

## ***Dinâmica funcional de reservatórios de usos múltiplos da região semiárida/Paraíba-Brasil***

### ***Functional dynamics of multiple uses dams in the semiarid region/Paraíba state – Brazil***

*Suzana Marinho Souto Lima<sup>1\*</sup>, Luciana Gomes Barbosa<sup>2</sup>, Patrícia Silva Cruz<sup>2</sup>, Sara Leilane Wanderley<sup>2</sup>, Beatriz Susana Ovruski de Ceballos<sup>2</sup>*

**Resumo:** Foi avaliada a dinâmica funcional de dois açudes do semiárido paraibano com diferentes capacidades de acumulação, ao longo de ciclos de cheia/vazantes ou secas/chuvas, sob impactos de piscicultura intensiva. O estudo foi baseado em amostras mensais coletadas em três estações definidas ao longo do eixo vertical dos corpos de água (P1: na entrada dos rios tributários; P2: na zona limnética, próximo ao tanques rede de piscicultura; P3, nas proximidades da barragem), em três profundidades ao longo da coluna de água (100%, 50% e 0% de extinção da luz fotosinteticamente ativa). As variáveis qualitativas monitoradas foram transparência, temperatura, pH, condutividade elétrica, fósforo total, ortofosfato e clorofila *a*. Várzea grande, apresentou águas mais transparente. O pH manteve-se predominantemente básico em ambos os reservatórios, com elevadas temperaturas em todos os pontos amostrados. As concentrações de fósforo total, ortofosfato e clorofila-*a* indicam uma situação de eutrofia. A precipitação pluviométrica pouco influenciou no volume de acumulação dos reservatórios, entretanto, este influenciou na heterogeneidade temporal das variáveis, especialmente da temperatura, que ocasionou estratificações térmicas, seguidas de químicas e biológica, principalmente em Várzea Grande, além disso, as principais variações ocorreram em nível sazonal, sendo as variações espaciais menos perceptíveis em cada ponto.

**Palavras-chave:** qualidade da água, dinâmica espacial/temporal, piscicultura.

**Abstract:** We evaluated the functional dynamics of the two dams of semiarid Paraíba with different volumes of water accumulation, over cycles of flood/ drought, under impact of intensive fish farming. The study was based on monthly samples collected at three stations set along the vertical axis of water bodies (P1: tributaries; P2: limnetic zone, next to tanks with fish, P3, near the dam) at three depths along the water column (100%, 50% and 0% , levels of the extinction light Photosynthetically active). Qualitative variables monitored were transparency, temperature, pH, conductivity, total phosphorus, orthophosphate and chlorophyll *a*. The pH remained predominantly basic in both reservoirs, with high temperatures in all the sampled points. The concentrations of total phosphorus, orthophosphate and chlorophyll-*a* indicate a state of high eutrophication. Rains influenced the temporal heterogeneity of the variables, especially temperature, which caused stratification, followed by chemical and biological. The main variations occurred in seasonal level, and not at each point.

**Keywords:** water quality, dynamic spatial / temporal, pisciculture.

## **INTRODUÇÃO**

A região semiárida do nordeste brasileiro abrange 1.133 municípios e uma população de 21 milhões de pessoas. Caracteriza-se pelas suas condições climáticas peculiares, com uma precipitação pluviométrica entre 200-900mm anuais e média de 8000mm, restrita a poucos meses do ano (época de inverno) com acentuada variabilidade interanual e entrecortada por veranicos mais ou menos prolongados. A evaporação potencial é quatro vezes superior às precipitações (2.550 mm anuais), explicando as recorrentes secas da região (SOUZA FILHO, 2011; CAMPOS, 2011). Essas condições são acentuadas pelas mudanças climáticas dos últimos anos que ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água

e que pode levar a uma crise potencialmente catastrófica, sendo os mais vulneráveis os agricultores pobres, como aqueles com culturas de subsistência (MARENGO et al., 2011).

No nordeste semiárido do Brasil, os reservatórios são destinados a usos múltiplos entre eles o consumo humano, a dessedentação animal, a irrigação e a piscicultura, sendo elementos fundamentais do desenvolvimento econômico e social da região. Esses ecossistemas dinâmicos mostram que as variáveis físicas, químicas e biológicas, definem a qualidade da água armazenada, estando submetidas a interações múltiplas que se alteram espacial e temporalmente influenciando seu funcionamento e, portanto, sua ecologia. Estudos sobre a dinâmica da qualidade da água de açudes do nordeste brasileiro, em

\*autor para correspondência

Recebido para publicação em 29/08/2012; aprovado em 08/11/2012

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande, CEP 58109-970, Campina Grande, PB. E-mail: limasuzana@uol.com.br\*

<sup>2</sup> Universidade Estadual da Paraíba. E-mail: bia.ceballos@gmail.com

particular na Paraíba, se iniciaram na década de 30, com a instalação do atual Departamento de Obras Contra as Secas (DNOCS) na cidade de Campina Grande/PB.

A qualidade da água reflete os impactos do clima (precipitação pluviométrica, temperatura e regime de ventos) e da ocupação e usos do solo da bacia de drenagem. A dinâmica funcional dos reservatórios expressa as respostas complexas e interconectadas resultantes de variados graus de reações às funções de forças externas, naturais ou não que variam em função da latitude, dos usos e das características de operação e funcionamento do corpo aquático (TUNDISI & TUNDISI-MATSUMURA, 2006). Dessa forma, este estudo objetivou estudar a dinâmica funcional de dois açudes do semiárido paraibano com diferentes volumes de acumulação, ao longo de ciclos de cheia/vazante, seca/chuva, sob impactos de piscicultura intensiva, com diferentes características espaciais e temporais da qualidade da água.

## MATERIAL E MÉTODOS

O reservatório Várzea Grande esta localizado no município de Picuí (6°30'34"S; 36°20'57"W), a uma altitude de 424 m, na sub-bacia do Seridó Oriental da Paraíba, uma das regiões mais secas do estado. O açude possui capacidade máxima de 21.532.659,00 m<sup>3</sup>, e bacia hidráulica de 342,5 ha (PARAÍBA, 2006). O clima é do tipo semi-árido (desértico), quente e seco, com temperatura média de 26°C, precipitação pluviométrica média em torno de 350 mm e IDH de 0,606. O açude Cacimba da Várzea (6°46'50,30"S; 35°41'2,92"W), se situa no município de Casserengue no Curimataú Oriental Paraibano, na bacia hidrográfica do Rio Curimataú, 536 m ao nível do mar. A capacidade máxima do açude é de 9.264.321 m<sup>3</sup>, sua bacia hidráulica possui 102,79 ha e a bacia de drenagem 1.317,50 ha (AESAs, 2009). O clima da região é quente, com chuvas de fevereiro a agosto, com precipitação média anual em torno de 750 mm. O IDH de 0,513 (Atlas de Desenvolvimento Humano/ PNUD, 2000). Destacam-se os dois reservatórios para abastecimento humano e para piscicultura intensiva.

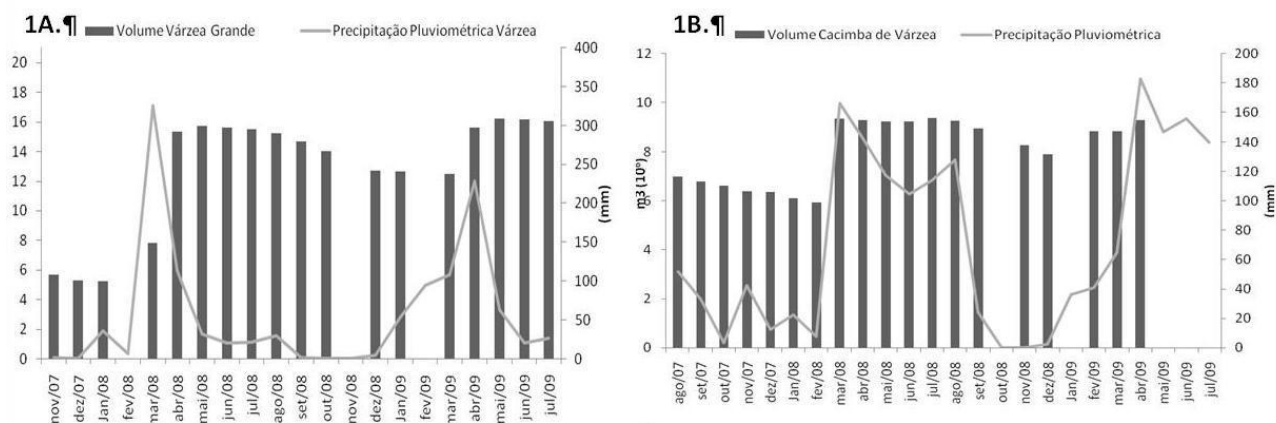
O estudo foi realizado em três estações de coleta ao longo do eixo principal de cada um dos açudes, desde a entrada

dos tributários até a barragem (P1: entrada do rio tributário principal; P2: zona limnética, próximo a tanques-rede com piscicultura intensiva e P3, próximo à captação. Em cada estação as amostras de água foram coletadas em três profundidades com garrafa de van Dorn (capacidade de 5L), na superfície (100% de penetração da luz), a 50% e na zona afótica (0% de luz.). A frequência de amostragem foi mensal, durante o período de agosto/2007 a julho/2009 em Cacimba da Várzea e de novembro/2007 a julho/2009 em Várzea Grande. As variáveis estudadas foram: transparência (Disco de Secchi), temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (WINKLER, em GOLTERMAN et. al., 1978) fósforo total, ortofosfato solúvel e clorofila *a* (APHA, 2005). Dados mensais de precipitação pluviométrica e do volume dos açudes foram fornecidos pela AESA/PB (Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados do volume acumulado e da precipitação pluviométrica foram diferenciados, em cada açude, períodos de seca ou de vazante e de chuvas ou de cheias (Figura 1). O reservatório de Várzea Grande em março de 2008 apresentou precipitação pluviométrica de 325 mm, favorecendo o aumento do volume acumulado que variou de 36,4% a 71,2% em abril, permanecendo com porcentagens próximas até agosto. Houve decréscimo entre setembro/2008 e março/2009, atingindo mínimo de 57% em janeiro/2009, acompanhando a diminuição da precipitação pluviométrica. A partir de abril/2009 com chuvas de 50 mm o volume esteve próximo aos 75% até julho desse ano, embora com chuvas decrescentes.

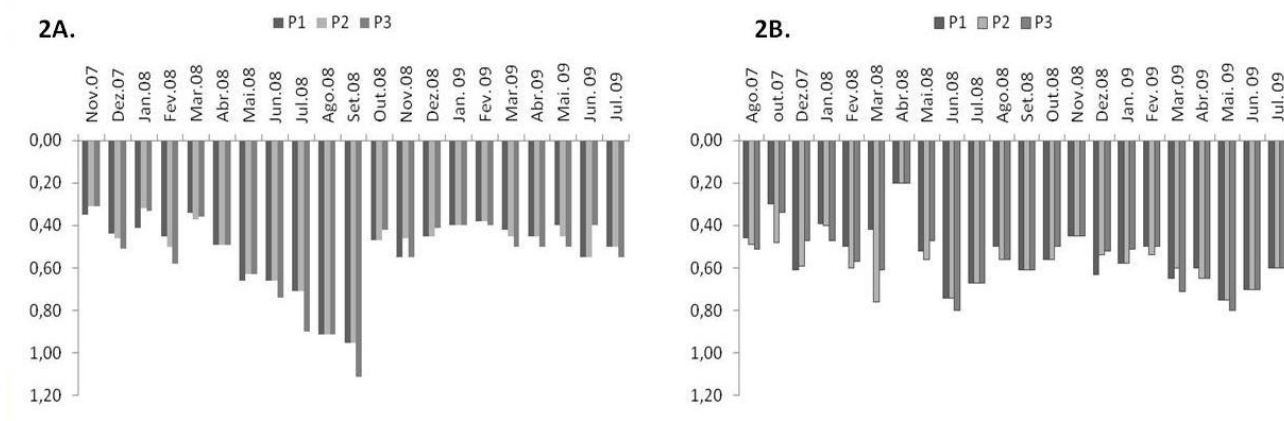
Cacimba da Várzea, reservatório com capacidade de acumulação aproximadamente 50% a menos que o anterior mostrou comportamento semelhante, embora os volumes acumulados ao longo dos meses sempre foram superiores aos de Várzea Grande. Este açude alcançou 100% de sua capacidade de acumulação em março, abril e junho/2009 (precipitação entre 114 a 166,5 mm). Observa-se que a água armazenada se manteve em volumes elevados durante vários meses após os eventos de chuvas nos dois açudes, o que influenciou a qualidade da água.



**Figura 1:** Variação mensal do volume (milhões de m<sup>3</sup>) dos açudes Várzea Grande (A) e Cacimba da Várzea (B) e da precipitação pluviométrica (mm)

A transparência da água em Várzea Grande foi mais alta quando o volume era maior (> 65% do volume máximo) e após alguns dias do evento chuvoso. No período de março a julho/2009, as chuvas exerceram influência sobre a transparência, como se verifica na

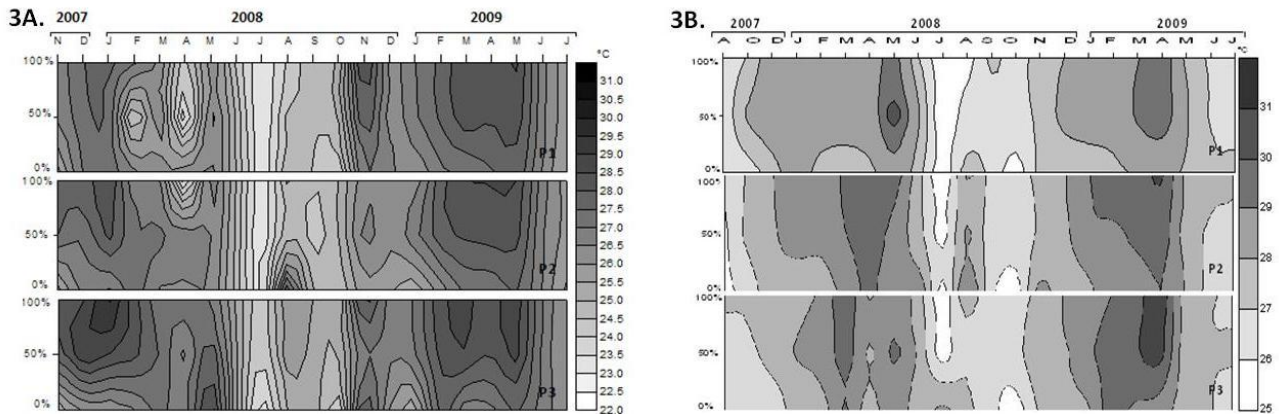
Figura 2A. A estação de coleta próxima à barragem foi a de maior transparência, por ser a mais profunda. Cacimba da Várzea teve comportamento semelhante, embora com transparência levemente superior (Figura 2B).



**Figura 2:** Perfil da Transparência de Secchi (m) dos açudes Várzea Grande (A) e Cacimba de Várzea (B)

A temperatura média das três estações de coleta, calculada com os valores das três profundidades foi elevada, entre 26 e 27°C com máxima de 30,5°C em Cacimba da Várzea no período chuvoso e de maior volume. Na coluna de água, em abril/2009, as diferenças de temperatura entre superfície (100% de luz) e fundo (0% de luz) foi de até 2,3°C no ponto próximo à captação (P3). Ilhas de calor na coluna de água ocorreram entre abril e maio de 2008 e 2009 nas três estações com microestratificações nos meses mais quentes (Figura 3B).

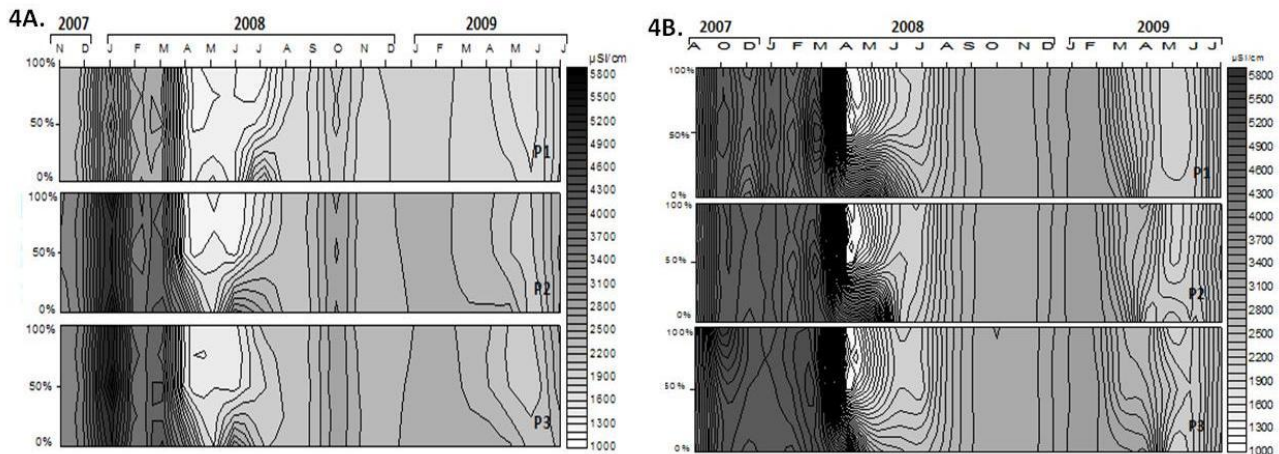
Em Várzea Grande houve diferença de até 3,6°C na coluna de água (janeiro/2008) em P3, no período seco (Figura 3A). Embora a temperatura tenha diminuído da superfície ao fundo (perfil clinogrado) provocando estratificações térmicas da água, as diferenças entre elas não foram significativas. Já temporalmente, foram detectadas variações de temperatura significativas ( $p < 0,0001$ ) entre os pontos, com valores mais elevados e durante maior tempo na estação P2, próxima dos tanques rede de piscicultura.



**Figura 3:** Isolinhas da temperatura (°C) no reservatório Várzea Grande (A), e em Cacimba da Várzea (B), nas estações de coleta 1 (entrada de tributários), 2 (zona limnética) e 3 (captação)

A condutividade elétrica média das três profundidades de cada estação de coleta foi alta nos dois açudes (Figuras 4A e 4B). Cacimba da Várzea teve média de  $4.682 \mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$  e máximas de até  $5.860 \mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$  na seca, período com menor volume de acumulação de água. Em Várzea Grande, a concentração máxima foi de  $3.580 \mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$ , também na seca. Pequenas estratificações se observaram nos três pontos desde a superfície até o fundo, nos meses mais quentes. Altos valores de condutividade elétrica se relacionam com a geologia da região (LEPRUN, 1983) e com as cargas de íons introduzidos com as chuvas e os tributários além dos impactos

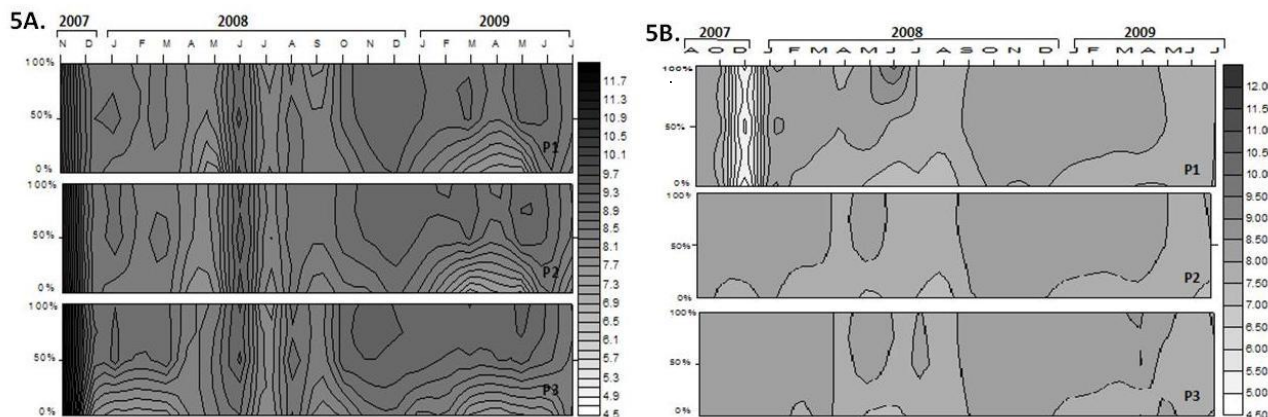
antropogênicos na bacia. Ambos os efeitos se expressam nas bacias da Paraíba, altamente antropizadas (PERH/PB, 2006). A condutividade elétrica teve correlações significativas e positivas com alcalinidade, dureza e pH e negativas com o volume de água; comportamento semelhante ao observado por Medeiros et. al., (2006), num açude urbano de Campina Grande/PB sob fortes impactos antropogênicos. Estudos pioneiros realizados por Wright (1981) evidenciaram salinização progressiva das águas com o avanço da estiagem e diminuição do volume de água acumulada, acompanhando o processo de eutrofização.



**Figura 4:** Isolinhas da condutividade elétrica ( $\mu\text{Si}/\text{cm}^{-1}$ ) no reservatório Várzea Grande (A), e em Cacimba da Várzea Grande (B), nas estações de coleta 1 (entrada de tributários), 2 (zona limnética) e 3 (captação)

O pH foi básico nos dois reservatórios, típico de ambientes eutrofizados, como evidenciam os valores de fósforo total e clorofila *a* (Figuras 7 e 9) e também pela influencia da composição química da bacia de sedimentação onde esses açudes estão inseridos, rica em carbonatos e bicarbonatos. Valores de pH de 12 foram

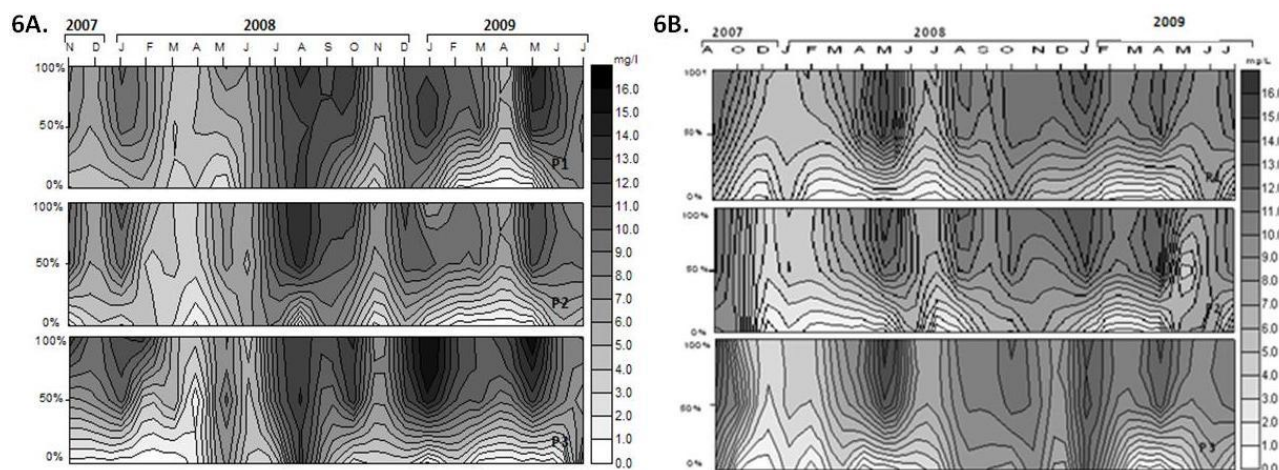
encontrados em Várzea Grande no período seco. Ao longo da coluna de água não se verificaram alterações importantes de pH, embora houvesse leve redução com o aumento da profundidade (Figuras 5A e B). Várzea Grande mostrou estratificações de pH, aparentemente de maior duração.



**Figura 5:** Isolinhas do pH no reservatório Várzea Grande (A) e Cacimba da Várzea (B), nas estações de coleta 1 (entrada de tributários), 2 (zona linnética) e 3 (captação)

OD foi elevado em ambos os reservatórios, com médias > 8,0 mg/L (P1, P2, P3) e máximas de até 16,24 mg/L no período chuvoso. Foi registrado um decréscimo em Cacimba da Várzea em direção ao fundo (perfil clinogrado - Figura 6B), evidenciando seu consumo na biodegradação de material orgânico nas camadas mais profundas. Várzea Grande teve comportamento parecido,

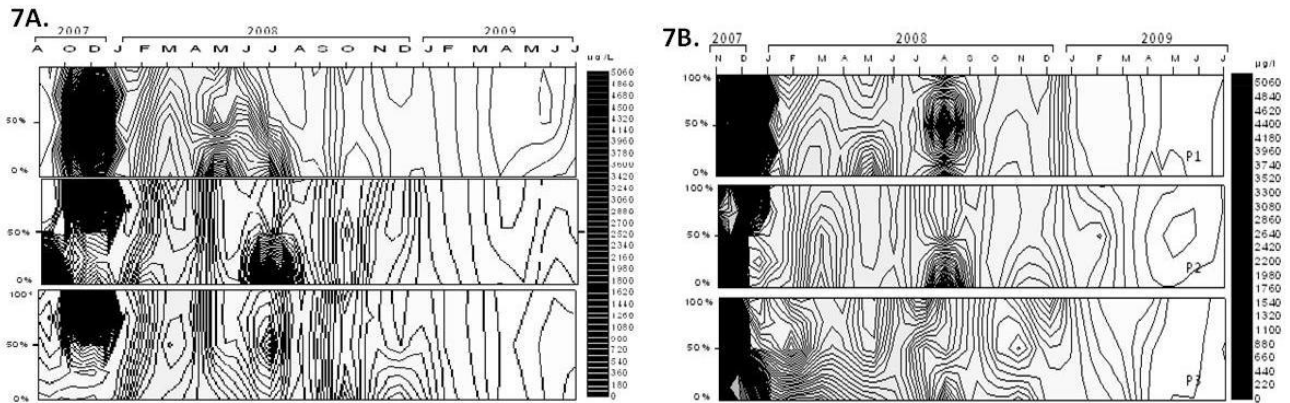
exceto nos meses de julho a setembro de 2008 (Figura 6A) quando o volume de água foi maior. Quando aplicado o teste ANOVA, o oxigênio dissolvido apresentou diferenças espaciais e temporais extremamente significativas ( $p < 0,0001$ ), as diferenças temporais ( $F = 3.398$ ) foram menores que as espaciais ( $F = 15.865$ ), corroborado pelo perfil da temperatura.



**Figura 6:** Isolinhas do Oxigênio dissolvido (mg/L) no reservatório Várzea Grande (A), e em Cacimba da Várzea (B), nas estações de coleta 1(entrada de tributários), 2 (zona linnética) e 3 (captação)

Fósforo total foi elevado nos dois reservatórios e superior ao volume máximo permitido de 0,30  $\mu\text{g/L}$  estabelecido pela Resolução CONAMA, 357/2005 para águas lânticas classe 2 e até os 0,50  $\mu\text{g/L}$  para corpos aquáticos intermediários. O reservatório de Cacimba da Várzea apresentou 5 vezes o valor máximo permitido para classe 3 (ecossistemas aquáticos intermediários) (0,75  $\mu\text{g/L}$ ) e em até 9 vezes em Várzea Grande. Os maiores valores se verificaram nas épocas de menor volume e

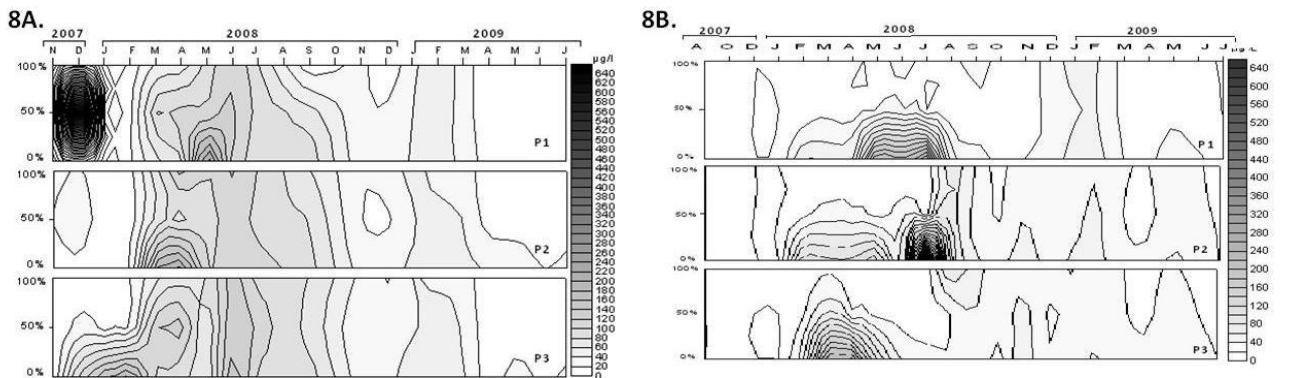
menor precipitação pluviométrica ou de secas em Várzea Grande. Houve predominância de altas concentrações de fósforo em grande parte da coluna de água, principalmente na primeira época seca sem diferenças significativas entre as profundidades (Figuras 7A e 7B) e diluições com as chuvas. Cacimba da Várzea apresentou menores concentrações médias desse nutriente. Em nenhum reservatório houve variações significativas ao longo das profundidades ( $p = 0,7873$ ).



**Figura 7:** Isolinhas do fósforo total ( $\mu\text{g/L}$ ) no reservatório Várzea Grande (A) e em Cacimba da Várzea (B), nas estações de coleta 1 (entrada de tributários), 2 (zona limnética) e 3 (captação)

Em Cacimba da Várzea, o ortofosfato solúvel teve comportamento similar ao fósforo total, com as maiores concentrações na primeira época de estiagem (ago/07 a fev/08) e no fundo, durante período chuvoso (Figura 8B). As menores concentrações ocorreram no período de chuva (exceto fundo), sugerindo sua diluição, se relacionando com a elevada temperatura e conseqüente aumento da taxa

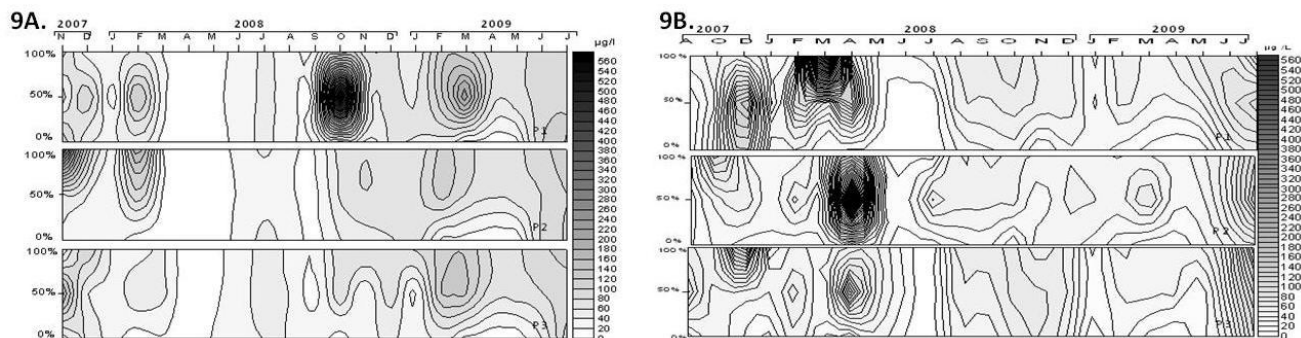
metabólica do fitoplâncton. Em Várzea Grande o ortofosfato se manteve disperso na coluna de água (Figura 8A), relacionada ao período de chuva, os maiores valores de temperaturas, as microestratificações térmicas e menor oxigenação do sedimento, promovendo a liberação do fosfato para a coluna d'água.



**Figura 8:** Isolinhas do ortofosfato ( $\mu\text{g/L}$ ) no reservatório Várzea Grande (A), e em Cacimba da Várzea (B), nas estações de coleta 1 (entrada de tributários), 2 (zona limnética) e 3 (captação)

As concentrações mais elevadas de clorofila *a* (média de 73,8  $\mu\text{g/L}$ , máxima de 575,56  $\mu\text{g/L}$ ), ocorreram em Várzea Grande, no período mais seco e de maior atividade fotossintética, embora o açude estivesse com volume elevado. Foram observadas variações significativas, espaciais ( $P = 0,0144$ ;  $F = 2.475$ ) e temporais ( $P = 0,0001$ ;  $F = 3.319$ ) entre os pontos e entre os açudes. Em Cacimba da Várzea, as maiores concentrações ocorreram com as primeiras chuvas na estação de coleta P1 próxima à entrada do tributário e na superfície (100% de luz) (Figura 8B), junto com elevado pH (8,19) e altos valores de ortofosfato solúvel, sugerindo a sua assimilação na biomassa fitoplanctônica, que teve aumento, pela maior taxa metabólica sob influencia da elevada temperatura

(28,2°C). Em ambos os açudes as maiores concentrações foram verificadas na superfície da água, exceto em alguns meses com eventos de chuva em 2008 (Figura 9A, B) quando a biomassa fitoplanctônica se estendeu na coluna de água de Cacimba da Várzea até a profundidade de 50% de luz. O estudo preliminar da biodiversidade do fitoplâncton mostrou predominância de cianobactérias dos gêneros *Pseudoanabaena*, *Planktothrix* e *Cylindropermopsis*, todos potencialmente toxigênicos. *Mycrocystis aeruginosa* esteve presente em algumas amostras em altas densidades e a hepatotóxina microcistina LR foi confirmada em Cacimba da Várzea numa amostra de janeiro/2008.



**Figura 9:** Isolinhas da clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ) no reservatório Várzea Grande (A), e em Cacimba da Várzea(B), nas estações de coleta 1 (entrada de tributários), 2 (zona limnética) e 3 (captação)

## CONCLUSÕES

1. As concentrações de nutrientes e clorofila *a* nos dois açudes com 50% e 100% de seu volume, evidenciam condições permanentes de eutrofia em épocas de seca e de chuvas, o qual dificulta a identificação dos impactos da piscicultura intensiva.

2. Os eventos chuvosos, em geral de curta duração e de diferentes intensidades, refletem as inter-relações de perturbação com o ambiente externo, influenciam a biota e são causa das flutuações extremas das variáveis qualitativas que se estabilizam ao longo do tempo de permanência da água represada.

3. As variações de temperatura ocasionaram estratificações térmicas de curta duração, seguidas de estratificações químicas e biológicas, principalmente em Várzea Grande.

4. Temporalmente ocorreram diferenças significativas em todas as variáveis; comportamento esperado para os corpos hídricos de regiões semiáridas, devido às peculiaridades do regime de chuvas.

## REFERÊNCIAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.pb.gov.br/> Acesso em 15/11/2009.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 2005.

ATLAS DE DESENVOLVIMENTO HUMANO - PNUD, 2000. < <http://www.pnud.org.br/atlas/>>, Acesso em 10/10/2012.

BRASIL. **Resolução 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de meio ambiente (CONAMA). Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de

efluentes. Ministério do Meio Ambiente do Brasil. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

Campos, J. N. B. Águas superficiais no semiárido brasileiro: Desafios ao atendimento aos usos múltiplos. **Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas**. In: Medeiros, S. S. ; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011.440 p. : il,

Golterman, H.L., Clyno, R.S; Ohnstad, M.A.M. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters. IBP HANBOOK, ed. Melbourne, Oxford London, nº 8, 1978. 215p.

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

Marengo, J. A.; Alves, L.M. Beserra, E. A.; Lacerda, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas**. In: Medeiros, S. S. ; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011.440 p. : il,

Medeiros, P.R.; Barbosa, J.E.L.; Silva, A.M.A.; Crispim, M.C.B. Vertical and Nictemeral Dynamics of Limnological Variables in a Tropical Brazilian Dam. **Rev. de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, Nº1, 2º Semestere, 2006.;

PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Governo do Estado da Paraíba. SECTMA/AESA. Brasília DF. 2006.

Silva, R.P., Barbosa, M.P.; Melo, R.F. ,Desertificação e Vulnerabilidade Associados ao Fenômeno El Niño No Município de Picuí – Paraíba. **Rev. Ciência Agro Ambiental**, Alta Floresta. V5, p. 37 – 44, 2007.

Souza Filho, F. A. A política nacional de recursos hídricos: Desafios para sua implantação no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semi-áridas**. In: Medeiros, S. S. ; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido (INSA), 2011.440 p.

Tundisi, J.G.; Tundisi-Matsumura, T.; Rocha, O. Ecossistemas de Águas Interiores In: Rebouças, A.C.; Braga, B. & Tundisi, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras. 747p. 2006.

Wright, S. **Alguns dados da Física e da Química de Açudes Nordestino**. Bol.Tec. Dep. Obras Contas as Secas., v39, p. 21-31, 1981.