAND; CESAR; MARINHO, 2005). Fatores climatológicos tais como as altas temperaturas, juntamente com o grande aporte de nutrientes, têm sido apontados como responsáveis no avanço deste processo (KAMOGAE; HIROOKA, 2000).

A conseqüência imediata da eutrofização é a ocorrência do desequilíbrio do balanço de oxigênio na massa líquida, predominando supersaturação no epilímnio e anoxia no fundo do corpo aquático, tornando a água imprópria ao consumo humano (TUNDISI, 2001).

Em função da eutrofização, muitos reservatórios e lagos no mundo já perderam sua capacidade de abastecimento de populações, de manutenção da vida aquática e de recreação (PINTO-COELHO; ARAÚJO, 1997). Na América Latina existem diversos exemplos de ambientes aquáticos eutrofizados e que são internacionalmente conhecidos. Muitos deles apresentam inclusive

intensos programas de monitoramento, cujos resultados constituem-se em uma excelente contribuição à compreensão dos mecanismos de desenvolvimento da eutrofização em climas quentes. Dentre os exemplos mais conhecidos podem ser citados o Lago de Amatitlán (Guatemala), Lago Managua ou Xolotlán (Nicarágua), Lago de Valencia (Venezuela), Lago de Ypacarai (Paraguai) (VON SPERLING, 2000).

No Brasil, existem exemplos de diversos casos de eutrofização, destacando-se o lago Paranoá (Brasília), a lagoa da Pampulha (Belo Horizonte), a represa Billings (São Paulo) a represa de Guaraparinga (São Paulo) e a lagoa do Taquaral (Campinas) (PIEDRAHITA, 2002).

Há um número crescente de trabalhos brasileiros que demonstram a gravidade do problema, a exemplo dos estudos de Shafer (1988) em 38 lagoas costeiras do Rio Grande do Sul; Pinto-Coelho, Pinto-Coelho e Araújo (1997) na lagoa Pampulha, Starling (2003) no lago Paranoá, entre outros.

Na Paraíba destacam-se alguns trabalhos, a exemplo de Ceballos et al. (1990), König, Ceballos e Castro (1990), Ceballos (1995), Ceballos, Diniz e König (1998), König et al. (1999), Tavares (2000), Barbosa (2002), Barbosa e Mendes (2004), Diniz (2005), Lins (2006) que enfocaram a tipologia de ecossistemas aquáticos com base nas concentrações de nutrientes e nos níveis de eutrofização dos açudes especialmente dos açudes Velho (Campina Grande), Epitácio Pessoa, Bodocongó (Campina Grande), São Salvador (Sapé) Taperoá (Taperoá) e Acauã (Itatuba).

Podem ser destacadas várias conseqüências resultantes da eutrofização dos corpos aquáticos como a contaminação por microrganismos patogênicos (CEBALLOS, 1995; CEBALLOS et al., 1998; KONIG et al., 1999); mortandade e doenças severas de organismos aquáticos e terrestres (FRAZIER et al., 1998), e até de seres humanos em casos extremos (SANCHES et al., 2007). O aumento nos custos do tratamento da água para o abastecimento (FERNANDES; LAGOS, 2003) e proliferação de macrófitas que podem acarretar prejuízo aos diversos usos dos recursos hídricos, tais como a obstrução de canais de irrigação, restrições à navegação e atividades de recreação (CANCIAN; CAMARGO; SILVA, 2009), são alguns dos problemas encontrados em ambientes eutróficos.

Atrelado a esse evento estão às florações de cianobactérias decorrentes da síntese de diversos metabólitos potencialmente tóxicos a variados organismos (BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOLICA, 2003). A produção de toxinas ocorre em períodos de “bloom”, e é caracterizada pela intensa proliferação de microalgas, durante os meses favorecidos pela temperatura da água em torno de 22°C (KAMOGAE; HIROOKA, 2000).

Em climas tropicais, onde a temperatura e a intensidade de luz são intensas, florações de cianobactérias persistem durante o ano todo, favorecidos pela riqueza de nutrientes. A intensidade e duração dos “blooms” aumentam em águas eutróficas ou hipereutróficas estimuladas pelos resíduos domésticos, industriais e agrícolas (CARMICHAEL, 1996).

Toxinas de cianobactérias estão associadas a episódios de intoxicação de pássaros, peixes, animais selvagens, animais de criação, animais domésticos e, com menos frequência, de seres humanos (KAMOGAE; HIROOKA, 2000).

No Brasil há um histórico recente de registros de eventos de contaminação por cianobactérias (BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOLICA, 2003). Na cidade de Caruaru - Pernambuco, em 1996, ocorreu a morte de 60 pessoas pela detecção de microcistinas nos filtros da clínica de hemodiálise e em amostras no sangue dos pacientes (AZEVEDO et al., 2002). Os únicos processos pelos quais passavam as águas que abasteciam a clínica eram cloração e filtração em carvão ativado. As células das cianobactérias rompiam-se com o tratamento químico, liberando suas toxinas que não eram adsorvidas nos grãos do carvão ativado, pois estes já estavam saturados necessitando de regeneração. Análises confirmaram a presença de microcistinas no carvão ativado, no sangue e no fígado dos pacientes intoxicados (AZEVEDO, 1996).

O evento representou um marco dos estudos das cianobactérias em água para abastecimento não só no Brasil, como em todo o mundo, despertando a atenção para o efeito drástico de microcistina no sangue humano, incentivando a comunidade científica para o estudo de seu impacto no meio ambiente, ecologia e saúde (KAMOGAE; HIROOKA, 2000).

O incidente de Caruaru-PE, levou a homologação da Portaria Nº 1469/00 do Ministério da Saúde, substituída posteriormente pela Portaria 518/04 (BRASIL, 2004) que “estabelece os procedimentos e responsabilidades

relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” determina a análise de microcistina como parâmetro obrigatório de monitoramento de águas tratadas e recomenda o monitoramento de saxitoxina (neurotoxina) e cilindrospermopsina (hepatotoxina) nessas águas. Todas essas cianotoxinas podem ser letais e devem ser analisadas na água tratada quando confirmada a presença de florações tóxicas no reservatório de abastecimento (BITTENCOURT-OLIVEIRA; MOLICA, 2003).

Huszar e Silva (1999) em uma revisão sobre fitoplancton no Brasil nos últimos 50 anos, registraram que em cerca de 50% dos reservatórios estudados há predomínio de cianobactérias em períodos de maior biomassa e/ou dominância.

Diversos ecossistemas aquáticos eutrofizados no Brasil já apresentaram eventos de florações com cianobactérias, devido o lançamento do esgoto bruto.

No Paraná o reservatório do Irai-PR apresentou florações de *Microcistina aeruginosa*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Anabaena solitaria* (FERNANDES; LAGOS, 2003).

A cidade de Porto Alegre-RS capta água do Rio Guaíba, onde a floração da cianobactéria *Planktothrix* é conhecida desde a década de 70. Sérios problemas de cheiro e odor na água tratada surgiram nos últimos 5 anos (TSUKAMOTO; TAKAHASHI, 2007).

Em São Paulo, 3 milhões de habitantes são abastecidos com água das Represas Billings e Guarapiranga, cercadas por mais de 500 loteamentos e ocupações irregulares, cujo esgoto induz a floração de *Microcystis* (LORENZI, 2004). Estas florações já foram detectadas nos corpos aquáticos eutrofizados das cidades de São José do Rio Preto-SP, Pindorama-SP, Icem-SP e Buritama-SP (FONSECA, 2007).

No Rio de Janeiro, o rio Paraíba do Sul, após receber o esgoto das cidades situadas ao longo do Vale do Paraíba, provocou floração de cianobactérias tóxicas na área de captação (BARBOSA, 2007).

Em Brasília-DF, o Lago Paranoá, um dos principais mananciais a abastecer mais de 2 milhões de habitantes, é dominado pela cianobactéria tóxica *Cylindrospermopsis*. Em Minas Gerais, o esgoto de Belo Horizonte-MG e outras cidades, lançado sem tratamento, está provocando intensas florações,

principalmente no Rio das Velhas, no Rio São Francisco e no Rio Doce (TSUKAMOTO; TAKAHASHI, 2007).

No Ceará, o monitoramento da água de açudes nas bacias do Curu e Acaraú, que são mananciais de abastecimento humano, revelou concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo, preocupando o poder público e as populações usuárias das águas (FIGUEIREDO; VIEIRA; MOTA, 2006). De acordo com estudo realizado por Araújo et al. (2006), em vários pontos dos reservatórios Araras, Edson Queiroz e Jaibaras, localizados nestas bacias, havia evidente indicação de eutrofização destes corpos d'água. Figueiredo et al. (2006) consideraram o alto nível de vulnerabilidade do reservatório Edson Queiroz ao processo de eutrofização, considerando fatores de pressão relativos ao transporte de sedimentos na sua micro bacia, à carga de fósforo proveniente do esgotamento urbano, agricultura e aqüicultura e aspectos morfológicos dos açudes.

Na Paraíba, o reservatório de Acauã é o quarto maior em acumulação de água no Estado, com 253.000.000m<sup>3</sup>, recebe efluentes domésticos, agrícolas e industriais oriundos de sua bacia de drenagem e de seus tributários e desenvolve atividade de piscicultura intensiva. Estas perturbações de origem antrópica têm influenciado no estado trófico do reservatório, sendo detectados desde o primeiro ano de funcionamento até os dias atuais estágios avançados de eutrofização, com registros de florações de *Microcystis aeruginosa* e *Cylindrospermopsis raciborskii* (BARBOSA; MENDES, 2004; LINS, 2006; LINS et al., 2008).

Objetivando o acompanhamento desse processo nos corpos aquáticos, alguns índices são utilizados para determinação do estado trófico. Há abordagens diversas na interpretação do estado trófico dos corpos aquáticos.

Os corpos aquáticos, em função da concentração de nutrientes e/ou das manifestações ecológicas decorrentes destas concentrações, podem ser classificados como oligotrófico (baixa produtividade), mesotrófico (produtividade intermediária) e eutrófico (elevada produtividade) (MARGALEF, 1983). Outros sistemas de classificação incluem outras classes como ultra-oligotrófico e hipertrófico (CARLSON, 1977).

Entende-se por produtividade de um corpo d'água, a sua capacidade de propiciar e sustentar o desenvolvimento da vida (TOLEDO JUNIOR et al.,

1983). Na prática, a caracterização do estado trófico é quantificada através de variáveis que se relacionam diretamente com o processo de eutrofização, em geral, clorofila a, a transparência das águas e as concentrações de nutrientes.

A caracterização do estado de trofia de corpos aquáticos tem como objetivo simplificar uma série de parâmetros, fáceis de entendimento pelo público e uma ferramenta utilizada para gerenciamento da qualidade de águas tanto para a comunidade científica, quanto para as autoridades relacionadas à saúde pública e ao saneamento (NAVAL; SILVA; SOUZA, 2004).

Os Índices de Estado Trófico (IET) foram inicialmente desenvolvidos com base na tipologia e dinâmica de corpos aquáticos de regiões de clima temperado, com estações climáticas anuais bem definidas. As primeiras classificações foram feitas pelo limnólogo sueco Einer Naumann (1919, 1929) e pelo Zoólogo August Thienemann (1925, 1931) (VOLLENWEIDER, 1968; CARLSON, 1977; OECD, 1982; SCHÄFER, 1985).

Os índices de Estado Trófico (IET) utilizam-se de algumas das variáveis, determinadas através de equações. Existem várias classificações que estabelecem diferentes níveis do estado trófico, entre elas destacam-se Vollenweider (1968), Carlson (1977), Dobson (1981) e OECD (1982) (CEBALLOS, 1995). Como estes limites foram estabelecidos para lagos de regiões temperadas, Salas e Martino, em 1991, publicaram um estudo realizado no Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais (CEPIS), ligado a Organização Mundial de Saúde (OMS) e revisado por eles em 2001, no qual é proposto um modelo trófico simplificado para fósforo, baseado em concentrações limites de fósforo e clorofila a, para lagos e reservatórios tropicais da América Latina e Caribe (LAMPARELI, 2004).

O IET proposto por Carlson (1977), possui dentre suas vantagens a simplicidade e objetividade dos resultados, mas sua principal limitação é o fato de ter sido desenvolvido com base em dados de reservatórios de regiões de clima temperado, o que pode restringir sua aplicação a regiões de clima tropical. Desta maneira, Toledo Junior et al. (1983) propuseram modificações na formulação matemática do IET de Carlson, visando adaptá-los às condições climáticas de ambientes tropicais com base em uma pesquisa realizada no reservatório de Barra Bonita- SP. Este método é um dos mais usados para rios e reservatórios tropicais, e baseia-se na biomassa fitoplanctônica presente,

considerando os parâmetros transparência da água, clorofila “a” fósforo total e ortofosfato solúvel (CETESB, 2006).

Lamparelli (2004) desenvolveu um índice para aplicação específica em reservatórios do Estado de São Paulo, sendo apropriada uma comparação entre os índices para saber suas diferenças e possibilidade de aplicação. O estado trófico de um meio aquático é geralmente estabelecido através de limites de parâmetros baseados na evolução do processo de eutrofização (GARCIA; GARCIA; LEITE, 2007).

Quanto mais se intensificam os usos dos corpos aquáticos e de suas bacias hidrográficas, mais importante se torna a realização sistemática de monitoramentos que permitam avaliar e caracterizar a qualidade das águas, com vistas a avaliação trófica. Estes estudos são relevantes na detecção e predição da dinâmica destes ambientes aquáticos, dos processos de eutrofização, bem como na busca de propostas de soluções que viabilizem o aumento da vida útil e minimizem os impactos sócio-ambientais nesses ecossistemas.

A preservação das águas exige uma ação planejada em longo prazo, das medidas de proteção, dado que a sua formação e renovação decorrem, naturalmente, ao longo de grandes períodos de tempo. Esses longos lapsos de tempo, necessários para a melhoria das situações, devem ser tomados em consideração no planejamento das medidas destinadas a alcançar um bom estado das águas superficiais e a inverter qualquer tendência significativa e sustentada de aumento da concentração de poluentes nas massas de água (BARBOSA; LOUSADA; HAIE, 2005).

Caso não seja controlado o aumento da entrada de nutrientes nos ambientes aquáticos, através das políticas de gestão dos recursos hídricos, é provável que outros episódios de intoxicação por cianotoxinas, como o de Caruaru-PE, ainda mais graves e generalizados venham a ocorrer.

A prevenção e o controle da poluição dos ecossistemas aquáticos tornam-se imperativos. Através disso, obtêm-se uma real informação da qualidade das águas e a definição do manejo a ser aplicado na bacia.

Nesse contexto, foi realizado um estudo no açude Epitácio Pessoa - PB que está localizado na zona rural do município de Boqueirão e abastece

diversas cidades do Estado da Paraíba (REGO; ALBUQUERQUE; RIBEIRO, 2000).

Construído pelo Governo Federal, através do Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS), o açude Epitácio Pessoa teve a obra iniciada em 1951 e, inaugurada em janeiro de 1957, fazendo parte de um grupo de reservatórios construído em todo Nordeste com o objetivo de regularizar o problema de abastecimento de água na região (BRITO; VIANA, 2008).

No entorno do reservatório há vastas áreas de antropismo. A vegetação nativa, que consiste em caatinga arbustivo-arbórea aberta também está presente em alguns trechos. A vegetação do entorno apresenta-se bastante descaracterizada, ali é uma área muito antropizada com 78,11% de antropismo. Em algumas áreas já não se identifica qual é a vegetação nativa. Ao redor do reservatório existem plantações de mamão, milho, de tomate, pimentão, banana, dentre outras (LUCENA, 2008).

No final da década de 80 e início dos anos 90, foram realizados por Ceballos (1995) os primeiros estudos sobre a tipologia do açude Epitácio Pessoa, intitulado “Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido” caracterizando-o como oligo-mesotrófico. A partir daí, outros trabalhos foram realizados na bacia hidrográfica deste corpo aquático a exemplo da utilização da diversidade do fitoplâncton como discriminador do nível trófico do açude (CEBALLOS; DINIZ; KONIG, 1996) e variabilidade da qualidade de suas águas (CEBALLOS et al., 1997).

Entre os anos de 1998 e 1999, devido à construção de inúmeras barragens à montante do açude, e uma seqüência de anos com baixa afluência associados a uma carência de gerenciamento operacional, o nível de suas águas alcançou níveis críticos. Em função dessa problemática, o Ministério Público Estadual, através da Ação Cautelar (nº 570 - Classe XII) de 25 de fevereiro de 1999 suspendeu toda e qualquer irrigação na referida bacia do Médio Paraíba, e determinou que a água ali existente seria usada exclusivamente para o consumo humano e animal. Rego, Albuquerque e Ribeiro (2000) e Rego et al. (2001) fizeram um estudo detalhado dessa crise com ênfase no abastecimento de água de Campina Grande – PB.

No início da década de 2000 os trabalhos, no açude Epitácio Pessoa, continuaram enfocando as características físicas, químicas e biológicas e a eutrofização (LINS; KONIG; CEBALLOS, 2002; RAMOS, 2003; DINIZ et al., 2004a; RAMOS et al., 2004). Paralelamente, surgem, no reservatório, os estudos dos ciclos nictemerais (24 horas) e verticais (coluna d'água) (PEDROSA et al., 2002; DINIZ et al., 2003a; 2003b; DINIZ et al., 2004b; DINIZ, 2005; DINIZ; BARBOSA; CEBALLOS, 2006) para avaliar a intensidade das modificações da qualidade da água ocorridas no mesmo dia, ao longo do ciclos anuais e na coluna d'água, fornecendo um quadro diagnóstico de suas condições ecológicas e a compreensão dos mecanismos de resposta do sistema aos estímulos internos e externos. Nesse mesmo período, foram feitas avaliações do balanço hídrico anual da bacia hidrográfica (GOMES FILHO et al., 2003; GALVÍNCIO, 2005) e caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude (GALVÍNCIO; SOUSA, 2004).

Através de dados de superfície fornecidos pela Companhia de águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) no período de 1988 a 2004 e dados mensais e nictemerais na coluna d'água de Diniz (2005) foram elaborados modelos de previsão de qualidade por Melo (2005) e Guimarães (2006).

Destacam-se ainda na década de 2000 estudos que realizaram um diagnóstico das atividades antropogênicas na bacia de drenagem (PEDROSA, 2004; LUCENA; 2008); aspectos de gestão do açude (GUIMARÃES et al., 2005; ALENCAR et al., 2008) e estrutura e funcionamento dos ecossistemas com ênfase na dinâmica da comunidade fitoplanctônica no reservatório Epitácio Pessoa (FRANÇA et al., 2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Áreas de Estudo

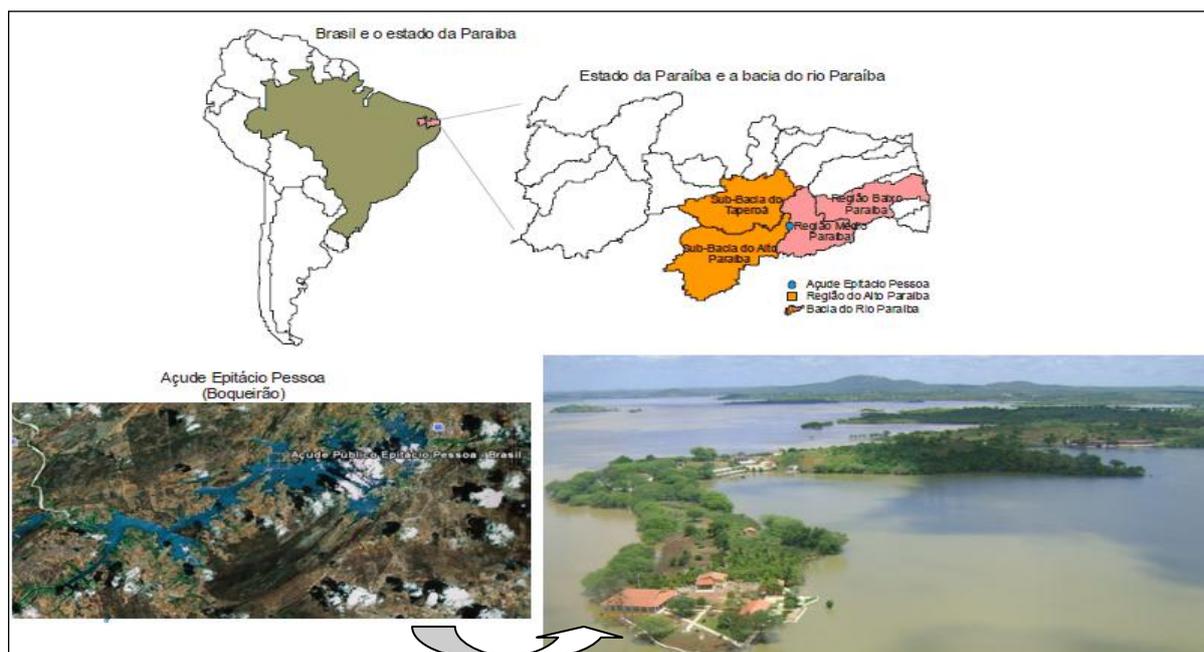
O Açude Epitácio Pessoa (7°29'20"S e 36°17'3"W), chamado de "Boqueirão" está localizado na sub-bacia do Alto Paraíba (6.756km<sup>2</sup>), uma das maiores bacias hidrográficas do Nordeste (GOMES FILHO et al., 2003), numa altitude de 420m (Figura 3.1). É utilizado para abastecimento humano, irrigação de culturas, dessedentação animal, recreação e turismo.

Foi construído pelo DNOCS entre 1952 e 1956 e serve como reservatório de abastecimento d'água de cerca de 20 municípios da região e de outros centros populacionais menores, rurais e urbanos (REGO; ALBUQUERQUE; RIBEIRO, 2000; PARAÍBA, 2003).

Segundo maior reservatório do Estado da Paraíba, o açude Epitácio Pessoa está localizado na zona fisiográfica do Cariri. A região da bacia em estudo é formada por rochas do período pré-cambriano. O tipo de solo predominante na região das sub-bacias do Taperoá e do Alto Paraíba é do tipo Bruno não-Cálcico de pouca espessura, que cobre todo cristalino existente na área de abrangência. Sob o ponto de vista taxionômico, a bacia apresenta uma associação de solos Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos e afloramentos. Os solos Litólicos predominam com relação aos outros, tornando a bacia quase que impermeável (GALVÍNCIO; SOUSA; SHIRINIVASAN, 2006).

A capacidade máxima de acumulação foi estimada, no projeto original, em 536.000.000m<sup>3</sup>. Depois de alguns anos de operação, técnicos do DNOCS detectaram erros e corrigiram a relação cota-área-volume, sem, alterar o volume máximo. Em 1998 foi realizado um levantamento batimétrico e estimou a capacidade de 450.421.552m<sup>3</sup> (REGO et al., 2001).

Em maio de 2003, foi feita uma nova batimetria por técnicos da Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais e verificaram que a capacidade máxima de armazenamento era de 418.088.514m<sup>3</sup> (DINIZ, 2005). Atualmente, possui capacidade de acumulação de 411.686.287m<sup>3</sup>.(PARAÍBA, 2009).



**Figura 3.1** Localização geográfica e vista parcial do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) - PB, (GUIMARÃES et al., 2005; PARAÍBA, 2009; GOOGLE EARTH, 2009 acesso em 17 mar. 2009).

### 3.2 Metodologia

Os resultados deste estudo foram provenientes da utilização da base de dados do Laboratório de Ecologia Aquática – LEAq da Universidade Estadual da Paraíba (novembro de 2005 até outubro de 2008) e das teses de doutorado desenvolvidas com dados do período compreendido entre 1989 e 2003 (CEBALLOS, 1995; DINIZ, 2005) (Tabela 3.1).

Para efeito de comparação entre os trabalhos de pesquisa selecionados, foram comparados apenas dados referentes ao ponto próximo a torre de captação do reservatório. Todos os dados foram agrupados em épocas denominadas Seca (Estiagem) ou Chuva, de acordo com o regime pluviométrico da região, sendo o critério de classificação para o período chuvoso a ocorrência de 50% de precipitação pluviométrica mensal superior ao mês anterior, como o utilizado nos trabalhos de Ceballos (1995) e Diniz (2005).

**Tabela 3.1** Épocas analisadas e seus respectivos períodos de amostragem, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), 1989-2008.

	Épocas	Períodos Correspondentes
Ceballos (1995)	Seca 1	set. 1989/ jan. 1990
	Chuva 1	fev. – jul. 1990
	Seca 2	ago. 1990/ jan. 1991
	Chuva 2	fev. – jul. 1991
Diniz (2005)	Chuva 3	maio – jul. 2002
	Seca 3	ago. 2002/jan. 2003
	Chuva 4	fev. – mar. 2003
LEAq	Seca 4	nov. 2005/mar. 2006
	Chuva 5	jun. 2006
	Seca 5	jul. 2006/jan. 2007
	Chuva 6	fev. – abr. 2007
	Seca 6	jun. – dez. 2007
	Chuva 7	abr. 2008
	Seca 7	jun. – out. 2008

### 3.2.1 Variáveis Limnológicas

As variáveis físicas, químicas e biológicas e as metodologias utilizadas na sua determinação estão apresentadas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** Parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados, metodologias e referência, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), 1989 a 2008.

Variáveis	Metodologia/Referência		
	Ceballos (1995)	Diniz (2005)	LEAQ (2005-2008)
Temperatura (°C)	Termômetro de Mercúrio	Termômetro de reversão (0,01 de resolução) (APHA, 1995)	Oxímetro Handlab (APHA, 1995)
Transparência	-	Disco de Secchi (COLE, 1983)	Disco de Secchi (COLE, 1983)
pH	Potenciométrico (APHA, 1985)	Potenciométrico (APHA, 1995)	Potenciométrico (APHA, 1995)
CE (µS/cm)	-	Resistência Elétrica (APHA, 1995)	Resistência Elétrica (APHA, 1995)
OD (mg/l)	Oximétrico- (APHA, 1985)	Winkler-Modificação Azida (APHA, 1995)	Winkler-Modificação Azida (APHA, 1995)

**Tabela 3.2 (continuação)** Parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados, metodologias e referência, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), 1989 a 2008.

Variáveis	Metodologia/Referência		
	Ceballos (1995)	Diniz (2005)	LEAQ (2005-2008)
Nitrato (mg/l)	Ácido Cromotrópico – espectrofotométrico (RODIER, 1975)	Ácido Cromotrópico – espectrofotométrico (RODIER, 1975)	Coluna de Cadmio (APHA, 1998)
Ptot (mg/l)	Persulfato de Amônia – espectrofotométrico (APHA, 1985)	Ácido Ascórbico – espectrofotométrico (APHA, 1995)	Persulfato de Amônia – Ácido Ascórbico – espectrofotométrico (APHA, 1998)
PO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	Ácido Ascórbico – espectrofotométrico (APHA, 1985)	Ácido Ascórbico – espectrofotométrico (APHA, 1995)	Ácido Ascórbico – espectrofotométrico (APHA, 1998)
Clorofila “a”	Extração a quente com metanol JONES (1979)	Extração a quente com metanol JONES (1979)	Extração com acetona 90% (WETZEL; LINKENS 1991)

### 3.2.2 Índice de Estado Trófico

O Índice de estado trófico usado nos estudos de Ceballos (1995) foi o de Carlson (1977) e os de Diniz (2005) e do presente estudo, foi o de Carlson Modificado por Toledo Junior et al. (1983), incluindo a expressão do ortofosfato solúvel (PO<sub>4</sub>) e o IET Médio (TOLEDO JUNIOR et al. 1983). A utilização desta ferramenta metodológica objetivou utilizar o conjunto de valores obtidos pelas análises das variáveis físicas, químicas e biológicas na avaliação da qualidade da água, para a elucidação da tipologia de águas superficiais do açude Epitácio Pessoa.

As expressões utilizadas são as seguintes:

$$\text{IET (Transp.)} = 10 \left( 6 - \frac{0,64 + \ln(\text{Transp})}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 3.1}$$

$$\text{IET (Cl “a”)} = 10 \left( 6 - \frac{2,04 - 0,695 \ln(\text{Cl “a”})}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 3.2}$$

$$\text{IET (PO}_4\text{)} = 10 \left( 6 - \frac{\ln(21,67/\text{PO}_4)}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 3.3}$$

$$\text{IET (Pt)} = 10 \left( 6 - \frac{\ln(80,32/\text{Pt})}{\ln 2} \right) \quad \text{Equação 3.4}$$

$$\text{IET Médio} = \frac{\text{IET (Transp)} + 2[(\text{IET(Ptot)} + \text{IET(PO}_4\text{)} + \text{IET(Cl "a")})]}{7} \quad \text{Equação 3.5}$$

onde:

IET (Transp.) = índice de estado trófico para o transparência;

IET (Cl "a") = índice de estado trófico para clorofila "a";

IET (Ptot) = índice de estado trófico para fósforo total;

IET (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) = índice de estado trófico para ortofosfato solúvel;

IET Médio = índice médio de estado trófico.

De acordo com os valores encontrados na expressão do IET médio, as águas do corpo aquático podem ser classificadas como:

- **Oligotrófico**; se o resultado for =  $\text{IET} \leq 44$
- **Mesotrófico**; se o resultado for =  $44 < \text{IET} \leq 54$
- **Eutrófico**; se o resultado for =  $54 < \text{IET} \leq 74$
- **Hipereutrófico** se o resultado for =  $\text{IET} > 74$

### 3.2.3 Variáveis climatológicas

Os dados relativos aos aspectos climáticos como temperatura do ar, precipitação pluviométrica e volume acumulado referentes ao ambiente e aos períodos estudados, foram obtidos junto a Agência Executiva de Águas do Estado da Paraíba – AESA, na sede de Campina Grande.

### 3.3 Tratamento estatístico dos dados

Os dados foram tratados através das análises da estatística descritiva com o auxílio do programa Microsoft Excel 2003 for Windows/XP<sup>®</sup>. Foi realizada Correlação Pearson no nível de significância de 0,5 (STATISTIC 7.0 for Windows/XP<sup>®</sup>).

#### 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao longo dos anos o açude Boqueirão passou por períodos de chuvas intensas e de secas prolongadas. A evolução do volume de água acumulado e da precipitação pluviométrica entre os anos 1989 e 2008 é apresentada na Figura 4.1.

No final da década de 1980 e início dos anos de 1990, o volume de água no Açude Epitácio Pessoa se manteve próximo ao nível máximo estimado, sendo que os decréscimos de volumes nas estiagens tenderam a ser recuperados ano a ano durante as épocas chuvosas subseqüentes, mantendo volumes suficientes para satisfazer as demandas, sem atingir níveis críticos. Nesse período, estudos de Ceballos (1995), mostraram águas alcalinas ricas em íons carbonatos e bicarbonatos no Açude Epitácio Pessoa, altas concentrações de oxigênio, baixos valores de turbidez e de nutrientes, e elevada contaminação fecal.

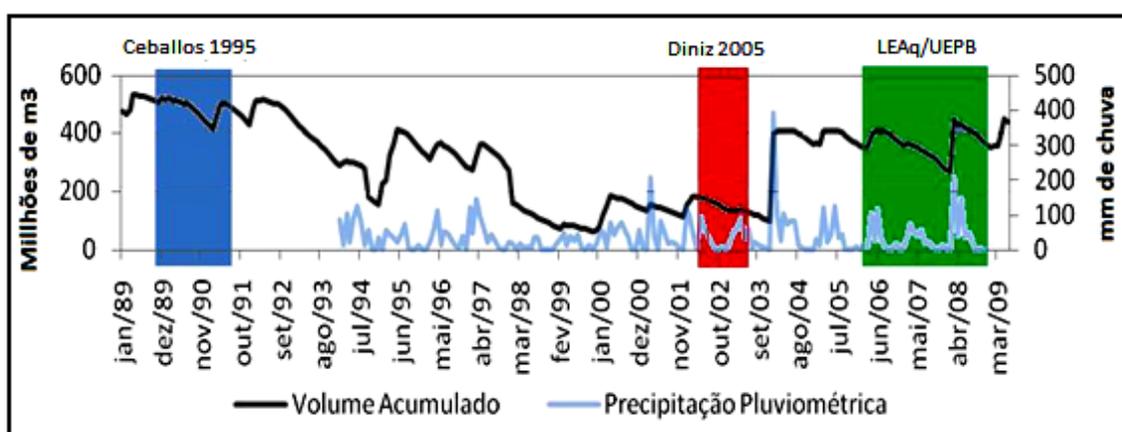
Nos anos de 1995 a 1997, as chuvas aumentaram o volume das águas no açude, porém não foi alcançada sua capacidade máxima. O açude Boqueirão garantiu o suprimento da crescente demanda do município de Campina Grande, ininterruptamente, até a ocorrência da grande seca de 1997-1999. Diante da ameaça de colapso total do abastecimento, foi necessária a implantação de um regime de racionamento da distribuição de água, que teve início no segundo semestre de 1998 e prolongou-se até os primeiros meses do ano 2000. O açude Boqueirão passou pelo momento mais crítico da crise em 1999, quando o volume correspondeu a 16% da sua capacidade total (REGO et al., 2001).

Entre 2002 e 2003 a qualidade da água foi estudada por Diniz (2005), que constatou baixa transparência principalmente na época de chuva e aumentos significativos dos nutrientes (formas de nitrogênio e de fósforo), com conseqüente aumento da eutrofização.

No início de 2004, o açude teve o aporte de mais de 300 milhões de metros cúbicos de água, causando elevação rápida do volume até atingir sua capacidade máxima em poucos dias. O açude recuperou as condições de acumulação e a dinâmica de oscilações temporais de volume de água acumulada semelhantes às observadas no início da década de 90. Entretanto,

a capacidade total de acumulação do reservatório ficou reduzida a pouco mais de  $411.686.287\text{m}^3$  (PARAÍBA, 2009), devido ao assoreamento causado pelo desmatamento das margens e às contribuições dos principais tributários, os rios Paraíba e Taperoá.

Em 2007, as chuvas foram esparsas com valores inferiores à média histórica entre 300 e 400mm, provocando nova redução do volume acumulado, obtendo uma média anual de  $335.302.354\text{m}^3$ . As chuvas de 2008 propiciaram aumento do volume do reservatório, mantendo a capacidade máxima de armazenamento entre os meses de março e julho (PARAÍBA, 2009).



**Figura 4.1** Variação do volume de água acumulado e da precipitação pluviométrica no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB, 1989-2009 (PARAÍBA, 2009).

Os dados físico-químicos e biológicos apresentados na Tabela 4.1 compreendem os anos de 1989-1991, 2002-2003, 2005-2008 para o ponto de captação do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos chuvosos e de estiagem.

As Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, apresentam os gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de parâmetros físicos, químicos e biológicos nos períodos analisados.

A Figura 4.5 apresenta os valores médios da transparência da água observada no açude Epitácio Pessoa nas épocas de estudo.

As Figuras 4.6 a 4.14 mostram a variação média dos valores dos parâmetros físicos, químicos e biológicos e do volume da água no período de 1989 a 2008, no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão).

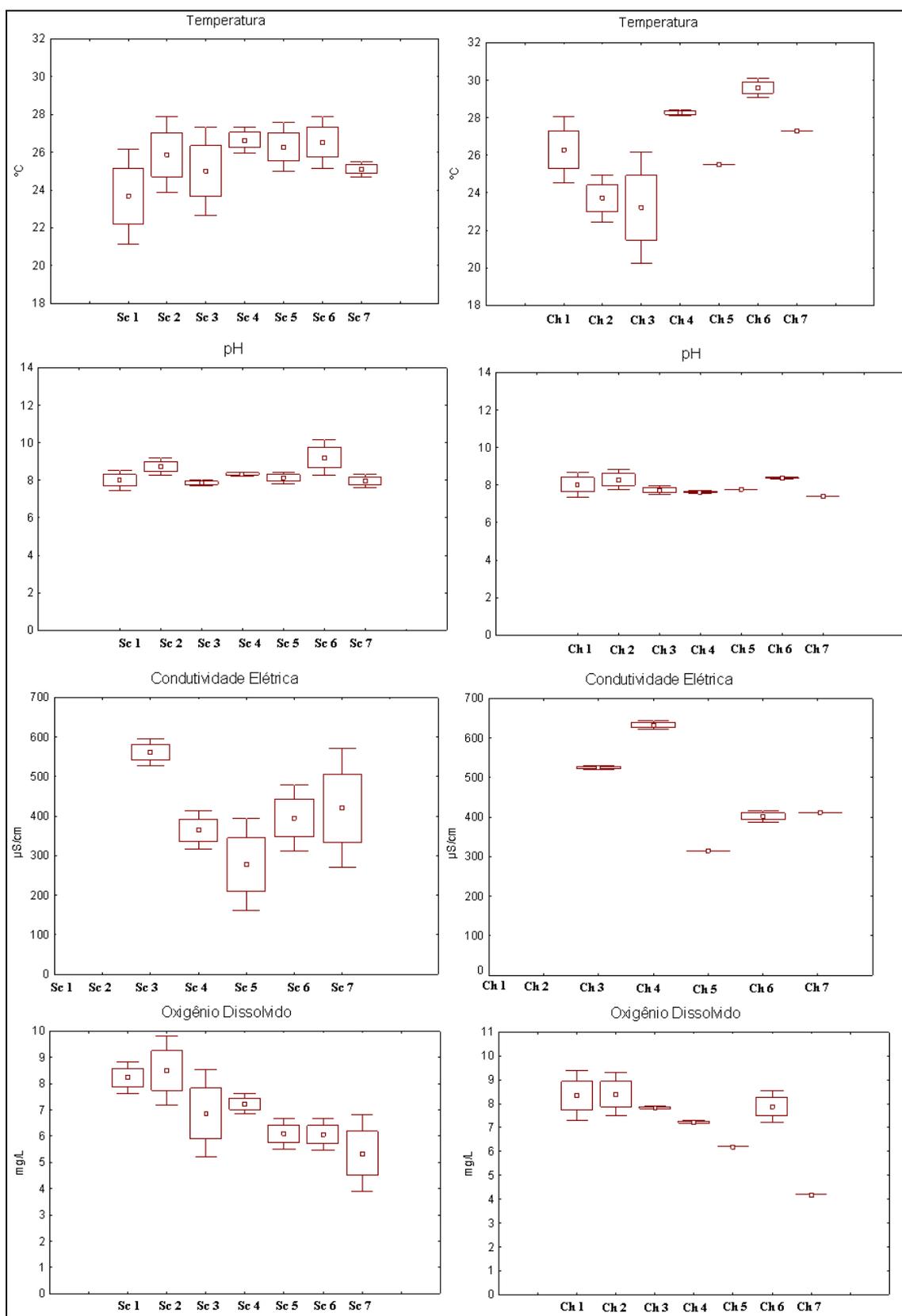
A Figura 4.15 apresenta a variação do estado trófico no mesmo açude nos anos entre 2002 e 2008, em função do volume.



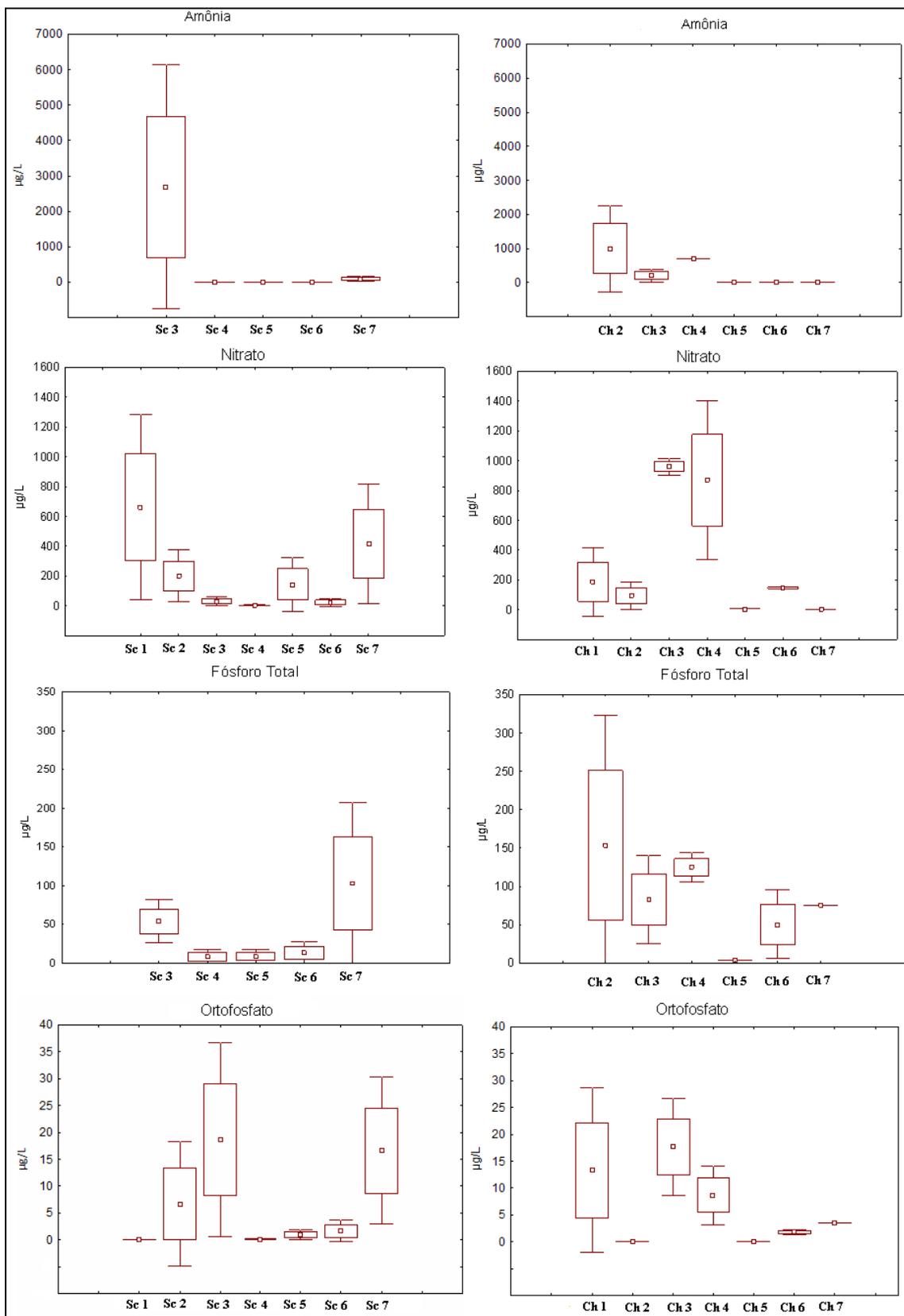
**Tabela 4.1 (continuação)** Estatística descritiva dos valores dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do açude Epitácio Pessoa – PB, no períodos de novembro de 2005 a outubro de 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPB).

Épocas/ Parâmetros	Estatística	Transp (m)	T (°C)	pH	CE ( $\mu$ S/cm)	OD (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> ( $\mu$ g/L)	N-NO <sub>3</sub> ( $\mu$ g/L)	Ptot ( $\mu$ g/L)	PO <sub>4</sub> ( $\mu$ g/L)	Cl <sup>-</sup> a <sup>1</sup> ( $\mu$ g/L)
Seca 4 nov. 2005/mar. 2006	Média	3,52	26,53	8,33	360	7,2	2,00	2,91	6,33	0,11	9,96
	Mínimo	3,15	26,00	8,24	319	6,9	0,00	0,37	0,00	0,00	6,10
	Máximo	4,15	27,40	8,45	416	7,7	6,00	5,55	18,80	0,17	15,36
	DP	0,55	0,76	0,11	50,21	0,4	3,46	2,59	10,80	0,09	4,81
	CV%	6,39	35,04	77,93	7,17	16,5	0,58	1,12	0,59	1,15	2,07
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Chuva 5 jun. 2006	Média	1,10	25,50	7,75	314	6,2	0,00	5,37	4,00	0,10	1,12
	Mínimo	1,10	25,50	7,75	314	6,2	0,00	5,37	4,00	0,10	1,12
	Máximo	1,10	25,50	7,75	314	6,2	0,00	5,37	4,00	0,10	1,12
	DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CV%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Seca 5 jul. 2006/jan. 2007	Média	4,17	26,28	8,14	300,53	6,1	2,75	88,18	7,70	1,06	2,57
	Mínimo	2,20	25,00	7,80	152,20	5,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75
	Máximo	5,70	27,60	8,44	381,40	6,7	7,17	346,20	17,40	1,89	6,07
	DP	1,71	1,07	0,35	104,84	0,6	3,45	172,04	9,04	0,81	2,38
	CV%	2,44	24,58	23,39	2,87	9,9	0,80	0,51	0,85	1,30	1,08
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Chuva 6 fev. – abr. 2007	Média	3,80	29,60	8,38	401,85	7,89	6,08	146,20	50,40	1,80	1,31
	Mínimo	3,60	29,10	8,34	387,10	7,23	0,00	137,22	5,40	1,39	0,00
	Máximo	4,00	30,10	8,42	416,60	8,55	0,00	155,19	95,40	2,21	2,62
	DP	0,28	0,71	0,06	20,86	0,93	8,60	12,70	63,64	0,58	1,85
	CV%	13,44	41,86	148,14	19,26	8,45	0,71	11,51	0,79	3,11	0,71
	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Seca 6 jun. – dez. 2007	Média	4,18	26,28	9,11	399,77	6,2	3,31	14,57	10,55	1,07	*
	Mínimo	3,50	25,30	8,34	310,2	5,4	0,00	0,00	0,00	0,00	*
	Máximo	5,55	28,00	10,21	477,4	6,6	9,67	53,27	29,40	3,85	*
	DP	0,93	1,25	0,87	87,12	0,5	4,43	25,91	12,95	1,87	*
	CV%	4,48	20,98	10,41	4,59	11,8	0,75	0,56	0,81	0,57	*
	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Chuva 7 abr. 2008	Média	0,6	27,30	7,40	442	4,2	7,33	4,63	75,40	3,52	5,34
	Mínimo	0,6	27,30	7,40	442	4,2	7,33	4,63	75,40	3,52	5,34
	Máximo	0,6	27,30	7,40	442	4,2	7,33	4,63	75,40	3,52	5,34
	DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	CV%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Seca 7 jun. – out. 2008	Média	0,7	25,13	7,90	444,17	5,6	74,00	415,88	94,80	14,64	1,69
	Mínimo	0,3	24,70	7,67	260,10	3,8	19,00	17,55	3,60	4,00	1,12
	Máximo	1,35	25,50	8,34	557,30	6,7	157,33	814,21	211,40	31,14	1,97
	DP	1,58	0,40	0,38	160,80	1,6	73,39	563,33	106,20	14,49	0,49
	CV%	0,44	62,19	20,88	2,76	3,6	1,01	0,74	0,89	1,01	3,46
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

\* Erro durante análise.

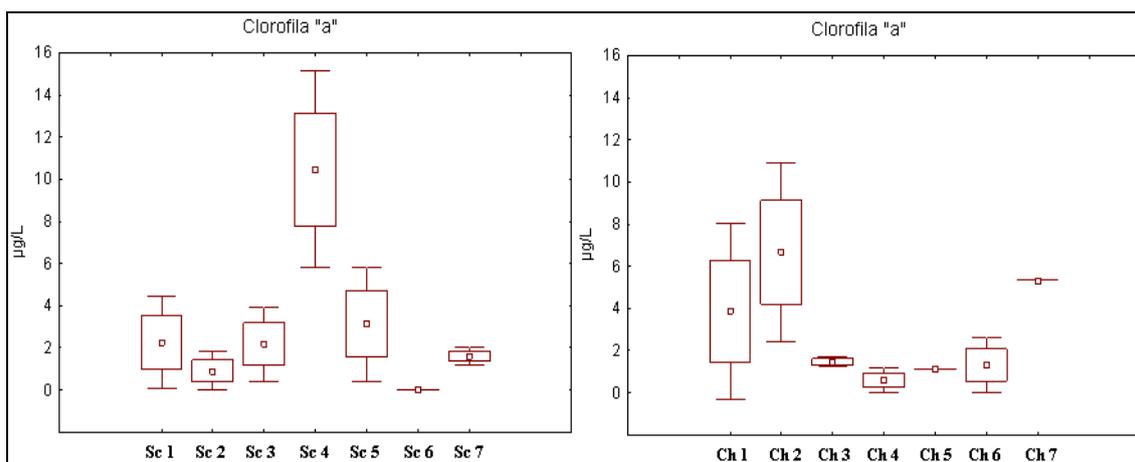


**Figura 4.2** Gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de Temperatura da Água, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido nos anos de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), 2002 a 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPB) no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos e seca (Sc) e de chuva (Ch).  
 Sc 1 (1989/90), Ch 1 (1990), Sc 2 (1990/91), Ch 2 (1991), Ch 3 (2002), Sc 3 (2002/03), Ch 4 (2003), Sc 4 (2005/06), Ch 5 (2006), Sc 5 (2006/07), Ch 6 (2007), Sc 6 (2007), Ch 7 (2008), Sc 7 (2008)



**Figura 4.3** Gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de Amônia, Nitratos, Fósforo Total e Ortofosfato Solúvel nos anos de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), 2002 a 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPB) no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos e seca (Sc) e de chuva (Ch)

Sc 1 (1989/90), Ch 1 (1990), Sc 2 (1990/91), Ch 2 (1991), Ch 3 (2002), Sc 3 (2002/03), Ch 4 (2003), Sc 4 (2005/06), Ch 5 (2006), Sc 5 (2006/07), Ch 6 (2007), Sc 6 (2007), Ch 7 (2008), Sc 7 (2008)



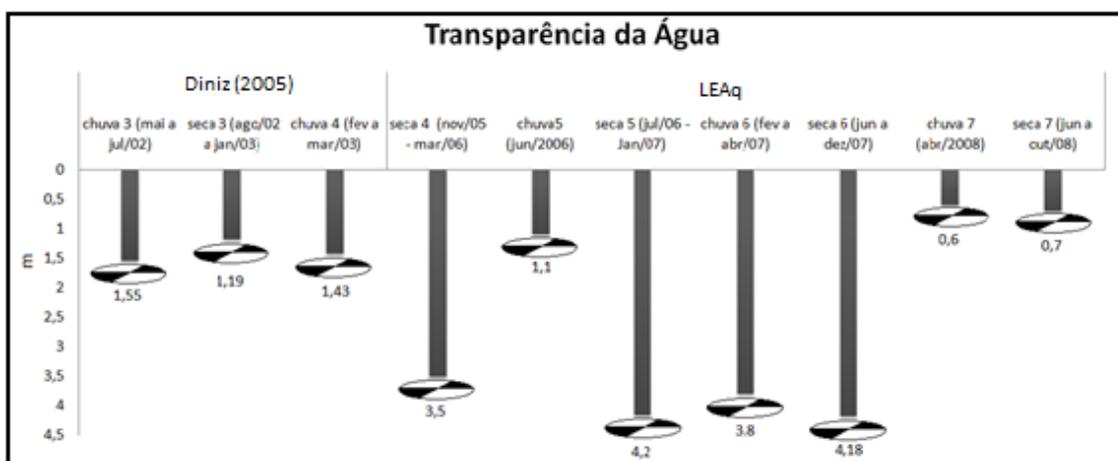
**Figura 4.4** Gráficos “box plot” com valores médios, máximos e mínimos de clorofila “a” nos anos de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), 2002 a 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (Laboratório de Ecologia Aquática – UEPA) no açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), nos períodos e seca (Sc) e de chuva (Ch). Sc 1 (1989/90), Ch 1 (1990), Sc 2 (1990/91), Ch 2 (1991), Ch 3 (2002), Sc 3 (2002/03), Ch 4 (2003), Sc 4 (2005/06), Ch 5 (2006), Sc 5 (2006/07), Ch 6 (2007), Sc 6 (2007), Ch 7 (2008), Sc 7 (2008)

A transparência das águas de corpos aquáticos é produto das características físicas da bacia de drenagem e da interação dessas com a precipitação pluviométrica, profundidade do corpo aquático, intensidade dos ventos, velocidade do escoamento superficial, características do solo, atividades agrícolas nos domínios da área de drenagem, níveis de cobertura vegetal, entre outras (TUNDISI, 2003; ROLAND; CESAR; MARINHO, 2005; VON SPERLING, 2005; TUNDISI; MATSUMARA-TUNDISI, 2008).

A Tabela 4.1 e a Figura 4.5 mostram que a transparência da água do açude Boqueirão apresentou-se, entre os anos de 2001 e 2008, mais elevada nas secas: 4 (nov./05-mar./06), 5 (jul./06-jan./07) e 6 (jun.-dez./07) e na chuva 6 (fev.-abr./07), com valores médios superiores a 3,5m. Houve uma drástica redução da transparência no ano de 2008, com menores valores na chuva 7 ( $x=0,6m$  – abr./08), que pode está associada a elevada precipitação pluviométrica (206,3mm – mar/08) ocorrida no mês imediatamente anterior a coleta, e que foi 40% da precipitação acumulada de 2008.

Comportamento semelhante foi verificado por Amâncio et al. (2004) no açude Pereira de Miranda no município de Pentecoste/CE, que atribuiu a redução da transparência à entrada de grandes volumes de águas mais turvas, com alta concentração de partículas orgânicas e inorgânicas dissolvidas ou em suspensão carregadas pelas águas da chuva.

A correlação negativa entre a transparência e precipitação pluviométrica ( $r = -0,371$  e  $p = 0,05$ ) indica que os eventos de chuvas provocaram alterações da transparência no meio aquático, particularmente quando as coletas corresponderam ao início do período chuvoso, transportando material depositado na bacia de drenagem durante a estiagem, produzindo maior impacto nas características qualitativas da água do reservatório, com perda de valores estéticos, refletindo o avanço da ação antrópica no açude Epitácio Pessoa (DINIZ, 2005). Amostras de água coletadas em dias chuvosos ou imediatamente após chuvas intensas resultam em valores elevados de turbidez e menores de transparência, quando comparadas a amostras cujas coletas foram realizadas em dias distantes dos eventos de chuvas. Isso pode ser verificado nesse estudo, porque as coletas realizadas no período chuvoso do ano de 2006 ocorreram no final do período onde já havia uma sedimentação das partículas dissolvidas ou em suspensão na água e a bacia de drenagem já havia sido lavada pelas chuvas anteriores.



**Figura 4.5** Valores médios de transparência da água nos períodos no período de 2002 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

Ceballos (1995) caracterizou as áreas dos entornos do açude Epitácio Pessoa e registraram atividades antropogênicas como instalações agropastoris e áreas irrigadas produtoras de insumos agrícolas, fato que ao longo do tempo pode ter contribuído com a redução de áreas vegetadas por flora nativa, favorecendo o transporte de solos para o interior do açude. Apesar de não ter registrado sistematicamente a transparência da água, a pesquisadora cita em

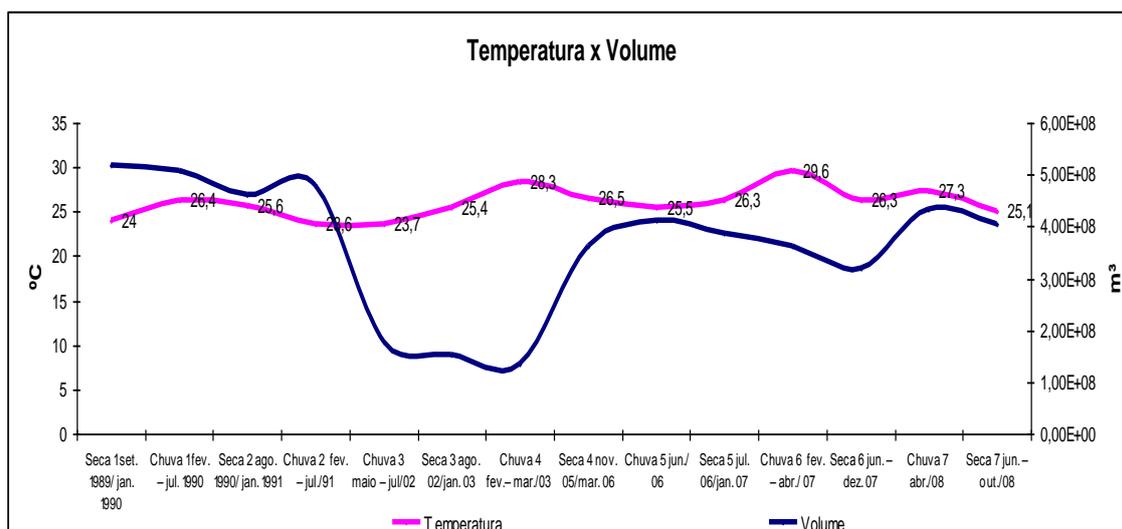
seus resultados o registro de transparência em torno dos 4 metros de profundidade, e turbidez da ordem de 1 UNT e ressalta a contribuição das chuvas, principalmente na segunda época amostrada, com elevação da turbidez.

Sartor et al. (2007), analisando a transparência e a concentração de sólidos suspensos nas águas do reservatório Costa e Silva, no Rio Grande do Sul, atribuiu a elevação da transparência nas águas, à maior de cobertura vegetal, devido ao avançado estágio das culturas desenvolvidas nas áreas da bacia de drenagem do reservatório.

A grande quantidade de sedimentos registradas no açude Epitácio Pessoa, pode ser também um indicativo do processo avançado e contínuo de desmatamento nos domínios da bacia hidráulica. Estudos de Albuquerque. Lombardi Neto e Srinivasan (2001) comparando a influência das chuvas em parcelas florestadas e não florestadas no cariri paraibano, verificaram que as áreas conservadas com vegetação nativa protegeram os solos contra a ação erosiva e carreamento de material suspenso pelas chuvas, reduzindo os danos provocados pelo escoamento superficial das águas bem como atuando na conservação hídrica dos solos.

Comparando a capacidade de acumulação do açude Epitácio Pessoa, registrada em 1998 de  $450.421.552\text{m}^3$  (REGO et al., 2001) e a registrada nos últimos anos de  $411.686.287\text{m}^3$  (PARAÍBA, 2009) é possível perceber o avanço do processo de assoreamento do açude ao longo de 10 anos com uma redução na capacidade de acumulação próxima dos 40 milhões de metros cúbicos (8,6%), associada ao aporte de sedimentos.

A análise dos dados de temperatura da água (Tabela 4.1) mostrou valores médios entre  $23,6^{\circ}\text{C}$  (fev.- jul./91, chuva 2) e  $29,6^{\circ}\text{C}$  (fev.-abr./07, chuva 6) e uma amplitude média de  $6^{\circ}\text{C}$ , com os maiores variações, dentro de um mesmo período, entre 1991 e 1995 (CEBALLOS, 1995) e 2002 e 2003 (DINIZ, 2005). As águas mais quentes ocorreram entre os anos de 2003 a 2008 e corresponderam, geralmente, às épocas chuvosas (Figuras 4.2 e 4.6).



**Figura 4.6** Variação média da Temperatura da Água e Volume, no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

Comportamento semelhante foi observado por Barbosa et al. (2006) nos açudes Taperoá, Soledade, Namorados e lagoa Panati, localizados na bacia Taperoá, Cariri paraibano, onde em todos os ambientes pesquisados, as maiores temperaturas concentraram-se no período chuvoso (fevereiro/05) e as mais baixas nos períodos de seca (agosto/04 e junho/05).

Carvalho-Luna (2008), estudando a qualidade da água da barragem Acauã (PB), reservatório que se localiza a jusante do açude Boqueirão, na bacia do rio Paraíba, também observou maiores valores médios de temperatura da água no período chuvoso ( $x=34,1^{\circ}\text{C}$ , mar./06).

Moredjo (1998) ao estudar aspectos limnológicos em açudes paraibanos verificou temperaturas máximas em meses chuvosos nos açudes da microrregião do Alto Piranhas: Jatobá ( $33,3^{\circ}\text{C}$ , abr./95) e São Gonçalo ( $31,0^{\circ}\text{C}$ , abr./95).

Amâncio et al. (2004) verificaram que no período chuvoso a temperatura da água do açude Pereira de Miranda, Pentecoste (CE), esteve mais elevada com variações de  $28,9$  a  $29,9^{\circ}\text{C}$ .

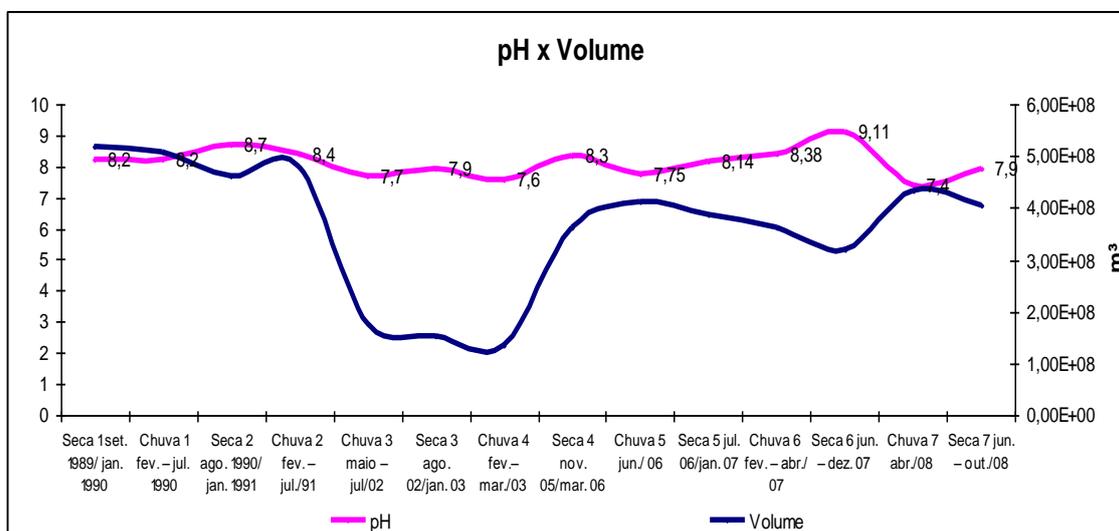
O pH do açude Epitácio Pessoa (Tabela 4.1, Figuras 4.2 e 4.7) variou entre  $x = 9,11$  (jun. - dez./07, seca 6) e  $x = 7,4$  (abr./08, chuva 7). Os maiores valores médios de pH ( $x = 9,11$ , seca 6 - jun.-dez./07) e de clorofila "a" ( $x = 9,96$ , seca 4 - nov./05-mar./06), na época de estiagem, estão associados a

concentração de bicarbonatos naturalmente presentes nas águas da região e à atividade fotossintética (DINIZ et al., 2004a).

Valores elevados do pH, podem ser decorrentes das características geológicas da bacia de drenagem a qual ele está inserido, dos impactos antropogênicos e dos processos físicos, químicos e biológicos no corpo de água (TUNDISI; MATSUMARA-TUNDISI, 2008).

Registros de pH elevado, como foram observados para o açude Boqueirão, são comumente descritos para muitos ecossistemas pertencentes aos domínios de áreas semi-áridas, sendo este aspecto explicado principalmente pela riqueza de carbonatos e bicarbonatos na composição química dos solos onde os reservatórios de água e as respectivas bacias de drenagem estão inseridos (CEBALLOS, 1995; BARBOSA, 2002; DINIZ, 2005).

Ainda que discretas, as variações de pH, observadas ao longo das épocas, no açude Boqueirão, foram provocadas por fatores climáticos principalmente as chuvas e pelo material que elas transportam. A correlação negativa entre o pH e a precipitação pluviométrica ( $r = -0,445$  e  $p = 0,05$ ), sugerem a ação acidificante das chuvas sobre as águas do açude.



**Figura 4.7** Variação média do pH e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

De acordo com Ceballos (1995), a diminuição do pH no período de chuvas, está associado à diluição dos carbonatos e bicarbonatos e introdução de  $\text{CO}_2$  atmosférico com águas de chuvas, acidificando levemente a água. O

CO<sub>2</sub> na água combina-se com a molécula da água, gerando o ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), que diminui o pH (ESTEVEES, 1998).

A dinâmica do pH observada ao longo das épocas no presente estudo também foi verificada por Barbosa (2002), quando este autor observava a dinâmica temporal e espacial de açude Taperoá-PB, um dos principais contribuintes do açude Epitácio Pessoa, bem como outros estudos em açudes nordestinos, a exemplo de Bouvy et al. (2003) ao estudar o reservatório de Tapacurá-PE e Chellappa e Costa (2003) no estudo do reservatório de Gargalheiras-RN.

Não foram registrados dados referentes à Condutividade Elétrica (CE) nos trabalhos de Ceballos (1995) (Tabela 4.1) e em consequência, no presente trabalho, foram analisados apenas os dados de Diniz (2005) e do LEAq.

No açude Epitácio Pessoa, os valores de Condutividade Elétrica revelaram-se mais elevados durante o estudo realizado por Diniz (2005) ao longo das três primeiras épocas analisadas (525µS/cm - chuva 3, 566µS/cm - seca 3 e 633µS/cm - chuva 4) (Tabela 4.1, Figuras 4.2 e 4.8).

Entre os anos de 2002 a 2003, o volume armazenado no açude Epitácio Pessoa era de 204.553.870m<sup>3</sup> (45,41% da capacidade total de armazenamento), e foi reduzido para 147.867.579 m<sup>3</sup> (35,4% da capacidade). Essa redução do volume pode ter contribuído para a volatilização de gases e perda de água por evaporação e concentração dos sais, aumentando a condutividade elétrica da água (DINIZ, 2005). Esses resultados podem ser confirmados através da correlação negativa da condutividade elétrica com o volume de água acumulado no açude ( $r = -0,872$  e  $p = 0,05$ ).

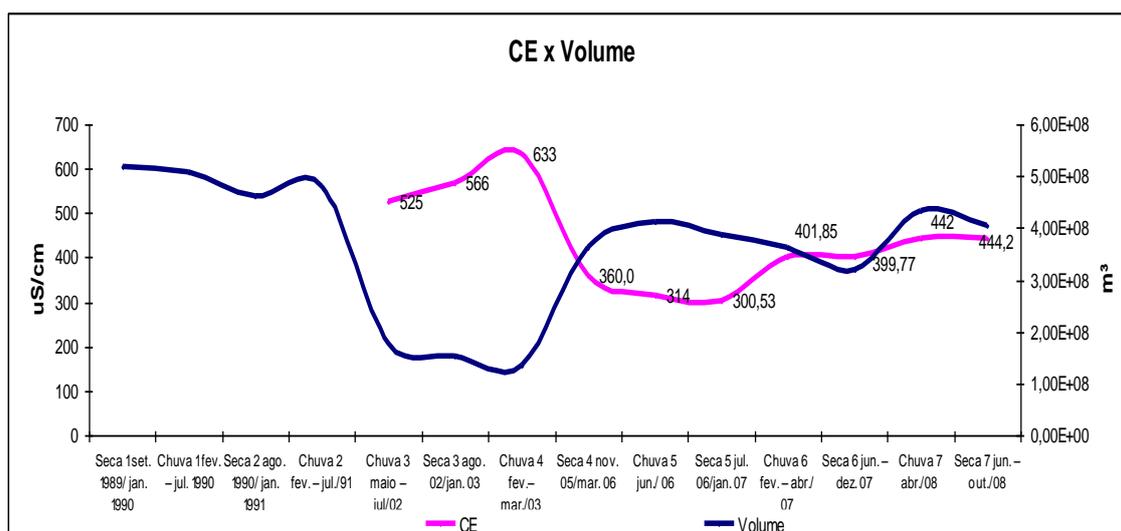
Comportamento semelhante foi observado por Tavares (2000) no reservatório de São Salvador, Sapé (PB), Barbosa (2002) açude Taperoá II (PB) e Lins (2006) para a barragem Acauã (PB), que constataram a relação inversa da condutividade elétrica com o volume acumulado.

No açude Epitácio Pessoa, foram registrados valores elevados de condutividade elétrica na chuva 4 (fev. – mar./03), no início das chuvas desse ano. Esses resultados podem estar associados ao carreamento para o interior do açude, de sais que se depositaram na bacia de drenagem no período de estiagem aumentando a concentração da condutividade elétrica nesse período.

Os estudos de Fonseca e Salvador (2005) nas águas do rio Bonito (SP) e de Rolla et al. (1990) no reservatório de Volta Grande (MG/SP), mostraram, no período de chuvas, aumento da concentração iônica, indicados por valores elevados de condutividade elétrica. Estes autores atribuíram os resultados ao aporte de substâncias transportadas com o escoamento superficial para dentro dos ecossistemas aquáticos durante as chuvas.

Entre os anos de 2005 a 2008, observa-se brusca redução dos valores de condutividade elétrica, que podem estar associados à elevação do volume das águas que funcionaram como um fator diluidor para a condutividade elétrica, pois houve um aporte de mais de 300 milhões de metros cúbicos no início de 2004.

Estudos de Melo (2005), no açude Epitácio Pessoa, revelam expressivo aumento do volume com as chuvas que ocorreram a partir de janeiro de 2004, resultando na diminuição das concentrações de sólidos dissolvidos totais, ao avaliar a série de dados de 1998 a 2004. O sangramento do açude, neste ano, pode ter provocado a descarga de sólidos dissolvidos totais, favorecendo a diminuição dos valores de condutividade elétrica nos anos subseqüentes, particularmente em 2005 e 2006, com valores médios mais elevados, no período de estiagem ( $x= 300$  a  $566 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Figura 4.8** Variação média da Condutividade Elétrica (CE) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

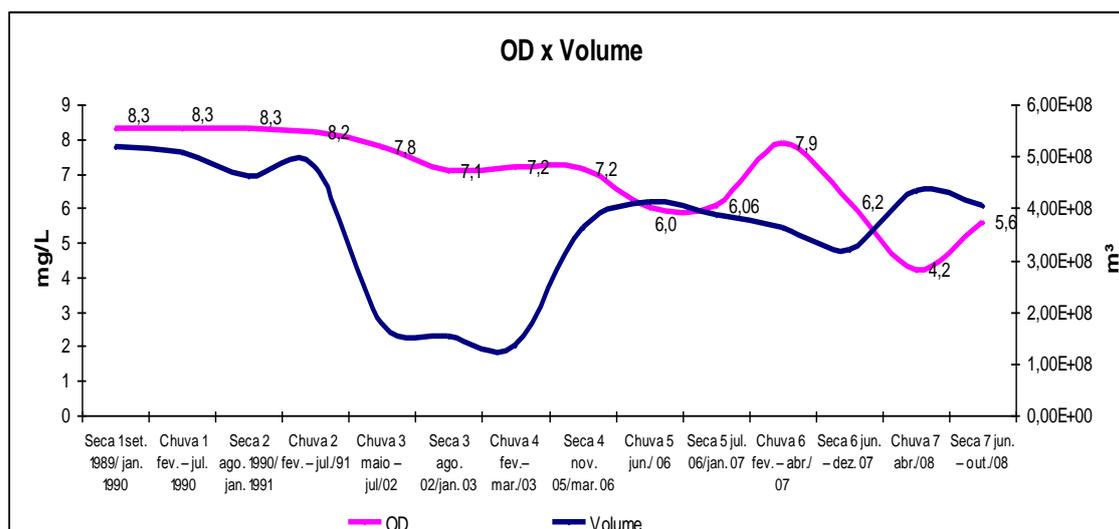
As maiores concentrações de oxigênio dissolvido, no açude Epitácio Pessoa, foram evidenciadas no período de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995), com concentrações médias superiores a 8,0mg/L (Tabela 4.1, Figuras 4.2 e 4.9). Houve correlação positiva e significativa do oxigênio dissolvido com a transparência ( $r= 0,521$ ,  $p=0,05$ ).

Nas primeiras épocas amostradas, Ceballos (1995) atribuiu elevadas concentrações de oxigênio a ação dos ventos e das chuvas resultando numa boa oxigenação das águas do açude.

No período entre 2002 e 2003, o açude Boqueirão permaneceu bem oxigenado com concentrações médias superiores a 7,0mg/L. Ainda que relativamente um pouco inferiores às concentrações do período de 1989 a 1991, essas concentrações de oxigênio apresentaram-se próximas a 100% de saturação na água (DINIZ, 2005).

Nos anos seguintes, as concentrações foram diminuindo até chegar aos menores valores no ano de 2008, particularmente na chuva 7 ( $x= 4,2$ mg/L). Essas baixas concentrações de oxigênio dissolvido coincidem com menores valores de transparência da água. Esses dados podem indicar que a bacia de drenagem vem experimentando elevados impactos antropogênicos com crescente entrada de matéria orgânica, conseqüentemente, com maior taxa de decomposição, resultando no consumo de oxigênio dissolvido, diminuindo sua concentração. A correlação negativa do oxigênio dissolvido com o volume acumulado ( $r= -0,556$ ,  $p=0,05$ ) expressa esses resultados.

Concentrações baixas de oxigênio dissolvido são comuns em ecossistemas aquáticos com elevada carga orgânica, como ocorre no açude Bodocongó, Campina Grande (PB), que é receptor direto de efluentes domésticos e industriais. Este corpo aquático apresentava na década de 1990 concentrações médias de oxigênio dissolvido entre 9,4 e 5,7mg/L (CEBALLOS, 1995), e ao longo dos anos reduziu para 4,2 e 1,6 mg/L, nos anos de 2001 a 2002 (DINIZ, 2005). Carvalho et al. (2008) registraram valores inferiores nos anos de 2006 e 2007, com concentrações entre 3,9 e 1,5mg/L para o mesmo ecossistema, e atribuíram as baixas concentrações a elevada carga orgânica, pela utilização do oxigênio dissolvido na sua estabilização.



**Figura 4.9** Variação média de Oxigênio Dissolvido (OD) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

De acordo com Wetzel (1993), o nitrogênio amoniacal é a forma nitrogenada mais reduzida e uma das mais utilizadas pelos produtores primários. Isto ocorre porque o íon amônio pode ser utilizado como fonte de nitrogênio durante a síntese de proteínas, pelos produtores primários.

A distribuição do nitrogênio amoniacal nas águas doces varia regional e espacialmente, dependendo do nível de produtividade e do grau de poluição orgânica dessas águas (WETZEL, 1993; SCHAFFER, 1985).

A presença de nitrogênio amoniacal nos corpos aquáticos depende do pH. Em  $\text{pH} < 8,0$  o nitrogênio amoniacal encontra-se na forma de íon  $\text{NH}_4^+$  (não tóxica). Em  $\text{pH} = 9,5$  encontra-se igual concentração de amônia livre  $\text{NH}_3$  não ionizada (tóxica) e amônia ionizada. Em  $\text{pH} > 11$ , a amônia encontra-se na forma não ionizada  $\text{NH}_3$ , que é tóxica. Assim a toxidez do nitrogênio amoniacal é aumentada com a elevação do pH (VON SPERLING, 1996; ESTEVES, 1998).

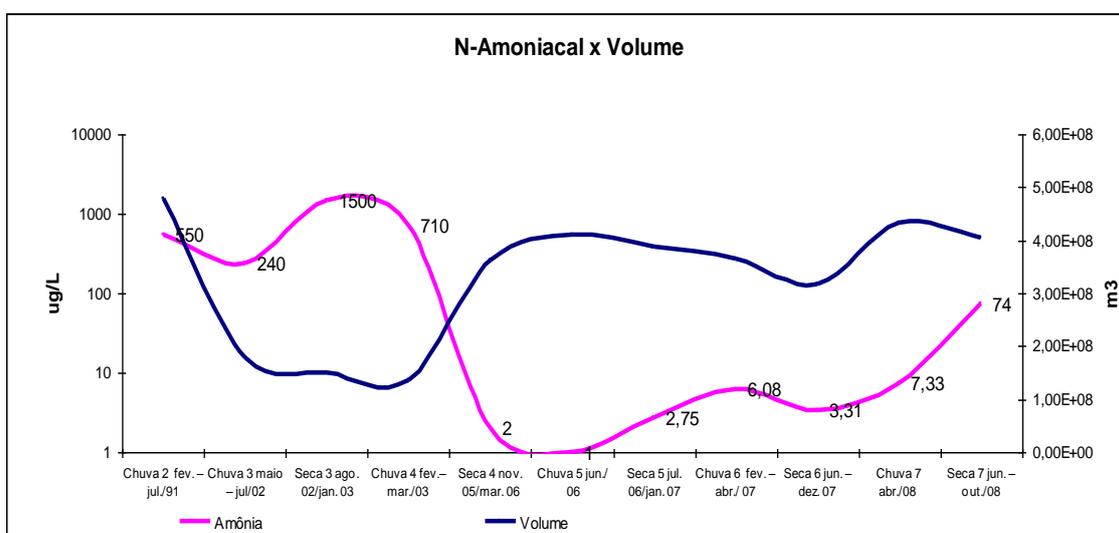
A análise temporal das concentrações de nitrogênio amoniacal revela que no período de 1991 a 2003 as concentrações médias, no açude Epitácio Pessoa, foram elevadas, variando entre  $240 \mu\text{g/L}$  (maio-jun./02, chuva 3) e  $1500 \mu\text{g/L}$  (ago/02.-jan./03, seca 3). As maiores concentrações na seca 3, ocorreram no período em que o açude tinha apenas 36% de sua capacidade de armazenamento (Tabela 4.1, Figuras 4.3 e 4.10).

Segundo Diniz (2005) as áreas agrícolas próximas ao açude, são as causas importantes de entrada de nitrogênio amoniacal no açude Epitácio Pessoa.

Resultados aproximados aos registrados na estiagem de 2003 foram verificados por Tavares (2000) na represa São Salvador, Sapé (PB) (1100  $\mu\text{g/L}$ ), também no período de seca, devido à menor diluição das cargas poluidoras e menor volume de água.

A seca ocorrida entre 1997 e 1999 agravou uma situação já crítica do açude Epitácio Pessoa e o reservatório entrou em iminência de colapso, com armazenamento abaixo de 25% da capacidade total (GUIMARÃES et al., 2005). Esta redução no volume alterou significativamente a qualidade da água e mesmo o leve aumento na sua capacidade de armazenamento em 2003, provavelmente repercutiu no aumento das concentrações dos nutrientes, expressadas nos valores de nitrogênio amoniacal. A contribuição do nitrogênio amoniacal para aumentos de condutividade elétrica é evidenciada na forte correlação positiva e significativa entre esses dois parâmetros ( $r= 0,938$  e  $p=0,05$ ).

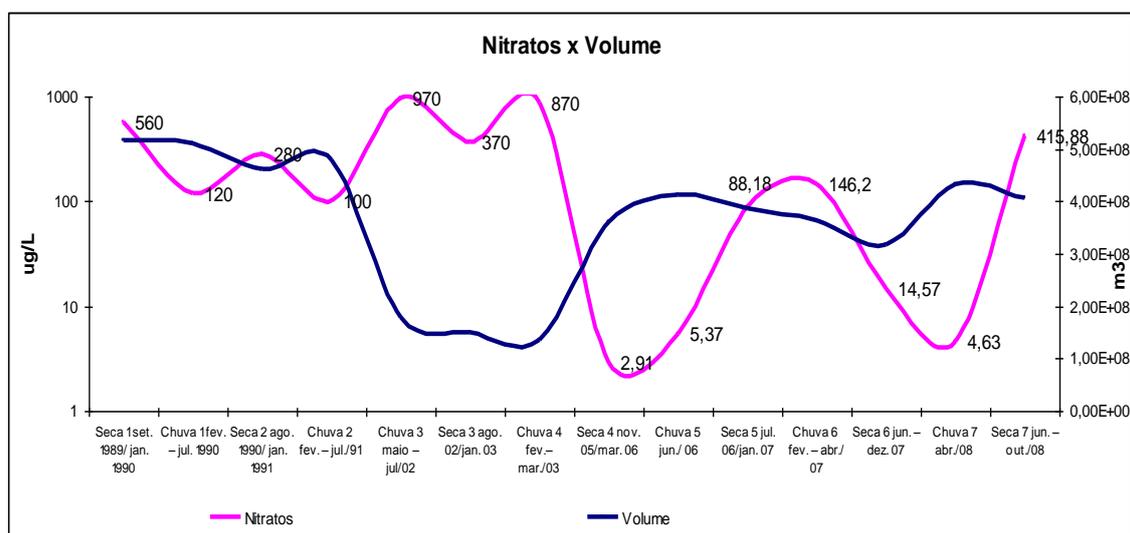
A partir do ano de 2005, as concentrações de nitrogênio amoniacal diminuíram de forma expressiva, com valores médios abaixo de 10,00  $\mu\text{g/L}$ , excetuando a seca 7 (jun-out/08) que atingiu 74  $\mu\text{g/L}$ . Esses resultados podem estar associados com o aumento do volume de água com as chuvas e sangramento, a partir de janeiro de 2004.



**Figura 4.10** Variação média do Nitrogênio Amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ) e Volume no período de 1991 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

Características semelhantes foram registradas por Carvalho-Luna (2008) na Barragem Acauã (PB) e por Amâncio, Farias e Silva-Neto (2002) no açude Pentecostes (CE), onde as concentrações de nitrogênio amoniacal diminuíram com a elevação do volume da água do açude, em decorrência da maior diluição dos compostos nitrogenados e pela oxidação, favorecendo o processo de nitrificação.

As concentrações de nitrato, no açude Boqueirão, de forma semelhante ao nitrogênio amoniacal, foram mais elevadas entre os anos de 1989 a 2003 (Tabela 4.1, Figuras, 4.3 e 4.11) com concentrações médias entre 970  $\mu\text{g/L}$  (maio – jul./02, chuva 3) e 100  $\mu\text{g/L}$  (fev. – jul./91, chuva 2). Os anos de 2002 e 2003 apresentaram valores altos de nitratos, época quando o açude estava com 150.927.919 $\text{m}^3$  de água. Entre os anos de 2005 e 2006 ocorreu uma queda nas concentrações de nitratos, para valores médios entre 2,9  $\mu\text{g/L}$  (nov./05-mar./06, seca 4) e 5,37 (jul./06, chuva 5) resultantes do aporte de grande volume de água. Houve tendência de aumento das concentrações entre 2006 e 2007, queda após a seca de 2007, para o período chuvoso de 2008. A partir de junho de 2008 (seca 7) os valores de nitratos voltaram a ficar elevados ( $x= 415,88 \mu\text{g/L}$ ), atingindo concentrações próximas à seca 1 (set/09-jan./90).



**Figura 4.11** Variação média do Nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

O fósforo em altas concentrações aparece em águas naturais principalmente devido às descargas de esgotos domésticos e industriais. Os

efluentes de indústrias de fertilizantes, pesticidas, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios apresentam altos valores de fósforo. As águas drenadas de áreas agrícolas e urbanas também contribuem para aumentar a concentração de compostos fosfatados nos corpos aquáticos (LIMA, 2005).

A importância dos compostos fosfatados para manutenção da vida já foi amplamente discutida (WETZEL, 1993; BARTRAM, 1999) sendo atualmente posto em questão a determinação dos níveis que os corpos aquáticos de regiões tropicais podem processar sem ter o aumento significativo do seu estado trófico.

Segundo Thornton e Rast (1993) as proporções entre nitrogênio total e fósforo total estabelecidas em muitos trabalhos subestimam as características limnológicas e os aspectos peculiares dos reservatórios inseridos nos ambientes semi-áridos tropicais. Esses autores ainda afirmam que nesses corpos aquáticos, devido às características climáticas e hidrológicas, são toleráveis maiores concentrações de nutrientes sem aumentar significativamente o nível de eutrofia.

A distribuição dos valores médios de fósforo total ao longo do tempo, no açude Epitácio Pessoa, variou entre 125 µg/L (fev. – mar./03, chuva 4) e 4 µg/L (jun./06, chuva 5). As concentrações foram elevadas entre 1991 e 2003, diminuíram entre 2005 e 2006 e aumentaram em 2008. Houve tendência de maiores contribuições no período de chuvas (Tabela 4.1, Figuras 4.3 e 4.12).

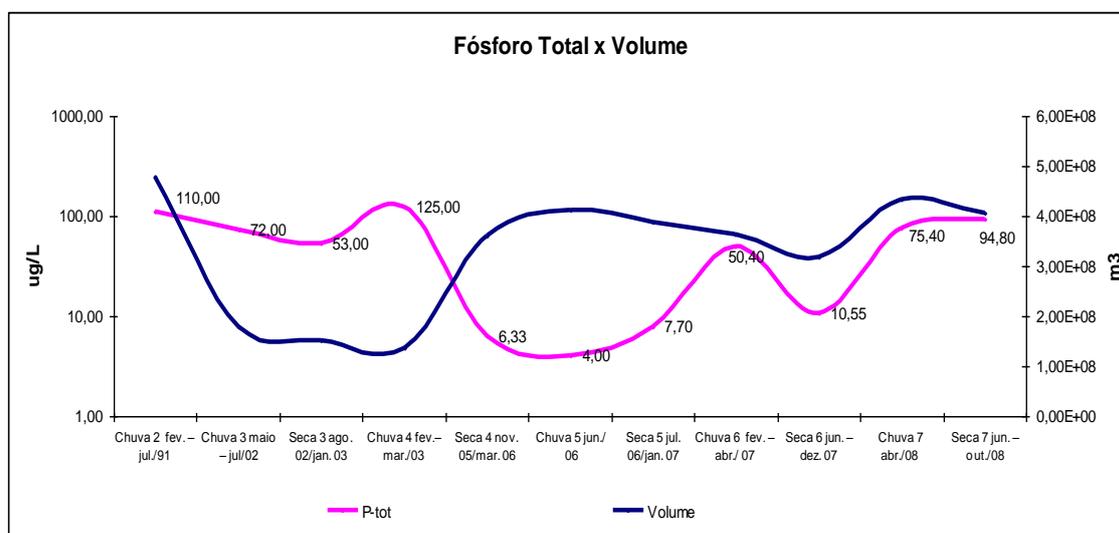
O ortofosfato solúvel apresentou baixas concentrações, com períodos onde os níveis estiveram inferiores ao limite de detecção do método (set./ 89-jan./91, seca 1, fev.-jul./91, chuva 2). Os maiores ocorreram entre 2002 e 2003, com maior média na seca 3 ( $\bar{x}$ =20 µg/L, ago./02-jan./03), com diminuição após as chuvas de 2004 (Tabela 4.1, Figuras 4.3 e 4.13).

Os baixos valores de ortofosfato solúvel em corpos aquáticos tropicais, podem estar associados à elevada temperatura que acelera os processos de assimilação pelo fitoplâncton, à diluição e à precipitação química ou imobilização sob condições alcalinas e aeróbias (ESTEVES, 1998).

O comportamento da série fosfatada esteve fortemente relacionado com o comportamento da série nitrogenada. Fósforo total e ortofosfato solúvel apresentaram correlações positivas com nitrogênio amoniacal ( $r= 0,778$ ,

$p=0,05$ ;  $r=0,873$ ,  $p=0,05$ ) e com nitrato ( $r= 0,659$ ,  $p=0,05$ ;  $r=0,725$ ,  $p=0,05$ ) respectivamente, e todos os nutrientes apresentaram correlação positiva com condutividade elétrica ( $r=0,938$ ,  $p=0,05$  - nitrogênio amoniacal;  $r=0,599$ ,  $p=0,05$  - nitratos;  $r=0,805$ ,  $p=0,05$  - fósforo total;  $r=0,795$ ,  $p=0,05$  - ortofosfato solúvel), indicando seu aumento simultâneo pelo escoamento superficial ou pela entrada de tributários ricos em e íons e nutrientes (DINIZ et al., 2004a).

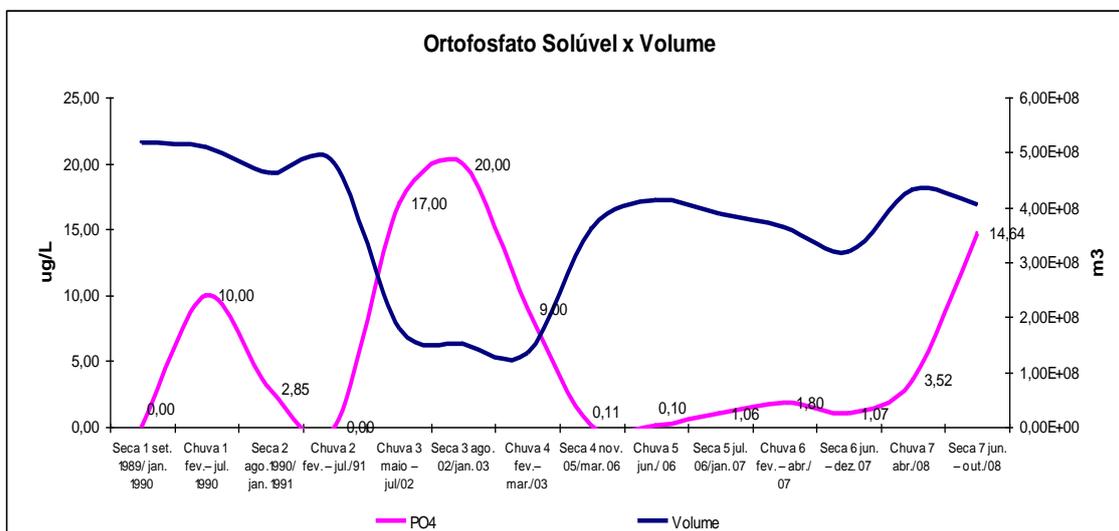
As correlações negativas entre fósforo total, ortofosfato solúvel e pH ( $r=-0,479$ ,  $p=0,05$ ;  $r=-0,356$ ,  $p=0,05$ ) sugerem que as concentrações dos nutrientes fosfatados podem ter sido influenciadas pelas características alcalinas das águas do Epitácio Pessoa uma vez que, em ecossistemas aquáticos com pH elevado, o cálcio pode ter um importante papel na precipitação do íon fosfato. Neste caso, o íon fosfato é precipitado como fosfato de cálcio ou adsorvido em cristais de carbonato de cálcio, trazendo como consequência a exclusão do íon fosfato da água em circulação (ESTEVES, 1998).



**Figura 4.12** Variação média do Fósforo Total (P-tot) e Volume no período de 1991 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

Lins (2006) atribuiu o aumento das concentrações do fósforo total no açude Acauã (PB), ao aporte massivo de material orgânico pelas elevadas contribuições advindas dos tributários que recebem poluição pontual ao longo do seu percurso até o açude. Os principais poluentes são esgotos sem tratamento gerados nos municípios circunvizinhos.

Em escala menor do que ocorre no açude Acauã, o aporte de nutrientes registrado no açude Epitácio Pessoa também é resultado do lançamento de efluentes oriundo de municípios situados às margens dos rios Paraíba e Taperoá, tributários desse açude.



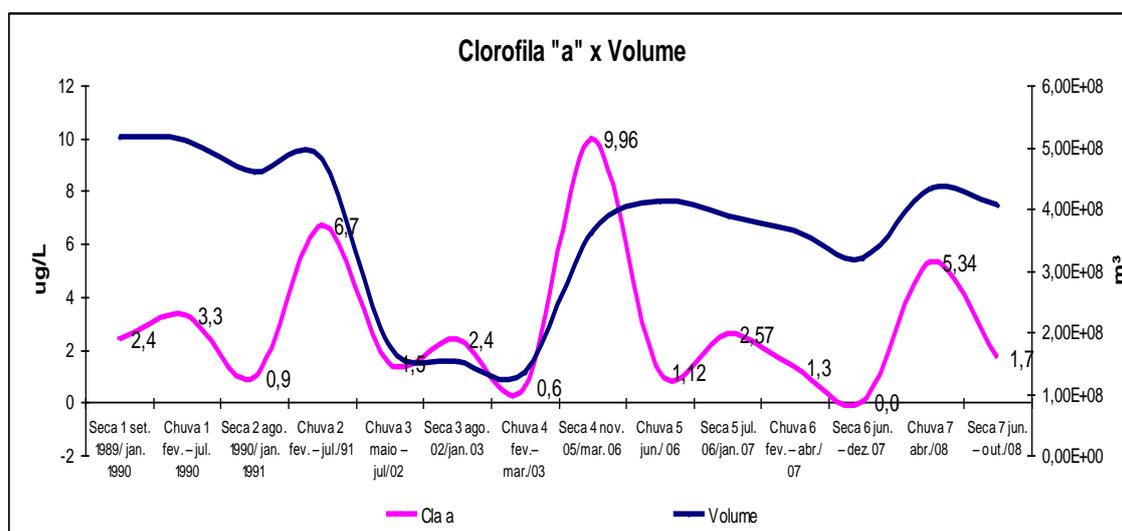
**Figura 4.13** Variação média do Ortofosfato Solúvel (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

A distribuição das concentrações da clorofila “a”, ao longo das épocas foi marcada por sazonalidades distintas (Tabela 4.1, Figuras 4.4 e 4.14). No período entre 1989 e 1991 a clorofila “a” apresentou os maiores valores médios nas épocas chuvosas, entre 3,3 µg/l e 6,7 µg/l. Estes resultados foram associados por Ceballos (1995) a introdução de algas exógenas, acúmulo sob efeito dos ventos e com o aumento da produção fotossintética endógena. Além destes fatores a pesquisadora associou à diminuição da irradiação no período chuvoso, propiciando a concentração do fitoplâncton nas camadas superiores onde foram realizadas as coletas ou o efeito sinérgico do conjunto desses fatores.

A partir da chuva 3 (2002), o comportamento dessa variável, foi inverso com aumentos das concentrações nas épocas de seca, principalmente na seca 4, onde ocorreram as maiores concentrações de todo o estudo (média 9,9 µg/L).

Barbosa et al. (2006) observaram concentrações médias próximas de clorofila “a”, no açude Taperoá, semi-árido paraibano (9,1 µg/L). Tavares

(2000) na Represa São Salvador (PB) também registrou concentrações de clorofila “a” próximas as encontradas neste trabalho (5,1 a 9,4 $\mu\text{g/l}$ ).



**Figura 4.14** Variação média da Clorofila “a” e Volume no período de 1989 a 2008, açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)-PB.

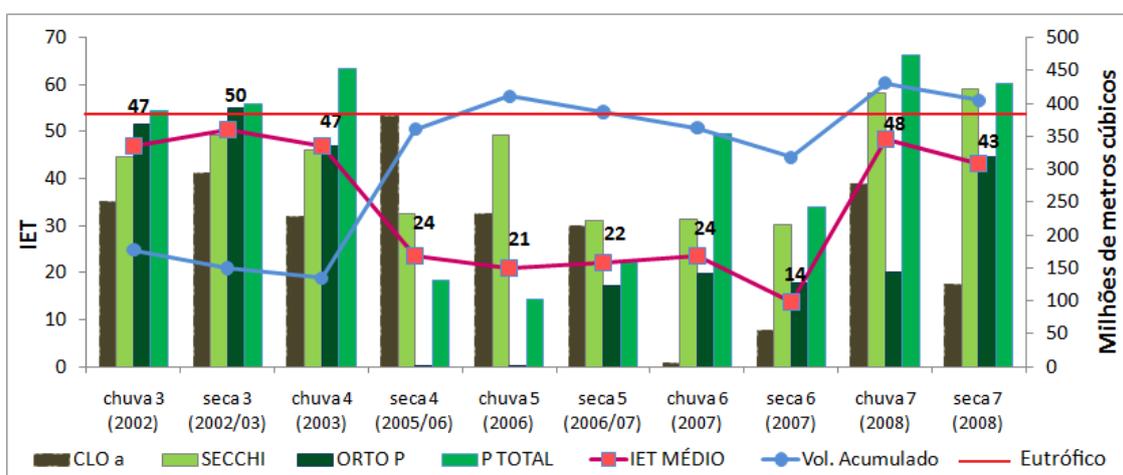
Para o cálculo do Índice de Carlson modificado por Toledo Junior et al. (1983) só foram considerados o período de 2002 a 2008, devido a ausência de dados de algumas variáveis nos anos de 1989 a 1991.

Ao aplicar o Índice de Carlson (1977) para os dados de clorofila “a”, Ceballos (1995) obteve resultados que classificaram o açude Epitácio Pessoa entre oligotrófico (seca 1 e seca 2) e mesotrófico (chuva 1 e chuva 2). Para as concentrações de fósforo total, na chuva 2, obteve a classificação hipereutrófica.

Nas épocas referentes a 2002 e 2003 (DINIZ, 2005) e de 2005 a 2008 (LEAq), foram aplicadas as Equações 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, descritas na quarta parte desse trabalho, aplicando-se o IET Modificado de Carlson (TOLEDO JUNIOR et al., 1983), incluindo a média ponderada da equação 3.5 (IET Médio) (Tabela 4.2 e Figura 4.15).

Considerando o IET Médio predominante, verifica-se que o ambiente classificou-se como oligotrófico, chegando a mesotrófico em algumas épocas. Especificando os períodos, o açude Epitácio Pessoa foi classificado entre

oligotrófico (2005 a 2007 e jun.-out. de 2008) e mesotrófico (2002 a 2003 e abr. de 2008), apresentando uma dinâmica de variação que oscilou de maneira inversa ao volume acumulado no açude na maioria das épocas estudadas na qual mostra a regressão realizada com os dados do IET-Médio e volume acumulado referentes às oito primeiras épocas, apresentando uma significância de 83% (Figura 4.16). As oscilações de graus de trofia entre oligotrófico e mesotrófico coincidiram com os do período de 1989 a 1991 (CEBALLOS, 1995).



**Figura 4.15** Variação do estado trófico no açude Epitácio Pessoa em função do Volume nos anos entre 2002 e 2008.

**Tabela 4.2** Classificação do Estado Trófico do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) – PB, usando o índice de Carlson modificado, entre 2002 e 2008.

IET Modificado	Chuva 3	Seca 3	Chuva 4	Seca 4	Chuva 5	Seca 5	Chuva 6	Seca 6	Chuva 7	Seca 7
	maio – jul/02	ago 02/jan 03	fev.– mar./03	nov. 05/mar. 06	jun./ 06	jul. 06/jan. 07	fev. – abr./ 07	jun. – dez. 07	abr./08	jun. – out./08
Ptot	54(M)	56(E)	64(E)	18(O)	14(O)	22(O)	49(M)	34(M)	66(E)	60(E)
PO4	52(M)	55(E)	47(M)	0(O)	0(O)	17(O)	20(O)	18(O)	20(O)	45(M)
Clo "a"	35(O)	41(O)	32(O)	53(M)	32(O)	30(O)	1(O)	8(O)	39(O)	17(O)
Transp	45(M)	49(M)	46(M)	33(O)	49(M)	31(O)	31(O)	30(O)	58(E)	59(E)
IET Médio*	47(M)	50(M)	47(M)	24(O)	21(O)	22(O)	24(O)	14(O)	48(M)	43(O)

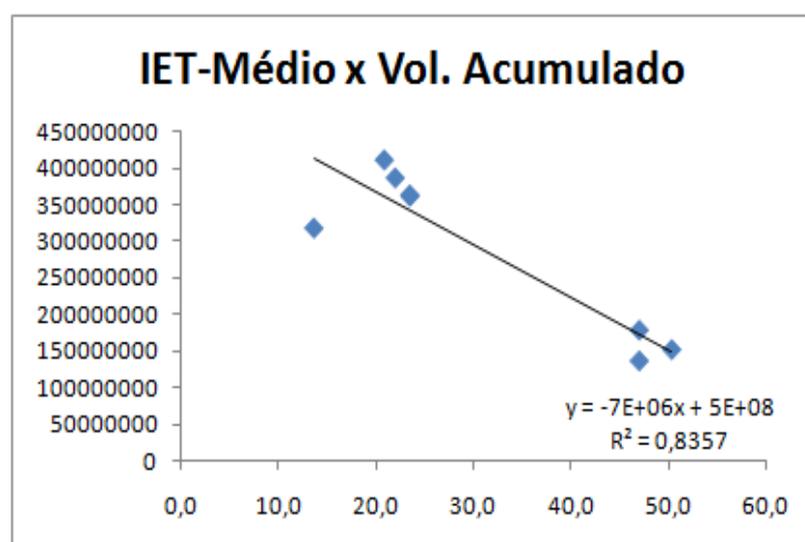
\*Média Ponderada (Equação 3.5)

IET: Índice do Estado Trófico Modificado; (O) oligotrófico; (M) mesotrófico; (E) eutrófico; (HE) hipereutrófico

As reduções dos nutrientes, expressas nas concentrações de compostos fosfatados, e conseqüentemente dos níveis de trofia observadas em 2005 e 2006 podem estar diretamente relacionada às chuvas registradas em Boqueirão (883mm), atribuindo-se à pluviometria a diluição das partículas e da matéria orgânica presente nesse ecossistema aquático. Nas épocas correspondentes ao final de 2007 e em 2008 não se observou tal comportamento, onde o aumento no volume das águas do açude modificou essa dinâmica, reduzindo o IET-Médio na seca 6, mas elevando-o em 2008.

Esta inversão da dinâmica do IET-Médio pode estar ligada ao fato de que 2008 foi marcado por níveis de precipitações bem acima da média, em grande parte da bacia hidrográfica bem como em todo o Estado da Paraíba, chegando este ambiente lântico a apresentar características de um ambiente lótico, transbordando por mais de 120 dias e com lâmina de água de escoamento de mais de 3m de altura no sangradouro (PARAÍBA, 2009).

As correlações observadas entre o IET-Médio e o volume acumulado (83,5%) (Figura 4.16) confirmaram a tendência de águas de melhor qualidade e baixo nível trófico quando o açude apresentou os maiores volumes acumulados, revelando a interferência dos processos de diluição e depuração na melhoria da qualidade da água.

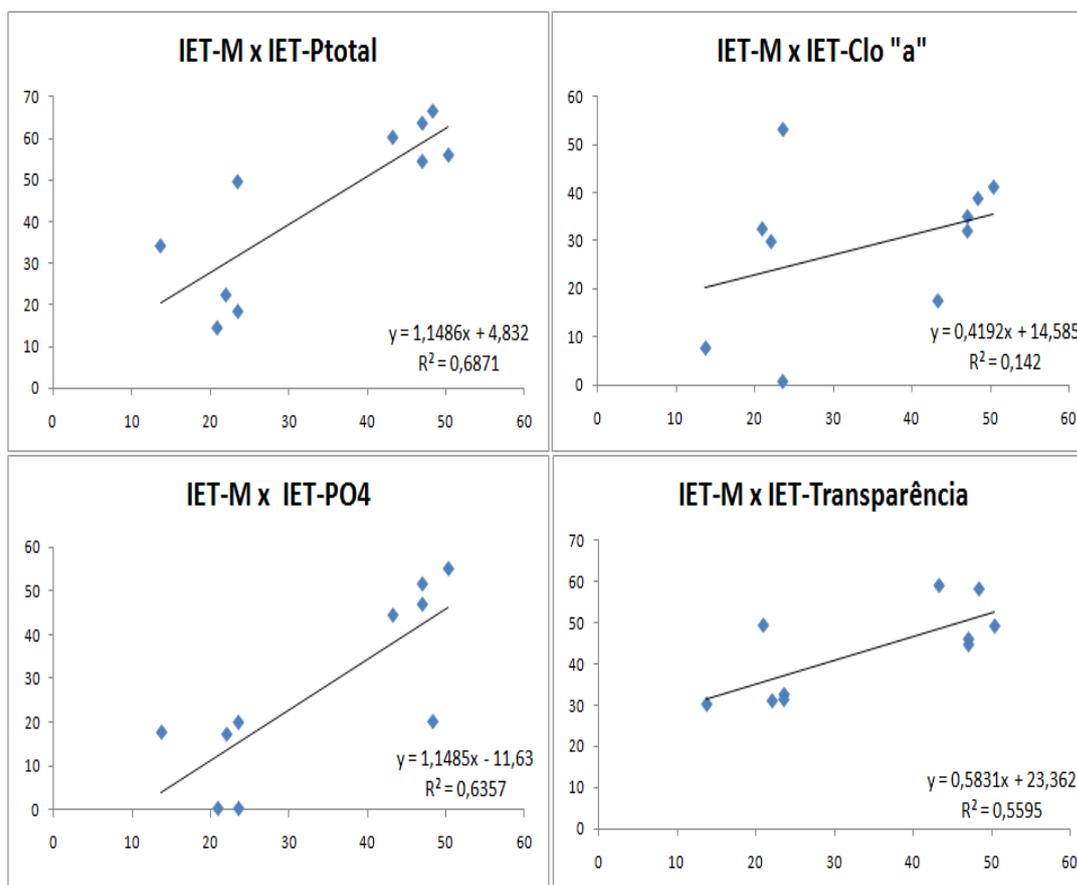


**Figura 4.16** Regressão Linear entre o IET-Médio e o Volume das águas acumuladas no açude Epitácio Pessoa, nos anos entre 2002 e 2008.

As regressões realizadas entre os valores obtidos para o IET-Médio e os observados para os índices de cada uma das variáveis que o compõe (Figura 4.17), evidenciaram através de suas respectivas significâncias que os elementos da série fosfatada e transparência (IET-Ptotal = 69%; IET-PO4 = 64%; IET-Tranp. = 56%) responderam melhor às variações do IET-Médio observadas ao longo das épocas.

As correlações entre o IET-Médio e os elementos da série fosfatada também foram os mais representativos para Lins (2006) no reservatório Acauã-PB, obtendo valores bem próximos dos encontrados no presente estudo.

Quando realizada a análise de regressão entre o IET-Médio e o IET-Clo “a”, a relação não se mostrou significativa (cerca de 14%), indicando a baixa contribuição deste índice no resultado global do cálculo médio no açude Epitácio Pessoa. Este resultado pode ser decorrente das coletas de água serem relativas à superfície do açude, podendo provocar alguma interferência nos resultados desta variável, uma vez que o componente fitoplâncton, distribui-se ao longo da coluna d’água.



**Figura 4.17** Regressões Lineares entre o IET-Médio e os índices calculados para o Fósforo Total, Ortofosfato Solúvel, Clorofila “a” e Transparência do açude Epitácio Pessoa – PB.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na realização do estudo sobre a evolução temporal dos níveis tróficos do açude e Epitácio Pessoa, é possível concluir que:

- Ocorreram variações na qualidade da água ao longo do período estudado, principalmente em função das oscilações interanuais, sendo mais acentuadas durante os anos de 2002 a 2003, associadas à redução acentuada do volume das águas do reservatório.
- O volume de água do açude, atuou significativamente como fator diluidor, das concentrações de sais e nutrientes em períodos de cheia ou como incremento das concentrações nas épocas de estiagem.
- A análise dos níveis de eutrofização, aplicando-se o Índice de Carlson Modificado, mostrou que o açude Epitácio Pessoa se classificou predominantemente como oligo-mesotrófico.
- Fazendo-se uma análise entre os três períodos estudados, o reservatório classificou-se como oligo-mesotrófico (1989 – 1991), mesotrófico (2002 – 2003), oligotrófico (2005 – 2007) e oligo-mesotrófico (2008), evidenciando um maior gradiente trófico no período de maior redução do volume, repercutindo no aumento das concentrações dos nutrientes.
- As variáveis que melhor se correlacionaram com as variações do IET-Médio foram fósforo total, ortofosfato solúvel e transparência.
- As informações que foram geradas nesse estudo corroboram com observações realizadas por outras pesquisas, sendo uma ferramenta útil ao planejamento e gerenciamento das águas deste ecossistema aquático.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um luvisolo em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n.1, p. 121-128, 2001.

ALENCAR, V. C. et al. Um sistema de suporte a decisão para o gerenciamento de recursos hídricos: um estudo de caso dos açudes de Boqueirão e Acauã. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: ABRH, 2008. CD ROOM.

AMÂNCIO, A. L. L. Caracterização dos parâmetros físico-químicos do açude Pereira de Miranda, Pentecoste/CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 35, n.2, p. 340 – 348, jul./dez., 2004.

AMÂNCIO, A. L. L.; FARIAS, W. R. L.; SILVA NETO, A. R. Balanço da água do açude Pentecoste, Pentecoste, Ceará, Brasil, no período de março a dezembro de 2002. **Rev. Ciência Agrônômica**, v. 36, n. 1, p. 44-52, jan./abr. 2005.

APHA. AWWA;WPCF. American Public Health Association - **Standard methods for examination of water and wastewater**. 16th ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1985, 1527p.

APHA. AWWA;WPCF. American Public Health Association - **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1995, 1600p.

APHA. AWWA; WPCF. American Public Health Association - **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1998, 1569p.

ATTAYDE, J. L. ; BOZELLI, R. L. . Environmental heterogeneity patterns and nutrient-chlorophyll relationships in a Brazilian coastal lake. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 390, p. 129-139, 1999.

AZEVEDO, S. M. F. O. . Toxic cyanobacteria and the Caruaru tragedy. In: SIMPÓSIO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE TOXICOLOGIA, 4., 1996, Recife **Anais...** Recife, 1996. CD ROOM.

AZEVEDO, S. M. F. O. et al. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru-Brazil. **Toxicology**, Irlanda, v. 181, p. 441-446, 2002.

BARBOSA, J. E. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo (nictemeral/sazonal) e de espaço (horizontal/vertical) no açude Taperoá II: trópico semi-árido paraibano.** 2002. 208f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade de São Carlos, São Carlos.

BARBOSA, J. E. L.; MENDES, J. S.. O índice de estado trófico como ferramenta no monitoramento da qualidade da água da barragem de Acauã: sistema recém construído sobre o rio. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., 2004, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 2004. CD ROOM.

BARBOSA, A. P. R.; LOUSADA, S. A. N.; HAIE, N. **Análise da qualidade das águas superficiais de Ponte de Lima.** In: UNSPECIFIED, 2005.

BARBOSA, J. E. L. et al. 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**, v. suplement., p. 80-89, 2006.

BARBOSA, J.M.. Avaliação da presença de microcistinas no reservatório do Funil e nas diferentes etapas de tratamento de água na Estação de Tratamento de Água do Guandu. Novo Enfoque. **Revista Eletrônica Universidade Castelo Branco**, v. 5, n.5, p. 12, 2007. Disponível em: <[www.castelobranco.br/pesquisa/vol5/PDFs/15.pdf2007](http://www.castelobranco.br/pesquisa/vol5/PDFs/15.pdf2007)>. Acesso 15. jul. 2009.

BARTRAM, J.; et al. Introduction. In: CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Ed.). **Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management.** Londres: St Edmundsbury Press, 1999, p. 1-14.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MOLICA, R. Cianobactéria invasora: aspectos moleculares e toxicológicos de *Cylindrospermopsis raciborskii* no Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v.30, p. 82-90, jan./jun. 2003.

BOUVY, M. et al. Limnological features in Tapacurá reservoir (northeastern Brazil) during a severe drought. **Hydrobiologia**, v. 493, p. 115-130, 2003.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria 518 de 25 de março de 2004:** estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências Brasília. 2005. Disponível em: <[http://www.agrolab.com.br/portaria%20518\\_04.pdf](http://www.agrolab.com.br/portaria%20518_04.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006, 212p.

BRITO, F. B. ; VIANNA, P. C. G. Açude de Boqueirão, dez anos de desacertos (1998-2008): da crise de abastecimento ao afogamento do conflito. In: SEMINÁRIO LUSO-BRASILEIRO, 2., 2008. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2008.

BRYCE, J. et al. WHO estimates of the causes of death in children. **Lancet**, v.1, n. 365, p.1147-1152, mar./abr. 2005.

CANCIAN, L. F. ; CAMARGO, A. F. M. ; SILVA, G. G. . Crescimento de *Pistia stratiotes* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. **Acta Botanica Brasilica**, 2009.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnol. Oceanogr.**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CARMICHAEL, W. W. Toxic Microcystis and environment. In: Watanabe, M. et al. (Eds.). **Toxic Microcystis**. CRC Press, 1996. p. 1-11.

CARVALHO, A. P. Aspectos qualitativos da água do açude Bodocongó em Campina Grande-PB. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 94-109, maio/ago. 2008.

CARVALHAL-LUNA, B. J. **Características espaço-temporais do sistema do açude Acauã-PB, e seu atual Índice de Estado Trófico.** 2008. 118f. Dissertação (Mestrado PRODEMA) – Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

CEBALLOS, B. S. O. et al. Comparative study of microbiological indicators of pollution in fresh waters. **Proceeding second bienal water quality symposium microbiological aspects**, Chile, p. 233-236, 1990.

CEBALLOS, B. S. O. **Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do trópico semi-árido**. 1995. 192f. Tese (Doutorado) - Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo.

CEBALLOS, B. S. O.; DINIZ; C. R.; KONIG, A. Algas como bioindicadores do nível trófico de ecossistemas lênticos do semi-árido paraibano. **Rev. Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.3, n.3 e 4, p.137-145, jul./set. e out./dez. 1998.

CHELLAPPA, N. T., COSTA, M. A. M. Dominant and co-existing species of Cyanobacteria from a eutrophicated reservoir of Rio Grande do Norte State, Brazil. **Acta Oecologica**, v. 24. n. 8, p. 3-10. maio 2003.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo, 2005**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: < [www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 15 jun. 2009.

COLE, G. A. **Textbook of limnology**. 3. ed. Toronto: The C. V. Mosby Company, 1983, 401p.

DINIZ, C. R. et al. Distribuição espacial de parâmetros limnológicos e sanitários no reservatório Epitácio Pessoa, Boqueirão - PB, Brasil.. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., 2004, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 2004a. CD ROOM.

DINIZ, C. R. et al. Diurnal rhythms and vertical of variable limnologicals, in a dry and rain season at the Epitacio Reservoir, State of Paraíba, Brazil. In: SIMPOSIO INTERNAZIONALE DI INGEGNERIA SANITARIA, 2004, Taormina. **Anais...** Taormina: ABES, 2004b. CD ROOM.

DINIZ, C. R. **Ritmos nictemeris e distribuição espaço-temporal de variáveis limnológicas e sanitárias de dois açudes do trópico semi-árido (PB)**. 2005. 193f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

DINIZ, C. R. ; BARBOSA, J. E. L. ; CEBALLOS, B. S. O. . Variabilidade temporal (nictemeral vertical e sazonal) das condições limnológicas de açudes do trópico semi-árido paraibano. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, Suplem, p. 1-19, 2006.

DOBSON, H. Trophic conditions and trends in the Laurentian Great Lakes. **Water Qual. Bull.**, v. 6, p. 79-83, 1981.

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

FERNANDES, L. F.; LAGOS, P. E. D. . Florações de cianobactérias e eutrofização no reservatório do Iraí, Curitiba, PR.I: sucessão sazonal do fitoplâncton. In: SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO, 4., 2003, Curitiba. **Anais...**Curitiba: UFPR, 2003. p. 47-52.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Eng. sanit. ambient.**, Rio de Janeiro, v.12, n. 4, p, 399-409, out./dez. 2007.

FIGUEIREDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. B.; MOTA, F. S. B. Avaliação do risco de eutrofização em reservatórios da bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 27, n. 2, p. 179-189, dez. 2006.

FONSECA, F. S. **Microcistina em água superficial no noroeste paulista e avaliação de parâmetros que favorecem a sua produção**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

FONSECA, H. S. ; SALVADOR, N. N. B. Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Bonito em Descalvado – SP. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n. 2, p. 179 – 185, 2005.

FRANÇA, J. C. et al. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica do açude Boqueirão - PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 11., 2007, Macaé. **Anais...** Macaé: SBL, 2007.

FRAZIER, K. et al. Microcystin toxicosis in cattle due to overgrowth of blue-green algae. **Vet. Hum. Toxicol.**, v. 40, n. 1, p. 23-24, 1998.

FREITAS. M. B.; FREITAS, C. M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, n. 4, p. 996-1004, 2005.

GALVÍNCIO, J. D. ; SOUSA, F. A. S. Uso do TOPAZ para caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 4, p. 69-75, 2004.

GALVÍNCIO, J. D. **Balço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa utilizando informações digitais do terreno**. 2005. 198f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SHIRINIVASAN, V. S. . Análise do relevo da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista de Geografia**, Recife, v. 23, p. 54-70, 2006.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D.C.O.; LEITE, M.A. Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de Ilha Solteira. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais...** Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil, p.1-2.

GOOGLE Earth. Açude Epitácio Pessoa. Disponível em: <<http://earth.google.com/intl/pt/>>. Acesso em: 17 mar. 2009.

GOMES, L. N. L. **Estudo da associação entre parâmetros bióticos e abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores – MG**. 2008. 197f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

GOMES FILHO, M. F. et al. . Contribuição da precipitação de mesoescala para o volume de água armazenado no reservatório de Boqueirão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 399-402, 2003.

GONÇALVES, C. S. **Qualidade de águas superficiais na microbacia hidrográfica do arroio Lino Nova Boêmia, Agudo, RS**. 2003. 114f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria , Santa Maria.

GUIMARÃES, A. O. **Formulação de um modelo de previsão da qualidade de água para gestão de reservatório de abastecimento urbano no semi-árido**. 2006. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GUIMARÃES, A. O. et al. Aspectos da gestão do açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. CD ROOM.

HELLER, L. Abastecimento de água, sociedade e ambiente. In: HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2006, p. 29-61.

HUSZAR, V. L. M.; SILVA, L. H. S.. A estrutura da comunidade fitoplanctônica no Brasil: cinco décadas de estudo. **Limnotemas**, Rio de Janeiro, v. 2, 1999.

JONES, J. G. **A Guide de Methods for Estimating Microbial Numbers and Biomass in Freshwaters**. London: Freshwater Biological Association, 1979, n. 39, 112p.

JØRGENSEN, S. E. The application of models to find the relevance of residence time in lakes and reservoir management. Paper from Bolsena Conference on: residence times in lakes: science, management, education Bolsena (Viterbo - Italy) 2002. Science, Management, Education **Journal of Limnol.** v. 62, sup.1, p. 16-20, 2003.

KAMOGAE, M.; HIROOKA, E. Y. Microcistinas: risco de contaminação em águas eutróficas. **Acta Scientiarum**, v. 22, n.5, p. 1189-1200, 2000.

KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; CASTRO, S. P. As descargas clandestinas de esgotos e seu efeito na degradação da águas do Açude Velho, Campina Grande, PB. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, 1990, Recife. **Anais...** Recife: [s.n.], 1990, p. 653-662.

KONIG, A. et al. Ocorrência de Algas potencialmente toxigênicas em mananciais do cariri paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM.

KOSEK, M.; BERN C.; GUERRANT, R. L. The global burden of diarrhoeal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. **Bull World Health Organ.**, v. 81, n.3, p.197-204. maio. 2003.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 235f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA, M. A. S. **Águas acumuladas em açudes e barragens na região de Santa Maria e flutuações em seus atributos físicos químicos.** 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LINS, R. P.; KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O. . . Diversidade fitoplanctônica na coluna d'água do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão PB). In: ENCONTRO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA AMBIENTAL, 8., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: ENAMA, 2002.

LINS R.P. **Limnologia da barragem de Acauã e codeterminantes socioeconômicos de seu entorno:** uma nova interação do limnólogo com sua unidade de estudo. 2006. 145f. Dissertação (Mestrado PRODEMA) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.

LINS R.P. et al. Piscicultura intensiva em um ecossistema aquático eutrofizado no Nordeste do Brasil: avaliação preliminar na época de seca. CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS, 31., 2008, Santiago – Chile. **Anais...** Santiago: AIDIS, 2008. CD-ROM.

LORENZI, A.S. **Abordagens moleculares para detectar cianobactérias e seus genótipos produtores de microcistinas presentes nas Represas Billings e Guarapiranga, São Paulo, SP, Brasil.** 2004. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba.

LUCENA, R. L. **Qualidade das águas e aspectos geográficos no entorno de reservatórios inseridos nas distintas zonas climáticas da Paraíba.** 2008. 113f. Dissertação (Mestrado PRODEMA) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.

MARGALEF, R. **Limnologia.** Barcelona: Omega, 1983,1010p.

MINELLA, L. **Índice de qualidade da água ao longo de rios e ribeirões: município de Brusque.** 2005. 119f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MACÊDO J. A. B. **Águas & águas**. Belo Horizonte: CRQ-MG. 2004. 977p.

MELO, H. A. R.; CHACON, J.O. Exame biológico-pesqueiro do açude público "Soledade" (Soledade,PB) Brasil. **Boletim Técnico do DNOCS**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 3-26, 1976.

MELO, A. D. **Operação de reservatórios no semi-árido considerando critérios de qualidade de água**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

MONTAIGNE, F.. A Terra pede água. **National Geographic Brasil.**, v. 29, p. 50-81, 2002.

MOREDJO, A. **Avaliação dos efeitos das atividades humanas sobre o estado trófico dos açudes paraibanos, com ênfase na utilização da comunidade zooplanctônica como bioindicador**. 1998. 137f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

NAVAL, L. P.; SILVA, C. D. F.; SOUZA, M. A. A. Comportamento dos Índices do Estado Trófico de Carlson (IET) e Modificado (IETM) no reservatório da Uhe Luís Eduardo Magalhães, Tocantins – Brasil. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29. 2004. San Juan, Porto Rico. **Anais...** San Juan: AIDIS, 2004. CD ROOM.

OECD. Organization for economic cooperation and development. **Eutrofication of water: monitoring assessment and control**. Paris: OECD, 1982, 154p.

ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE SAÚDE. **Salud, água potable y saneamiento em el desarrollo humano sostenible**. 128. sesión del comité ejecutivo. Washington (DC): OPAS, 2001.

PARAÍBA. Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Minerais. Caracterização das Bacias Hidrográficas in: **Plano estadual de recursos hídricos do Estado da Paraíba – PERH/PB**. Relatório Parcial, 2003.

PARAÍBA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Monitoramento dos volumes dos açudes**. Disponível em: <[http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/volumes\\_acudes/indexVolumesAcudes.jsp](http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/jsp/monitoramento/volumes_acudes/indexVolumesAcudes.jsp)>. Acesso em: 12 fev. 2009.

PEDROSA, A. S. et al. Dinâmica de coliformes fecais e estreptococos fecais no ciclo diário da coluna d'água de um açude do nordeste. In: ENCONTRO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA AMBIENTAL, 8., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2002.

PEDROSA, A. S. **Atividades antropogênicas na bacia de drenagem e qualidade das águas do açude Epitácio Pessoa - PB.** 2004. 190f. Dissertação (Mestrado PRODEMA) – Universidade Federal da Paraíba/Iniversidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo, RS.** 2005. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

PIEDRAHITA, E. H. **Caracterização limnológica e estudo do processo de sedimentação e liberação de fósforo da lagoa do Taquaral-Campinas (SP).** 2002. 165f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PINTO-COELHO, R. M. P.; PINTO-COELHO; M, R.; ARAÚJO, M.. Efeitos da remoção de macrófitas sobre a disponibilidade de nitrato e amônia e o zooplâncton de um reservatório eutrófico raso. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA DA UFSCAR, 8., 1997, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1997. v. 8. p. 1217-1223.

PRÜSS, A. et al. Estimating the burden of disease from water, sanitation, and hygiene at a global level. **Environmental Health Perspectives**, v. 110, n. 5, p. 537-542, maio. 2002.

PULATSU, P. the application of a phosphorous budget model estimating the carrying capacity of Kesikkopru Dam Lake. **Turk. J. Vet Anim.Sci.**, v. 27, p. 1127-1130, 2003.

RAMOS, F. D. **Distribuição espaço-temporal da comunidade fitoplanctônica e codeterminantes limnológicos do açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão), Paraíba.** 2003. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba.

RAMOS, F. D. B. et al. Distribuição espaço temporal da comunidade fitoplanctônica do Açude Presidente Epitácio Pessoa, Boqueirão - PB.. In:

Reunião da Sociedade Brasileira de Ficologia, 10., 2004, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Ficologia, 2004.

REBOUÇAS, A. C. **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP. Academia Brasileira de Ciências, 2002.

RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R. Uma Análise da Crise 1998-2000 no Abastecimento d'Água de Campina Grande – PB. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 4, 2000, Natal. **Anais...** Natal: ABRH, 2000. v. 2. p. 459-468.

RÊGO, J. C. et al. . Participação da sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento de água de Campina Grande, Brasil. In: DIÁLOGO INTERAMERICANO DE GERENCIAMENTO DE ÁGUAS, 4., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2001. CD ROOM

REYNOLDS, C. S. **The ecology of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984, 384p.

RODIER, J. **L' analyse de L'eaux Naturelles, Eaux Residuals, Eaux de Mer**. 5.ed. Paris: Ed. Dumond, 1975, 629p. v. 1.

ROLAND, F; CÉSAR, D.; MARINHO, M. (Eds.) . **Lições de Limnologia**. São Carlos: Rima, 2005, 532p.

ROLLA, M. E. et al. Aspectos limnológicos do reservatório de Volta Grande, Minas Gerais/São Paulo. **Acta Limnol. Brasil.**, São Carlos, v. 3, p. 219-244, 1990.

SANEAMENTO Ambiental. Saldo no vermelho. **Bio Rev. Brás. Saneamento e Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, ano 16, n. 42, p. 14-18, abr./jun. 2007.

SCHAFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: Universitária, 1985, 532p.

SCHAFER, A. Tipificação ecológica das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Limnol. Brasil.**, São Carlos, v. 2, p. 29-55, 1988.

SANCHES, S. M. et al. Estudo da presença da toxina microcistina-LR em água utilizada em clínica de hemodiálise e validação de um método analítico. **Ecl. Quím.**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 43-48, 2007.

STARLING, F. L. R. M. Efeitos da despoluição sobre a produtividade primária do fitoplâncton e seus reflexos sobre a produção pesqueira do Lago Paranoá (Brasília-DF). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22. 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003. CD ROOM.

TAVARES, J. L. **Evolução da eutrofização em uma represa nordestina de recente formação:** represa São Salvador – Sapé – PB. 2000. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. Fatores ambientais associados à diarreia infantil em áreas de assentamento subnormal em Juiz de Fora, Minas Gerais. **Rev. Bras. Saúde Matern. Infant.**, Recife, v.5, n.4, p. 449-455, out. / dez. 2005.

THOMAS, V. O desafio da água. **O Globo**, São Paulo, 24 mar. 2003. Disponível em: [http://www.obancomundial.org/index.php/content/view\\_artigo/1734.html](http://www.obancomundial.org/index.php/content/view_artigo/1734.html). Acesso em: 20 jul. 2004.

THORNTON, J. A.; RAST, W. A test of hypotheses relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid, man-made lakes. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (Eds.). **Comparative reservoir limnology and water quality management, developments in hydrobiology**. Kluwer, Dordrecht. 1993, p. 1-24.

TOLEDO JUNIOR, A. P. et al. A aplicação de modelos simplificados para avaliação do processo de eutroficação em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 12. 1983, Camboriú. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1983, p. 34.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002.

TSUKAMOTO, R. Y.; TAKAHASHI, N. S. Cianobactérias + civilização = problemas para a saúde, a aqüicultura e a natureza. **Panorama da Aqüicultura**, p. 24-33, set./out., 2007

TUNDISI, J. G. (ed.). **Planejamento e gerenciamento de lagos e represas: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização**. São Carlos: UNEP- IECT, 2001, 385p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa, IIE, 2003, 248p.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T. Represas Artificiais. In:\_\_\_\_\_. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 631p.

U. S. UNITED STATES OF AMERICA. **The national water quality inventory. Report to Congress. Executive Summury, 1996**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/owow/305h/96report/>>. Acesso em: 25 jul. 2009.

VOLLENWEIDER, R. A. Eutrophication: a global problem. **Water Qual. Bull.**, Canada, v. 6, n.3, p. 59-62, 1981.

VON SPERLING, E. Fósforo em águas doces tropicais: por que tanta preocupação?. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 3., 1996, Gramado. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1996. p. 12-15.

VON SPERLING, E. Poluição de ambientes aquáticos: tendências futuras para os países latino-americanos. CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais ...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. CD ROOM.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: DESAUFMG, 2005. v. 1,

WETZEL, R. G.; LINKENS, G. E. **Limnological analysis**. 2. ed. New York: Springer Verlag, 1991, 391p.

WETZEL, R. G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993, 905p.

WHO. World Health Organization. **Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report**. World Health Organization and United Nations Children's Fund, 2000, 87p.